

*Mathématiques et décision
pour le développement durable
RTP M3D*

Proposition de *Réseau thématique pluridisciplinaire* CNRS

Michel DE LARA, CERMICS-ENPC

6 novembre 2007

Table des matières

1	À l'origine de cette proposition	2
2	Exposé des motifs	3
2.1	La structuration d'un réseau de spécialistes disciplinaires	3
2.2	Description scientifique. Étendue du thème	4
2.3	Le rôle des mathématiques	6
3	Projet d'activités pour les années 2006-2007	6
A	Annexes	7
A.1	Laboratoires soutiens	7
A.1.1	Sciences de la vie et de la nature	7
A.1.2	Économie	7
A.1.3	Mathématiques appliquées	7
A.2	Liste des chercheurs intéressés	8
A.2.1	Sciences de la vie et de la nature	8
A.2.2	Économie	9
A.2.3	Mathématiques appliquées	9

1 À l'origine de cette proposition

Ce document fait suite

1. à la réunion du 3 octobre 2005, suscitée par Christian Peskine, directeur scientifique adjoint pour les mathématiques au CNRS, et qui a réuni une quinzaine de personnes à l'Institut Henri Poincaré pour un tour de table ;
2. aux journées d'exposés scientifiques des 9 et 10 mars 2006, qui ont réuni plus d'une trentaine de personnes à Chevaleret ;
3. à la réunion du 13 septembre 2006 au CNRS.

Lors de cette dernière réunion, en présence de

- Michel DE LARA, CERMICS-ENPC ;
- Bernard DELAY, Directeur du département Environnement et développement durable au CNRS ;
- Patrice FONTAINE, directeur scientifique adjoint au département Sciences humaines et sociales au CNRS ;
- Jean-Marc GAMBAUDO, chargé de mission au département Mathématiques, physique, planète et univers au CNRS ;
- Christian PESKINE, directeur scientifique adjoint au département Mathématiques, physique, planète et univers au CNRS ;

il a été convenu de présenter le projet ci-dessous comme un *Réseau thématique pluridisciplinaire* (RTP) CNRS¹, soutenu par les trois départements représentés ci-dessus.

¹Avant un éventuel dépôt de demande de *Groupement de recherche* (GDR) CNRS à l'automne 2007.

2 Exposé des motifs

Ce projet de RTP CNRS repose sur le point de vue que *le traitement méthodique des questions de développement durable*² soulève une série de problèmes conceptuels, dont certains sont du ressort des mathématiques. Notre constat est le suivant.

- Tout d’abord, c’est une évidence de noter que *les questions de développement durable* sont de plus en plus présentes. Que ce soit pour la gestion des ressources naturelles (pêche, forêt, etc.), de la biodiversité (préservation, mais aussi maladies émergentes et risques épidémiques), du changement climatique, de nombreux scientifiques sont mobilisés.
- De nombreux modèles sont développés à cette occasion, que ce soit pour la représentation de phénomènes environnementaux (modèles de dynamique des populations, modèles climatiques, ou pour saisir des enjeux économiques (fixation optimale de taxes, de quotas, minimisation de coûts d’abattement de gaz à effet de serre, etc.).
- Toutefois, *le traitement méthodique* est relativement peu répandu, les cas d’étude étant d’une complexité certaine et cette complexité est souvent traitée par de très nombreuses simulations sous des jeux d’hypothèses rarement explicites, et avec peu de guides conceptuels.

C’est un projet qui est clairement à l’interface de l’écologie, de l’économie et des méthodes mathématiques, et est centré sur les problèmes *décisionnels* soulevés par les questions de développement durable. Il comporte à la fois

- une dimension *concepts et méthodes*, plutôt mathématique et pouvant éventuellement conduire à des développements mathématiques autonomes : théorie du contrôle, optimisation, décision sous incertitude, théorie des jeux pour la composante *décisionnelle* qui est centrale dans ce projet ; équations différentielles et récurrentes, équations aux dérivées partielles, processus aléatoires pour ce qui est de représenter les *dynamiques des processus temporels* considérés, qu’il soient écologiques ou économiques ;
- une dimension *dossiers* puisque, pour restreindre le champ du développement durable, un certain nombre de thèmes serviront de supports opérationnels pour ces concepts et méthodes : gestion des pêches, économie des eaux et des forêts, gestion du changement climatique et services écologiques, gestion durable de la biodiversité, lutte biologique, gestion des risques épidémiques, des maladies émergentes.

L’idée est de dégager des méthodes *communes* pour traiter une *variété* de dossiers.

Nous reviendrons par la suite (point 2.3) sur le rôle des mathématiques, qui devraient apporter des concepts, pour clarifier et aider à décrire des situations typées, et des méthodes pour contribuer à résoudre des problèmes avec une certaine *généricité* (contrairement aux résultats de simulation, contingents à de nombreuses hypothèses peu explicitées). Par résolution, nous entendons bien sûr d’aller éventuellement jusqu’aux méthodes de simulation et de résolution numérique pour aborder des cas d’une complexité certaine. Cette proposition de RTP CNRS vise ainsi à renforcer concepts et méthodes dans les problèmes de gestion durable.

2.1 La structuration d’un réseau de spécialistes disciplinaires

L’originalité d’un RTP *mathématiques et décision pour le développement durable* serait de regrouper des chercheurs en sciences de l’univers, biologie, économie et mathématiques sur des questions

²Ici, par *développement durable*, nous entendons les modes de développement humain soucieux à la fois des exigences écologiques, économiques et sociales. Bien entendu, nous envisageons ici ce terme sous l’angle scientifique.

décisionnelles touchant à l'écologie et à l'environnement³, aux ressources naturelles, à la biodiversité et, plus généralement, au développement durable.

Une telle communauté scientifique existe à petite échelle autour de différentes structures (réseau CoReV, ACI Écologie quantitative, projet Institut français de la biodiversité, etc.) et est éparpillée géographiquement. L'enjeu de la structuration en RTP est de lui donner visibilité et capacité d'attraction de scientifiques, de permettre la constitution d'un réseau de spécialistes prêts à mobiliser leurs compétences sur tel ou tel dossier, de détecter des synergies nouvelles entre pôles de recherche qui actuellement travaillent en parallèle sans échange sur leurs travaux, de mettre à jour des relations avec des méthodes mathématiques utilisées pour d'autres applications et de les transposer aux problématiques du développement durable.

2.2 Description scientifique. Étendue du thème

L'originalité du projet tient dans la réunion de biologistes, économistes et mathématiciens. Ceci exige toutefois de situer ce projet scientifique par rapport à deux pôles : mathématiques et biologie ; économie de l'environnement. Pour être bref, nous pouvons dire que les travaux mathématiques en biologie portent plutôt sur le niveau cellulaire et infra-cellulaire (réseaux de gènes, génomique, croissance de cellules, etc.), et plus largement sur le fonctionnement de l'organisme (circulation sanguine, etc.). Nous n'aborderons pas ces questions. Le projet de RTP est plus proche du thème mathématiques et écologie – qui porte sur l'organisme et ses interactions avec le milieu (y compris d'autres organismes) – et, en ce sens, a des liens avec le l'ex-GDR CoReV (Modèles et théories pour le contrôle de ressources vivantes et la gestion de systèmes écologiques). Toutefois, le réseau CoReV a toujours vocation à traiter des questions d'écologie théorique. Ce projet de RTP est à la fois plus “mathématique” et plus “économique” que le CoReV. En ce qui concerne l'économie de l'environnement, la proximité est réelle en ce qui concerne les problématiques. L'accent serait mis sur les *méthodes mathématiques*, à développer ou à appliquer, dans le champ de la *gestion durable des ressources naturelles et de la biodiversité*, et plus largement du *développement durable*.

Les thèmes d'intérêt seraient ceux nécessitant

1. un modèle écologique, notamment un modèle de dynamique de population (modèle agrégé en biomasse, modèle en classe d'âges, modèle spatialisé, etc.), ou un modèle d'environnement (pollution globale, dommages climatiques, etc.) ;
2. un modèle décisionnel de nature économique (coûts, profit, utilité, régulation, quotas, interactions stratégiques, etc.) ;
3. une analyse mathématique du modèle couplé “écologie-économie” (équilibres, optimisation, viabilité, théorie des jeux, etc.).

À titre indicatif, voici des exemples de “dossiers” pouvant répondre à ces critères et intéresser de grands organismes de recherche.

Gestion des pêches

(IFREMER, IRD, EPHE). Pour ce qui concerne la gestion des pêches, le développement d'une approche écosystémique renforce le besoin de prendre en compte à plusieurs échelles de temps des objectifs multiples, de la préservation de l'écosystème marin à la dynamique des flottilles de

³au sens scientifique des relations des organismes avec leur milieu, y compris l'influence anthropique sur ce milieu.

pêche et au bien-être des sociétés littorales. Les méthodes d'optimisation sous contrainte et la détermination de domaines faiblement invariants et de contrôles viables semblent adaptés pour formaliser certaines procédures actuelles de fixation des quotas de pêche au niveau international (ICES). L'usage des réserves marines pour assurer production de biomasse et préservation peut conduire au développement de modèles, notamment spatiaux, pour quantifier et évaluer un effet réserve.

Économie des eaux et des forêts

(INRA, CEMAGREF). Une tradition de gestion de long terme existe clairement dans le domaine des forêts, avec à la fois des modèles économiques et la prise en compte de questions de long terme (optimisation intertemporelle). Les questions de biodiversité soulèvent de nouveaux problèmes de gestion.

Gestion du changement climatique et services écologiques

(CIRED). C'est là un domaine où des modèles sont utilisés par des économistes, tant en matière de description de l'activité économique que pour les impacts climatiques sur cette dernière. Le choix d'un bon niveau de représentation mathématique pour ces deux aspects doit être adapté à la nature des questions à traiter, et aux possibilités de résolutions numériques. La prise en compte des incertitudes est centrale, que ce soit sur les perspectives économiques (coûts des technologies, effet de long terme des infrastructures économiques, etc.) ou, bien entendu, sur les impacts climatiques. Les interactions entre information et décision ont une place importante. Faut-il agir préventivement ou attendre d'en savoir plus sur les changements climatiques? Quels sont les outils de politique économique permettant d'agir de façon efficace? Comment permettre la révélation de l'information privée détenue par les agents pour une prise de décision utilisant toute l'information disponible?

Gestion durable de la biodiversité, biologie de la conservation, restauration

(MNHN, IFB, EPHE, INRA). La modélisation pour la gestion des écosystèmes et de la biodiversité implique la prise en compte d'interactions entre des espèces, des habitats, des pressions anthropiques ou des changements globaux. La complexité induite par ces interactions, la spatialisatation, l'incertitude et les nonlinéarités importantes dans les processus en jeu rendent le sujet difficile. Les diagnostics pour la gestion, la conservation ou la restauration de ces écosystèmes doivent intégrer des valeurs d'usage directe et des services écologiques non monétaires. Ainsi ces problèmes soulèvent des questions bio-économiques originales.

Lutte biologique

(INRA, IRD, CEMAGREF). La lutte biologique exploite certaines interactions proie-prédateur pour lutter contre des organismes "nuisibles". Des contacts avec des industriels de la lutte biologique, PME et grands groupes, pourraient donner des pistes de recherche.

Gestion des risques épidémiques, des maladies émergentes

(INSERM, INRA, IRD). L'épidémiologie mathématique des maladies infectieuses est un domaine ancien et bien balisé; l'introduction de dimensions de nature économique et de gestion

pourrait constituer une originalité.

2.3 Le rôle des mathématiques

Le rôle des mathématiques dans un tel RTP est de fournir

- des concepts pour formaliser des problèmes de décision dans le champ des ressources naturelles, de la biodiversité, de la préservation du climat ;
- un modèle mathématique cohérent qui représente une partie du problème examiné dans le cadre conceptuel retenu ;
- des méthodes, qu’elles soient théoriques, algorithmiques, numériques, pour tenter de résoudre de tels problèmes ainsi mathématisés.

Le travail commun entre biologistes, économistes et mathématiciens tournerait ainsi autour de l’élaboration conjointe d’un modèle mathématique et de méthodes de simulation et de résolution numériques.

Si les méthodes mathématiques occupent ainsi une place centrale, le RTP sera forcément évalué par des mathématiciens. Ceci nécessite de préciser le contenu mathématique. De manière assez générale, on peut dire que les problèmes étudiés comportent une dimension *dynamique*, des *contrôles* affectant un état, des *critères* et *contraintes* (utilité, coût, seuils, etc.), et des *incertitudes* sur le système (représentation aléatoire ou non, problèmes d’information partielle, etc.).

Les thèmes mathématiques peuvent se regrouper selon deux grands axes :

- *théorie du contrôle, optimisation, décision sous incertitude, théorie des jeux* : ceci pour la composante *décisionnelle* qui est centrale dans ce projet ;
- *équations différentielles et récurrentes, équations aux dérivées partielles, processus aléatoires* : il s’agit ici de représenter les *dynamiques des processus temporels* considérés, qu’il soient écologiques ou économiques.

Les mathématiques doivent aider à clarifier des problèmes par des concepts adaptés, contribuer à élaborer des modèles et proposer des méthodes de résolution, permettre de délimiter des domaines de validité des résultats en fonction des données disponibles, et ainsi contribuer à une certaine *généricité* des résultats.

3 Projet d’activités pour les années 2006-2007

À ce stade, voici les actions qui peuvent être envisagées.

- École “Méthodes mathématiques pour le développement durable”, présentant un certain nombre d’outils et d’exemples illustratifs.
- École “Gestion des pêches” organisée conjointement avec le Centre de modélisation mathématique (CMM) de Santiago du Chili (UMI CNRS).
- Séminaire de lancement (présentation de travaux de recherche en cours).
- Un groupe de travail régulier (tous les mois ? les deux mois) est-il envisageable vu la dispersion géographique des membres ?
- Peut-on lancer un “séminaire tournant” (un après-midi suivi du lendemain matin) dans chacune des institutions du réseau ? Une fois tous les trois mois ?
- Recherche de partenaires européens, et plus largement à l’international (Chili notamment) pour un travail en réseau.

A Annexes

A.1 Laboratoires soutiens

A.1.1 Sciences de la vie et de la nature

Laboratoire d'Ecologie Halieutique, Agrocampus Rennes

Département EMH (Ecologie et Modèles pour l'Halieutique), IFREMER Nantes

EPHE - FRE CNRS 2935, Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et Méditerranéens, Université de Perpignan

UMR 7625 Fonctionnement et Evolution des Systèmes Ecologiques, CNRS, Université Pierre et Marie Curie-Paris 6 et ENS

A.1.2 Économie

CIRED Centre international de recherche sur l'environnement et le développement, EHESS-CNRS-ENGREF-ENPC

Département d'économie maritime, IFREMER Brest

EconomiX - UMR CNRS 7166, Université Paris 10 - Nanterre

GREMAQ, Groupe de Recherche en Economie MATHématique et Quantitative, UMR 5604, CNRS, Université Toulouse I et EHESS

LAMETA, INRA, Montpellier

LERNA (INRA), Université de Toulouse

Laboratoire Panthéon-Sorbonne Economie, Université Paris 1, CNRS

A.1.3 Mathématiques appliquées

Laboratoire de Mathématiques et Applications (LMA), université de la Rochelle

Centre de Modélisation Mathématique-CMM, Université du Chili

UMR analyse des Systèmes et Biométrie, INRA Montpellier

CERMICS, École nationale des ponts et chaussées

Projet Comore, INRIA Sophia-Antipolis

Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier, UMR 5149 I3M

Unité Mathématiques et Informatiques Appliquées, INRA Jouy-en-Josas

UR079 Modélisation mathématique et informatique des systèmes complexes naturels, biologiques ou sociaux, IRD Bondy

AOC (Analyse, Optimisation, Contrôle), EA 3591, Université des Antilles et de la Guyane

Laboratoire de Mathématiques et Applications de Metz, université Paul Verlaine-Metz

INRIA-Lorraine

Equipe combinatoire et optimisation, Université P. et M. Curie Paris 6

Institut Mathématiques de Bordeaux (IMB)

I3S, Université de Nice-Sophia Antipolis/CNRS

A.2 Liste des chercheurs intéressés

Les personnes dans les listes suivantes ont déclaré leur intérêt pour ce projet de RTP soit, à ce jour, un total de 61 personnes. En terme d'origine disciplinaire, les mathématiques en représentent les deux tiers, l'économie et les sciences de la vie et de la nature se partageant sensiblement le tiers restant. L'orientation générale est donc bien majoritairement mathématique.

A.2.1 Sciences de la vie et de la nature

ARMSWORTH, Paul, Lecturer in Biodiversity and Conservation, Department of Animal and Plant Sciences, University of Sheffield, UK

JARRAYA, Marion, Maître de conférences, CBETM Laboratoire Ecosystèmes Aquatiques Tropicaux et Méditerranéens, Université de Perpignan

MARIANNE-PEPIN, Thérèse, Professeur de biochimie, Laboratoire de dynamique des protéines, UFRSEN , UAG

PELLETIER, Dominique, Chercheuse, IFREMER

PLANES, Serge, DR, CNRS

PREVOST, Etienne, chercheur, UMR 1224 Ecobiop, INRA

RIVOT, Etienne, Enseignant-chercheur, Laboratoire d'Ecologie Halieutique, Agrocampus Rennes

ROCHET, Marie-Joëlle, Chercheur, IFREMER

TRENKEL, Verena, Chercheur, IFREMER

VAN BAALEN, Minus, Institut d'Ecologie, UMR 7625, ENS Paris et Université Pierre et Marie Curie

WAJNBERG, Eric, Directeur de Recherche, INRA, UMR ROSE n°1112, Sophia Antipolis

A.2.2 Économie

ALBIS (d'), Hippolyte, Maître de Conférences, GREMAQ, Université de Toulouse I
FIGUIERES, Charles, chercheur, LAMETA, INRA
GOLLIER, Christian, Professeur d'économie, LERNA (INRA), Université de Toulouse
HA DUONG, Minh, Chargé de Recherche, CIRED, Centre National de la Recherche Scientifique
LEANDRI, Marc, Doctorant en Economie de l'Environnement, Laboratoire d'économétrie de l'Ecole Polytechnique
MARTINET, Vincent, Post-doctorant, Département d'Economie Maritime, IFREMER, centre de BREST
PENA, Julio, Professeur, Universidad Alberto Hurtado, Santiago du Chili
PEREAU, Jean-Christophe, Professeur de Sciences Economiques, Université de Marne la Vallée, OEP et CIRED-CNRS-EHESS
ROTILLON, Gilles, Professeur de sciences économiques, EconomiX, Université Paris 10
SCHUBERT Katheline, Professeur de sciences économiques, laboratoire Panthéon-Sorbonne Economie, Université Paris 1, CNRS
TERREAUX, Jean-Philippe, chercheur, Cemagref
THEBAUD, Olivier, chercheur, Département d'économie maritime de l'Ifremer, professeur associé à l'Université de Bretagne Occidentale

A.2.3 Mathématiques appliquées

AINSEBA, Bedr'Eddine, Professeur, Université Victor Segalen Bordeaux 2, INRIA Futurs Anubis et UMR CNRS
AMAYA, Jorge, chercheur, Centre de Modélisation Mathématique-CMM, Université du Chili.
AUGERAUD-VERON, Emmanuelle, Maître de conférences, LMA, Université de La Rochelle.
BACAER, Nicolas, chargé de recherche, Institut de Recherche pour le Développement (UR079)
BAR-HEN, Avner, Enseignant-Chercheur, Université Paris 13
BENOIT, Eric, Professeur, département de mathématiques, université de la Rochelle
BERNHARD Pierre, professeur, I3S, Université de Nice-Sophia Antipolis/CNRS
BODE, Lance, professeur, School of Mathematical and Physical Sciences, James Cook University, Australia
BONNISSEAU, Jean-Marc, professeur, laboratoire Panthéon-Sorbonne Economie, Université Paris 1, CNRS
CAMPILLO, Fabien, chercheur, IRISA/INRIA, Rennes
CARTIGNY, Pierre, Chercheur UMR ASB, INRA Montpellier
CHOSSAT, Pascal, chercheur, CIRM, CNRS
COMINETTI, Roberto, chercheur, CMM, Universidad de Chile
CORREA, Rafael, Professeur, CMM-DIM, Université du Chili
DE LARA, Michel, chercheur, CERMICS, École nationale des ponts et chaussées
DEL MORAL Pierre, Professeur de Mathématiques, Laboratoire J. A. Dieudonné, Université de Nice-Sophia Antipolis
DOYEN, Luc, CR1 CNRS, CERESP, département Ecologie et Gestion de la Biodiversité, MNHN
GABAY, Daniel, chercheur, UMR 8557, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (Paris)
GAJARDO, Pedro, postdoc, CMM, Université du Chili

GAMBAUDO, Jean-Marc, directeur de recherche, laboratoire Jean-Alexandre Dieudonné
 GOUZÉ, Jean-Luc, Directeur de Recherche, INRIA Sophia-Antipolis
 GROGNARD, Frédéric, chercheur, INRIA
 HAMELIN, Frederic, doctorant, CNRS et Université de Nice - I3S — INRA Sophia Antipolis
 IGGIDR, Abderrahman, chercheur, INRIA
 JABIN, Pierre-Emmanuel, Professeur, Laboratoire Dieudonné, Université de Nice Sophia-Anitpolis
 LANGLAIS, Michel, professeur à l'université Victor Segalen Bordeaux 2
 LOBRY, Claude, professeur, Projet MERE, INRIA Sophia et Université de Nice
 LOISEL, Patrice, Chercheur UMR ASB, INRA Montpellier
 MAILLERET, Ludovic, Chargé de Recherches, URIH, INRA Sophia Antipolis
 MERCIER, Sophie, MdC, Université de Marne-la-Vallée
 PAROISSIN, Christian, maître de conférences, LMA - Université de Pau et des Pays de l'Adour
 PIAZZA, Adriana, doctorant, CMM-DIM, Université du Chili
 PIETRUS, Alain, Professeur, AOC, Universié des Antilles et de la Guyane
 RAMIREZ, Hector, Maître de conférences, CMM-DIM, Université du Chili
 RAPAPORT, Alain, directeur de recherches INRA, UMR analyse des Systèmes et Biométrie,
 Montpellier
 SALLET, Gauthier, professeur des universités, Université de Metz LMAM CNRS UMR 7122
 et INRIA Lorrain
 SORIN, Sylvain, professeur, équipe Combinatoire et Optimisation, Université P. et M. Curie
 Paris 6
 THIBAUT, Lionel, Professeur, Université Montpellier 2
 TIDBALL, Mabel, chercheur, INRA-LAMETA
 TOUZEAU, Suzanne, chercheur, Unité Mathématiques et Informatique Appliquées de Jouy-en-
 Josas, INRA
 VIOSSAT, Yannick, Maître de conférence, CEREMADE, université Dauphine Paris 9