



Stratégie nationale de recherche et d'innovation 2009

Rapport du groupe de travail
Sciences de l'environnement

RESUME

Le défi « sciences de l'environnement » est en cohérence avec les recommandations du *Grenelle de l'environnement* qui ont trait à la recherche. Cerner le **niveau d'adaptabilité** des milieux et de nos sociétés aux changements globaux apparaît comme une nécessité absolue. Ce diagnostic met en lumière le besoin d'évaluer, dans le cadre d'une approche globale, le degré de **vulnérabilité** des milieux naturels et anthropisés soumis à un ensemble de pressions simultanées (changement climatique, modification de la circulation marine, recrudescence des événements extrêmes, perte de biodiversité, dégradation rapide des sols, introduction massive d'espèces chimiques nocives, etc.). C'est la notion même d'**habitabilité** future des milieux, en particulier dans sa dimension qualitative, qui est au cœur des questionnements scientifiques mentionnés ici.

C'est ainsi dans un cadre planétaire et de coopération internationale que s'inscrit la définition d'une stratégie française en matière de sciences de l'environnement. Cette stratégie se décline autour du triptyque habitabilité/vulnérabilité/adaptabilité. La politique nationale s'exprime d'abord dans des domaines auxquels la recherche française consacre des moyens significatifs et dans lesquels elle a obtenu des positions fortes et reconnues. Les actions correspondantes figurent dans les schémas stratégiques et les contrats d'objectifs des divers organismes de recherche et agences de moyens. Au-delà de ces domaines actuellement pris en compte de manière satisfaisante par les différents acteurs de la recherche française, certaines orientations paraissent devoir faire l'objet de développements particuliers.

Défi majeur, tant du point de vue de la science fondamentale que de ses applications, des **enjeux sociétaux** que de leurs **implications économiques**, le développement des sciences de l'environnement s'articule autour de deux objectifs majeurs : mieux connaître les milieux, et avoir le souci applicatif attaché à l'innovation. Il conviendra d'ajouter une proposition d'organisation de la recherche, destinée à faciliter la mise en œuvre des priorités retenues.

Objectif 1 : Construire les bases scientifiques et techniques des innovations permettant un développement humain éco-responsable

- *encourager l'émergence d'une nouvelle ingénierie éco-responsable*, qui doit faire converger l'ensemble des disciplines. Elle doit intégrer le principe d'un usage optimisé et raisonné des ressources naturelles, tant dans la conception et la production que dans l'organisation et l'usage des territoires, à la fois dans les domaines industriels et agricoles ;
- *investir pour favoriser l'émergence des innovations, des (éco)technologies et des matériaux qui seront nécessaires à la mise en œuvre des nouvelles solutions éco-responsables* :
 - **efficacité énergétique et environnementale du développement humain** (agriculture, transports, bâtiments, urbanisation, NTIC, communications, etc.) ;
 - **décarbonation** (solutions énergétiques innovantes, transports innovants) ;
 - **préservation des ressources naturelles** : agro-matières premières, bio-ressources renouvelables, dépollution, recyclage, etc ;

- **maîtrise des pollutions et des risques naturels et sociaux** (telluriques, climatiques, pandémies, risques sociaux, etc.).

Objectif 2 : Améliorer la connaissance des milieux naturels et anthropisés

a) Comprendre l'histoire et observer le présent pour anticiper le futur

- *promouvoir une recherche scientifique interdisciplinaire centrée sur l'étude des évolutions des systèmes environnementaux au cours des derniers siècles pour mobiliser de manière plus systématique et mieux structurée des spécialistes de sociologie, d'histoire, d'économie, de droit et de sciences politiques.*
- *structurer, harmoniser et pérenniser une infrastructure nationale de systèmes d'observation, d'expérimentation sur le long terme, et de gestion des données dans un cadre européen et international (GMES-GEOSS) placée sous l'égide d'une gouvernance associant tous les organismes concernés. Un label unique permettrait d'identifier les acteurs pilotant l'ensemble des moyens au sol, aéroportés, maritimes ou spatiaux.*

b) Modéliser les interactions systémiques et évaluer leurs réponses aux altérations pour anticiper et maîtriser les risques.

- *développer une approche globale construite sur une définition partagée des systèmes environnementaux structurée autour de disciplines d'intégration¹. Ceci est essentiel pour permettre de comprendre et de modéliser la complexité des interactions dynamiques entre les systèmes et les processus qui régissent le fonctionnement physique, chimique, biologique de la planète, ainsi que certains aspects socio-économiques ;*
- *combler le déficit de formations supérieures et de compétences en écotoxicologie ;*
- *développer les recherches pluridisciplinaires associant l'étude du devenir des contaminants au sein des écosystèmes à celle de leur transfert aux êtres vivants et de leurs impacts biologiques.*
- *promouvoir la caractérisation des nouveaux risques (nature, dangerosité, probabilité d'occurrence et d'évolution) liés à la conjonction des aléas naturels et des interventions grandissantes de l'homme dans l'environnement, et l'analyse de la capacité de résilience des systèmes environnementaux.*

Mise en œuvre de la stratégie nationale de recherche et d'innovation

Mettre en place une coordination nationale des organismes et des agences qui contribuent à la structuration des communautés, organisent des prospectives scientifiques, mettent en œuvre la stratégie nationale de recherche et d'innovation, assurent le maintien et la valorisation des très grandes infrastructures de recherche, promeuvent les interactions avec les gestionnaires publics et privés de l'environnement, tout en garantissant l'espace de créativité consubstantielle à l'activité de recherche.

NNEM¹ Écologie, étude des systèmes couplés homme-environnements, modélisation et analyse des systèmes complexes, géographie et information environnementales

SOMMAIRE

1	DEFINITION DU PERIMETRE ET DES COMPOSANTES DU DEFI	2
1.1	<i>DEFI ET ENJEUX ASSOCIES.....</i>	2
1.2	<i>IDENTIFICATION DES COMPOSANTES DU DEFI.....</i>	3
1.2.1	<i>Un cadre politique :</i>	3
1.2.2	<i>Une déclinaison scientifique et sociétale</i>	3
1.2.3	<i>Un engagement européen et international :.....</i>	4
2	CARACTERISATION ET ANALYSE DE LA SITUATION DE LA FRANCE SUR LE DEFI.....	4
2.1	<i>CARACTERISATION DE LA POSITION DE LA FRANCE SUR CE DEFI.....</i>	4
2.1.1	<i>Indicateurs qualitatifs et quantitatifs ; comparaisons internationales</i>	5
2.1.2	<i>La politique nationale et communautaire sur ce défi.....</i>	7
2.2	<i>SYNTHESE DE LA SITUATION FRANÇAISE</i>	9
3	L'ANALYSE STRATEGIQUE ET LES ORIENTATIONS POUR L'ACTION	10
3.1	<i>TROIS ORIENTATIONS MAJEURES QU'IL CONVIENT DE DEVELOPPER.....</i>	10
3.1.1	<i>Comprendre le passé et observer le présent pour aborder le futur dans des conditions satisfaisantes (management des connaissances)</i>	10
3.1.2	<i>Modéliser les interactions systémiques et évaluer leurs réponses aux altérations pour anticiper et maîtriser les risques</i>	10
3.1.3	<i>Construire les bases scientifiques et techniques des innovations permettant un développement humain éco-responsable.....</i>	11
3.2	<i>MISE EN PLACE D'UNE COORDINATION NATIONALE DES ACTEURS DE LA PROGRAMMATION DE LA RECHERCHE</i>	12
	ANNEXE - COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL	14

1 DEFINITION DU PERIMETRE ET DES COMPOSANTES DU DEFI

Le défi « sciences de l'environnement » recouvre :

- les changements environnementaux planétaires ;
- la chimie de l'atmosphère et de la qualité de l'air ;
- les géosciences ;
- la biodiversité et la durabilité des ressources naturelles ;
- la pollution des écosystèmes et les éco-procédés ;
- le domaine santé – environnement ;
- les interactions entre dynamiques sociales et dynamiques naturelles.

1.1 Défi et enjeux associés

Le rapport 2008 de l'OCDE² sur l'environnement met l'accent sur les mesures nécessaires pour lutter contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources. Il souligne les effets conjugués de la démographie mondiale et de la croissance économique sur l'état de la planète et fait état d'un risque de modification irréversible des conditions environnementales sur lesquelles repose, notamment, le maintien de la prospérité économique. Le défi « sciences de l'environnement » a pour enjeu de contribuer à la résolution des huit défis sociétaux et économiques identifiés dans le cadre de l'exercice de définition de la stratégie nationale de recherche et d'innovation :

Cerner le **niveau d'adaptabilité** des milieux et de nos sociétés aux changements globaux apparaît comme une nécessité absolue. Ce diagnostic met en lumière la nécessité d'évaluer, dans le cadre d'une approche systémique, le degré de **vulnérabilité** des milieux naturels et anthropisés soumis à un ensemble de pressions simultanées (changement climatique, modification de la circulation marine, recrudescence des événements extrêmes, perte de biodiversité, dégradation rapide des sols, introduction massive d'espèces chimiques nocives, etc.). C'est la notion même d'**habitabilité** future des milieux, en particulier dans sa dimension qualitative, qui est au cœur des questionnements scientifiques mentionnés ici.

C'est ainsi dans un cadre planétaire et de coopération internationale que s'inscrit la définition d'une stratégie française en matière de sciences de l'environnement. Cette stratégie se décline autour du triptyque habitabilité/vulnérabilité/adaptabilité. Défi majeur, tant du point de vue de la science fondamentale que de ses applications, des **enjeux sociétaux** que de leurs **implications économiques**, le développement des sciences de l'environnement apparaît comme une priorité absolue pour la France.

Définir une stratégie nationale en matière de sciences de l'environnement vise donc essentiellement à :

² *Perspectives de l'environnement de l'OCDE à l'horizon 2030*, OCDE, 2008.

- comprendre, expérimenter et modéliser les processus qui régissent le fonctionnement physique, chimique et biologique des enveloppes superficielles de la planète Terre : biosphère, substrat géologique (lithosphère), océan et atmosphère, système naturel couplé où matière, énergie et êtres vivants interagissent les uns avec les autres ;
- comprendre, observer, modéliser et atténuer la réponse des systèmes à toutes les échelles (globales, régionales, locales) aux pressions humaines actuelles et passées exercées sur ces enveloppes et sur le fonctionnement des grands cycles biogéochimiques qui s'y déroulent, en identifiant leurs temps caractéristiques, ainsi que l'adaptation des systèmes humains à ces évolutions et à leur gouvernance ;
- comprendre, expérimenter et modéliser les activités humaines et leur impact sur les systèmes écologiques, en vue d'assurer un développement technologique compatible et adapté aux enjeux futurs.

1.2 Identification des composantes du défi

1.2.1 Un cadre politique :

Lancé en France en 2007, le *Grenelle de l'environnement* a révélé les attentes fortes de la société. Les recommandations adoptées par les cinq collèges qui représentaient l'État, les collectivités territoriales, les associations, les syndicats et les acteurs de l'économie, sont assorties d'un volet « recherche » et organisées autour de quatre composantes majeures en termes de politiques publiques :

- lutte contre le changement climatique ;
- préservation et gestion de la biodiversité et des milieux naturels ;
- préservation de la santé et de l'environnement, en stimulant l'économie ;
- instauration d'une démocratie écologique.

1.2.2 Une déclinaison scientifique et sociétale

Les pressions humaines sont multiformes et la réponse des systèmes peut s'exprimer plusieurs décennies, voire plusieurs siècles après leur manifestation, ce qui complique l'identification des causes et leur hiérarchisation. Ces pressions s'expriment *via* le changement climatique ou les altérations des milieux, les pollutions (locales ou diffuses), l'usage et les changements d'occupation des terres, la pression démographique et l'urbanisation croissantes (notamment sur les littoraux), la désertification, l'utilisation et parfois la surexploitation des ressources. Les impacts de ces changements ont des conséquences majeures sur :

- la qualité des milieux (eaux sols, atmosphère) et des écosystèmes où évoluent les communautés humaines et, plus largement, leur cadre de vie, avec les effets induits sur l'attractivité des territoires et les mouvements de populations ;
- la qualité et la quantité des ressources finies ; l'appel accru aux ressources doit s'appuyer sur une connaissance fine du fonctionnement instantané et de la dynamique, sur le long terme, du « système environnemental » dans sa complexité, en tenant compte de son couplage avec les aspects économiques, juridiques et sociétaux ;
- la santé humaine qui peut être conditionnée par la dégradation de l'environnement et des ressources naturelles ;
- le fonctionnement et la dynamique des sociétés humaines.

La compréhension des impacts environnementaux résultant des actions humaines se fonde sur

des analyses de systèmes complexes. Ces analyses nécessitent la coordination de nombreux champs disciplinaires de la biologie : écologie, physiologie, microbiologie, génomique, qu'il convient de mettre en synergie avec l'étude des composantes physiques, géophysiques, chimiques, biogéochimiques et géographiques des systèmes. Les dynamiques sociétales se situent au cœur de cette analyse : histoire de l'environnement et des pressions, évolution des milieux, des pratiques, des régulations juridiques et des institutions, perceptions de l'environnement et relations homme - milieu, économie. Cette approche doit permettre de comprendre le fonctionnement et la trajectoire temporelle des systèmes environnementaux, d'appréhender leur résilience, leurs réponses à des événements perturbateurs et leurs dynamiques d'ajustements.

Au-delà de l'analyse, du suivi sur le long terme, de la modélisation et de la prévision de l'évolution des systèmes complexes, la réflexion stratégique doit porter sur les méthodes d'évaluation, d'atténuation et de remédiation des impacts négatifs, ainsi que de valorisation de leurs éventuels changements favorables et donc, *in fine*, sur le bien-être humain. L'intégration de ces méthodes doit assurer la promotion d'une véritable action environnementale (ingénierie environnementale, écotecnologies, etc.) mobilisant les acteurs de la recherche et de l'innovation, toutes disciplines confondues.

1.2.3 Un engagement européen et international :

Ce défi renvoie à la prise de responsabilités de la France en Europe et dans le monde autour des grandes questions et grands enjeux de la planète : changement climatique, biodiversité, écosystèmes et ressources terrestres et marines, énergies renouvelables, développement des pays du Sud. L'engagement international de la France dans le domaine des politiques environnementales se traduit par son implication dans plus de 500 traités et accords internationaux, dont 323 possèdent un caractère régional.

2 CARACTERISATION ET ANALYSE DE LA SITUATION DE LA FRANCE SUR LE DEFI

2.1 Caractérisation de la position de la France sur ce défi

Le domaine des « sciences de l'environnement » est vaste, diversifié dans ses objets et disciplines et son périmètre fait parfois débat au sein même des communautés scientifiques concernées. On caractérisera le domaine de recherche en environnement selon trois axes complémentaires :

- le niveau d'activité scientifique mesuré par les publications et la présence dans les projets européens ;
- la situation en termes de grands équipements ;
- le fonctionnement de la programmation et la question organisationnelle.

Observons qu'on ne dispose pas d'éléments particuliers en termes de personnels et de ressources affectés au domaine ce qui entrave une analyse de fonds sur l'efficacité des politiques conduites. Les indicateurs présentés ci-après devront donc être affinés et ne peuvent à ce stade que donner des indications en ordre de grandeur et de tendances générales. Il est intéressant de noter que ces éléments sont convergents avec les informations éparses ou


observations qualitatives dont on dispose par ailleurs. L'analyse proposée procède par complémentarité entre indicateurs quantitatifs et dires d'experts³.

2.1.1 Indicateurs qualitatifs et quantitatifs ; comparaisons internationales

Niveau de production scientifique : analyse au regard des publications scientifiques

La « sous-discipline⁴ » *Environnement*, composée des « spécialités⁵ » *Environmental Sciences, Limnology, Water Resources, Environmental Engineering* constitue une première approche du domaine que l'on peut appeler « environnement au sens restreint ».

Indicateurs bibliométriques – la sous-discipline « sciences de l'environnement »
Environmental Sciences, Limnology, Water Resources, Environmental Engineering

Environnement										
	Part Monde (%)		Part dans UE (%)		Indice de spé / Monde		Indice de spé / UE		Indice d'impact relatif	
	2007	07 / 01	2007	07 / 01	2007	07 / 01	2007	07 / 01	2007	07 / 01
France	3,4	94	10,4	99	0,81	114	0,80	110	0,96	113
Allemagne	4,1	81	12,4	86	0,69	97	0,69	93	1,10	95
Royaume-Uni	5,2	70	15,9	74	0,86	86	0,86	83	1,18	102

données Thomson Reuters, traitements OST

OST – 2009

- « Δ 07/01 » : mesure de l'évolution de la valeur de l'indicateur entre 2007 et 2001 en base 100 pour 2001

La part mondiale des publications scientifiques de la France dans ce domaine est inférieure de 19 % à sa moyenne toutes disciplines confondues. Toutefois, cette part ne décroît que très légèrement (- 6 %) alors que la moyenne des parts mondiales pour l'ensemble des disciplines décroît de près de 20 % sur la période 2001 – 2007, ce qui montre une bonne dynamique relative de ce domaine pour la France. L'indice d'impact est, quant à lui, en évolution favorable (+ 13 %), bien qu'il soit encore sensiblement inférieur à celui du Royaume-Uni et de l'Allemagne.

La France demeure donc relativement peu présente en volume d'activité dans ce domaine, mais il existe, depuis quelques années, une résistance relativement satisfaisante en part mondiale de publications et une évolution favorable termes d'indice d'impact.

³ Compte tenu des observations qui précèdent, il est essentiel que soit lancé un travail d'analyse des ressources, des moyens et des productions, inséré dans un contexte international, en sorte de pouvoir disposer, lors des futurs exercices de SNRI, de diagnostics plus fiables et plus précis de la situation.

⁴ Au sens des nomenclatures de l'OST

⁵ Au sens des nomenclatures de la société Thomson Scientific, qui produit la base du Science Citation Index

Cette analyse recouvre cependant des disparités importantes en fonction des sous-disciplines du domaine « environnement » envisagé au sens large. Ainsi, si l'on examine la sous-discipline « Ecologie – Biologie marine », composée des spécialités *Biodiversity Conservation, Ecology, Entomology, Fisheries, Ornithology, Zoology, Marine & Freshwater Biology, Engineering - Ocean, Engineering – Marine*, la part mondiale de la France est inférieure de 23 % à sa moyenne toutes disciplines confondues. De plus, contrairement au domaine « sciences de l'environnement » examiné ci-dessus, elle régresse plus rapidement que la moyenne de la recherche française (- 21 % en 6 ans). Cette situation est imputable à des orientations anciennes qui accordaient une faible priorité aux approches holistiques et systémiques (plante, animal, écosystème) en biologie, dont les répercussions se font encore sentir aujourd'hui.

En revanche, l'examen de la sous-discipline « Géosciences », dont les spécialités sont *Geochemistry & Geophysics, Geography – Physical, Geology, Geosciences, Multidisciplinary, Meteorology & Atmospheric Sciences, Oceanography, Paleontology, Remote Sensing, Imaging Science & Photographic Technology* - et qui ne relève que partiellement du domaine de l'environnement -, témoigne d'une présence forte de la France dans la mesure où sa part mondiale y est supérieure de 28 % à sa moyenne toutes disciplines confondues. Notons par ailleurs que ce chiffre est en croissance : il s'agit là d'un domaine d'excellence de la France. L'attention plus importante apportée depuis plusieurs années aux thématiques de l'environnement dans le domaine des géosciences est de nature à renforcer très significativement le positionnement international de la France dans ce domaine.

Niveau de production scientifique : analyse au regard de la participation aux programmes communautaires

S'agissant du domaine « environnement » du 7^e PCRDT, la France n'arrive qu'en 4^{ème} position en nombre de coordination de projets (derrière l'Allemagne, le Royaume-Uni et les Pays-Bas), et en nombre de participations à des projets (derrière l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie)⁶. En nombre de participation, la France n'était dépassée que par l'Allemagne et le Royaume-Uni lors du 6^e PCRD ; l'évolution constatée pourrait tenir à la concurrence entre les appels à projets émanant de la Commission européenne et ceux émanant de l'ANR.

Situation en matière de grands équipements

La France rédigé une feuille de route des très grandes infrastructures de recherche dans le domaine de l'environnement dont la plupart ont été introduites dans la feuille de route européenne ESFRI⁷.

Fonctionnement de la programmation

L'élaboration des priorités scientifiques et l'allocation de ressources aux équipes qui relèvent du domaine des sciences de l'environnement (postes, financements, labellisations, accès à des infrastructures, etc.) relèvent de sources multiples : PCRDT, ANR, MEEDAT, organismes de recherche intervenant dans ce domaine, ainsi que nombreuses entités régionales. La fonction de programmation est donc excessivement fragmentée en France, ce qui conduit à un déficit

⁶ Source : données commission européenne, traitement ANRT.

⁷ ICOS, IAGOS-ERI, EMSO, EUFAR/COPAL, EURO-ARGO LIFEWATCH EMBRC EISCAT-3D SIAEOS KM3NET EPOS ECCSEL, voir : <http://www.roadmaptgi.fr/index.html>

de coordination que l'on retrouve également au niveau du financement et de l'utilisation des infrastructures de recherche.

2.1.2 La politique nationale et communautaire sur ce défi

D'un point de vue budgétaire, le projet annuel de performances 2009 du programme 187 *Recherche dans le domaine de la gestion des milieux et des ressources* de la mission interministérielle concernée vise à répondre aux enjeux sociétaux et économiques en matière de gestion durable aux différentes échelles, du niveau local au niveau planétaire. Les opérateurs du programme ont notamment pour mission de contribuer au succès des secteurs socio-économiques qui lui sont attachés et qui sont majeurs pour la France (productions énergétiques et minérales, agricoles et alimentaires, tourisme, eau et environnement), au développement du tissu économique et social, ainsi qu'au développement de secteurs à fort potentiel comme l'aquaculture et les énergies renouvelables issues du sous-sol (géothermie), de la mer et de l'agriculture. Un comité opérationnel spécifique à la recherche a par ailleurs été mis en place dans le cadre du *Grenelle de l'environnement*. Ses recommandations concernent aussi bien la production de connaissances que leur transfert vers des applications technologiques.

La politique nationale s'exprime ainsi en termes de domaines auxquels la recherche française consacre des moyens significatifs et dans lesquels elle a obtenu des positions fortes et reconnues. Les actions correspondantes figurent dans les schémas stratégiques et les contrats d'objectifs de divers organismes de recherche et agences de moyens. Sept domaines ont ainsi été identifiés :

- **Les changements environnementaux planétaires**

Ce domaine concerne le changement climatique (anthropique et naturel – climat présent et passé), la dynamique des circulations océaniques, y compris à très haute résolution, en relation avec les circulations atmosphériques. Ce domaine mobilise de manière intensive des moyens de calcul, des grandes infrastructures de recherche, ainsi que des outils spatiaux adaptés et innovants, en collaboration avec les agences spatiales.

Aux échelles plus locales, les recherches menées sur les prévisions climatiques et météorologiques font souvent le lien avec l'étude des aléas naturels hydrométéorologiques dont la relation avec le changement climatique est un sujet scientifique et sociétal central.

- **La chimie de l'atmosphère et de la qualité de l'air**

La communauté est bien structurée, en relation directe avec les besoins de l'étude du changement climatique, du développement urbain et de ses nécessités d'adaptation.

- **Les géosciences**

Elles sont indispensables à la connaissance de la planète et la France y maintient une position d'excellence. Ces recherches se déclinent également, à une échelle moins globale, en études des différents aléas géologiques (volcanologie, sismologie, tsunamis, aléas gravitaires) et de leur prévention/prévision. Cela concerne également tous les aspects de l'étude des paléo-environnements dans lesquels la France occupe une place de choix.

- **La biodiversité et la durabilité des ressources naturelles**

Il s'agit d'étudier leur disponibilité et leur gestion, sous l'impact des activités humaines et du changement global. Cela renvoie à un grand nombre de thèmes traités selon le type de ressources (comme les eaux et les sols) et le type de milieux naturels (anthropisés - terrestres, aquatiques, marins, côtiers). L'étude des dynamiques de fonctionnement des systèmes écologiques anthropisés et de la biodiversité mobilise également plusieurs organismes, y compris lorsqu'il s'agit du fonctionnement des agrosystèmes et des milieux marins, dont les

fonctions productives s'étudient, de plus en plus, en termes d'intensification écologique pour être durables. Les positions françaises en agronomie et recherches sur la production agricole au sens large sont très puissantes nationalement et internationalement.

- **La pollution des écosystèmes et les éco-procédés**

Les conséquences des activités anthropiques sur l'environnement ne s'étudient pas seulement en termes de changement global, mais également de pollution des écosystèmes par toutes les substances (bio-physico-chimiques) issues des concentrations urbaines, des procédés industriels et des pratiques agricoles. Il s'agit à la fois de comprendre les processus de transfert des contaminants dans l'environnement, de comprendre et de prédire leurs effets sur l'environnement et la santé humaine. Notons à cet égard que l'écotoxicologie et la toxicologie environnementale sont des thématiques trop morcelées et trop peu structurées pour que la France puisse prétendre à une position forte dans le secteur.

Des recherches sont menées dans les domaines des procédés industriels complexes, des pratiques agricoles et des éco-procédés pour réduire à la source les pollutions et/ou décontaminer les milieux impactés. De même, sont abordées les questions de dépollution des eaux et de la gestion et du traitement des déchets. Le secteur des risques industriels est également important car il représente une source d'impacts significatifs pour l'homme et son environnement. Le développement des protections nécessaires mobilise également la recherche.

- **Les interactions entre « santé » et « environnement »**

Dans le domaine de la santé et plus particulièrement des maladies émergentes et infectieuses directement liées aux évolutions environnementales des recherches sont conduites et contribuent au thème plus global « santé et environnement » dont l'émergence, en tant que question sociétale majeure, mobilisera nécessairement le dispositif de recherche, bien au-delà de ses ressources actuelles.

- **Les interactions entre « dynamiques sociales » et « dynamiques naturelles »**

D'une manière générale, les recherches pour l'environnement prennent de plus en plus en compte les dynamiques sociales et leurs expressions en termes de politiques publiques dédiées à la gestion des ressources, des milieux, des pratiques de production et de consommation et de leur acceptabilité. Les interactions entre « dynamiques sociales » et « dynamiques naturelles », qui expriment la véritable complexité environnementale, s'étudient de plus en plus de manière couplée, en particulier dans leurs manifestations les plus visibles (migrations internationales, lutte contre la pauvreté et pour le développement), mais ne représentent encore qu'une faible part des ressources engagées par le dispositif français de recherche qui ne se mobilise collectivement que depuis peu en matière de recherche sur les systèmes complexes.

Cette politique nationale s'inscrit naturellement dans le cadre européen. Les opérateurs de recherche de notre pays apportent un appui scientifique significatif pour la mise en œuvre des politiques communautaires : directive-cadre sur l'eau et future stratégie marine européenne, politique agricole commune, réglementation sur l'évaluation et l'enregistrement des substances chimiques (REACH). Ils sont également impliqués dans des programmes de recherche environnementale d'envergure européenne : le programme *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) de l'Union européenne et de l'ESA, les travaux menés dans le cadre d'Eumetsat, de l'ESA, etc. La communauté de recherche française est également force de proposition pour l'organisation de missions spatiales dédiées à l'environnement et aux changements globaux (niveau des océans, nuages et aérosols, imagerie des surfaces, etc.) dans un contexte national, européen et international.

2.2 Synthèse de la situation française

Forces	Faiblesses
<ul style="list-style-type: none"> • Domaines de recherche où la part mondiale de publications de la France croît plus vite que sa moyenne nationale et que la moyenne européenne. • Indice d'impact relatif des publications françaises plutôt bon et en croissance. • Fortes positions dans les Géosciences, allant de pair avec une structuration forte du domaine. • Rôle européen et international de la France dans les infrastructures de recherche (satellites, navires, etc.). • Existence de grands groupes industriels dans le domaine. 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume d'activité scientifique sensiblement inférieur à la moyenne nationale dans le domaine « environnement au sens restreint » et « écologie – biologie marine ». • Faiblesse en écotoxicologie. • Insuffisante structuration et coordination des moyens d'observation et d'expérimentation de longue durée pour la recherche en environnement. • Insuffisance du couplage « recherche publique – recherche privée ». • Difficultés en matière d'interdisciplinarité, notamment avec les sciences humaines et sociales. • Manque de coordination entre les acteurs de la programmation.

Menaces	Opportunités
<ul style="list-style-type: none"> • Complexité et variabilité des systèmes étudiés qui rendent les avancées difficiles. • Risques de décalages entre les attentes des citoyens et la lenteur des résultats, tant scientifiques qu'opérationnels. • Enjeux socio-politiques majeurs, avec des irréversibilités possibles, face à des connaissances scientifiques longues à valider au plan international. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demande sociale extrêmement forte et prise de conscience politique au plan national, européen et international. • Domaine à fort potentiel d'innovation dans les biens collectifs et les équipements où la France possède de solides atouts. Lesquels ? • Progrès en matière de technologies d'observation et de mesure. • Normes européennes très exigeantes donnant un point d'appui et des marchés à l'innovation. • Présence des DOM-TOM, qui engagent à une responsabilité spécifique en matière d'environnement et offrent une opportunité particulière en matière de terrains de recherche et de capacités de collaborations internationales. • Construction de l'EER, qui devrait permettre à la France de prendre des initiatives de grande ampleur en partenariat avec certains pays européens possédant des positions de <i>leader</i> mondial, au moins dans certains segments. • Participation aux initiatives GMES, GEOSS

3 L'ANALYSE STRATEGIQUE ET LES ORIENTATIONS POUR L'ACTION

3.1 Trois orientations majeures qu'il convient de développer

Au-delà des domaines actuellement pris en compte de manière satisfaisante par les différents acteurs de la recherche française, trois orientations doivent être l'objet de développements particuliers.

3.1.1 Comprendre le passé et observer le présent pour aborder le futur dans des conditions satisfaisantes (management des connaissances)

L'enjeu est d'analyser l'évolution des systèmes environnementaux, naturelle ou en interactions avec le développement des sociétés humaines, et de comprendre les évolutions historiques, actuelles et futures. Pour cela, il convient de mobiliser une capacité scientifique interdisciplinaire et pluri-organismes, disposant d'informations historiques numérisées et exploitables et d'entretenir, dans la durée et de façon homogène, des systèmes interconnectés d'acquisition et d'exploitation de données numérisées et standardisées (observation, mesure, expérimentation).

Action 1 : Promouvoir une recherche et une politique scientifique interdisciplinaire, centrée sur l'étude des évolutions des systèmes environnementaux à l'échelle des derniers siècles⁸, afin de mobiliser de manière plus systématique et mieux structurée des spécialistes de sociologie, d'histoire, d'économie, de droit et de sciences politiques, actuellement trop rares sur ces thématiques.

Action 2 : Structurer, harmoniser et pérenniser une infrastructure nationale de systèmes d'observation, d'expérimentation au long terme et de gestion des données. Conçu en vue de s'insérer à terme dans un cadre international (GMES-GEOSS), il s'agirait de sécuriser sur le long terme et de professionnaliser un dispositif cohérent, complet et standardisé, d'assurer l'archivage et la préservation des chroniques sur l'état et le fonctionnement des systèmes environnementaux, dans des conditions garantissant les plus hautes exigences scientifiques. Le principe d'un label unique, dans le cadre d'une gouvernance pluri-organismes, pilotant l'ensemble des moyens sols, aéroportés, maritimes, ou spatiaux, doit être recherché.

3.1.2 Modéliser les interactions systémiques et évaluer leurs réponses aux altérations pour anticiper et maîtriser les risques

L'enjeu est d'anticiper, soit pour s'y préparer, soit pour les éviter, les aléas naturels ainsi que les altérations résultant des interventions grandissantes de l'homme dans l'environnement, en maîtrisant les risques inhérents au développement économique et social des sociétés.

Cela suppose le développement d'une approche systémique, intégrant l'ensemble des disciplines nécessaires à la compréhension de la complexité des systèmes environnementaux et de leurs interactions avec les sociétés. Il convient de renforcer notre compréhension et notre capacité à évaluer les réponses des systèmes biologiques aux pressions toxiques, d'analyser leur capacité de résilience et de développer les processus de prévention et/ou d'adaptation idoines. Quatre actions sont proposées dans ce cadre.

⁸ La connaissance du fonctionnement passé des climats et écosystèmes **sur une échelle de temps longue**, dépassant celle des enregistrements instrumentaux est également fondamentale, ces recherches font partie, comme on l'a vu plus haut, des priorités affichées par certains organismes et doivent être encouragées.

Action 3 : Développer une approche systémique construite sur une définition partagée des systèmes environnementaux, structurée autour de disciplines d'intégration (écologie, étude des systèmes couplés homme-environnements, modélisation et analyse des systèmes complexes, géographie et information environnementales), pour permettre de comprendre et de modéliser la complexité des interactions dynamiques entre les systèmes et les processus qui régissent le fonctionnement physique, chimique, biologique, économique et social de la planète. Ceci doit conduire à un engagement dans le domaine des sciences et des technologies nécessaires au développement des capacités de modélisation et d'analyse numérique indispensables⁹.

Action 4 : Dans ce cadre, il conviendrait en particulier de développer l'étude du fonctionnement couplé et spatialisé des cycles biogéochimiques en mettant l'accent sur les interactions entre eux, leurs interactions avec les contaminants ainsi qu'avec les écosystèmes et les sociétés.

Action 5 : Comblent le déficit de compétences et de formations supérieures en écotoxicologie et encourager le développement de recherches pluridisciplinaires associant l'étude du devenir des contaminants au sein des écosystèmes et hydrosystèmes naturels et anthropisés, à celles des transferts vers les êtres vivants et des perturbations structurales et fonctionnelles engendrées sur les différents niveaux d'organisation biologique.

Action 6 : Promouvoir la caractérisation des nouveaux risques (nature, dangerosité, probabilité d'occurrence et d'évolution), liés à la conjonction des aléas naturels et des interventions grandissantes de l'homme dans l'environnement et l'analyse de la capacité de résilience des systèmes environnementaux. Développer une véritable culture de la sécurité, et donc de la gestion du risque. Développer les outils et les compétences nécessaires aux sociétés humaines pour limiter les dégâts, développer la prévention et l'adaptation.

3.1.3 Construire les bases scientifiques et techniques des innovations permettant un développement humain éco-responsable

Il convient pour cela d'imaginer de nouvelles voies pour gérer notre évolution sur la planète. Il s'agit de concevoir notre développement, nos systèmes de production et nos modes de vie, en prenant en compte la limitation de nos ressources naturelles, ainsi que leur impact immédiat ou différé sur l'environnement, le tout à un coût adapté aux capacités des sociétés. Un verrou réside dans le fait que les valeurs « environnement » ne sont pas encore des grandeurs économiques mesurables et partagées par tous, de sorte qu'elles peinent à devenir de véritables critères de performance. C'est à l'atteinte de cet objectif qu'il convient de s'employer. Pour cela, il est nécessaire de rechercher et d'inventer de nouveaux concepts en matière de modèles économiques, de régulations juridiques, d'économie de fonctionnalité, d'écosystèmes de production, industriels ou agricoles. Ces nouvelles solutions éco-responsables seront mises en œuvre par les développements des nouvelles technologies nécessaires.

Action 7 : Encourager fortement l'émergence d'une nouvelle ingénierie éco-responsable, qui doit faire converger l'ensemble des disciplines pour proposer des systèmes et organisations alternatifs. Elle doit intégrer le principe d'un usage optimisé et raisonné des ressources naturelles, tant dans la conception et la production, que dans l'organisation et l'usage des territoires. Une priorité est d'encourager la conception des procédés et des (éco) systèmes de production du futur, moins consommateurs d'espace, d'énergie et de ressources naturelles non renouvelables, à la fois dans les domaines industriels et agricoles.

⁹ Cf. défi « le numérique, le calcul intensif, les mathématiques ».

Action 8 : Investir fermement et durablement pour favoriser l'émergence des innovations, des technologies et des matériaux qui seront nécessaires à la mise en œuvre des nouvelles solutions éco-responsables qui auront été conçues. Quatre grands domaines semblent devoir faire l'objet d'un soutien déterminé :

- Efficacité énergétique et environnementale du développement humain (agriculture, transports, bâtiments, urbanisation, NTIC, communications...)
- « Décarbonation » : Solutions énergétiques innovantes, transports innovants
- Préservation des ressources naturelles : agro-matières premières, bio-ressources renouvelable), dépollution, recyclage...
- Maîtrise des risques : pollutions, risques naturels (telluriques, climatiques, pandémies, risques sociaux).

3.2 Mise en place d'une coordination nationale des acteurs de la programmation de la recherche

S'il est indéniable que la France possède de nombreux atouts au plan académique et une reconnaissance internationale certaine en matière de recherche et d'innovation dans le domaine des sciences de l'environnement, il n'en demeure pas moins qu'un déficit de structuration nationale en limite l'efficacité.

L'histoire des recherches sur l'environnement fait en effet partie de notre passé scientifique national récent, au moins du point de vue institutionnel. Elle a été inspirée par des travaux en sciences de la vie et en géosciences dès les années 1970, les scientifiques ayant commencé à s'interroger dans les années 1960. En outre, des institutions internationales sont, depuis de nombreuses années, très actives dans le domaine de la protection de la nature et du développement durable, et les Unions scientifiques internationales élaborent également des programmes de recherche sur l'environnement.

Pour esquisser le panorama de l'implication actuelle des organismes de recherche français (EPST, EPIC, EPA), il est nécessaire de définir le périmètre respectif de chacune des thématiques concernées, et d'établir un relevé des documents de référence qui alimentent leurs actions. Le périmètre du défi « Sciences de l'environnement » est celui présenté en introduction de ce chapitre. L'enjeu est de contribuer à la résolution des défis sociétaux et économiques identifiés comme majeurs par le comité de pilotage de l'exercice d'élaboration d'une stratégie nationale en matière de recherche et d'innovation. Le domaine des sciences de l'environnement se définit à la fois en termes de connaissance des processus qui régissent le fonctionnement (physique, chimique, biologique) de la planète Terre, de compréhension de leurs réponses aux pressions humaines et de l'adaptation des systèmes humains à leurs évolutions.

Les documents de référence mobilisés sont les plans stratégiques et les contrats d'objectifs que les organismes signent avec leurs tutelles et, en particulier, le ministère chargé de la recherche. Les éléments d'analyse que l'on retire du croisement entre ces documents à caractère stratégique et le périmètre scientifique retenu permettent de définir les domaines principaux de la stratégie des organismes de recherche relevant des sciences de l'environnement dans lesquels ils consacrent des moyens significatifs et ont obtenu des positions fortes et largement reconnues aux plans national et international (cf. paragraphe 2.1.2).

Au-delà des thématiques « environnementales », il existe des éléments stratégiques communs à la plupart des acteurs engagés dans des recherches pour l'environnement :

- la mise en place, le développement et la gestion pérenne d'observatoires de mesures et d'expérimentations sans lesquels aucune recherche pour l'environnement n'est pertinente ;
- la gestion de données et d'informations de toute nature issues des dispositifs de mesure, d'expérimentation, d'enquêtes, etc. interopérables et, si possible, mutualisées ;
- le besoin d'une réflexion collective sur l'interdisciplinarité qui constitue le fondement même de l'analyse pertinente de la complexité environnementale, inséparable de l'analyse disciplinaire initiale des processus élémentaires et des grands cycles biogéochimiques.

Ces éléments sont pris en compte dans les plans stratégiques des organismes de recherche, mais sont difficiles à mettre en œuvre, et suffisent à justifier la mise en place d'une coordination nationale des organismes dans le domaine de l'environnement. C'est le sens de l'évolution organisationnelle proposée.

Action 9 : Mettre en place une coordination nationale des organismes et des agences impliqués en sciences de l'environnement (recherche, formation, innovation), contribuant à la structuration des communautés, organisant des prospectives scientifiques, implémentant la stratégie de recherche proposée ici, assurant le maintien et la valorisation des très grandes infrastructures de recherche nécessaires, promouvant des interactions soutenues avec les gestionnaires publics et privés de l'environnement, tout en garantissant l'espace de créativité consubstantielle à l'activité de recherche.

Annexe - Composition du groupe de travail

Animateur du groupe :

Pascale DELECLUSE, directrice adjointe de la recherche, Météo France

Membres du groupe :

Anne ALEXANDRE, Chargé de recherche, université Aix-Marseille III

Marc BEAUDROIT, ministère de l'Intérieur

Gilles BERGAMETTI, directeur de recherche, CNRS

Alain BOUGRAIN-DUBOURG, président, Ligue de protection des oiseaux

Philippe BRUEL, directeur général de IOSIS Holding, IOSIS Industrie

Pierre CAUSSADE, directeur qualité, environnement et développement durable, Air France-KLM

Christophe CHEVILLION, directeur général, ENVIRONNEMENT SA

Philippe DAVY, directeur de recherche, CNRS

Henri de CASTRIES, président du directoire, AXA

Paul Joël DERIAN, directeur Recherche & Développement, Rhodia

Jean-Luc DEVENON, Conseiller scientifique, IFREMER

Michel DUTANG, directeur Recherche & Développement, VEOLIA-ENVIRONNEMENT

Ivan FAUCHEUX, ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi

Christian FOUILLAC, Ingénieur de recherche, BRGM

Sébastien GENEST, président, France Nature Environnement

Elisabeth GIBERT-BRUNET, ministère de la Défense

Didier GROSDÉMANGE, directeur de In vivo environnement, pôle de compétitivité mer Bretagne

Nordine HACHEMI, président-directeur général, SECHILIENNE-SIDEC

Claude HENRI, professeur, Ecole Polytechnique

Dominique HERIARD-DUBREUIL, présidente du conseil d'administration, REMY COINTREAU

Michael HOCHBERG, directeur de recherche, CNRS

Claire HUBERT, ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Anne LARIGAUDERIE, directrice exécutive, DIVERSITAS

Sandra LAVOREL, directrice de recherche, université de Grenoble I

François LETOURNEUX, président du comité français, Union internationale de conservation de la nature

André MARIOTTI, DGRI ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

Gilles MARTIN, professeur, université Nice

Thierry MEUNIER, directeur eaux et procédés, SECHE ENVIRONNEMENT

Jean-François MINSTER, directeur scientifique, TOTAL
Alain PESSON, ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi
Hervé PIEGAY, directeur de recherche, CNRS
Claudine SCHMIDT-LAINE, directeur de recherche, CEMAGREF/CNRS
Pierre SOLER, directeur de recherche, IRD
Pierre STENGEL, directeur de recherche, INRA
Jean-François STEPHAN, DGRI ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
Pascale ULTRE GERARD, Chef service Observation de la Terre, CNES
Jean-Marc USSEGLIO, directeur général adjoint, SOGREAH
Elisabeth VERGES, directeur de recherche, CNRS/université d'Orléans
Eric VINCENT, directeur, GDF-SUEZ