

Vie de la recherche

Bilan et enjeux du programme interdisciplinaire Ingeco du CNRS (2007-2011) : un tournant pour l'ingénierie écologique en France ?

Luc Abbadie¹, Catherine Bastien-Ventura², Nathalie Frascaria-Lacoste³

¹ Écologue, Université Pierre-et-Marie-Curie, UMR 7618 Institut d'écologie et des sciences de l'environnement de Paris (IEES Paris), 75005 Paris, France

² Toxicologue, Responsable de coopération États-Unis, Canada et Océanie, CNRS, DERCI, 75016 Paris, France

³ Écologue, AgroParisTech, UMR 8079 Laboratoire Écologie, systématique, évolution (AgroParisTech, CNRS, Université Paris Sud), 91405, Orsay, France

Mots-clés :
programme
interdisciplinaire ;
CNRS ; Irstea ;
ingénierie écologique ;
interdisciplinarité

Résumé – Nous présentons un bilan du Programme interdisciplinaire de recherche (PIR) « Ingénierie écologique » (Ingeco, CNRS/Irstea). Nous montrons la contribution de ce programme à l'émergence et à la structuration d'une réelle communauté française de recherche sur l'ingénierie écologique.

Keywords:
CNRS; Irstea;
interdisciplinary
program; ecological
engineering;
interdisciplinarity

Abstract – Overview and stakes for the “Ecological Engineering” Interdisciplinary Program (Ingeco, CNRS/Irstea): a turning point for the ecological engineering in France? We present here an overview of the “Ecological Engineering” Interdisciplinary Program (Ingeco, CNRS/Irstea). We show how this program had contributed to the structuration and the emergence of a real ecological engineering French community.

Le Programme interdisciplinaire de recherche (PIR) « Ingénierie écologique » (Ingeco) trouve son origine en 2006 suite aux convictions et constats partagés par les membres de la direction du tout nouveau département Environnement et développement durable (EDD) du CNRS, créé et dirigé par Bernard Delay¹ : convictions de l'imminence de l'expansion rapide de l'ingénierie écologique opérationnelle en France et dans le monde en raison de la dégradation de plus en plus indiscutable de la qualité de l'environnement, et en raison des lois, règlements et accords en tout genre qui en résultent ; constats des fantastiques progrès accomplis par l'écologie ces

deux ou trois dernières décennies, conférant de fait à cette discipline scientifique la maturité conceptuelle nécessaire pour envisager l'action ; constats aussi d'une absence presque totale de la communauté des écologues et des chercheurs relevant de ce que les Américains appellent les sciences alliées (science du sol, science de l'eau) dans les processus d'innovation en ingénierie écologique, à l'exception des biologistes de la conservation et de la restauration. L'enjeu était donc de mettre les chercheurs, en particulier ceux des laboratoires du CNRS, en situation de bénéficier des retombées du développement de l'ingénierie écologique et de contribuer au renouvellement des

Auteur correspondant : L. Abbadie, luc.abbadie@upmc.fr

¹ Voir à ce sujet l'entretien accordé par Bernard Delay à NSS : Delay, B., Billaud, J.-P., Terrasson, D., 2007. Bernard Delay, au cœur d'un événement majeur : la création du département Environnement et développement durable au CNRS, propos recueillis par Jean-Paul Billaud et Daniel Terrasson, *Natures Sciences Sociétés*, 15, 3, 295-301, DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/nss:2007065>.

pratiques d'ingénierie écologique, encore très ancrées dans l'empirisme.

Le PIR n'est toutefois pas parti de rien. Il s'est au contraire inscrit dans une démarche engagée en 1995 par le ministère de l'Environnement avec son appel à projets « Recréer la nature² », suivie par les réflexions proposées par le comité « Ingénierie des systèmes écologiques » de l'Action concertée incitative du ministère de la Recherche « Écologie quantitative », ainsi que par le séminaire « Ingénierie écologique » du programme « Environnement, vie et sociétés » du CNRS, sans oublier les travaux menés sur les milieux aquatiques par le Cemagref (devenu aujourd'hui l'Irstea). Ingeco a été une des expressions de la priorité environnement du CNRS et de la politique scientifique de son département Environnement et développement durable (actuellement Institut Écologie et environnement, INEE) dont la raison d'être est l'accroissement de l'effort de recherche en écologie et sciences de l'environnement au service, entre autres, du développement durable. Une mission essentielle de cet institut est la valorisation de la recherche avec le monde socio-économique afin de contribuer à la construction de nouvelles trajectoires de développement. Le Cemagref/Irstea a rejoint Ingeco en 2008, ce qui a permis d'assurer une meilleure liaison entre la recherche en ingénierie écologique et l'ingénierie écologique opérationnelle. Le Cemagref/Irstea a aussi participé au financement des équipes.

Contexte

La croissance rapide de l'ingénierie écologique opérationnelle en Amérique du Nord et dans certains pays nord-européens s'explique évidemment par l'émergence de problèmes environnementaux locaux et globaux multiples, la crise de l'énergie, le mouvement culturel vers une réconciliation avec la nature mais aussi, et surtout, par la dynamique législative et réglementaire dans le domaine de l'environnement. Le *Clean water act* aux États-Unis, la directive-cadre sur la qualité écologique des eaux en Europe, les projets français de mécanisme « compensatoire » sur la biodiversité, la nouvelle politique agricole commune... créent à l'évidence une forte demande d'innovation conceptuelle et opérationnelle en ingénierie des systèmes écologiques. La recherche en ingénierie écologique a été longtemps portée par les communautés scientifiques anglo-saxonnes, même si l'Inde et certains pays d'Europe du Nord se sont dotés de communautés de chercheurs dans les années 1990. Le dynamisme international de l'ingénierie écologique se

manifeste à travers des revues de haut niveau parmi lesquelles il faut citer *Ecological Engineering*, *Restoration Ecology*, *Ecological Restoration*, *Conservation Biology*. La création de l'Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES³) à Bonn en janvier 2013 rend encore plus pressante la nécessité de développer la recherche partout dans le monde, non seulement autour des services écosystémiques, vision anthropocentrée du fonctionnement des écosystèmes, mais également sur la valeur intrinsèque de la biodiversité et des écosystèmes. L'ingénierie écologique va sans aucun doute au-delà d'une logique de réparation, de restauration et de compensation, elle propose une démarche et des outils concrets pour concevoir une véritable coévolution entre les humains et les non-humains.

Objectifs et attendus

La structuration du PIR Ingeco a découlé assez largement de la première édition des entretiens de Cargèse⁴, consacrés à l'ingénierie écologique en novembre 2006, puis d'une école thématique « L'ingénierie écologique : des concepts aux perspectives pour la recherche⁵ », à Cargèse également, en avril 2007. Ces deux manifestations ont permis de sensibiliser un groupe de personnes aux concepts et approches spécifiques à l'ingénierie écologique, groupe qui a constitué de fait une sorte de noyau dur autour duquel s'est construit le programme Ingeco.

L'objectif général de ce programme était de repérer et d'organiser une communauté scientifique pluridisciplinaire capable d'anticiper une nouvelle et forte demande d'innovation en ingénierie écologique, attendue en raison de la mise en place prévisible d'un contexte législatif et réglementaire porteur en France, en Europe et au niveau international. L'enjeu était de signaler une nouvelle légitimité sociale de la recherche, de faire bénéficier le système de recherche de nouvelles sources de financements, de valoriser concrètement les résultats de la recherche fondamentale, de mettre les doctorants et post-doctorants des laboratoires en situation de profiter d'un marché de l'emploi en émergence.

³ Voir notamment au sujet de l'IPBES, le texte dans NSS : Pesche, D., Oubenal, M., Vandeveld, J.-C., Hrabanski, M., 2014. Le « consensus d'Antalya » : les avancées de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), *Natures Sciences Sociétés*, 22, 240-246, DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/nss/2014040>.

⁴ Les entretiens de Cargèse (Corse) sont un outil de prospective du département Environnement et développement durable du CNRS, puis de l'INEE : <http://www.cnrs.fr/inee/recherche/prospectivEdC.htm>.

⁵ <http://www.cnrs.fr/inee/recherche/formation.htm>.

² Les débuts de ce programme se sont traduits par un numéro spécial de NSS en 1995 : Lecomte, J., Legay, J.-M., Barre, V., Berlan-Darqué, M. (Eds), 1995. Recréer la nature, *Natures Sciences Sociétés*, Hors-série, 3.

Sur un plan plus strictement scientifique, le programme interdisciplinaire « Ingénierie écologique » avait pour objectifs :

- la structuration d’une communauté scientifique pluridisciplinaire en ingénierie écologique au sein du CNRS et des organismes de recherche et établissements d’enseignement associés ;
- la stimulation de la recherche et de l’innovation amont en ingénierie écologique ;
- le renforcement des liens entre la recherche en écologie et sciences de l’environnement et les pratiques d’ingénierie écologique ;
- l’insertion dans l’ingénierie écologique opérationnelle des avancées les plus récentes de la recherche, c’est-à-dire la conception d’une ingénierie ancrée dans le dialogue entre la théorie et les savoirs empiriques ;
- la rationalisation des pratiques d’ingénierie écologique, l’amélioration des prédictions à long terme de la dynamique des systèmes sur lesquels intervient l’ingénieur, la proposition de méthodes validées de gestion des services écosystémiques et des ressources naturelles ;
- l’explicitation des enjeux éthiques, juridiques et économiques de l’ingénierie écologique, ainsi que du cadre social et politique de ce nouveau secteur d’activités ;
- la liaison de l’ingénierie écologique à l’ingénierie en général, c’est-à-dire la conception de démarches et de processus liant biologie et technologie.

Enjeu scientifique interdisciplinaire

La définition de l’ingénierie écologique choisie lors du démarrage du programme était volontairement large afin de favoriser autant que possible des projets de recherche pluri- et interdisciplinaires. Dans le premier appel d’offres, en 2007, l’ingénierie écologique était définie de deux manières. Au sens strict, elle correspondait « à 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, elle désignait « 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, structures hétérogènes, résilience, par exemple) ».

Afin d’interpeller la communauté scientifique la plus large possible, le texte de l’appel d’offres précisait les grands objectifs dans lesquels les projets de recherche pouvaient s’inscrire, à savoir : la réhabilitation d’écosystèmes dégradés, la restauration de communautés fonctionnelles, la réintroduction d’espèces ; la création de nouveaux écosystèmes durables ayant une valeur pour l’homme et pour la biosphère (repris de la définition de l’ingénierie écologique donnée par Mitsch et Jørgensen

en 2003⁶) ; la mise au point d’outils biologiques pour résoudre des problèmes de pollution, rétablir ou maximiser un service écosystémique ; l’amélioration des approches et outils des sciences et techniques de l’ingénieur orientées vers le développement durable en matière d’efficacité énergétique, d’évaluation des ressources par l’instrumentation des milieux, de conception de matériaux nouveaux qui minimisent la destruction de l’environnement.

Champs d’application

Le programme visait le financement d’actions de recherche impliquant un nombre limité d’équipes de disciplines différentes. Les projets pouvaient être menés dans des contextes français, européens ou étrangers. Six types d’actions de recherche étaient éligibles :

- Des projets de recherche amont sur les structures et les processus permettant de mieux gérer le vivant et son environnement. Les projets pouvaient reposer sur l’expérimentation de laboratoire ou de terrain, ou sur la modélisation.
- Des expériences « en situation » sur les populations et les communautés en vue de la modification de la structure et du fonctionnement de l’environnement et des services écosystémiques associés, et traduction des résultats obtenus en principes d’action.
- De la recherche exploratoire sur de nouvelles sources d’énergie, sur les matériaux « verts », sur les nouveaux outils d’exploitation et de régénération des ressources et, d’une manière plus générale, sur les technologies du développement durable.
- La conception de prototypes expérimentaux d’ingénierie de l’environnement, associant éventuellement des approches technologiques à des approches d’ingénierie écologique, ainsi que l’étude des conditions de leur mise en œuvre.
- Des projets de recherche plus spécifiquement orientés sur les dimensions sociales, économiques, juridiques et éthiques de l’ingénierie écologique, questionnant par exemple les conditions d’émergence d’un secteur marchand d’ingénierie écologique, l’histoire de l’ingénierie écologique et de ses rapports avec la perception de la nature et de l’environnement, etc.
- La mise en place ou le confortement de réseaux de chercheurs et/ou de praticiens en ingénierie écologique.

Organisation

Le programme Ingeco était doté d’un comité de pilotage où étaient représentés la plupart des instituts du

⁶ Mitsch, W.J., Jørgensen, S.V., 2003. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*, Hoboken, John Wiley & Sons.

CNRS et certains programmes interdisciplinaires présentant un intérêt pour Ingeco : l'INEE-EDD du CNRS, le programme interdisciplinaire ville et environnement (PIRVE), le département en charge de l'ingénierie au CNRS (INSIS), l'Institut de chimie (INC), l'Institut des sciences de l'homme et de la société (INSHS), l'Institut des sciences biologiques (INSB), l'Institut national des sciences de l'univers (INSU), la direction scientifique du Cemagref-Irstea. Le programme était également doté d'un comité scientifique pluridisciplinaire rassemblant écologues évolutionnistes et fonctionnalistes, écologues de la restauration et de la conservation, biologistes des organismes et biologistes moléculaires, microbiologistes, sociologues, spécialistes de l'énergie, spécialistes du génie des procédés, géomorphologues, hydrologues...

Ingeco a été dirigé conjointement par Luc Abbadie, alors directeur scientifique adjoint à l'INEE, Daniel Terrasson, directeur scientifique du Cemagref-Irstea et Catherine Bastien-Ventura, chef de projet à EDD-INEE. Les trois premières années, le programme était orienté vers le financement annuel de petits projets. En 2010, l'appel d'offres prévoyait des financements plus conséquents sur deux ans, liés directement à des opérations d'ingénierie écologique « réelles ». Les projets ont été évalués par un expert interne membre du comité scientifique (parfois du comité de pilotage) et par un expert externe identifié par les directeurs d'Ingeco. Le taux de sélection a tourné autour de 42 %. Un colloque de mi-parcours a été organisé au siège du CNRS les 1^{er} et 2 avril 2009. Le programme a bénéficié d'un budget total, sur cinq ans, de 2 136 k€.

Bilan opérationnel

Le PIR Ingeco avait pour ambition principale de repérer et de structurer une communauté de chercheurs en ingénierie écologique, d'accroître la visibilité et la valorisation de la recherche interdisciplinaire dans le domaine, de connecter la recherche à la pratique de l'ingénierie écologique. Au terme de 5 années d'existence, le bilan fait apparaître les résultats suivants :

- 160 projets ont été soumis, regroupant largement plus d'une centaine d'équipes liées au CNRS (64 projets ont été financés ; voir quelques exemples dans le tableau). Le programme a ainsi bien établi qu'il existait en France une communauté scientifique qui se reconnaissait dans le concept d'ingénierie écologique.
- Cette communauté a démontré qu'elle pratique assez largement la pluridisciplinarité et, pour une part importante, l'interdisciplinarité, condition de base du développement de l'ingénierie écologique aussi bien en recherche qu'en pratique. Les chercheurs des sciences humaines et sociales ainsi que ceux en technologie se sont toutefois moins mobilisés qu'espéré. Le texte de

l'appel d'offres a été modifié en conséquence à plusieurs reprises, mais le résultat est resté mitigé.

- La communauté française des chercheurs en ingénierie écologique a fortement renforcé sa structuration puisque trois réseaux permanents ont été créés : Gaié (Groupe d'application de l'ingénierie des écosystèmes, devenu aujourd'hui une association intitulée Groupe des acteurs de l'ingénierie écologique), Rever (Réseau d'échanges et de valorisation en écologie de la restauration), Agébio (Association française pour le génie biologique ou génie végétal⁷). Il est à noter que tous ces réseaux regroupent des chercheurs et des acteurs de l'ingénierie écologique opérationnelle : la valorisation de la recherche auprès de divers secteurs de la société est une réalité dans ces réseaux.

Apports essentiels

Le grand pari du PIR Ingeco était d'anticiper sur une évolution sociale imminente, à savoir le développement rapide de l'ingénierie écologique en France. Il s'agissait de faire reconnaître « à temps » la communauté scientifique française par les pouvoirs publics, les ONG et les entreprises en tant qu'acteurs essentiels de la gestion et de la restauration des ressources naturelles et des milieux, de l'adaptation aux changements de l'environnement local et planétaire, de l'élaboration de modes de développement plus durables par la prévention de la dégradation de l'environnement. Ce pari a été tenu. Il y a bien eu anticipation, comme en témoignent, entre autres, le programme Systerra (Écosystèmes, territoires, ressources vivantes et agricultures) de l'Agence nationale de la recherche lancé en 2008 et la création, en 2008 également, d'une filiale de la Caisse des dépôts et consignations, CDC Biodiversité⁸, ou encore le montage d'enseignements nouveaux en ingénierie écologique dans plusieurs établissements en France (AgroParisTech et Université Pierre-et-Marie-Curie, par exemple).

La reconnaissance de l'apport potentiel de la recherche en écologie et, plus généralement, en sciences de l'environnement, à l'innovation en ingénierie écologique opérationnelle a également progressé. Nombre de chercheurs, dans le sillage du PIR Ingeco, ont participé à des exercices de prospective dans des entreprises, des collectivités territoriales, des administrations publiques. Ils ont aussi apporté leur point de vue à des groupes de travail portant sur l'inscription du métier d'ingénieur écologue dans le répertoire opérationnel des métiers ou sur une définition officielle de l'ingénierie écologique validée par le ministère de l'Écologie. Le CNRS a consacré un dossier dans sa revue mensuelle *CNRS Le journal*, judicieusement

⁷ Agébio : <http://www.agebio.org/> ; Rever : <http://www.reseau-rever.org/> ; Gaié : <http://www.ingenierie-ecologique.org/>

⁸ <http://www.cdc-biodiversite.fr/>

Tableau. Quelques exemples de projets de recherche financés par le PIR Ingeco.

<p>ECO-WATT : Production d'électricité par les bactéries lors du traitement d'effluents (2007) <i>Porteur du projet</i> : Timothy Vogel <i>Laboratoire</i> : UMR 5005 Laboratoire Ampère, Équipe « Génomique microbienne environnementale » (CNRS, ECL, INSA, UCBL) <i>Objectif</i> : L'objectif de ce projet était d'explorer et d'améliorer une production d'énergie renouvelable à partir de déchets, à savoir la production d'électricité par les bactéries lors du traitement d'eaux usées domestiques ou industrielles. D'une part, il s'agissait de trouver les meilleures conditions du procédé pour ne pas utiliser le platine comme catalyseur (verrou technologique) et, d'autre part, de développer un pilote de traitement des eaux usées.</p>
<p>Gaié – Groupe d'application de l'ingénierie des écosystèmes : un réseau de support au développement de l'ingénierie écologique en France (2007) <i>Porteurs du projet</i> : Clive Jones, Manuel Blouin, Alain Bedecarrats <i>Laboratoires</i> : UMR 7618 Biogéochimie et écologie des milieux continentaux (Bioemco) (UPMC, CNRS, IRD, ENS, UPEC, AgroParisTech) et UR Écosystèmes montagnards (Irstea) <i>Objectif</i> : Le but de ce projet était de contribuer au développement de l'ingénierie écologique en France, en renforçant les interactions et collaborations entre les différentes communautés qui développent et/ou utilisent l'ingénierie écologique. Dans cet objectif, le Groupe d'application de l'ingénierie des écosystèmes (Gaié) a organisé des colloques annuels nationaux (lien avec les Masters), un colloque international, des séminaires de lecture et mis en place un site web.</p>
<p>Opération pilote de restauration écologique d'un verger dans la plaine de Crau (2007 et 2008) <i>Porteur du projet</i> : Thierry Dutoit <i>Laboratoire</i> : UMR Institut méditerranéen d'écologie et de paléoécologie (Imep) (CNRS, IRD) <i>Objectif</i> : Des opérations de restauration écologique ont été mises en place expérimentalement dans la plaine de Crau pour accélérer les processus de restauration par facilitation (plantation d'espèces nurses) et forçage des processus de dispersion (transfert de foins) suite à la destruction de la végétation steppique. Au vu des résultats, une expérience complémentaire originale de transfert de sol et de ses conséquences sur la végétation et l'entomofaune a été engagée.</p>
<p>Forêts à lichen et Samis (2008) <i>Porteur du projet</i> : Marie Roué <i>Laboratoire</i> : UMR 5145 Éco-anthropologie et ethnobiologie (CNRS, MNHN) <i>Objectif</i> : En Laponie, les Samis vivent de l'élevage de rennes qui dépendent du lichen. La foresterie suédoise, par ses pratiques, détruit ce lichen qui met plusieurs dizaines d'années à se régénérer. Ce projet interdisciplinaire visait un double objectif : restaurer les landes à lichen grâce à l'ingénierie écologique pour maintenir la biodiversité et diminuer l'impact des pratiques sylvicoles sur l'élevage du renne.</p>
<p>Mangrove et bioremédiation : Utilisation des capacités bioépuratrices de la mangrove pour le traitement des eaux usées domestiques à Mayotte (2009) <i>Porteur du projet</i> : Luc Lambs <i>Laboratoire</i> : UMR 5245 Laboratoire d'écologie fonctionnelle (CNRS, UPS, INPT) <i>Objectif</i> : Le but de ce projet était de proposer une alternative aux stations d'épuration classique pour les communautés villageoises isolées en milieu tropical. Le principe est d'utiliser les capacités bioépuratrices de la mangrove. Un site expérimental pilote a été équipé à Mayotte (océan Indien) dans la baie de Chirongui.</p>
<p>GénieEcoChim et vice-versa : Génie écologique et chimie responsable : de la phytorestauration à l'écologie chimique et vice-versa (2010) <i>Porteur du projet</i> : Claude Grison <i>Laboratoire</i> : UMR 5175 Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (CNRS, Univ. Montpellier, Univ. Paul Valéry Montpellier, Montpellier Supagro, EPHE, IRD, Inra) <i>Objectif</i> : Ce projet proposait le développement d'une nouvelle écotechnologie reposant sur la valorisation d'une biomasse développée sur des sites miniers contaminés, en l'utilisant comme catalyseurs naturels de transformations chimiques à haute valeur ajoutée. L'objectif était le développement d'une véritable filière de valorisation chimique de la biomasse contaminée, apportant un nouvel essor à la restauration de sites orphelins par les procédés de phytoremédiation.</p>

Tableau. Suite.

<p>M.O-sols : Impact de l'apport de matières organiques sur le développement de la végétation sur des terrains soumis à de fortes contraintes érosives et climatiques : application en génie biologique pour la lutte contre l'érosion des sols (2010) Porteur du projet : Vincent Breton Laboratoire : UR Écosystèmes montagnards (Irstea) Objectif : L'objectif de ce projet était d'évaluer l'intérêt d'un épandage de matière organique sur des terrains fortement contraints (pentes, crues, sécheresse) pour améliorer les qualités physicochimiques et biologiques du sol et favoriser ainsi l'installation de végétaux (par génie biologique), pour lutter contre l'érosion.</p>
<p>CATARS : Caractérisation des traits architecturaux de systèmes racinaires impliqués dans les processus de stabilisation des sols (2010) Porteur du projet : Franck Bourrier Laboratoire : UR Écosystèmes montagnards (Irstea) Objectif : Ce projet avait pour objectif d'améliorer les outils d'aide à la gestion des forêts de protection contre les glissements de terrains superficiels. Si les outils existants considéraient que la présence de racines augmente la résistance au cisaillement du sol, ils négligeaient la complexité architecturale des systèmes racinaires d'arbres. L'objet de ce projet était de prendre en compte cette complexité et de la modéliser.</p>

intitulé « Ingénierie écologique⁹ », qui a facilité bien des contacts entre les laboratoires et les entreprises et souvent débouché sur des contrats de recherche. Un continuum entre innovation conceptuelle et innovation opérationnelle est bien en train de s'établir.

Le PIR Ingeco a aussi renforcé la visibilité internationale de la communauté française en ingénierie écologique. Cette visibilité était très faible, à l'exception du domaine de la biologie de la conservation et, dans une moindre mesure, de celui de l'écologie de la restauration. Le colloque international « Ecological engineering from concepts to applications » organisé en décembre 2009 à Paris par le réseau Gaié, avec un important soutien du PIR, a démontré le dynamisme de la recherche en ingénierie écologique en France et, en quelque sorte, sa compétitivité internationale¹⁰. Les représentants de la Société internationale et de la Société américaine d'ingénierie écologique, présents lors du colloque, ont souligné la maturité, voire l'avance, conceptuelle de la recherche française et ont souhaité une synergie plus forte entre Gaié et leurs organisations.

Un apport majeur du programme est aussi la clarification du concept d'ingénierie écologique. La définition de 2007 a évolué au fil des appels d'offres pour trouver un aboutissement lors du séminaire de prospective organisé en décembre 2010 à Royaumont. Dans le manifeste

publié à l'issue de cette réunion (voir encadré), il est indiqué :

« L'ingénierie écologique désigne les savoirs scientifiques et les pratiques, y compris empiriques, mobilisables pour la gestion de milieux et de ressources, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagements ou d'équipements inspirés de, ou basés sur les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques. Elle fait appel à la manipulation, le plus souvent *in situ*, parfois en conditions contrôlées, de populations, de communautés ou d'écosystèmes, au pilotage de dynamiques naturelles et à l'évaluation de leurs effets désirables ou indésirables. C'est une ingénierie centrée sur le vivant envisagé comme moyen ou comme objectif de l'action ».

Cette définition est déjà quasiment tombée dans le domaine public, sans que la source en soit pour autant citée...

Le centrage de l'ingénierie écologique sur le vivant, comme finalité et surtout comme moyen, voire comme philosophie de l'action, est un acquis important du programme. Le vivant, appréhendé aux échelles de la communauté d'espèces et de l'écosystème, est devenu ainsi un véritable outil de restauration de milieux, de gestion de services écologiques, de conception d'écosystèmes nouveaux. L'ingénierie écologique peut ainsi se concevoir comme une biotechnologie d'un nouveau genre, une biotechnologie systémique, dont les dimensions éthiques, juridiques, sociales et économiques n'ont d'ailleurs pas été traitées suffisamment dans le programme. Une sorte d'éthique de l'ingénierie écologique a toutefois commencé à émerger par l'affirmation de la nécessité absolue d'une vision intégrative capable de replacer les objectifs et les approches des projets dans le contexte de l'écosystème, nécessairement multiprocesus et à long terme. Cela s'était peu fait jusqu'à présent, aussi bien en ingénierie opérationnelle qu'en recherche.

⁹ <http://www.cnrs.fr/fr/pdf/jdc/JDC266.pdf>

¹⁰ Voir les actes de ce colloque : Lata, J.-C., Lacroix, G., Barot, S. (Eds), 2011. Ecological engineering: from concepts to applications, Paris 2009, *Procedia Environmental Sciences*, 9, 1-208, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/18780296/9>. Voir également : Mitsch, W.J., Stokes, A., Jones, C.G. (Eds), 2012. Ecological engineering. Its development, applications and challenges, *Ecological Engineering*, 45, 1-84, <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09258574/45>

Manifeste de Royaumont. Une ambition pour la recherche en ingénierie écologique¹¹ (extraits)

Le monde connaît aujourd'hui des bouleversements qui questionnent l'intelligibilité de l'ensemble du système Terre. Nous sommes entrés dans une nouvelle ère, l'Anthropocène, dans laquelle l'influence grandissante de l'homme semble conduire vers des crises inéluctables : perte rapide de biodiversité, épuisement des ressources, changements climatiques, maladies émergentes... [...] Nous entrons dans une période [...] où l'un des enjeux majeurs est le pilotage de dynamiques environnementales selon des trajectoires et vers des horizons choisis. Cela implique nécessairement une certaine maîtrise des processus du vivant à des niveaux d'intégration inhabituels (populations, communautés, écosystèmes, paysages). S'engager dans cette voie ne peut s'envisager sans un réarrangement des savoirs et des pratiques qui ne va pas de soi, mais qui ouvre des perspectives stimulantes faisant appel à de nouvelles dimensions de notre sens des responsabilités et à notre capacité à imaginer de nouvelles approches du monde.

[...] L'urgence sociale des questions environnementales et l'intensité des pressions juridiques conduisent à engager des actions aujourd'hui malgré le déficit de savoirs génériques et prédictifs et d'un corpus de pratiques éprouvées. Ces savoirs et pratiques se rassemblent dans une discipline en émergence, l'ingénierie écologique, qui vise le passage d'une artificialisation incontrôlée de systèmes vivants à leur transformation explicite, maîtrisée et adaptative. L'ingénierie écologique désigne les savoirs scientifiques et les pratiques, y compris empiriques, mobilisables pour la gestion de milieux et de ressources, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagements ou d'équipements inspirés de, ou basés sur les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques. Elle fait appel à la manipulation, le plus souvent *in situ*, parfois en conditions contrôlées, de populations, de communautés ou d'écosystèmes, au pilotage de dynamiques naturelles et à l'évaluation de leurs effets désirables ou indésirables. C'est une ingénierie centrée sur le vivant envisagé comme moyen ou comme objectif de l'action.

L'ingénierie écologique se déploie dans un champ scientifique et technique selon trois objectifs essentiels du développement durable : l'optimisation de la gestion des ressources naturelles, la restauration des milieux naturels dégradés, le pilotage de fonctions et de services écosystémiques. Elle fait appel aux sciences et techniques de l'ingénieur mobilisables pour l'évaluation des ressources, la prévention des catastrophes naturelles ou technologiques et l'atténuation de leurs effets. Elle intègre les modalités d'aménagement des territoires et d'organisation des activités économiques qui minimisent les impacts anthropiques sur l'environnement. [...] Elle a également recours à la manipulation *in situ* de systèmes écologiques et à la mise au point d'outils biologiques pour optimiser la fourniture de services écosystémiques ou résoudre des problèmes de pollution. Elle implique enfin une analyse critique des finalités, des modalités et des conséquences de l'utilisation du vivant par les sociétés. En intégrant les dimensions éthiques, réglementaires, sociales, économiques, biologiques ou biogéochimiques de l'action sur l'environnement, l'ingénierie écologique pose une problématique qui abolit les frontières traditionnelles entre les sciences et qui fusionne recherche fondamentale et recherche appliquée. [...]

La recherche se doit de contribuer à l'émergence, au renouvellement et à la validation des pratiques d'ingénierie écologique, elle seule peut permettre d'avancer vers un pilotage minimal de la complexité écologique et environnementale. L'essor actuel de l'ingénierie écologique constitue une occasion historique de valoriser les acquis français en écologie et sciences de l'environnement et de légitimer socialement un secteur scientifique qui invite à penser différemment le vivant et la place de l'humanité dans la biosphère. La recherche en ingénierie écologique est à même de fournir les connaissances nouvelles requises, de mobiliser et d'assembler les savoirs émanant de champs disciplinaires variés, de traduire les savoirs académiques en guides et en boîtes à outils pour l'action, d'énoncer des principes généraux à partir des retours d'expériences, de mettre en synergie savoirs et pratiques. Les communautés scientifiques des organismes de recherche et des universités ne pourront pas s'engager si elles ne sont pas soutenues au-delà des initiatives existantes qui ont clairement atteint leurs limites. L'ingénierie écologique se développera avec ou sans les communautés scientifiques françaises. Nous demandons donc instamment aux décideurs de la politique scientifique de mettre en place au plus tôt les structures et les mécanismes de financement qui permettront à la recherche en ingénierie écologique de contribuer à la révolution environnementale en cours.

¹¹ Ce document a été rédigé dans le cadre du programme interdisciplinaire de recherche CNRS/Cemagref Ingecotech-Ingeco par les participants au séminaire de Royaumont réunissant, du 14 au 16 décembre 2010, les responsables du programme, le conseil scientifique d'Ingecotech, les responsables des réseaux Agébio, Gaié et Rever. Ce manifeste a été publié en 2011 dans *Le courrier de la nature* (Abbadie et al., 2011. Manifeste, une ambition pour la recherche en ingénierie écologique, *Le Courrier de la nature*, 261, 6-8). On le trouve aussi sur internet : http://www.cnrs.fr/inee/recherche/fichiers/Manifeste_ingenierie_ecologique.pdf.

La vision du vivant en tant qu'outil souligne par ailleurs un certain affranchissement des chercheurs en ingénierie écologique vis-à-vis des pionniers de la biologie de la conservation et de l'écologie de la restauration, l'écologie appliquée passant ainsi d'une culture de la réparation à une culture de la re-création ou de la création.

Cette nouvelle culture est, à l'évidence, le fruit de l'amélioration très rapide des fondements conceptuels de l'écologie, qui a abouti à l'identification de principes généraux de structuration, de fonctionnement et d'évolution des systèmes écologiques et, par voie de conséquence, à une certaine capacité à prévoir. Pourtant, il existe encore un décalage important entre théorie et pratique en ingénierie écologique. Le PIR Ingeco a contribué à réduire ce décalage par l'adossement de nombreux projets de recherche à la démonstration ou à l'action. L'enjeu était d'intensifier les allers et retours entre recherche et développement en tant que conditions de l'essor de l'ingénierie écologique opérationnelle comme théorique, et de mieux l'insérer dans le vaste domaine des « technologies vertes ». Le PIR a effectivement contribué à créer un lien durable entre les ingénieurs écologues et les technologues et à mieux diffuser les principes de l'écologie et de l'ingénierie écologique dans les milieux de la technologie, de l'urbanisme et de l'aménagement à travers les trois réseaux qu'il a aidé à émerger, toujours tous fonctionnels en 2015, et les nombreuses réunions qu'il a financés.

L'adossement de projets de recherche à des opérations concrètes d'ingénierie écologique, explicitement demandé dans le dernier appel d'offres, avait pour but de conforter le lien entre recherche et action, mais aussi de favoriser les questionnements en sciences humaines et sociales. Le programme a de fait financé quelques recherches dans les domaines de la sociologie, de l'économie et de la philosophie (éthique). On attendait toutefois une mobilisation plus forte car peu de travaux étaient et sont menés sur ces aspects comme l'ont bien montré les entretiens de Cargèse intitulés « Les paradigmes de l'écologie : nouvelles pratiques et nouveaux concepts »,

organisés par Pierre Matarasso (CNRS, INEE) et Philippe Hunemann (CNRS, Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques) en mars 2009. Il y a véritablement une demande sociale d'ingénierie écologique, qui ne sera pas satisfaite, quelle que soit la qualité de la science, si le « relais » n'est pas assuré avec la société. Il faut souligner que les questions de lois, de taxes, de mécanismes compensatoires, etc. constituent une opportunité qui reste à saisir pour la recherche juridique et éthique.

Conclusions et perspectives

Le PIR Ingeco aura incontestablement réussi son pari, à savoir mettre « dans le coup » de l'ingénierie écologique les scientifiques du CNRS et du Cemagref-Irstea. Il y allait de la capacité des chercheurs en écologie à bénéficier du développement extrêmement rapide de l'ingénierie écologique à travers une nouvelle légitimation sociale de la science par la contribution de celle-ci à l'innovation opérationnelle. Le séminaire de Royaumont a clos le programme par le manifeste « Une ambition pour la recherche en ingénierie écologique » qui a été diffusé très largement (voir encadré). Ce texte ne fait pas que reprendre l'esprit du PIR Ingeco. Il pose surtout les bases d'une ingénierie écologique consciente de sa puissance d'intervention et de ses responsabilités sociales. Pour ses auteurs, il ne constituait pourtant pas une fin, mais un bilan d'étape, ou plus exactement d'une première étape qui en appelait d'autres. Malheureusement, suite au changement de la politique de promotion de l'interdisciplinarité au CNRS fin 2011 – début 2012, les PIR n'ont pas été reconduits. La recherche en ingénierie écologique poursuit toutefois son développement à travers les réseaux Gaié, Rever et Agébio, et les multiples initiatives prises par les équipes qui ont contribué à Ingeco envers les entreprises, les ONG, les collectivités. Par ailleurs, depuis 2012, pour ne pas perdre ses acquis, le CNRS via l'INEE a créé un poste de chargé de mission afin de continuer sur cette lancée.