



**HAL**  
open science

## Dossier d'Evaluation AERES 2009 de l'UMR Analyse des Systèmes et Biométrie (ASB)

Alain Rapaport

► **To cite this version:**

Alain Rapaport. Dossier d'Evaluation AERES 2009 de l'UMR Analyse des Systèmes et Biométrie (ASB). [Interne] 2009, 53 p. hal-02813803

**HAL Id: hal-02813803**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02813803>**

Submitted on 6 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# UMR 729 ASB

## Analyse des Systèmes et Biométrie

### – Evaluation AERES –

### Bilan 2005-2009

#### **Bilan général de l'unité**

1. Présentation de l'unité	1
2. Moyens	2
3. Résultats	2
4. Evolutions significatives	2
<i>Bilan chiffré au 1er Janvier 2009</i>	3

#### **Bilan détaillé de l'unité**

1. Bilan des activités thématiques	
A. Systèmes dynamiques microbiens	4
B. Dynamique de ressources naturelles	6
C. Systèmes de productions agronomiques et interactions avec l'environnement	7
D. Procédés de transformation des aliments	8
2. Bilan des activités génériques	
2.1 Modélisation, systèmes dynamiques et optimisation	10
2.2 Statistique et processus stochastiques	11
2.3 Informatique et représentation de la connaissance	12
3. Bilan des activités de formation	12

**Secrétariat**

Cécile Louche (TR INRA)  
Véronique Sals-Vettorel (AJT SupAgro)

**Informatique collective**

Philippe Naudin (AI INRA)

**Directeur**

Alain Rapaport

**Directeur adjoint**

Pascal Neveu

**Equipe DYNECOS**

*Responsable:* Alain Rapaport

Fabien Campillo\* (CR INRIA)

Bart Haegeman\* (CR INRIA)

Patrice Loisel\* (CR INRA)

Frédéric Mazenc\* (CR INRIA)

A. Rapaport\* (DR INRA)

Jean-Pierre Vila (DR INRA)

*Membres associés*

Pierre Cartigny (MC Univ. Aix)

Marc Joannides\* (MC UMII)

Tewfik Sari\* (PU Mulhouse)

*Membres invités*

Jérôme Harmand\* (CR INRA)

Claude Lobry\* (PU Nice)

*Non titulaires*

José Fernandez\* (Doct.)

Miled El Hajji\* (Doct.)

Ihab Haidar\* (Doct.)

Alhem Saddoud\* (Post-doct.)

\* EPI MERE

**Equipe MISAA**

*Responsable:* Pascal Neveu

Christophe Abraham (Pr SupAgro)

Brigitte Charnomordic (IR INRA)

Pierre-André Cornillon (MC SupAgro)

Nadine Hilgert (CR INRA)

Martine Marco (TR SupAgro)

Pascal Neveu (IR INRA)

Anne Tireau (AI INRA)

*Non titulaires*

Khader Khadraoui (Doct.)

Alexandre Granier (Ing.)

Thomas Laloe (Doct.)

Rémi Servien (Doct.)

*Membres du LIRMM*

Gilles Caraux (Pr SupAgro)

Philippe Vismara (MC SupAgro)

# Bilan général de l'unité

## 1 Présentation de l'unité

L'UMR Analyse des Systèmes et Biométrie (ASB) associe des (enseignants-)chercheurs du département Sciences pour les AgroBioProcédés de SupAgro Montpellier et du département Mathématiques et Informatique Appliqués (MIA) de l'INRA. Plusieurs chercheurs de l'INRIA sont associés à l'UMR au travers de l'équipe projet MERE<sup>1</sup>. Les activités de l'UMR portent sur le **développement de méthodes mathématiques, statistiques et informatiques pour l'analyse et l'aide à la décision des systèmes relevant de l'agronomie et de l'environnement**<sup>2</sup>, avec un accent particulier sur la **modélisation**, les **systèmes dynamiques** et les **systèmes complexes**. Sa production repose pour l'essentiel sur

- des publications (en veillant à conserver un équilibre entre contributions applicatives et méthodologiques),
- des logiciels diffusés auprès de communautés de recherche voire de filières professionnelles
- des actions de formation comme des écoles-chercheurs ou de l'encadrement.

La source principale des crédits de l'unité, hors dotation par ses organismes de tutelle, repose essentiellement sur des projets européens, nationaux (ANR, INRA et INRIA) et régionaux (Fondation Agropolis, région Languedoc-Roussillon). Pour mener à bien ses missions, la politique de l'UMR s'appuie le plus possible sur des collaborations avec des équipes de biologistes, agronomes ou écologues (sur le campus ou ailleurs) pour répondre ensemble aux différents appels d'offre.

Pour faciliter son fonctionnement, l'unité est, depuis début 2009, structurée en deux équipes : DYNECOS (Dynamique des ECOSystèmes) et MISAA (Méthodes Informatiques et Statistiques pour les Agrosystèmes et l'Agro-alimentaire), travaillant sur quatre projets structurants :

- A. **Systèmes dynamiques microbiens**
- B. **Dynamique de ressources naturelles**
- C. **Systèmes de production agronomique et interactions avec l'environnement**
- D. **Procédés de transformation des aliments**

Les motivations et le mode de fonctionnement de cette organisation sont décrits dans l'analyse du quadriennal, qui accompagne le Projet d'unité. Dans ce bilan, nous ne présentons que les aspects factuels.

L'effectif du personnel de l'unité au 1er juin 2009 est de 31 personnes, réparties en 16 permanents (2 DR, 5 CR, 1 Pr, 1 MdC, 2 IR, 2 AI, 2 TR, 1AjT), 5 enseignants-chercheurs associés, 1 membre invité, 6 doctorants, 1 post-doctorant et 1 ingénieur sous contrat (cf Tableau 1. ci-après). Deux enseignants-chercheurs de SupAgro, associés à l'unité, émargent au titre d'une autre UMR (cf l'organigramme). Leur activité de recherche ne sont donc pas décrites dans ce bilan.

### Historique de l'unité.

L'UMR ASB est née en 1998, faisant suite à l'Unité de Biométrie du campus SupAgro, créée en 1982 et dont l'essentiel des activités portait sur la statistique. J.-P. Vila, statisticien à l'INRA, a pris la direction de l'unité, puis de l'UMR, de 1994 à 2004, en lui offrant une nouvelle orientation "systèmes dynamiques". Cette ouverture s'est matérialisée par

- des recrutements de chercheurs INRA (1996, 1999 et une mutation en 2001), et d'un ingénieur INRA (2002).
- la création en 2004 de la première équipe projet INRIA (EPI) commune avec l'INRA, accueillie au sein de l'UMR, qui compte aujourd'hui 2 chercheurs INRA (1 MIA et 1 EA affecté au LBE<sup>3</sup>) et 3 chercheurs INRIA affectés à temps plein à l'UMR.

Il est à noter qu'aux côtés des thèmes "statistique" et "systèmes dynamiques", une activité de développements de méthodes et d'outils informatiques est portée par l'UMR dès sa création.

### Évolutions depuis 2005.

- *Direction.* P. Cartigny, enseignant-chercheur en systèmes dynamiques et optimisation à l'Université de la Méditerranée, a pris la direction de l'UMR de 2005 à 2008, en délégation INRA. Depuis le 1er janvier 2009, l'UMR est dirigée en tandem par A. Rapaport (directeur) et P. Neveu (directeur adjoint).
- *Départs.* L'année 2005 a vu le départ par mutation de V. Fromion (CR) et d'A. Goezler (IE) pour l'unité MIG de l'INRA, sur un thème de recherche non porté par ASB (les activités de ces deux chercheurs ne sont donc pas prises en compte dans ce bilan). L. Menut (AI INRA) est parti rejoindre une autre unité du campus en 2007. La délégation INRA de P. Cartigny a pris fin au 31 décembre 2008.
- *Arrivées.* A. Tireau a été recrutée fin 2005 sur un nouveau poste AI INRA, pour renforcer l'activité de développement informatique. P.-A. Cornillon, enseignant-chercheur statisticien de l'université de Rennes, est en détachement SupAgro dans l'UMR depuis septembre 2007. P. Naudin (AI INRA) a rejoint l'UMR en 2007 pour compenser le départ de L. Menut sur le même poste. B. Haegeman a été recruté CR INRIA en 2006 et affecté à l'EPI MERE. En 2007, F. Campillo (CR INRIA) a été muté à Montpellier, affecté également à l'EPI MERE. 2008 a vu l'arrivée de T. Sari (professeur à l'Université de Haute-Alsace), en délégation INRIA affecté à l'EPI MERE. M. Joannides

<sup>1</sup>Modélisation Et Ressources en Eau

<sup>2</sup>qui à notre sens comprend la biologie des populations et l'écologie des communautés.

<sup>3</sup>Laboratoire de Biotechnologies de l'Environnement, INRA Narbonne

de l'Université Montpellier II (équipe probabilités et statistique) est membre associé depuis 2008, effectuant une partie de sa recherche au sein de l'unité et de l'EPI MERE. La rentrée 2009 verra l'arrivée d'un nouveau recruté CR INRA en statistique.

- *Promotions*. L.Menut (AI en 2005), P. Neveu (IR en 2005), A. Rapaport (DR en 2006) et C. Abraham (Pr Supagro en 2007).

Depuis début 2009, l'unité est bilocalisée sur deux sites du campus de la Gaillarde. Cette bilocalisation correspond au découpage en deux équipes.

## 2 Moyens

- Participations à 2 projets européens (dont 1 en cours), 4 ANR (1 en tant que pilote, 1 en tant que co-pilote), 1 projet France/Chili (en tant que porteur), 1 projet ADEME, 1 projet ECOGER, 3 ARCs INRIA (dont 2 en tant que porteur), 1 projet STIC-CNRS-LR, 2 projets de la Fondation Agropolis et 2 contrats de plus de 50keuros (dont un avec un partenaire public non recherche).
- 11 doctorants (co-)encadrés dont 8 à demeure dans l'unité.
- Deux chercheurs invités sur longue période (Brésil, Belgique). Deux post- doctorants (France, Tunisie).
- 2 délégations (1 INRA, 1 INRIA), 1 détachement (SupAgro).
- Financements d'animation d'un réseau méthodologique INRA, de l'organisation de 4 écoles-chercheurs, d'un atelier et d'un colloque international.
- 60 formations suivies par le personnel de l'unité durant ce quadriennal, 25 sur des thèmes scientifiques et 35 concernant l'administration et l'encadrement de la recherche.

## 3 Résultats

- 204 publications dont 131 de rang A (voir Tableaux 2 et 3 ci-après pour leur répartition). 96 articles dans revues internationales, 2 monographies, 2 articles de presse.
- 13 logiciels produits (dont 2 déposés) : 1 commercialisé, 8 diffusés et utilisés hors unité, 2 diffusés de façon limitée et 2 destinés à l'appui à la recherche.
- 1 brevet.
- 6 thèses et 2 HDR soutenues.
- 25 participations à des jurys de thèse ou d'HDR (dont 12 en tant que rapporteurs).

## 4 Evolutions significatives

- Dès 2005, l'arrêt des activités sur la commande pour l'irrigation et l'agroalimentaire.
- Une nouvelle approche méthodologique : modélisation individus-centrée et écologie numérique.
- De nouvelles collaborations locales (LEPSE, IATE, Eco&Sols, CEFÉ), nationales (Dijon, St-Pé, Theix, Rennes, ENV Alfort, LUBEM Quimper), et internationales (Belgique, Etats-Unis, Canada, Pays-Bas).
- Une diminution des activités de recherche portant sur la dynamique de ressources renouvelables par l'approche classique déterministe et un recentrage sur l'optimisation.
- Une réduction de l'effort porté sur l'identification et la conduite de bioprocédés par les techniques statistiques.
- Des collaborations moins fréquentes avec le CEFÉ et le LAMETA sur le thème de la gestion de ressources naturelles.
- Le renforcement de collaborations existantes (LBE, SPO).

	2009	2008	2007	2006	2005
Chercheurs	7 4 INRA, 3 INRIA	7 4 INRA, 3 INRIA	6 4 INRA, 2 INRIA	6 4 INRA, 2 INRIA	6 5 INRA, 1 INRIA
Enseignants chercheurs	2	2	1	1	1
Ingénieurs de recherche	2	2	2	2	2 + 1 IE
Assistants ingénieurs	2	2	2	2	1
Techniciens de recherche	2	2	2	2	2
Adjoint administratif	1	1	1	1	1
Total	16	16	14	14	13

Tableau 1. Répartition et évolution du personnel permanent

	Forces	revues rang A	actes rang A	total publiés	logiciels
A. Syst. dyn. microbiens	40%	34	12	46	1
B. Dyn. ress. naturelles	20%	16	1	17	0
C. Syst. de prod. agro.	20%	4	2	6	6
D. Proc. transf. alim.	15%	4	2	6	4
autres	5%	3	15	18	0
méthodologie		33	5	38	2
total	12	94	37	131	13

Tableau 2. Répartition des publications entre projets structurants

publications de rang A	revues (par chercheur)	actes (par chercheur)	total (par chercheur)
2005	11 (1.47)	8 (1.07)	19 (2.53)
2006	14 (1.87)	7 (0.93)	21 (2.8)
2007	18 (2.4)	8 (1.07)	26 (3.47)
2008	26 (2.89)	8 (0.89)	34 (3.78)
2009 (partiel)	25	6	31
total	94	37	131

Tableau 3. Évolution de la production des publications

Note : Le calcul du nombre annuel de publications par chercheur, présenté dans le tableau ci-dessus, a été effectué en considérant qu'enseignants chercheurs et ingénieurs de recherche ont d'autres missions et n'effectuent qu'un mi-temps pour la recherche proprement dite

## 1 Bilan des activités thématiques

### A. Systèmes dynamiques microbiens

#### A.1 Modélisation et automatique en écologie microbienne.

Il s'agit des activités menées au sein du projet commun INRA-INRIA 'MERE' (Modélisation Et Ressources en Eau)<sup>4</sup>. Les objectifs du projet sont de développer, analyser et simuler des modèles de compréhension et de décision pour les communautés microbiennes, présentes notamment dans les écosystèmes de la dépollution des eaux.

*Principales collaborations* : INRA LBE (Narbonne), UMR MGS (Dijon), UMR Eco&Sols, UMR IATE, INRIA Bordeaux, CEMAGREF LISC, CMM Chili, UTFSM Chili, McGill Canada, CEES Pays-Bas.

##### A.1.1 Conception et conduite de bioprocédés

Le traitement des eaux rejetées par l'agriculture et l'agro-alimentaire représentent la première industrie mondiale, au regard de la quantité de matière traitée. Les bioprocédés de dépollution consistent à utiliser des microorganismes pour transformer la pollution liquide ou solide en boues et en produits secondaires valorisables (exemple du biogaz produit par la digestion anaérobie). Les réactions biologiques sont confinées dans des *bioréacteurs*, qui sont de véritables écosystèmes : systèmes complexes que l'on peut modéliser à l'aide de systèmes d'équations différentielles non-linéaires, difficiles à caractériser quantitativement, soumis à diverses perturbations et incertitudes et dont les mesures en ligne sont partielles ou très coûteuses. Les vitesses de dégradation biologique sont souvent faibles au regard de la production des déchets. Économiquement, il s'agit d'optimiser les débits de charge des réacteurs pour garantir un compromis entre rendement et productivité. L'équipe développe des outils de l'automatique déterministe non linéaire, de l'optimisation et du génie des bio-procédés pour

- optimiser la conception des réseaux de bioréacteurs,
- piloter de façon robuste les procédés continus,
- minimiser les temps de séjours des procédés séquentiels.

**Stabilisation de procédés continus.** Nous avons proposé une nouvelle stratégie de stabilisation d'un réacteur continu par boucles de recirculation et *by-pass* (ce qui évite d'ajouter une capacité de stockage en amont lorsque le système subit une surcharge hydraulique) [ACL79]. Nous nous sommes également intéressés à l'interconnection de bioréacteurs, et avons étudié l'influence de la taille relative de deux réacteurs en cascade sur le maintien de deux populations microbiennes [ACL53]. Ce premier résultat nous a permis de proposer une stratégie de bio-augmentation par une espèce (bien choisie) pour stabiliser globalement un écosystème présentant un risque de lessivage (du à une inhibition par le substrat) [ACL52]. Enfin, nous avons proposé des synthèses de rétroactions sur le taux de dilution par des méthodes de Lyapunov qui présentent certaines robustesses aux incertitudes de modèles [ACL68, ACL18, ACL19]. Une autre approche que nous avons élaborée repose sur la réalisation d'un suivi de trajectoires, en combinaison avec la technique de *backstepping* ([ACTI27, ACL48]).

**Capteurs logiciels.** Afin de pallier aux défauts d'identifiabilité et d'observabilité des modèles, nous avons proposé des observateurs *par intervalles*, qui fournissent des bornes garanties des variables non mesurées [ACLN6] au lieu d'estimateurs univalués. Ces observateurs ont été couplés à des lois de commande robustes et validées sur site réel [ACL91]. Au delà de l'atténuation de perturbations des procédés, estimer les entrées inconnues permet d'implémenter des lois de commande plus efficaces. Pour cela, nous avons proposé une construction d'observateurs d'entrées inconnues, notamment dans le cas où les entrées varient périodiquement dans le temps [ACTI16]. Enfin, en collaboration avec les microbiologistes du LBE, nous avons développé une nouvelle approche basée sur des observateurs pour assigner une fonction à des espèces microbiennes détectées par empreintes moléculaires (à partir d'un schéma réactionnel et de mesures en ligne, on estime les biomasses fonctionnelles puis on détermine la combinaison des espèces individuelles qui explique aux mieux les trajectoires des biomasses fonctionnelles) [ACL5]. Il s'agit d'un travail précurseur à des études qui utiliseront des données à haut-débit.

**Commande optimale.** Dans le cadre du projet européen EOLI piloté par le LBE et du co-encadrement d'une thèse, nous avons étudié théoriquement puis participé à des tests sur un réacteur pilote de lois de commande en temps minimum pour des procédés aérobies. Nous avons opté pour une modélisation hybride qui représente l'alternance entre périodes aérobies et anoxiques. À partir d'une étude de contrôlabilité, nous avons caractérisé les instants de commutation optimaux [ACL21]. Pour les procédés séquentiels, nous avons généralisé un résultat dû à Moreno (1999) aux cas de réacteurs à plusieurs espèces microbiennes en compétition sur un même substrat, et à une alimentation qui peut s'effectuer soit en continu (par pompage) soit par impulsions (dilutions). Nous avons obtenu une caractérisation de l'optimalité des stratégies *bang-bang* et *arc singulier* [ACL35]. Cette distinction est d'importance sur le plan opérationnel car elle conditionne la mise en place de capteurs et d'actionneurs. Pour la dépollution en milieu naturel (lacs ou nappes phréatiques) qu'il s'agit de traiter sans introduire de micro-organismes, nous avons proposé un schéma d'un bioréacteur alimenté en continu par la ressource (et dont la sortie retourne à la ressource après séparation des boues), et étudié les politiques en temps minimum. Nous avons considéré des ressources supposées

<sup>4</sup>Les rapports d'activité de cete équipe projet sont accessibles depuis la page <http://ralyx.inria.fr/200X/Raweb/mere/mere.pdf>

parfaitement homogènes, puis présentant un gradient de concentration, et montré le gain significatif à utiliser des lois de commande en boucle fermée [ACTN3].

### A.1.2 Théorie de la compétition pour un substrat

Représenter les espèces microbiennes par des concentrations régies par des équations différentielles ordinaires est communément admis pour les écosystèmes *parfaitement mélangés*. C'est sur cette base que la théorie de l'exclusion compétitive prédit l'extinction de la majorité des espèces, alors qu'elle n'est que rarement observée dans la nature ou même en laboratoire. L'équipe tente d'élucider ce paradoxe, en relation systématique avec les biologistes. La complexité d'un écosystème microbien et ses multiples interactions nous poussent à étudier plusieurs modèles conceptuels.

**La ratio-dépendance.** Dans le modèle classique du chémostat, le taux de croissance spécifique des espèces est habituellement une fonction  $\mu_i$  de la concentration  $s$  en substrat nutritif. Nous avons suivi la proposition d'Arditi-Ginzburg pour les relations proie-prédateur et les chaînes trophiques en écologie, de remplacer cette dépendance par le ratio  $s/x$  ou  $x$  est la densité de l'espèce, et l'étudier du point de vue de la compétition dans le chémostat. Nous avons montré que le principe d'exclusion n'est plus valide dans ce cas et avons développé une technique mathématique permettant de prédire à partir de la connaissance des  $\mu_i(s/x_i)$  les espèces qui coexistent [ACL96, ACL81, ACL62]. Grâce aux *techniques Lyapunov* nous avons démontré la *robustesse* de notre approche [ACTI35, ACL65, ACL66]. Dans les articles [ACL63, ACL41] nous montrons que le phénomène de *floculation* pourrait expliquer en partie la ratio dépendance.

**L'environnement lentement variable.** Un écosystème microbien soumis à un environnement *lentement* variable (par exemple un cycle saisonnier) peut alterner les conditions favorables à la croissance de diverses espèces. Nous avons mis en évidence une technique mathématique (basée sur des travaux antérieurs de T. Sari et C. Lobry) qui permet de prédire et de comprendre la coexistence sur la base de la connaissance des taux de croissance des diverses espèces, même en régime non périodique [ACTI3]. Ces travaux sont largement en cours de développement.

**La coexistence dans les transitoires.** Dans un contexte un peu différent mais avec une philosophie proche, nous avons analysé le comportement transitoire de plusieurs espèces fonctionnellement proches [ACL51, ACL7, ACL24]. Nous pensons, en effet, que les notions mathématiques classiques (états stationnaires, cycles limites, attracteurs divers) risquent d'être peu pertinentes pour les écosystèmes microbiens.

**Retard ponctuel.** Le principe d'exclusion compétitive en présence de retards dans les fonctions de croissance est étudié dans [ACL8] où il est montré que ce principe demeure valable lorsque les retards sont de taille inférieure à une constante donnée par une formule analytique.

### A.1.3 Modèles individus-centrés en écologie

Les modèles sous forme d'équations différentielles, tels que décrits plus haut ne sont plus adaptés pour les espèces qui sont réduites momentanément à un effectif suffisamment petit pour que la notion macroscopique de concentration perde son sens. Il faut alors passer à des modèles *individu centrés* et faire le lien entre le niveau individuel et les propriétés collectives émergentes. Nous développons deux approches complémentaires :

- l'une basée sur le *modèle neutre* de Hubbel, qui décrit la dynamique d'une communauté attribuant les mêmes caractéristiques à toutes les espèces.
- une autre par modélisation stochastique (processus de naissance et de mort), qu'il est possible d'exploiter à des fins de simulation. Sous certaines hypothèses, on peut approximer par des modèles de type diffusion (temps continu) ou de type chaîne de Markov (temps discret). Au niveau macroscopique, on obtient des modèles qui ne se réduisent pas à des modèles déterministes auxquels on aurait artificiellement un bruit.

**Empreintes moléculaires.** Nous avons montré que les techniques d'empreintes moléculaires *encodaient* l'indice de Simpson largement utilisé en écologie (un brevet a été déposé). Plus récemment nous avons montré, en collaboration avec des biologistes, qu'une autre technique, la dynamique de réassociation de l'ADN, permet d'accéder à toute une classe d'indices de diversité couverte par les indices de diversité de Renyi [ACL42].

**Autour du modèle neutre.** Nous avons étendu le modèle de Hubbell au cas d'une *densité dépendance* par rapport à la taille de la communauté [ACL40, ACL10]. Une seconde modification concerne l'aspect dynamique. Dans la plupart des communautés non microbiennes, les temps caractéristiques sont beaucoup plus longs que les durées d'observation disponibles et l'usage du modèle est donc restreint aux aspects stationnaires. Ceci n'est pas le cas pour les communautés microbiennes, et le test des modèles implique leurs propriétés dynamiques [ACL55] en termes d'indice de Simpson. La correspondance entre le niveau global et le niveau *détaillé* peut être formulé en termes de maximisation de l'entropie [ACL39, ACL11].

**Modélisation probabiliste.** En reprenant l'approche déjà exploitée dans l'unité dans le projet structurant B (ressources renouvelables), nous proposons une modélisation probabiliste de modèles individu-centré [AP2].

## A.2 Modélisation et prédiction statistiques pour les écosystèmes microbiens

Notre objectif est d'améliorer les capacités de modélisation et de prédiction d'évolutions de populations bactériennes, notamment dans le cas de contamination par des pathogènes dans des milieux alimentaires (*Listeria*, *Salmonella*, etc), à l'aide de techniques statistiques.

*Principales collaborations* : INRA-MIA Jouy-en-Josas, INRIA-ALEA Bordeaux, ENV Alfort, LUBEM Quimper.

Nous menons quatre types d'approches statistiques interdépendantes. La première concerne l'acquisition statistique de données et la détermination de plans d'échantillonnage optimaux. La seconde est celle de l'estimation de densités conditionnelles d'effectifs bactériens et de paramètres des dynamiques modélisées, par filtrage non linéaire. Le problème de la comparaison et de la sélection de modèles d'évolution pertinents, est également abordé, ainsi que celui de la prévision et de la détection statistiques de rupture de modèles pour la caractérisation rapide d'anomalies de type panne de dispositif ou contamination.

### A.2.1 Principes.

La mise en défaut des techniques statistiques classiques sur les systèmes dynamiques à espaces d'état non linéaires (non accès aux vraisemblances analytiques) nous a conduit à considérer des approches innovantes de type bayésien séquentiel : celles que nous avons développées (filtrage à convolution) permettent des estimations convergentes des densités de probabilité des paramètres inconnus du système et des densités des variables d'état non observées (effectifs bactériens), ceci à un instant donné ou de façon prédictive sur tout un horizon. De là, des critères statistiques d'alerte peuvent être mis au point. Ces estimations intègrent les évolutions des facteurs de milieu (température, pH, activité de l'eau) et des facteurs cinétiques (biotiques et abiotiques) des plus profonds niveaux.

### A.2.2 Résultats actuels.

Les avancées les plus marquantes actuellement ont été réalisées sur les trois premiers points : acquisition, estimation par filtrage [ACTN4, ACTI1], comparaison de dynamiques par calcul de facteurs de Bayes [ACL26], mais aussi bandes de confiance exactes pour prédictions d'évolution d'effectifs bactériens. Par ailleurs un logiciel pilote a été développé [AP1], dont une première version a été transféré à nos collègues microbiologistes pour validation (ENV).

### A.2.3 Cadre de développement.

Notre projet a démarré dans le cadre des Réseaux Méthodologiques MIA et après sélection par appel d'offre de l'Institut des Systèmes Complexes (2007). Il a donné lieu depuis janvier 2009 à une ARC INRIA (ARC EPS Eco-microbiologie Prévisionnelle Statistique) et à de nouveaux questionnements (caractérisation d'évènements rares).

## B. Dynamique de ressources naturelles

L'unité développe des outils et des méthodes mathématiques pour la gestion de ressources naturelles renouvelables, dans les buts

- de proposer des stratégies susceptibles d'améliorer leur gestion,
- de mieux comprendre la dynamique des ressources pour leur préservation.

*Principales collaborations* : LERFoB Nancy, ONF Fontainebleau, CIRAD Montpellier, Agrocampus Rennes, Réseau CAQ, Réseau DPPE, Réseau MIFIMA (Chili,Pérou), Univ. de Fianarantsoa à Madagascar.

### B.1 Gestion de ressources hors équilibre

Nos recherches se positionnent dans un cadre bio-économique. De nombreux travaux de la littérature se limitent à la recherche des solutions optimales à l'équilibre. L'originalité de nos travaux est d'étudier l'optimalité dans les régimes transitoires en fonction des conditions initiales [ACL23, ACL22], notamment lorsqu'il y a plusieurs solutions optimales à l'équilibre [ACL98].

### B.2 Gestion forestière

Une thèse en co-tutelle avec le CMM (Chili) a porté tout d'abord sur la gestion optimale d'une forêt à deux essences, basée sur un modèle à temps discret. Par la suite, l'utilisation d'une méthode de programmation dynamique a permis l'étude de la gestion optimale de surfaces occupées par la forêt et de façon alternative par un autre usage [ACL23].

Une question récurrente chez les forestiers porte sur le choix de l'échelle pertinente de représentation des ressources forestières (arbres, parcelles, ...) à considérer pour leur gestion. En effet, la comparaison des solutions numériques d'un problème de gestion, obtenues d'une part avec un modèle en temps discret et des classes de diamètres (travail en collaboration avec un chercheur du LERFoB Nancy en mission pour un an à l'UMR), et d'autre part par une solution analytique d'une version simplifiée du même modèle (en temps continu avec une seule classe de diamètres), a apporté des éléments qui justifient l'intérêt d'une modélisation simplifiée [COM2]. Cette collaboration avec le LERFoB a été rendue possible par la participation active de membres de l'UMR aux réseaux EFPA-CAQ (Croissance-Amélioration-Qualité) regroupant des forestiers de l'INRA, du Cemagref, du Cirad, de l'ONF et EFPA-DDPE (Dynamique des Populations et Peuplements Exploités).

### B.3 Gestion en halieutique

Nous avons étudié, à l'aide d'un modèle en temps continu (e.d.o.), les conséquences de la mise en place d'une réserve marine et mis en évidence le fait que des zones protégées peuvent être bénéfiques à la fois sur les plans économique et biologique [ACL92]. En collaboration avec des collègues chiliens, nous avons alors abordé le problème du partage entre une flotte artisanale côtière et une flotte industrielle, et montré l'intérêt bioéconomique d'allouer à chaque flotte une zone de pêche [ACL32]. Dans ce type d'étude, les choix des modèles pour prendre en compte la spatialisation sont primordiaux, et nous avons mis en évidence les conséquences de ces choix sur les stratégies optimales [ACL16]. La grande majorité de ces travaux ont été effectués dans le cadre du projet MIFIMA (Mathematics, Informatics and Fisheries Management), en collaboration avec des équipes du Chili et du Pérou, et ont donné lieu à plusieurs actions de formation (cd Section 3.3). Des travaux théoriques (sur le turnpike) décrits en Section 2.1.1 ont été initiés par ces problématiques de gestion des pêcheries.

### B.4 Protection de la biodiversité et dynamiques de populations

Dans le cadre de l'AIR CNRS BioStic-LR (2005-2007) "Analyse et gestion de la Biodiversité" nous avons travaillé en collaboration avec le CEFE-CNRS à la résolution de problèmes de modélisation, d'identification, puis d'inférence bayésienne, sur des dynamiques de populations d'oiseaux migrateurs (cigognes, flamants) [ACL61]. La mise sous forme d'un unique modèle à espace d'état, intégrant informations démographiques et suivis individuels, a permis une identification optimale par filtrage à convolution, ainsi que la mise en évidence de phénomènes de densité-dépendance et les tests de certaines hypothèses conjecturées par nos collègues écologistes.

### B.5 Modèles pour la préservation des ressources

Les modèles déterministes, qui sont couramment utilisés pour l'aide à la décision, sont mal adaptés aux situations de risques d'extinction d'espèces. C'est pourquoi nous nous intéressons à des modèles stochastiques à l'échelle des individus. L'originalité de nos recherches est de faire le lien avec les modèles déterministes vus comme dynamiques moyennes, en apportant des corrections aux échelles populationnelles.

Jusqu'en 2008, l'UMR a dirigé une ARC INRIA MICR (Modélisation stochastique et inférence numérique pour l'évaluation et la gestion de ressources renouvelables), qui regroupait en plus des chercheurs de l'INRA et de l'INRIA une équipe de dynamique de forêts naturelles du CIRAD (Montpellier) et une équipe du Laboratoire d'Ecologie Halieutique (Agrocampus, Rennes). Dans ce cadre, l'UMR a bénéficié d'un an de post-doctorant, pour l'aide au développement de modèles probabilistes dans les domaines de l'halieutique et des dynamiques de forêts. En particulier, un modèle individu centré (IBM) de type Bolker-Pacala comprenant un modèle explicite de croissance a été développé dans le contexte forestier. Nous avons proposé une description probabiliste de cet IBM sous forme d'un processus de Markov de branchement/diffusion, reprenant l'approche proposée par Méléard et ses coauteurs. Enfin, nous avons développé un simulateur sous MATLAB.

Depuis 2007, l'UMR développe des relations avec l'Université de Fianarantsoa à Madagascar, notamment dans le cadre du projet SARIMA (GIS financé par le MAE) et de l'AUF, autour de la modélisation markovienne de dynamiques agraires.

Depuis 2009, l'UMR est co-responsable d'un projet ANR-SYSCOMM MODECOL (Using mathematical MODEling to improve ECOlogical services of prairial ecosystems), dont le but est d'optimiser la capacité d'absorption du nitrate par des populations de plantes clonales. Dans ce cadre, l'UMR est animatrice d'un groupe de modélisateurs de l'INRIA dans le but de proposer des modèles computationnels originaux.

### B.6 Economie des ressources

Parallèlement aux activités décrites ci-dessus, jugées plus prioritaires, nous entretenons une collaboration avec un chercheur économiste de l'unité DYNAFOR Toulouse, qui concerne la prise en compte de l'aléa climatique dans les contrats environnementaux [ACL83]. Nous espérons pouvoir faire le lien dans le futur entre cette activité et les précédentes. D'une façon encore plus ponctuelle, des travaux ont été entrepris avec un biologiste [ACL70, ACL50] et un généticien [ACL58] sur des aspects purement numériques.

## C. Systèmes de production agricole et interactions avec l'environnement

Un des enjeux de l'agriculture d'aujourd'hui est de pouvoir respecter l'environnement tout en maintenant une production de qualité. Dans ce contexte, nous sommes associés à plusieurs équipes d'agronomes pour comprendre les interactions entre certains systèmes de culture, leur environnement et éventuellement les pratiques culturales associées à leur conduite. Les objectifs agronomiques visés sont différents selon les systèmes considérés :

- arbres fruitiers (pêchers) : pilotage par des actes techniques appropriés, des interactions entre la plante, ses bioagresseurs (pucerons) et des régulateurs introduits (coccinelles) ; recherche de nouvelles variétés moins sensibles aux fissures, résistantes à une maladie, un ravageur,
- maïs : recherche de nouvelles variétés plus tolérantes à la sécheresse,
- vigne : caractérisation de l'impact des scénarios de culture (terroir, taille, apports, traitements) sur les potentiels de qualité du vin ; conception et comparaison de cartes de risques de maladie (mildiou, oïdium) pour la préconisation de traitements spatialisés raisonnés.

En collaboration avec les agronomes, nos objectifs sont de concevoir et de mettre en œuvre des modèles mathématiques en tirant au mieux profit d’une connaissance experte formalisée et de la richesse des données expérimentales. Ces données issues d’avancées technologiques récentes en matière de capteur (plateforme haut débit, données GPS) sont particulièrement volumineuses. Dans ce but, il a été aussi nécessaire de travailler sur l’organisation des données et de la connaissance. Notre investissement sur ce thème s’est accru depuis 2007.

## C.1 Organisation de données à haut débit et de leur annotation

Conduire l’étude de systèmes dynamiques agronomiques et leurs interactions avec l’environnement confronte nos collègues à des problématiques de gestion de données hétérogènes et multisources. Nous avons apporté un soutien méthodologique important pour la conception et le développement de plusieurs bases de données et l’organisation des flux de données associés. Ce travail classique mais toujours délicat reste un passage obligatoire pour bien exploiter les données. Ce cadre de collaboration nous a permis de ré-utiliser et de montrer la généralité de nos travaux sur les l’organisation de données issues de systèmes dynamiques et les annotations [COM12] (cf sections suivantes). Ainsi nous avons mené à bien plusieurs collaborations illustrées par les réalisations suivantes : Cincalli (BD internationale maïs en champs), Phénodyn (plateforme haut débit maïs)[AFF4, AFF3], Phénopsys (plateforme haut débit Arabidopsis) [ACTN10], SI-Tournesol (Etude Tournesol, collaboration LEPSE et Syngenta semences), Truffe (CTP).

## C.2 Simulation et prévision du comportement de systèmes

Dans le cadre du projet “ECCO des vergers”, nous nous sommes intéressés au pilotage des interactions fonctionnelles du système pêcheur-pucerons par l’association de méthodes chimiques, biologiques (lâcher de prédateurs) et culturales (taille d’hiver et fertilisation azotée). Les interactions entre les éléments trophiques du système et leur pilotage ont été modélisées en lien avec les variables environnementales. Le modèle, appuyé sur une structure de type Lotka-Volterra, est constitué de plusieurs boîtes et intègre des connaissances déjà acquises et des données issues de nouvelles expérimentations [ACL37, ACL38]. Ainsi, modèles mécanistes et empiriques cohabitent. Le modèle global reproduit qualitativement le comportement du système [ACTI10]. Des scénarios techniques ont été évalués en simulation sur la base de performances exigées par la filière fruits [ACTI11]. La simulation permet d’intégrer des processus à des échelles variées (temporelles, d’organisation du vivant) et de simuler le système global obtenu pour tester des hypothèses sur le fonctionnement à cette échelle globale.

## C.3 Aide à la décision

Nous avons engagé des travaux sur trois axes. Le premier axe vise à la construction d’un outil d’aide à la décision pour produire des vins sensoriellement différents en fonction de l’itinéraire technique. L’outil se présentera sous la forme d’un tableau de bord regroupant différents types d’indicateurs. Ces indicateurs caractériseront le terroir dans sa définition la plus large, à savoir en prenant en compte l’environnement (le climat et les caractéristiques du sol et du sous-sol) et les choix techniques du vigneron (choix du cépage et du système de conduite, des itinéraires culturaux et de la date de vendange). Ces différents indicateurs seront agrégés sous forme d’un indice global caractérisant la vendange et/ou le type de vin pouvant être espérés. Ce travail, qui a débuté fin 2008, est mené en collaboration avec l’UMT Viniterra d’Angers au travers d’une thèse.

Le second axe est lié au fait que les données agronomiques sont de plus en plus fréquemment issues de mesures spatialisées, obtenues soit à haute résolution de façon automatisée sur une grille régulière (mesures de couverture végétale par exemple), soit manuellement (viguer, attaque parasitaire...) sur une grille irrégulière. Les questions de recherche portent sur l’apprentissage de zones continues et relativement homogènes sur des cartes, à partir de ces données numériques et sous contrainte de la connaissance experte disponible. Il s’agit d’adapter des algorithmes de segmentation issus de l’analyse d’image. L’agrégation et la comparaison approchée de ces cartes sont des questions subséquentes qui font appel à des méthodes de raisonnement dans l’incertain. En 2009, un groupe de travail (UMR LISAH, ITAP, ASB) a permis d’avancer sur ces questions [ACTI6].

Enfin, dans le cadre du programme “Impacts” du projet ANR Agriculture et Développement durable (2006-2009), nous avons participé d’une part au sous-projet “Modélisation et optimisation des apports eau-azote en grandes cultures en contexte aléatoire”(maquette d’un modèle de rendements à espace d’état, pour son identification par filtrage), et d’autre part au sous-projet “Modélisation économétrique de l’utilisation du sol en France”, pour lequel nous avons développé un modèle d’évolution à temps discret et à espace d’état, incluant des co-variables socio-économiques, outil possible d’évaluation de certaines conséquences de la réforme de la PAC.

## D. Procédés de transformation des aliments

Les enjeux prioritaires autour de l’alimentation portent sur l’adaptation des caractéristiques des aliments aux attentes du consommateur, plus particulièrement dans les domaines de la sécurité et de la qualité (nutrition, plaisir et facilité d’emploi). Dans ce cadre, nous nous intéressons aux procédés de transformation des aliments. Notre objectif est de développer et d’adapter de nouvelles méthodes qui permettent de prendre en compte et d’intégrer des masses de données temporelles pas ou peu réparties tout le long du processus (par exemple une information riche en entrée et sortie des procédés mais pauvres ou inexistantes le long de certaines phases), pour la compréhension de

processus complexes et l'aide à la décision. Les méthodologies principalement concernées sont la représentation de la connaissance et la statistique pour données fonctionnelles. Un travail basé sur des approches déterministes vient de débiter sur ce thème applicatif, en lien avec le thème écologie microbienne. Durant la période 2005-2007, notre investissement sur ce thème a été limité et les résultats les plus marquants ont été la production de logiciels utilisés par des équipes de recherche mais également au sein de filières professionnelle. Depuis 2008, nos activités sur ce thème se sont renforcées, et s'appuient en grande partie sur le projet européen CAFE, dont l'UMR est partenaire (cf ci-dessous).

*Principales collaborations* : UMR IATE et SPO (Montpellier), UMR GMPA (Grignon), UR Wageningen (Pays Bas), SPES (Italie).

**Principaux Logiciels.** Le système d'information Grain virtuel est un outil de synthèse et d'exploitation de l'ensemble des données analytiques disponibles sur les céréales et leurs produits dérivés. Il a été développé en partenariat avec l'UMR IATE au profit de chercheurs du domaine.

Une étroite collaboration sur plusieurs années entre statisticiens, automaticiens et informaticiens de notre UMR, et plusieurs chercheurs en biologie de l'UMR Sciences pour l'Oenologie, a permis des avancées significatives dans la maîtrise de la fermentation alcoolique en conditions oenologiques. Le modèle développé grâce à cette collaboration a donné lieu au logiciel de simulation de la fermentation Sofa, avec session de licence à un partenaire industriel (Intelli'Oeno) et commercialisation en 2007. Ce logiciel comporte un module d'aide à la décision pour la conduite d'une cuverie. Sofa a été retenu en tant que fait marquant du département CEPIA pour l'année 2006 et intégré au rapport recherche et innovation de ce département.

Nous avons conçu et mis en exploitation un Système d'Information dédié à la gestion de fermentations alcooliques réalisées sur deux sites, aux échelles du laboratoire (30 fermenteurs) et pilote (16 cuves). Ce système offre un suivi en ligne des fermentations et intègre des informations relatives à un millier d'expérimentations, telles que conditions d'expérimentation, mesures en ligne et analyses hors ligne, descriptions des opérations ou encore de connaissance du domaine. Il permet, par exemple, de qualifier les fermentations (lentes, languissantes, etc) ou encore d'invalider des mesures. Plus de 50 mois/ingénieur, entre fin 2004 et 2009, ont été nécessaires pour son développement. Il est utilisé depuis 2005 au quotidien par des équipes de recherche et des partenaires industriels.

**Projet CAFE.** Le projet européen CAFE (17 partenaires, montant total de 7.33 millions d'euros, durée 4 ans), lancé en 2008, vise à développer et mettre en oeuvre de nouveaux outils et méthodes d'ingénierie des procédés pour contrôler efficacement, et de façon flexible, la production. L'objectif de ces méthodes est de pouvoir piloter chaque étape en temps réel et d'assurer une qualité de produit tout au long du processus, plutôt que de contrôler a posteriori le produit en fin de procédé. La nouveauté du projet réside dans sa capacité à combiner PAT (Process Analytical Technology) et capteurs (existants et nouveaux) avec des modèles spécifiques pour :

- extraire les informations du procédé sous forme d'estimations précises de variables non mesurées définissant les attributs de qualité du produit et les variables du procédé,
- sauvegarder et encoder ces données dans un format adéquat,
- développer des méthodes de contrôle qui maintiennent une production et une qualité uniforme, en dépit de la variabilité de la matière première et /ou de réponses à des changements soudain de la demande.

Les concepts, méthodes et outils développés au cours de ce projet seront appliqués à quatre situations illustrant les grandes catégories de procédés alimentaires : production de vin (procédés de bioconversion), microfiltration de boissons (procédés de séparation), lyophilisation de bactéries lactiques (procédés de conservation) et cristallisation de la glace (procédés de structuration).

Ce projet est coordonné par l'université catholique de Louvain. Notre UMR est responsable du workpackage "Knowledge representation and data management". Les moyens, financés par ce projet, pour l'unité sont : 18 mois ingénieur, une demi-bourse de thèse et 30 Keuros.

Après un an de travail, nous avons conçu des modèles génériques de systèmes d'information permettant une gestion de données hétérogènes et réparties (en ligne, hors ligne, symbolique, etc), et avons élaboré des ontologies dont le but est d'intégrer la connaissance du domaine nécessaire à l'exploitation d'expérimentations. Cette connaissance formalisée peut être exploitée par des applications logicielles au profit d'un collectif pluri-disciplinaire (cf Delivrable 2.1 du projet).

## D.1 Méthodes d'intégration de connaissances expertes et de données pour la décision

L'essentiel de notre travail a été effectué avec des filières traditionnelles en agroalimentaire, telles que la fabrication de fromages de pays (Comité Technique du Comté) ou la vinification. La démarche que nous avons mise en oeuvre, basée sur l'intégration du savoir-faire et sur l'apprentissage à partir des données disponibles sur le procédé, a permis une meilleure compréhension des variables influentes aux différentes étapes de fabrication. Ce travail a donné lieu à plusieurs articles [ACL9, ACL25, INV1, ACTN21, ACTN21, ACLN7] et une thèse, et a été également valorisé par une utilisation logicielle dans les filières, pour l'aide à la décision et la transmission du savoir-faire. Plus récemment, nous avons effectué des travaux portant sur la filière céréalière, en collaboration avec l'UMR IATE, afin d'intégrer des procédures d'apprentissage dans des représentations à base de graphes conceptuels. Ce travail a ouvert des perspectives intéressantes dans le cadre du raisonnement avec des données rares et en présence d'incertitude, qui se sont concrétisées par la proposition d'un sujet de thèse.

## D.2 Méthodes issues du web sémantique

L'étude de processus de transformation des aliments exige une gestion de données importante et spécifique. Ces données correspondent à la description de conditions d'expérimentation et de leur dynamique, à des mesures (variées dans leur structure et leur mode d'acquisition) et surtout à des descriptions fines d'opérations, d'interventions ou encore d'incidents. L'objectif a été de créer et de mettre en exploitation une nouvelle génération de Systèmes d'Information (SI) pour la gestion de données d'expérimentation sur des procédés de transformation des aliments [ACTN13]. Ces SI sont accessibles et exploitables par des applications logicielles dont l'originalité est de s'appuyer sur des annotations sémantiques qui permettent d'intégrer métadonnées et connaissances [ACTN12]. Nous avons développé une application qui détermine des intervalles de confiance sur des mesures de débit de gaz en s'appuyant sur des ontologies (ce travail a fait l'objet d'une publication soumise cette année).

## D.3 Méthodes statistiques pour le pré-traitement de données

Il s'agit de traiter des données expérimentales sous forme de courbes. Cela consiste à valider, reconstruire et lisser des courbes à partir de modèles de régression fonctionnelle et de la connaissance experte. Le défi est de formaliser la connaissance experte comme une contrainte sur la forme et la régularité de la fonction de régression, tout en s'assurant de l'existence de solutions. Nos premiers travaux ont donné des résultats prometteurs [ACL14] et le cadre bayésien apparaît comme étant le plus adapté (cf Section 2.2.2).

## 2 Bilan des activités génériques

Nous décrivons ici les résultats dont la portée dépasse le cadre des applications auxquelles ils ont pu être associés.

### 2.1 Modélisation, systèmes dynamiques et optimisation.

#### 2.1.1 Turnpike et équations d'Hamilton-Jacobi

Nous avons proposé une nouvelle condition nécessaire et suffisante d'optimalité de trajectoires *turnpike* pour les problèmes de calcul de variations dont l'équation d'Euler est singulière [ACL98]. Notre méthode, basée sur les solutions de viscosité d'une équation de type Hamilton-Jacobi, s'applique aux problèmes admettant plusieurs solutions à l'équation algébrique d'Euler, et permet de déterminer quel turnpike est optimal en fonction de la condition initiale. Nous avons également proposé une expression explicite de la fonction valeur lorsque cette condition n'est pas vérifiée, par une technique de perturbation [ACL72]. Cette technique s'applique aux problèmes de gestion de ressources naturelles [ACL22] et à la commande de bioprocédés séquentiels [ACL35].

#### 2.1.2 Fonctions de Lyapunov strictes

Pour un système non linéaire donné, la question de savoir si on peut construire une fonction de Lyapunov stricte (i.e. telle que sa dérivée le long des trajectoires est définie négative), à partir de la connaissance d'une fonction de Lyapunov non stricte a été étudiée pour différents types de systèmes (cf aussi la monographie [OS1]) :

- autonomes [ACL85, ACL18],
- non-autonomes [ACL97, ACL86, ACL67, ACL69, ACL17],
- hybrides [ACL46],
- stabilisés au moyen de commandes adaptatives [ACL20].

Une des motivations de ces travaux provient du fait qu'il est fréquent de connaître une fonction de Lyapunov non stricte pour les modèles biologiques, alors qu'"strictifiant" celle-ci, on peut évaluer la robustesse de la stabilité de ces modèles ou construire des loi de commande [ACL68, ACL48, ACL19, ACL18].

#### 2.1.3 Systèmes à retard

Une technique de stabilisation de systèmes non linéaires *feedforward* ayant un retard ponctuel dans l'entrée arbitrairement grand est proposée dans [OS8], alors qu'une technique *backstepping* est adaptée aux retards dans l'entrée dans [ACL84]. Ce résultat est obtenu par construction de fonctionnelles de Lyapunov-Krassovskii d'un type nouveau, conduisant à montrer la stabilité asymptotique globale de systèmes dont l'approximation linéaire à l'origine n'est pas asymptotiquement stabilisable [ACL84, ACL8]. Dans [ACL49] est démontré un résultat général permettant d'assurer qu'un système asymptotiquement stable en boucle fermée en l'absence de retard conserve cette propriété lorsque le retard est de taille inférieure à une constante déterminée explicitement.

#### 2.1.4 Modélisation probabiliste

Une activité naissante dans l'unité concerne la modélisation probabiliste à l'aide de processus markoviens. Un des premiers travaux a consisté à développer un modèle individu-centré sous forme de processus de Markov à valeur mesure ainsi que la méthode de simulation de Monte Carlo associée. L'approche consiste à exhiber le générateur infinitésimal du processus et d'en étudier les propriétés. Elle permet notamment d'étudier l'asymptotique en

grande population du modèle et de démontrer des convergences étroites du processus vers un processus déterministe [ACTI7, ACTN7, AP2].

## 2.2 Statistique et processus stochastiques

### 2.2.1 Filtrage particulière et détection de rupture de modèle.

Les travaux sur l'estimation fonctionnelle et l'estimation non paramétrique de densités de probabilités se sont poursuivis, toujours dans le cadre des modèles auto-régressifs [ACL64]. Ils ont plus particulièrement concerné le filtrage non paramétrique de systèmes dynamiques non linéaires et ses applications inférentielles.

L'utilisation de noyaux de convolution pour l'estimation de densités conditionnelles de variables d'état non observées et de paramètres, a d'abord donné lieu au développement d'une famille de filtres non linéaires dits à convolution de particules, d'utilisation plus souple que les filtres particulières classiques (accès aux lois d'erreurs non nécessaire) et possédant de bonnes propriétés de convergence pour les densités estimées (norme  $L_1$  presque sûre) et pour leurs espérances (convergence presque sûre). *Publications méthodologiques* : [ACL100, ACLN5]. *Publications applicatives* : [ACLN8] (bioprocédés), [ACL61] (agro-éco-systèmes), [ACTN4, ACTI1] (microbiologie).

Basées sur ce type de filtres non paramétriques, des extensions des tests séquentiels classiques de type CUSUM (Cumulative Sums), ont permis de traiter le problème de la *détection de rupture fonctionnelle ou paramétrique de modèle*, dans plusieurs situations importantes :

- processus d'observations d'un système dynamique non linéaire à espace d'état non observé.
- processus auto-régressif non linéaire à composante fonctionnelle inconnue.

Les approches par filtrage non paramétrique utilisées ici ont conduit à des résultats d'optimalité asymptotique des règles de décision correspondantes (minimisation du pire retard moyen à la détection sous contrainte de temps minimum entre fausses alarmes). *Publications méthodologiques* : [ACL57, AP8, INV3, ACTI2, ACTN17]. Les extensions des règles CUSUM ont porté également sur le calcul de seuil adaptatif pour ces tests séquentiels de rupture (par calcul de quantiles empiriques sur des simulations de trajectoires). Ce seuil adaptatif garantit la validité du niveau choisi d'erreur de première espèce (fausse alarme) malgré la non stationnarité de la loi de la statistique de test dans le cas non i.i.d. Une généralisation de ce calcul de seuil adaptatif à une procédure de détection et identification (diagnostic) simultanées de rupture de modèle, a également été obtenue. *Publications méthodologiques* : [ACL56, ACTN25]. *Publications applicatives* : [ACLN4, ACTN18, ACTN20] (bioprocédés), [ACTN23, ACTN19, AP13] (agro-alimentaire).

### 2.2.2 Décision bayésienne

L'étude de la robustesse en théorie de la décision bayésienne pose des problèmes de calcul, comme par exemple, le calcul des bornes inférieure et supérieure de l'ensemble des décisions optimales lorsque la fonction d'utilité parcourt une classe donnée. La difficulté provient du fait qu'une décision optimale associée à une fonction d'utilité est un argument minimum qui n'a pas de solution explicite en général. Les premiers travaux consistaient surtout à trouver des classes d'utilités pour lesquelles un tel calcul était possible assez facilement. Cependant, les classes ainsi construites n'étaient pas toujours réalistes d'un point de vue pratique. Dans nos derniers travaux, nous adoptons une stratégie plus réaliste en partant des classes d'utilités telles qu'elles apparaissent en pratique. Nous proposons une méthode de calcul approché pour ces classes, des résultats théoriques de convergences des approximations et une implémentation pratique [ACL1]. Nous envisageons d'adapter cette méthode de calcul à l'aide à la décision pour les populations de saumons atlantique dans le cadre d'une thèse encadrée pour moitié dans l'UMR.

### 2.2.3 Statistique sur les courbes

L'activité autour de la statistique sur les courbes est divisée en deux sous-thèmes : la régression bayésienne avec information a priori et la classification de courbes. Le premier sous-thème a été motivé par un travail mené en collaboration avec le laboratoire INRA de Poligny sur la fabrication de fromage : certains enregistrements d'évolution de pH donnaient des courbes de formes aberrantes. Une première méthode bayésienne de régression sous contraintes de formes et de régularité a été étudiée (article en cours de rédaction) et une autre fait actuellement l'objet d'un sujet de thèse dirigée à l'unité. Des problèmes similaires sont également rencontrés dans les enregistrements de la croissance du maïs. Ainsi, ce sous thème s'inscrit dans les thèmes applicatifs C. et D. Les travaux sur la classification de courbes sont, quant à eux, plus anciens et s'inscrivent également dans les mêmes thèmes applicatifs.

Ces travaux nécessitent le lissage de données fortement bruitées afin d'obtenir une courbe régulière. Ce lissage est traditionnellement effectué avec des splines de lissage cubiques qui est l'outil naturel pour des fonctions assez régulières dans un espace de Sobolev d'ordre deux. Cependant, il est possible d'obtenir un meilleur lissage si l'on connaît la régularité de la fonction lisse sous-jacente. Cette régularité étant bien sur inconnue, un nouveau lisseur adaptatif à base de spline a été développé. En plus de son étude théorique, son implémentation informatique a fait l'objet d'un package R disponible sur le site du CRAN.

### 2.2.4 Monte Carlo par chaînes de Markov et Monte Carlo Séquentiel

Les méthodes de statistique et de modélisation probabilistes numériques sont de plus en plus utilisées dans le domaine de l'agronomie et l'écologie. Dans ce cadre nous avons fait le point des possibilités offertes notamment en termes de modélisation bayésienne hiérarchique [ACL31]. Les problèmes d'inférence dans ce domaine peuvent

être abordées par des techniques séquentielles comme les méthodes de Monte Carlo séquentielles [ACL3] et par des techniques non séquentielles comme la méthode de Monte Carlo par chaînes de Markov [ACL30, ACL4]. Dans le premier cas nous avons étudié les techniques par convolution déjà proposées par [ACLN5]. Dans le deuxième cas, nous avons développé des méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov en parallèle.

### 2.2.5 Comparaison et sélection bayésiennes de modèles

- *Modèles dynamiques à espace d'état non linéaires* : Un estimateur non paramétrique convergent d'un *facteur de Bayes* entre deux modèles concurrents a été développé, par estimation des vraisemblances marginales des modèles par filtre à convolution. Il permet de résoudre le problème de la comparaison statistique de modèles dynamiques à espace d'état non linéaires, pour lequel les critères classiques (Akaike, BIC, etc) ou procédures type MCMC, sont inadaptés (non accessibilité des fonctions de vraisemblance standard associées). *Publication méthodologique* : [ACL26]. *Publications applicatives* : [ACTI1] (microbiologie).
- *Modèles de régressions non linéaires multidimensionnelles* : Une méthode de cross-validation bayésienne a été développée pour la comparaison de modèles de régression multiréponse concurrents, selon un critère dit *d'utilité espérée*. Ce critère repose sur les densités prédictives a posteriori des réponses ponctuelles des modèles. Des estimations convergentes de ces densités peuvent-être obtenues soit par une méthode MCMC hybride, soit par approximation convergente des densités a posteriori des paramètres de chaque modèle. La supériorité de cette approche CV-bayésienne sur les méthodes AIC, BIC et CV-standard a été vérifiée [ACL54, ACL89].

### 2.2.6 Planification optimale en régression non linéaire

L'activité de ce thème repose sur une valorisation méthodologique de travaux antérieurs sur le calcul de plans d'expérience optimaux pour l'estimation de paramètres, par minimisation de l'espérance du volume d'une région de confiance paramétrique de niveau exact (et non asymptotique) [ACL74].

## 2.3 Informatique et représentation de la connaissance.

Dans le domaine des systèmes dynamiques agronomiques et environnementaux, le partage ainsi que la valorisation d'expérimentations et des données produites est un vrai problème. Par exemple, un manque d'information concernant des opérations ou des perturbations sur des mesures ou sur des conditions d'expérience rendent celles ci, dans la plupart des cas, utilisables qu'à court terme et que par un groupe extrêmement réduit de personnes. L'enjeu est de valoriser des ensembles de données d'expérimentations de façon pérenne pour un public large et varié (agronomes, modélisateurs, biologistes, généticiens, etc). Ces travaux sont dans la continuité de ceux effectués dans le projet européen Telemac (2001-2005) [ACL93]. Nous avons développé des modules logiciels génériques de SI scientifiques dédiés aux expérimentations [ACTI17] qui ont pu être déclinés pour différents systèmes. Nos derniers développements opérationnels intègrent des modules d'annotations sémantiques. Ces annotations et connaissances formalisées avec les méthodologies du web sémantique (RDF, RDFS, OWL) associés à des mécanismes d'inférence ont permis d'apporter de nouvelles fonctionnalités pour la valorisation de données.

Egalement sur le plan méthodologique, une de nos approches est basée sur des systèmes de règles floues, qui permettent une passerelle entre symbolique et numérique, bien adaptée à la prise en compte des données et de la connaissance experte. Elle est menée en collaboration avec le Cemagref. La thèse encadrée dans l'unité (en collaboration avec l'IRIT) a permis différents types de règles floues (règles conjonctives ou implicatives), et de définir précisément leur intérêt respectif dans le cadre de la supervision de procédés complexes. Ce travail novateur a été récompensé par un prix [ACTI26].

Au cours d'une dizaine d'années de travail sur des applications en agronomie, nous avons développé le logiciel *open source* FisPro, cadre collaboratif de collaboration expertise-données. FisPro propose une boîte à outils qui permet à un expert d'un domaine d'application de concevoir des systèmes d'inférence floue, soit à partir de sa propre connaissance, soit à partir d'un ensemble de données d'apprentissage. Ce logiciel implémente nos propres développements ainsi que d'autres méthodes connues, compatibles avec les critères d'interprétabilité des règles. Il est utilisé à la fois par la communauté scientifique et par des filières professionnelles.

## 3 Bilan des activités de formation

Cette section présente les actions de formation et d'enseignement, hors service des enseignants-chercheurs de l'UMR.

### 3.1 Actions à destination d'étudiants

L'unité assure la coordination du parcours de Master Biostatistiques cohabilité par les Universités de Montpellier I et II, et SupAgro Montpellier pour la période 2005-2009.

L'ensemble de l'unité intervient de façon régulière dans les filières des masters montpellierains de biostatistique et de mathématiques.

En plus des modules d'enseignement gérés par les enseignants-chercheurs de l'UMR, l'unité est responsable d'un module optionnel en 2ème année de SupAgro, intitulé "Mathématiques pour la gestion de ressources naturelles renouvelables" (deux semaines bloquées).

### **3.2 Actions à destination de chercheurs ou ingénieurs**

L'unité organise régulièrement des écoles-chercheurs et ateliers sur la modélisation pour l'écologie microbienne (Gruissan 2005 et 2006, Avignon 2007, la Grande Motte 2008, St-Martin-de-Londres 2009).

En lien avec la formation permanente du campus SupaAgro/INRA mais aussi celles de l'IRD ou de l'Engref nous proposons et animons régulièrement des formations à destination d'un public de chercheurs ou d'ingénieurs. Ces stages de formations portent autour de la maîtrise des logiciels R, Scilab ou de la gestion répartie de procédés.

Enfin, l'unité est impliquée dans la formation des jeunes chercheurs organisée à l'INRA au sein du dispositif Réflexives, participe également dans ce cadre au projet européen CEC-WYS (formation des jeunes chercheurs des pays de l'Est) et à la formation des doctorants de l'Ecole Doctorale SIBAGHE<sup>5</sup> de Montpellier.

### **3.3 Actions de formation dans un cadre international**

Dans le cadre du projet STIC-AMSUD MIFIMA, nous avons animé plusieurs cours à l'IMCA à Lima (Pérou). Ces cours destinés à un public de chercheurs et d'étudiants, portaient sur des modèles de gestion de ressources halieutiques et leurs confrontations aux données.

Depuis 2007, soutenus par le réseau SARIMA (GIS financé par le MAE) et de l'AUF, des membres de l'unité ont animé plusieurs ateliers à Madagascar ("Probabilités, statistique, Scilab - Quelques applications en agronomie", "Logiciel Scilab", "logiciel R").

---

<sup>5</sup>Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement

*Dans chaque rubrique, les publications sont présentées dans un ordre inversement chronologique. Seuls les noms des membres permanents et associés sont soulignés.*

## ACL (Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture répertoriées dans les bases de données internationales)

- [ACL1] Abraham, C, 2009. A computation method in robust Bayesian decision theory. International Journal of Approximate reasoning, 2009, 50, 289-302.
- [ACL2] Boudjellaba, H., Sari T., 2009. Dynamic transcritical bifurcations in a class of slow-fast predator-prey models. J. Differential Equations 246, 2205-2225.
- [ACL3] Campillo, F., Rossi, V., 2009. Convolution filter based methods for parameter estimation in general state-space models. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, in press.
- [ACL4] Campillo, F., Rakotozafy, R., Rossi V., 2009. Parallel and interacting Markov chain Monte Carlo algorithm. Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 79, N. 12, pp. 3424-3433.
- [ACL5] Dumont, M., Harmand, J., Rapaport, A., Godon, J.J, 2009. functional molecular fingerprints. Environmental Microbiology. To appear.
- [ACL6] El Hajji, M., Harmand, J. Chaker, H., Lobry, C., 2009. Association between competition and obligate mutualism in a chemostat. Journal of Biological Dynamics, In Press.
- [ACL7] El Hajji, M., Rapaport, A., 2009. Practical coexistence of two species in the chemostat - a slow-fast characterization. Mathematical Biosciences, 218, 1, 33-39.
- [ACL8] Gajardo, P., Mazenc, F., Ramirez, H., 2009. Competitive exclusion principle in a model of chemostat with delay. Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems. Series A : Mathematical Analysis, 16 pp. 253-272.
- [ACL9] Goelzer A., Charnomordic B., Colombié S., Fromion V., Sablayrolles J.M., 2009. Simulation and optimization software for alcoholic fermentation in winemaking conditions. Food Control, 20, 635-642.
- [ACL10] Haegeman B., Etienne R., 2009. Neutral models with generalized speciation. Bulletin of Mathematical Biology 71, 1507-1519.
- [ACL11] Haegeman B., Loreau M., 2009. Trivial and non-trivial applications of entropy maximization in ecology : A reply to Shipley. Oikos 118, 1270-1278.
- [ACL12] Hangan, T., Murea, C., Sari, T., 2009. Poleni curves on surfaces of constant curvature, Rend. Sem. Mat. Univ. Pol. Torino, 67, 1, 59-76.
- [ACL13] Jerry, M., Rapaport, A., Cartigny, P., 2009. Can protected areas potentially enlarge viability domains for harvesting management ? Nonlinear Analysis : Real World Applications. In press.
- [ACL14] Jeanson, S., Hilgert, N. Coquillard, M.O., Seukpanya, C., Faiveley, M., Neveu, P., Abraham, C., Georgescu, V., Fourcassié, P., Beuvier E., 2009. Milk acidification by Lactococcus lactis is improved by decreasing the level of dissolved oxygen rather than decreasing redox potential in the milk prior to inoculation. Int. J. of Food Microbiology, 131 (1), 75-81.
- [ACL15] Jones H, Charnomordic B., Dubois D, et al., 2009. Practical Inference With Systems of Gradual Implicative Rules. IEEE Transactions On Fuzzy Systems, Volume. 17, Num. 1, Pages 61-68.
- [ACL16] Loisel, P., Cartigny, P., 2009. How to model marine reserves ? Non Linear Analysis : Real World Applications, 10, pp 1784-1796.
- [ACL17] Mazenc, F., Malisoff, M., 2009. Strict Lyapunov function constructions under LaSalle conditions with an application to Lotka-Volterra systems. IEEE Trans. Aut. Contr., to appear.
- [ACL18] Mazenc, F., Malisoff, M., Bernard, O., 2009. A simplified design for strict Lyapunov functions under Matrosov conditions. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 54, Issue 1, pp. 177-183.
- [ACL19] Mazenc, F., Malisoff, M., Harmand, J., 2009. Stabilization in a two-species chemostat with Monod growth functions. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 54, No. 4, pp. 855-862.
- [ACL20] Mazenc, F., De Queiroz, M., Malisoff., M., 2009. Uniform Global Asymptotic Stability of a Class of Adaptively Controlled Nonlinear Systems. IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 54, No. 5, pp. 1152-1158.
- [ACL21] Mazouni, D., Harmand, J., Rapaport A., Hammouri, H., 2009. Optimal Time Switching Control for Multi Reaction Batch Process. Optimal Control, Applications and Methods, in press.
- [ACL22] Ocana Anaya, E., Cartigny, P., Loisel, P., 2009. Singular infinite horizon calculus of variations. Applications to fisheries management, in the special issue : Recent advances in infinite horizon optimal control. Journal of Nonlinear and Convex Analysis, 10, 2.
- [ACL23] Piazza, A., Rapaport, A., 2009. Optimal Control of Renewable Resources with Alternative Use. Mathematical and Computer Modelling. In press.

- [ACL24] Rapaport, A., Dochain, D., Harmand, J., 2009. Long run coexistence in the chemostat with multiple species. *J. Theoretical Biology*, 257, 2, 252-259.
- [ACL25] Thomopoulos R., Charnomordic B., Cuq B., Abecassis J., 2009. Artificial Intelligence-Based Decision Support System to Manage Quality of Durum Wheat Products. *International Association for Cereal Science and Technology*, Vol. 1, No. 3 (to appear).
- [ACL26] Vila, J.P., Saley, I., 2009. Estimation de facteurs de Bayes entre modèles dynamiques non linéaires à espace d'état. *C.R. Acad. Sci. Paris, Ser.I*, 347, 7/8, pp. 429-434.
- [ACL27] Abraham, C., Cadre, B., 2008. Concentration of posteriori distributions with misspecified models, *Pub. Inst. Stat. Univ. Paris*, LII, fasc. 3, 3-14.
- [ACL28] Ami, D., Hilgert, N., Pardo S., Tidball, M., 2008. Is fishing compatible with environmental conservation? A stochastic model with an element of self-protection. *Natural Resource Modeling*, 21, 3, 343-365.
- [ACL29] Brighi, B., Fruchard, A., Sari, T., 2008. On the Blasius Problem. *Advances in Differential Equations*, 13, 5-6, 509-600.
- [ACL30] Campillo, F., Cantet, P., Rakotozafy, R., Rossi, V., 2008. Méthodes MCMC en interaction pour l'évaluation de ressources naturelles. *ARIMA*, 8 : 64-80.
- [ACL31] Campillo, F., Rossi, V. and Rakotozafy, R., 2008. Computational probability modeling and Bayesian inference. *ARIMA*, Special issue in honour of Claude Lobry, Gauthier Sallet and Tewfik Sari and Hamidou Touré (eds.), 9, 123-143.
- [ACL32] Cartigny, P., Gomez, W., Salgado, H., 2008. The spatial distribution of small and large scale fisherie., *Ecological Modelling*, Vo. 212, Issues 3-4, pp. 513-521, 2008.
- [ACL33] Dramé, A.K. ; Lobry, C., Harmand, J., Rapaport, A., Mazenc, F., 2008. Multiple stable equilibrium profiles in tubular bioreactors. *Mathematical and Computer Modelling*. 2008, 48 (11-12), 1840-1853.
- [ACL34] Dubois, J.P., Gillet, C., Hilgert, N., Balvay, G., 2008. The impact of trophic changes over 45 years on the Eurasian perch, *Perca fluviatilis*, population of Lake Geneva. *Aquatic Living Resources*. 2008, 21 (4), 401-410.
- [ACL35] Gajardo, P. , Ramirez, H. , Rapaport, A., 2008. Minimal Time Sequential Batch Reactors with Bounded and Impulse Controls for One or More Species. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 47 (6) : 2827-2856
- [ACL36] Gaucherel, C., Campillo, F., Misson, L., Guiot, J., Boreux, J.J., 2008. Parameterization of a process-based tree-growth model : comparison of optimization, MCMC and particle filtering algorithms. *Environmental Modelling and Software*, 23 (10-11), 1280-1288.
- [ACL37] Grechi, I., Hilgert, N., Genard, M., Lescourret, F., 2008. Assessing peach fruit refractometric index at harvest with a simple model based on fruit growth., *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133, 2, 178-187.
- [ACL38] Grechi, I., Sauge, M.H., Sauphanor, B., Hilgert, N., Senoussi, R., Lescourret, F., 2008. How does winter pruning affect peach tree - *Myzus persicae* interactions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 128, 3, 369-379.
- [ACL39] Haegeman, B., Loreau, M., 2008. Limitations of entropy maximization in ecology, *Oikos* 117, 1700-1710.
- [ACL40] Haegeman B., Etienne R.S., 2008. Relaxing the zero-sum assumption in neutral biodiversity theory. *Journal of Theoretical Biology*, 252, 288-294.
- [ACL41] Haegeman B., Rapaport A., 2008. How flocculation can explain coexistence in the chemostat. *Journal of Biological Dynamics* 2, 1-13.
- [ACL42] Haegeman B., Vanpeteghem D., Godon J.J., Hamelin J., 2008. DNA reassociation kinetics and diversity indices : Richness is not rich enough. *Oikos* 117, 177-181.
- [ACL43] Harmand, J., Rapaport, A., Dochain, D., Lobry, C., 2008. Microbial ecology and bioprocess control : Opportunities and challenges. *Journal of Process Control*. 2008, 18 (9), 865-875.
- [ACL44] Lobry, C., Sari, T., 2008. Non standard Analysis and representation of reality. *International J. Control*, 81, 3, 519-536.
- [ACL45] Lobry, C., and Sari, T., 2008. The peaking phenomenon and singular perturbations, *Revue ARIMA*, 9, 487-516.
- [ACL46] Malisoff, M., Mazenc, F., 2008. Constructions of strict Lyapunov functions for discrete time and hybrid time-varying systems. *Nonlinear Analysis : Hybrid Systems*. Volume 2, Issue 2, Pages 394-407.
- [ACL47] Malisoff, M., Mazenc, F., De Queiroz, M., 2008. Tracking and robustness analysis for controlled microelectromechanical relays. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*. 2008, 18 (18) : 1637-1656.
- [ACL48] Mazenc, F., Malisoff, M., Harmand, J., 2008. Further results on stabilization of periodic trajectories for a chemostat with two species. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2008, 53 (Special issue) : 66-74.
- [ACL49] Mazenc, F., Malisoff, M., Lin, Z., 2008. Further Results on Input-to-State Stability for Nonlinear Systems with Delayed Feedbacks. *Automatica*, Vol. 44, Issue 9, pp. 2415-2421.
- [ACL50] Pays, O., Dubot, A.L., Jarman, P.J., Loisel, P., Goldizen, A.W., 2008. Vigilance and its complex synchrony in the red-necked pademelon, *Thylogale thetis*. *Behavioral Ecology*, Volume 20, Num. 1, pp. 22-29.

- [ACL51] Rapaport A., D. Dochain and J. Harmand, 2008. Practical coexistence in the chemostat with arbitrarily close growth functions, ARIMA, Special issue in honour of Claude Lobry, Gauthier Sallet and Tewfik Sari and Hamidou Touré (eds.), 9, 231-243.
- [ACL52] Rapaport, A., Harmand, J., 2008. Biological control of the chemostat with nonmonotonic response and different removal rates. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 5 (3), 539-547.
- [ACL53] Rapaport, A. Harmand, J., Mazenc, F., 2008. Coexistence in the design of a series of two chemostats. *Nonlinear Analysis Series B : Real World Applications*, 9, pp. 1052-1067.
- [ACL54] Rossi, V., Vila, J.P., 2008. Bayesian selection of multiresponse nonlinear regression model. *Statistics*. 2008, 42 (4) : 291-311.
- [ACL55] Vanpeteghem D., Zemb O., Haegeman B., 2008. Dynamics of neutral biodiversity. *Mathematical Biosciences* 212, 88-98.
- [ACL56] Verdier, G., Hilgert, N., Vila, J.P., 2008. Adaptive threshold computation for CUSUM-type procedures in change detection and isolation problem., *Comp. Stat. and Data Anal.*, 52, 9, 4161-4174.
- [ACL57] Verdier, G., Hilgert, N., Vila, J.P., 2008. Optimality of CUSUM Rule Approximations in Change-Point Detection Problems : Application to Nonlinear State-Space Systems. *IEEE Transactions on Information Theory*. 2008, 54 (11), 5102-5112.
- [ACL58] Boitard, S., Loisel, P., 2007. Probability distribution of haplotype frequencies under the two-locus Wright-Fisher model by diffusion approximation. *Theoretical Population Biology*, Volume 71, Issue 3, pp. 380-391.
- [ACL59] Cornillon, P.A., Matzner-Lober, E., 2007. Forecasting time series using principal components analysis on instrumental variables, *Computational statistics and data analysis*, 52, 1269-1280.
- [ACL60] Destercke S., Guillaume S., Charnomordic B., 2007. Building an interpretable fuzzy rule base from data using Orthogonal Least Squares - Application to a depollution problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 158, 2078-2094.
- [ACL61] Gimenez O. , Rossi V., Choquet R., Dehais C., Doris B., Varella H., Vila J.P., Pradel R., 2007. State space modelling of data on marked individuals. *Ecol. Modelling* 206, 431-438
- [ACL62] Grognard, F., Mazenc, F., Rapaport, A., 2007. Polytopic Lyapunov functions for persistence analysis of competing species. *Discrete and Continuous Dynamical Systems - Serie B*, 8(1), pp. 73-93.
- [ACL63] Haegeman B., Lobry C., Harmand J. 2007. Modeling bacteria flocculation as density-dependent growth. *AIChE Journal* 53, 535-539.
- [ACL64] Hilgert, N., Rossi, V., Vila, J.P., Wagner, V., 2007. Nonparametric identification and adaptive control of uncertain nonlinear systems, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 36, 14, pp. 2509-2525.
- [ACL65] Lobry, C., Mazenc, F., 2007. Effect of Intra-specific Competition on Persistence in Competition Models. *Elect. J. Diff. Eqns.*, No. 125, pp. 1-10.
- [ACL66] Mazenc F., Lobry C., Rapaport A., 2007. Persistence in Ratio-Dependent Models of Consumer-Resource Dynamics. *Electronic Journal of Differential Equations Conference*, 15, pp 211-220.
- [ACL67] Mazenc, F., Malisoff, M., 2007. Lyapunov Function Constructions for Slowly Time-Varying Systems. *Mathematics of Control, Signals and Systems*, Vol. 19, Number 1, pp. 1-21.
- [ACL68] Mazenc, F., Malisoff, M., De Leenheer, P., 2007. On the stability of periodic solutions in the perturbed chemostat. *Mathematical Biosciences and Engineering*, Vol. 4, Number 2, pp. 319-338.
- [ACL69] Mazenc, F., Nesic, D., 2007. Lyapunov functions for time varying systems satisfying generalized conditions of Matrosov theorem. *Mathematics of Control, Signals and Systems*, Vol. 19, Number 2, pp. 151-182.
- [ACL70] Pays O., Jarman, P.J., Loisel, P., Gerard, J.F., 2007. Coordination, independence or synchronization of individual vigilance in the eastern grey kangaroo? *Animal Behaviour*, Volume 73, Issue 4, pp. 595-604.
- [ACL71] Pays, O., Renaud, P.C., Loisel, P., Petit, M., Gerard, J.F., Jarman, P.J., 2007. Prey synchronize their vigilant behaviour with other group members, *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274 (1615), pp. 1287-1291.
- [ACL72] Rapaport A., Cartigny P., 2007. Nonturnpike Optimal Solutions and Their Approximations in Infinite Horizon. *Journal of Optimization, Theory and Applications*, 133(3).
- [ACL73] Sadok, W., Naudin, P., Boussuge, B., Muller, B., Welcker, C., Tardieu, F., 2007. Leaf growth rate per unit thermal time follows QTL-dependent daily patterns in hundreds of maize lines under naturally fluctuating conditions. *Plant Cell and Environment*, 30 (2), 135-146.
- [ACL74] Vila, J.P., Gauchi, J.P., 2007. Optimal designs based on exact confidence regions for parameter estimation of a nonlinear regression model. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 137, 9, 2935-2953.
- [ACL75] Zemb O., Haegeman B., Delgenès J.-P., Lebaron P., Godon, J.-J., 2007. SAFUM : Statistical analysis of SSCP fingerprints using PCA projections, dendrograms and diversity estimators. *Molecular Ecology Notes* 7, 767-770.
- [ACL76] Abraham, C., Biau, G. et Cadre, B., 2006. On the kernel rule for function classification. *Annals of the institute of Statistics Mathematics* 58, 619-633.

- [ACL77] Cartigny, P., Martin-Herran, G., Motte, E., Tidball, M., 2006. Deforestation and Foreign Transfers : A Stackelberg Differential Game Approach. *Computers and Operations Research*, 33, pp.386-400.
- [ACL78] Dramé A., Harmand J., Rapaport, A., Lobry, C., 2006. Multiple steady state profiles in interconnected biological systems. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, Vol. 12, No. 5, pp. 379-39.
- [ACL79] Harmand J., Rapaport A., Mazenc F., 2006. Output tracking of continuous bioreactors through recirculation and by-pass. *Automatica*, Vol. 42, Num. 6, pp. 1025-1032.
- [ACL80] Hilgert N., Minjarez-Sosa J.A., 2006. Adaptive Control of Stochastic Systems with Unknown Disturbance Distribution : Discounted Criteria, *ZOR - Math. Meth. Oper. Res.*, 63, 3, pp. 443-460.
- [ACL81] Lobry C., Rapaport A., Mazenc F., 2006. Sur un modèle densité-dépendant de compétition pour une ressource. *Comptes-rendus Biologie* 329, pp. 63-70.
- [ACL82] Loisel P., Harmand J., Zemb O., Latrille E., Lobry C., Delgenès J.Ph., Godon J.J., 2006. Denaturing gradient electrophoreses (DGE) and single-strand conformation polymorphism (SSCP) molecular fingerprintings revisited by simulation and used as a tool to measure microbial diversity. *Environmental Microbiology*, 8 (4), pp. 720-731.
- [ACL83] Loisel P., Elyakime B., 2006. Incentive Contract and Weather Risk. *Environmental & Resource Economics*, 35, pp. 99-108.
- [ACL84] Mazenc F., Bliman P.A., 2006. Backstepping Design for Time-Delay Nonlinear Systems, *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 51, No. 1, pp. 149-154.
- [ACL85] Mazenc F., Malisoff M., 2006. Further Constructions of Control-Lyapunov Functions and Stabilizing Feedbacks for Systems Satisfying the Jurdjevic-Quinn Conditions. *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 51, No. 2, pp. 360- 365.
- [ACL86] Mazenc F., Malisoff M., De Queiroz M.S., 2006. Further Constructions of Strict Lyapunov Functions for Rapidly Time-Varying Nonlinear Systems. *Automatica*, Vol. 42, No. 10, pp. 1663-1671.
- [ACL87] Mazenc F., Malisoff M., De Queiroz M.S., Gao F., 2006. Further Results on Active Magnetic Bearing Control with Input Saturation. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, Vol. 14, No. 5, pp. 914-919.
- [ACL88] Rapaport, A., Terreaux J.P., Doyen L., 2006. Viability analysis for the sustainable management of renewable resources. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 43, pp. 466-484.
- [ACL89] Rossi V., Vila J.P., 2006. Bayesian multioutput feedforward neural networks comparison : a conjugate prior approach. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 17, 1, pp. 35-47.
- [ACL90] Abraham, C., 2005. Asymptotics in Bayesian decision theory with application to global robustness, *Journal of Multivariate Analysis*, 95, 50-65.
- [ACL91] Alcaraz-Gonzalez V., Harmand J., Rapaport A, Steyer J.-P., Gonzalez-Alcaez V., Pelayo-Ortiz C., 2005. Robust interval-based regulation for anaerobic digestion processes. *Water Science and Technology*, Vol. 52, Num. 1-2, pp. 449-456.
- [ACL92] Ami A., Cartigny P., Rapaport A., 2005. Can marine protected areas enhance both economic and biological situations? *Comptes-Rendus Biologie*, 328, pp. 357-366.
- [ACL93] Bernard, O., Chachuat, B., Hélias, A., Le Dantec, B., Sialve, B., Steyer, J.-P., Lardon, L., Neveu, P., Lambert, S., Gallop, J., Dixon, M., Ratini, P., Quintabé, A., Frattesi, S., Lema, J.M., Roca, E., Ruiz, G., Rodriguez, J., Franco, A., Vanrolleghem, P., Zaher, U., De Pauw, D.J.W., De Neve, K., Lievens, K., Dochain, D., Schoefs, O., Fibrianto, H., Farina, R., Alcaraz Gonzalez, V., Lemaire, P., Martinez, J.A., Esandi, F., Duclaud, O., Lavigne, J.F., 2005. TELEMAC : an integrated system to remote monitor and control anaerobic wastewater treatment plants through the internet. *Water Science and Technology*, vol 52, pp 457-464,
- [ACL94] Elyakime B., Loisel, P., 2005. An optimal standing timber auction. *Journal of Forest Economics*, 11, 107-120.
- [ACL95] Hilgert N., Minjarez-Sosa J.A., 2005. Adaptive Control of Stochastic Systems with Unknown Disturbance Distribution : Discounted Criteria. *ZOR - Math. Meth. Oper. Res.* 63, 3, 443-460.
- [ACL96] Lobry C., Mazenc F., Rapaport A., 2005. Persistence in ecological models of competition for a single resource. *Comptes-rendus Mathématiques* 340, pp.199-204.
- [ACL97] Malisoff, M., F. Mazenc, 2005. Further remarks on strict input-to-state stable Lyapunov functions for time-varying systems. *Automatica*, Volume 41, Issue 11, pp. 1973-1978.
- [ACL98] Rapaport A., Cartigny P., 2005. Competition between Most Rapid Approach Paths : Necessary and Sufficient Conditions. *Journal of Optimization, Theory and Applications*, Vol. 124, Num. 1, pp. 1-27.
- [ACL99] Rapaport, A., Dochain, D., 2005. Interval Observers for Biochemical Processes with Uncertain Kinetics and Inputs. *Mathematical Biosciences*, Vol. 193, Num. 2, pp. 235-253.
- [ACL100] Rossi V. et Vila J.P., 2005. Approche non paramétrique du filtrage de système non linéaire à temps discret et à paramètres inconnus. *C.R. Acad. Sci., Ser. I* 340, 759-764.

## ACLN (Articles dans des revues avec comité de lecture non répertoriées dans des bases de données internationales)

- [ACLN1] Hilgert, N. and Minjárez-Sosa, J.A., 2009. Estimation and control of stochastic systems under discounted criterion. in : *Frontiers in Adaptive Control*, IN-TECH.
- [ACLN2] Elyakime, B. et Loisel, P., 2008. Incitation salariale et groupements d'employeurs, *La Revue Economique*, volume 59, n° 1, Janvier 2008, p. 33-50.
- [ACLN3] Mazenc, F., 2008. Discussion on "Global Output Stability for Systems Described by Retarded Functional Differential Equations : Lyapunov Characterizations." *European Journal of Control*, 2008, 14 (8).
- [ACLN4] Verdier, G., Hilgert, N. et Vila, J.P., 2007. Une méthode statistique de détection d'anomalie pour les modèles à espace d'état non linéaires, *E- revue des Sciences et Technologies de l'Automatique*, 5, 2, pp. 13-16.
- [ACLN5] Rossi, V., Vila, J.P., 2006. Nonlinear filtering in discrete time : a particle convolution approach. *Ann. Inst. Univ. Paris*, 3, 71-102.
- [ACLN6] Alcaraz-Gonzalez V., Harmand J., Rapaport A., Steyer J.Ph., Gonzalez-Alcaez V. and Pelayo-Ortiz C., 2005. Application of a robust interval observer to an anaerobic digestion process, *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing Journal*, Vol.13, No.3-4, pp.267-278.
- [ACLN7] Guillaume S. et Charnomordic B., 2005. La logique floue pour l'extraction de connaissances à partir de données en œnologie. application à la couleur du vin rouge, *Revue française de l'œnologie*, 211 :24-31.
- [ACLN8] Rossi V. et Vila J.P., 2005. Filtrage de bioprocédés de dépollution : approche par convolution particulière. *Sciences et Technologies de l'Automatique*, Vol. 2, No 1 (revue électronique : <http://www.e-sta.see.asso.fr>).

## INV (Conférences données à l'invitation du Comité d'organisation dans un congrès national ou international)

- [INV1] Charnomordic, B., Hilgert, N. and Sablayrolles, J.M., 2009. Simulation and optimization of alcoholic fermentation in winemaking, *Proceedings MATHMOD*, Vienna 11-13 February.
- [INV2] Cornillon, P.A. and Matzner-Lober, E., 2009. Atouts et faiblesses de R en enseignement, recherche et industrie. Conférence invitée, 41ème Journées de Statistique, SFdS, 4p.
- [INV3] Hilgert, N, Verdier, G., Vila, J.P., 2009. A filtering-based algorithm for change detection in dynamic models with unknown parameter after change. 2nd Inter. Workshop in Sequential Methodologies (IWSM2009), 6p.
- [INV4] Rapaport, A., 2008. Review of Recent Results on Scalar Calculus of Variations Problems in Infinite Horizon, *Book International Conference Differential Equations and Topology*" dedicated to the Centennial Anniversary of L. S. Pontryagin, Moscow June 17-22.
- [INV5] Cartigny, P., 2007. Invité pour une séance plénière. The Optimal Spatial Distribution of Small and Large Fisheries in Chile : some mathematical problems, VIII Seminario Internacional En Optimizacion Y Areas Afines, IMCA- MIFIMA, Lima (Perou), 1-5 Octobre 2007.
- [INV6] Neveu, P., 2007. Data management and modelling, Conférence invitée, VIII Seminario Internacional En Optimizacion Y Areas Afines, IMCA-MIFIMA, Lima (Perou), 1-5 Octobre 2007.
- [INV7] Rapaport, A., Harmand, J., Lobry, C., Mazenc, F., Haegeman, B., Dochain, D., 2007. Microbial ecology and bioprocesses control : opportunities and challenges, 10th Computer Applications in Biotechnology (CAB), Cancun, Mexico.
- [INV8] Hilgert N., 2005. Actividad de pesca y conservacion del medio ambiente, X Conferencia Espanola de Biometria, Oviedo, Mai 05.

## ACTI (Communications avec actes dans un congrès international)

- [ACTI1] Gauchi, J.P., Bidot, C., Augustin, J.C., Vila, J.P., 2009. Identification of complex microbiological dynamic systems by nonlinear filtering. 6th International Conference on Predictive Modelling in Foods, Washington DC.
- [ACTI2] Hilgert, N., Verdier, G., Vila, J.P., 2009. Some optimal CUSUM rule extensions in dynamic model parameter change-point detection problems. 15th IFAC Symposium on System Identification (Sysid2009), 6 p.
- [ACTI3] Lobry, C., Rapaport, A., and Sari, T., 2009. Stability loss delay in the chemostat with a slowly varying washout rate, *Proceedings MATHMOD 09 Vienna 11-13/02/2009*, Inge Troch, Felix Breitenacker (Editors), ARGESIM Report no. 35, 1582-1586.

- [ACTI4] Mazenc, F., Bernard, O., 2009. Interval observers for planar systems with complex poles. European Control Conference, Budapest, August 2009.
- [ACTI5] Mazenc, F., Malisoff, M., 2009. Lyapunov Functions under LaSalle Conditions with an Application to Lotka-Volterra Systems. American Control Conference, St Louis, USA, June 2009.
- [ACTI6] Pedroso M., Taylor J., Tisseyre B., Charnomordic B., Guillaume S., 2009. A fuzzy inference segmentation algorithm for the delineation of management zones and classes, Joint International Agricultural Conference, Wageningen, July 6-8 2009.
- [ACTI7] Campillo, F. and Desassis, N., 2008. Stochastic spatio-temporal modeling of forest dynamics. In International Biometric Conference, 13-18 July, Dublin, Ireland.
- [ACTI8] Cartigny, P., 2008. Turnpike Theory : the Singular Case. Colloque WCNA, Orlando (USA Floride) 2-9 Juillet.
- [ACTI9] Cartigny, P., Loisel, P., 2008. How to model marine reserves? XIV Congreso latino Ibero Americano de Investigacion de Operaciones, Cartagena, Colombia, 9-12 september.
- [ACTI10] Grechi, I., Sauphanor, B., Sauge, M.H., Hilgert, N., Lacroze, J.P. and Lescourret, F., 2008. Peach - Myzus persicae interactions as controlled by winter pruning and nitrogen fertilization : from experimental analysis to modeling, XXIII International congress of Entomology, Durban.
- [ACTI11] Grechi, I., Sauphanor, B., Hilgert, N., Génard, M., Senoussi, R., Sauge, M.H., Chapelet, A., Lacroze, J.P. and Lescourret, F., 2008. Evaluation of integrated management scenarios of the peach tree-Myzus persicae system using a crop-pest model, VII IOBC International conference on Integrated Fruit Production, Avignon, 4p.
- [ACTI12] Malisoff, M., Mazenc, F., De Queiroz, M., 2008. Remarks on tracking and robustness analysis for MEM relays ; American Control Conference 2008 ; 2008/06/11-13 ; Seattle (USA). American Control Conference 2008. IEEE Press, New-York (USA) ; Proceedings of the American Control Conference. 2008, 1-12 ; 2945-2950.
- [ACTI13] Mazenc, F., De Queiroz, M., Malisoff, M., 2008. Uniform Global Asymptotic Stability of Adaptively Controlled Nonlinear Systems Via Strict Lyapunov Functions. Annual Dynamic Systems and Control Conference ; 2008/10/20-22 ; Ann Arbor (USA). ASME, American Society of Mechanical Engineers (USA). DSCC : Dynamic Systems and Control Conference. 8p.
- [ACTI14] Mazenc, F., Malisoff, M., Bernard, O., 2008. Lyapunov Functions and Robustness Analysis under Matrosov Conditions with an Application to Biological Systems. 2008 American Control Conference (Seattle) 11-13 June.
- [ACTI15] Mazenc, F., Kim, P., Niculescu, S.I, 2008. Stability of a Gleevec and immune model with delays. 47. IEEE Conference on decision and control ; 2008/12/09-11 ; Cancun (MEX), pp. 3317-3322.
- [ACTI16] Rapaport, A., Dochain, D., Harmand, J., Acuna, G., 2008. Unknown Input Observers for Biological Processes. IFAC World Congress, Seoul, July 2008.
- [ACTI17] Rossard V., Neveu P., Picou C., Perez M., Aguera E., Sablayrolles J.M., 2008. Information System on alcoholic fermentation : feasibility and interest. 15th International Enology Symposium, Trier, Germany 14th - 16th April 2008.
- [ACTI18] Campillo, F., Canales, G. and Mevel, L., 2007. Particle based confidence intervals. In International Operational Modal Analysis Conference (IOMAC), Copenhagen 2007.
- [ACTI19] Campillo, F., Rakotozafy, R. and Rossi, V., 2007. Bayesian numerical inference for hidden Markov models. In International Conference on Applied
- [ACTI20] Statistics for Development in Africa Sada'07, 2007.
- [ACTI21] Campillo, F., Rakotozafy, R. and Rossi, V., 2007. Bayesian numerical inference for Markovian models - application to tropical forest dynamics. In International Conference on Approximation Methods and Numerical Modelling in Environment and Natural Resources, Granada, Spain 2007.
- [ACTI22] Cartigny P., 2007. The optimal distribution of small and large scale fisheries. CMPD2, Conference on Computational and Mathematical Population Dynamics, 16-20 juillet 2007.
- [ACTI23] Cornillon, P.A. and Matzner-Lober, E., 2007. Relation between spline PCAIV and spline regressions, 12th Applied Stochastic Models and Data Analysis Conference, 8 P.
- [ACTI24] Destercke S., Guillaume S. et Charnomordic B., 2007. Using the ols algorithm to build interpretable rule bases : an application to a depollution problem, IEEE International Conference on Fuzzy Systems 2007, ; 2007/07/23-26 ; London (GBR). FUZZ-IEEE 2007. New-York (USA) : Electron Devices Society and Reliability Group ; Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1-4 : 169-174.
- [ACTI25] Joannides, M., Larramendy-Valverde, I., Rossi, V., 2007. Monte Carlo Observer for a Stochastic Model of Bioreactors. Recent Advances in Stochastic Modelling and Data Analysis, World Scientific Publishing Co Pte Ltd, Hackensack, NJ, pp. 605-612.

- [ACTI26] Jones, H., Dubois, D., Guillaume, S., Charnomordic, B., 2007. A practical inference method with several implicative gradual rules and a fuzzy input : one and two dimensions. [Best paper reward]. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, London (GBR). FUZZ-IEEE 2007. New-York (USA) : Electron Devices Society and Reliability Group ; Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1-4, pp. 762-767.
- [ACTI27] Mazenc, F., Harmand, J., Malisoff, M., 2007. Stabilization of a Periodic Trajectory for a Chemostat with two species. American Control Conference (New York, NY, USA) 11-13, July 2007
- [ACTI28] Mazenc, F., Malisoff, M., Harmand, J., 2007. Stabilization and Robustness Analysis for a Chemostat Model with Two Species and Monod Growth Rates via a Lyapunov Approach. 46th IEEE Conference on decision and control, New Orleans USA 2007.
- [ACTI29] Mazenc, F., Malisoff, M., Lin, Z., 2007. Further Results on Input-to-State Stability for Nonlinear Systems with Delayed Feedbacks. American Control Conference (New York, NY, USA) 11-13, July 2007
- [ACTI30] Rapaport, A., Gajardo, P., Ramirez, H., 2007. About minimal time impulsive control of sequential batch reactors with several species. American Conference Control 2007 ; 2007/07/09-13 ; New-York (USA). AAC '07. New-York (USA) : IEEE Press ; Proceedings of the American Control Conference, 1-13 : 6116-6121.
- [ACTI31] Rapaport, A., Harmand, J., Mazenc, F., 2007. Design of continuous bioprocesses and biodiversity. American Control Conference, New-York, 9-13 July 2007, pp. 6110-6116.
- [ACTI32] Cartigny, P., Gómez, W., Salgado, H., 2006. The optimal spatial distribution of small and large scale fisheries. Marrakech World Conference on Differential Equations and Applications ; 2006/06/15-20 ; Marrakesh (MAR), 19 p.
- [ACTI33] Malisoff M., Mazenc F., 2006. On Control-Lyapunov Functions for Hybrid Time-Varying Systems. IEEE Conference on Decision and Control (CDC06), San- Diego (USA), Dec. 2006.
- [ACTI34] Mazenc F., De Leenheer P., Malisoff M., 2006. Stabilizing a Periodic Solution in the Chemostat : A Case Study in Tracking. IEEE Conference on Decision and Control (CDC06), San-Diego (USA), Dec. 2006.
- [ACTI35] Mazenc, F., Lobry, C., Rapaport, A., 2006. Stability analysis of an ecological model. Multidisciplinary International Symposium on Positive Systems : Theory and Applications ; 2006/08/30-2006/09/01 ; Grenoble (FRA). Commault, C. (Editeur) ; Marchand, N. (Editeur). Positive Systems. Heidelberg (DEU) : Springer-Verlag ; Lecture Notes in Control and Information Sciences, 341 : 113-120.
- [ACTI36] Mazenc F., Malisoff M., 2006. Lyapunov Function Constructions for Slowly Time-Varying Systems. IEEE Conference on Decision and Control (CDC06), San- Diego (USA), Dec. 2006.
- [ACTI37] Mazenc F., Malisoff M., 2006. Constructions of Strict Lyapunov Functions for Discrete Time and Hybrid Time-Varying Systems. International Conference of Hybrid Systems and Applications, International Federation of Nonlinear Analysts, University of Louisiana at Lafayette, May 22-26, 2006.
- [ACTI38] Mazenc F., Malisoff M., De Queiroz M.S, 2006. Further Constructions of Strict Lyapunov Functions for Rapidly Time-Varying Nonlinear Systems. American Control Conference, Mineapolis (USA), June 2006.
- [ACTI39] Rapaport, A., Mazenc, F., Harmand, J., 2006. Output tracking of bioprocesses through recirculation with unknown input concentration. International symposium on advanced control of chemical processes ; 2006/04/02-05 ; Gramado (BRA). IFAC, International Federation of Automatic Control (AUS). ADCHEM 2006, 195-200.
- [ACTI40] Malisoff, M., Mazenc, F., 2005. Control-Lyapunov Functions for Systems Satisfying the Conditions of the Jurdjevic-Quinn Theorem. 44th IEEE Conference on decision and control and European Control Conference, Seville, Spain 2005.
- [ACTI41] Malisoff, M., Mazenc, F., 2005. Further Constructions of Strict Lyapunov Functions for Time-Varying. American Control Conference, Portland (Oregon), pp. 1889-1894 and Sixth SIAM Conference on Control and its applications. July, 11-114, New Orleans, L.A., USA 2005.
- [ACTI42] Francisco, R., Mazenc, F., Mondié, S., 2005. Stabilization of a PVTOL Aircraft with Delay in the Input. IFAC World Congress, Prague, CZ 2005.
- [ACTI43] Hilgert N., Rossi V. and Vila J.P., 2005. Identification, estimation and control of uncertain dynamic systems : a nonparametric approach, ASMDA, Brest, Mai 05.
- [ACTI44] Jones H., Guillaume S., Charnomordic B., et Dubois D., 2005. Practical use of fuzzy implicative gradual rules in knowledge representation and comparison with Mamdani rules, Joint Eusflat-LFA, pages 967-972, Barcelona, Spain, September 2005.
- [ACTI45] Mazenc, F., Nesic, D., 2005. Lyapunov functions for time varying systems satisfying generalized conditions of Matrosov theorem. 44th IEEE Conference on decision and control and European Control Conference, Seville, Spain 2005.
- [ACTI46] Mazenc, F., Bowong, S., 2005. Backstepping with Bounded Feedback for Time- Varying Systems. 44th IEEE Conference on decision and control and European Control Conference, Seville, Spain 2005.
- [ACTI47] Mazenc, F., De Queiroz, M.S., Malisoff, M., 2005. Further Results on Active Magnetic Bearing Control with Input Saturation. 44th IEEE Conference on decision and control and European Control Conference, Seville, Spain 2005.

- [ACTI48] Mazenc F., C. Lobry and A. Rapaport, 2005. Persistence in Ratio-Dependent Models of Consumer-Resource Dynamics, Mississippi State - UAB Conference on Differential Equations & Computational Simulations, Strakville (USA), May 2005.
- [ACTI49] Grognard F., Mazenc F. and Rapaport A., 2005. Polytopic Lyapunov functions for the stability analysis of persistence of competing species, International Workshop on Differential Equations in Mathematical Biology, Le Havre, France, July 05.
- [ACTI50] Harmand J., Rapaport A. and Mazenc F., 2005. The joy of controlling bioreactors through recirculation, IFAC World Congress, Prague, Czech Republic, July 05.

## ACTN (Communications avec actes dans un congrès national)

- [ACTN1] Abraham, C., 2009. Régression bayésienne avec contraintes de régularité et de forme. Congrès de la SFdS, Bordeaux.
- [ACTN2] Cornillon, P.A., Hentgartner, N., Lefieux, V. and Matzner-Lober, E., 2009. Prédiction de la consommation d'électricité par correction itérative du biais. 41ème Journées de Statistique, Bordeaux.
- [ACTN3] Gajardo, P., Harmand, J., Ramirez, H. and Rapaport, A., 2009. About biological treatment of water resources in minimal time, STIC & Environnement, Calais (France), June 2009.
- [ACTN4] Vila, J.P., Gauchi, J.P., Bidot, C., 2009. Identification de systèmes dynamiques microbiologiques complexes par filtrage non linéaire. 41ème Journées de Statistique, SFdS, Bordeaux.
- [ACTN5] Abraham, C., 2008. Une méthode de calcul en théorie de la décision bayésienne robuste. Congrès de la SFdS, Ottawa, Canada.
- [ACTN6] Campillo, F., and Desassis, N., 2008. Stochastic spatio-temporal modeling of forest dynamics. In International Biometric Conference, 13-18 July, 2008, Dublin, Ireland 2008.
- [ACTN7] Campillo, F., Desassis, N. and Rossi, V., 2008. Individual-based modelling of spatio-temporal of forest dynamics. In Joint Meeting of the Statistical Society of Canada and the Société Française de Statistique May 25 to 29, 2008 at the Ottawa Congress Centre 2008.
- [ACTN8] Campillo, F., Raherinirina, A., Rakotozafy, R., 2008. Un modèle markovien de transition agraire. 9ème Colloque Africain sur la Recherche en Informatique et en Mathématiques Appliquées (CARI), 27-30 Octobre 2008, Rabat, Maroc.
- [ACTN9] Cornillon, P.A., Hentgartner, N., Matzner-Lober, E., 2008. Réduction Itérative du biais. Congrès de la SFdS, Ottawa, Canada.
- [ACTN10] Fabre J., Tireau A., Neveu P., Dauzat M., Granier C., 2008. Développement d'un Système d'Information de phénotypage d'*Arabidopsis thaliana*, pages 118 à 134, J2M Biarritz 6-9 octobre 2008.
- [ACTN11] Loisel P., Cartigny P., 2008. Comment modéliser une réserve marine? SM2A, 1er congrès de mathématiques appliquées, 6-8 février 2008, Rabat.
- [ACTN12] Neveu P., Rossard V., Aguera E., Perez M., Picou C., Sablayrolles J.M., 2008. Gestion de données et de connaissances pour les bioprocédés. EGC-2008 Atelier Fouille de données, p 22-28 Sophia-Antipolis, Janvier 2008.
- [ACTN13] Rossard V., Neveu P., Aguera E., Dkhissi A., Latrille E., Perez M., Picou C., Rozas N., Sablayrolles J.M., R. Thomopoulos R., 2008. Utilisation d'ontologies pour la validation de mesures appliquées à la fermentation alcoolique, pages 51 à 58, J2M Biarritz 6-9 octobre 2008.
- [ACTN14] Campillo, F., Rakotozafy, R. and Rossi, V., 2007. Bayesian numerical inference for hidden Markov models. In International Conference on Applied
- [ACTN15] Statistics for Development in Africa Sada'07, 2007.
- [ACTN16] Destercke S., Guillaume S. et Charnomordic B., 2007. Using the ols algorithm to build interpretable rule bases : an application to a depollution problem, IEEE International Conference on Fuzzy Systems 2007, ; 2007/07/23-26 ; London (GBR). FUZZ-IEEE 2007. New-York (USA) : Electron Devices Society and Reliability Group ; Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1-4 : 169-174.
- [ACTN17] Verdier, G., Hilgert, N. et Vila, J.P., 2007. Filtrage et détection de rupture dans les modèles dynamiques à espace d'état, Journées de Statistique, SFdS, Angers, 6p.
- [ACTN18] Verdier, G., Hilgert, N. et Vila, J.P., 2007. Une méthode statistique de détection d'anomalie pour les modèles à espace d'état non linéaires, STIC et Environnement, Lyon, 6p.
- [ACTN19] Hilgert, N. , Verdier, G. , Vila, J.P., 2006. Utilisation d'une méthode de filtrage pour la détection d'anomalie. 38. Journées de Statistique SFdS (Société Française de Statistique), 2006/05/29-2006/06/02, Clamart (FRA). 2006. 6 p.
- [ACTN20] Hilgert, N., Verdier G., Vila J.P., 2006. Une méthode statistique robuste pour la détection d'anomalie dans les systèmes à modélisation incertaine, STIC2006, 314-321.

- [ACTN21] Jones, H., Dubois, D., Guillaume, S., Charnomordic, B., 2006. Méthode d'inférence générique avec plusieurs règles implicatives et une entrée floue. [Communication orale]. 14. Rencontres francophones sur la logique floue et ses applications; 2006/10/19-20; Toulouse (FRA). Université Toulouse 3, Institut en Informatique de Toulouse (FRA). LFA 2006. Toulouse (FRA) : Cépaduès éditions, 145-152.
- [ACTN22] Lardon L., Guillaume S. et Charnomordic B., 2006. Extraction de zones floues sur des cartes, LFA'06, pages 321-328, Toulouse, France, Octobre 2006. Cépaduès Editions.
- [ACTN23] Verdier, G., Hilgert, N., Vila, J.P., 2006. Choix du seuil pour une procédure de diagnostic de panne. [Communication orale]. 9. Journées Européennes Agro-Industrie et Méthodes Statistiques, 2006/01/25-27; Montpellier (FRA). UM1, Université Montpellier 1, Faculté de Pharmacie (FRA). AGROSTAT 2006, 239-248.
- [ACTN24] Cartigny, P., 2005. Gestion optimale d'une zone de pêche avec ou sans réserve. JANO 8 (8ème Journées d'Analyse Numérique et d'Optimisation, ENIM Rabat Maroc, 14-16 décembre.
- [ACTN25] Verdier G., Hilgert N. et Vila J.P., 2005. Calcul d'un seuil adaptatif pour des algorithmes de type CUSUM, Journées de Statistique, Pau, Juin 05.

## COM (Communications orales sans actes)

- [COM1] Abraham, C., 2008. Une méthode de calcul en théorie de la décision Bayésienne (conférencier invité), Rencontres au sommet de Rochebrune, Megève.
- [COM2] Loisel, P., Cartigny, P., Dhôte, J-F., 2008. Prédiction du comportement des solutions d'un modèle de type Fagacée, Colloque INRA : Modélisation pour les Ressources Naturelles, Montpellier, 18-20 juin.
- [COM3] Fabre J., Granier C., Neveu P., Rossard V., Tireau A., Boussuge B., Dauzat M., 2007. An Information system for the phenotyping platform phenopsis : Realization of a database for the Phenopsis system. Poster présenté lors du workshop Growth Phenotyping and Imaging in Plants. Montpellier, Juillet 2007.
- [COM4] Jeanson, S., Hilgert, N., Coquillard, M.O., Seukpanya, C., Faiveley, M., Neveu, P.; Abraham, C., Georgescu, V., Fourcassie, P., Beuvier, E., 2007. Initial dissolved oxygen level rather than initial decrease of redox potential slows down acidification kinetics of Lactococcus lactis strains in milk. [Poster]. Club des Bactéries Lactiques, 13-15 novembre 2007, Rennes, France.
- [COM5] Neveu, P., 2007. Data management for fisheries and XML. Conférence Gestion de Ressources Halieutiques, Valparaiso (Chili), Janvier 2007.
- [COM6] Rapaport, A., Dochain, D., Harmand, J., 2007. Practical coexistence in the chemostat with arbitrarily close growth functions 2007 International Conference in Honor of Claude Lobry, 10-14 September 2007, Saint-Louis, Sénégal.
- [COM7] Welcker C., Boussuge B., Tireau A., Naudin P., Neveu P., Sadok W., Parent, B., Turc O, Hilgert N., Tardieu F., 2007. Phenodyn : a phenotyping platform and an information system to dissect the genetic variability for growth and transpiration rates in response to water deficit. Poster présenté Annual Research Meeting of Generation CP Benoni (South Africa), 12-16 September 2007.
- [COM8] Welcker C., Boussuge B., Tireau A., Naudin P., Neveu P., Sadok W., Parent B., Turc O, Hilgert N., Tardieu F. 2007. Phenodyn : a phenotyping platform and an information system to dissect the genetic variability for growth and transpiration rates in response to water deficit. Poster 3.8 page 54 of Poster Abstracts et The Genomic of Drought, Poster38 p 81 of Genomic Symposium Proceedings ACPFG Adelaide (Australia), 22-24 October 2007.
- [COM9] Abraham, C., 2006. Revue des méthodes d'estimation et de régression en statistique bayésienne nonparamétrique (conférencier invité), Rencontres au sommet de Rochebrune, Megève.
- [COM10] Abraham, C., 2006. La convergence en statistique bayésienne Nonparamétrique. (conférencier invité), Rencontres au sommet de Rochebrune, Megève.
- [COM11] Cartigny, P., 2006. Modélisation déterministe des ressources naturelles renouvelables exploitées : applications en halieutique (zone artisanale/industrielle, réserve de pêche). Journées DPPE (Dynamique des Populations et des Peuplements Exploités). EFPA-INRA St Pée Sur Nivelle, 20- 21 février 2006.
- [COM12] Neveu, P., 2006. Gestion de données de mesures et XML. Journées de la mesures - INRA, Balaruc, Octobre 2006
- [COM13] Neveu, P., 2006. Gestion de données en halieutique et XML. Séminaire IFREMER-IRD, Sète, Novembre 2006
- [COM14] Abraham, C., 2005. Une introduction aux méthodes bayésiennes nonparamétriques (conférencier invité), Journées de statistique et applications à la biologie, Univ. Rennes II.
- [COM15] Hilgert N., 2005. Identification, estimation and control : a nonparametric approach, Séminaire Université Carlos 3, Madrid, Mai 2005.

## AFF (Communications par affiche)

- [AFF1] Fabre J., Granier C., Neveu P., Rossard V., Tireau A., Boussuge B., Dauzat M., 2007. An Information system for the phenotyping platform phenopsis : Realization of a database for the Phenopsis system. Poster présenté lors du workshop Growth Phenotyping and Imaging in Plants. Montpellier, Juillet 2007.
- [AFF2] Jeanson, S., Hilgert, N., Coquillard, M.O., Seukpanya, C., Faiveley, M., Neveu, P.; Abraham, C., Georgescu, V., Fourcassie, P., Beuvier, E., 2007. Initial dissolved oxygen level rather than initial decrease of redox potential slows down acidification kinetics of Lactococcus lactis strains in milk. [Poster]. Club des Bactéries Lactiques, 13-15 novembre 2007, Rennes, France.
- [AFF3] Welcker C., Boussuge B., Tireau A., Naudin P., Neveu P., Sadok W., Parent B., Turc O, Hilgert N., Tardieu F. 2007. Phenodyn : a phenotyping platform and an information system to dissect the genetic variability for growth and transpiration rates in response to water deficit. Poster présenté Annual Research Meeting of Generation CP Benoni (South Africa), 12-16 September 2007.
- [AFF4] Welcker C., Boussuge B., Tireau A., Naudin P., Neveu P., Sadok W., Parent B., Turc O, Hilgert N., Tardieu F. 2007. Phenodyn : a phenotyping platform and an information system to dissect the genetic variability for growth and transpiration rates in response to water deficit. Poster 3.8 page 54 of Poster Abstracts et The Genomic of Drought, Poster38 p 81 of Genomic Symposium Proceedings ACPFG Adelaïde (Australia), 22-24 October 2007.

## OS (Ouvrages scientifiques ou chapitres de ces ouvrages)

- [OS1] Malisoff, M., and F. Mazenc, 2009. Constructions of Strict Lyapunov Functions, Communications and Control Engineering Series, Springer-Verlag London Ltd., London, UK, 2009. ISBN : 978-1-84882-534-5
- [OS2] Cornillon P.A., Guyader A., Kloareg M., Husson F., Jégou N., Josse J., Matzner-Lober E., Rouvière L., 2008. Statistiques avec R, 272 p. Presses Universitaires de Rennes ISBN : 978-2-7535-0722-7.
- [OS3] Fabre J., Tireau A., Neveu P., Dauzat M., 2008. Granier C. Développement d'un Système d'Information de Phénotypage d'Aribidopsis thaliana. Cahier des techniques INRA 2008, 65, p 31-46.
- [OS4] Jones H., Guillaume S. et Charnomordic B., 2008. Vers une utilisation pratique des règles implicatives, LFA 2008, Cépaduès Editions, 118-125.
- [OS5] Sari, T., 2008. Introduction aux systèmes dynamiques et applications à un modèle cosmologique, in Géométries et dynamiques, K. Sadallah et A. Zeghib (éditeurs), Hermann, Travaux en Cours 70, 259-274.
- [OS6] Cornillon, P-A., Matzner-Lober, E., 2007. Régression. Théorie et applications, 302 p., Springer ISBN : 978-2-287-39692-2.
- [OS7] Elyakime, B., Loisel, P., 2007. Service environnemental et incertitude, quelle gestion?. Allard, P. (Directeur) ; Fox, D. (Directeur) ; Picon, B. (Directeur). Incertitude et environnement. La fin des certitudes scientifiques. Aix-en-Provence (FRA) : Editions Edisud ; Ecologie Humaine. 2007, : 433-441.
- [OS8] Francisco, R., Mazenc, F., Mondié, S., 2007. Global Asymptotic Stabilization of a PVTOL Aircraft Model with Delay in the Input. LNCIS Springer Berlin/Heidelberg ISSN 0170-8643, Engineering, Vol. 352/2007, Applications of Time Delay Systems, pp. 343-356.
- [OS9] Mazenc F., Lobry C., Rapaport A., 2006. Stability Analysis of an Ecological Model". Springer-Verlag, ISSN :0170-8643, Volume 341/2006 Title : Positive Systems ISBN : 978-3-540-34771-2, pp. 113-120.

## OV (Ouvrages de vulgarisation ou chapitres de ces ouvrages)

- [OV1] Lobry, C. and Harmand, J. and Rapaport, A, 2007. La modélisation des procédés biologiques de dépollution, Interstice.
- [OV2] Cordier O. , Tortrat F., Trepos R., Charnomordic B. et al., 2006. Qualité de l'eau en milieu rural : Savoirs et pratiques dans les bassins versants, Coordination éditoriale de Philippe Merot, l Collection Update Sciences &
- [OV3] Technologies, 2006.
- [OV4] Harmand J., Lobry C., Rapaport A. et Godon J.-J., 2006. La modélisation des écosystèmes microbiens : une nécessité pour la recherche et l'industrie. Dossier Ecologie microbienne des sols, Biofutur, No. 268, pp. 54-57.

## DO (Direction d'ouvrages ou de revues)

- [DO1] Niane, M.T., Sallet, G., Sari, T., and Touré, H., 2008. Proceedings of the 2007 International Conference in Honor of Claude Lobry, Volume 9 of the Revue ARIMA.

## AP (Autres productions)

- [AP1] Bidot, C. Gauchi, J.P., Vila, J.P., 2009. Programmation Matlab du filtrage non linéaire par convolution de particules pour l'identification et l'estimation d'un système dynamique microbologique. Rapport Technique INRA-MIA (Jouy-en-Josas) No 2009-1.
- [AP2] Campillo, F. and Joannides, M., 2009. A spatially explicit Markovian individual-based model for terrestrial plant dynamics. Arxiv e-print 0904.3632v1 - 2009.
- [AP3] Neveu, P., Granier, A., Charron, J., Tireau, A., Koenderink, N., Visse, J., Ratini, P., Perret, B., Pettirani, M., Pirani, M., Thomopoulos, R. Buche, P., 2009. European Project CAFE WP2.1 Deliverable Models and knowledge representation, 42 pages.
- [AP4] Module optionnel 2ème année SupAgro 'Mathématiques pour la gestion de ressources renouvelables. Supports de cours et travaux dirigés (2009) <http://sites.google.com/site/tdscilab/>
- [AP5] Cartigny, P., 2008. Lima Perou, Septembre et novembre pour cours sur système dynamique et contrôle optimal, applications à des modèles sur la gestion de ressources renouvelables.
- [AP6] Campillo, F., Godin, C., Rapaport, A., R., 2008. Modéliser les plantes et leurs utilisations. LISA - Lettre de l'INRIA Sophia Antipolis Méditerranée, No12.
- [AP7] Campillo, F., Desassis, N., 2008. A Markovian model of forest dynamics. Research report, INRIA.
- [AP8] Hilgert, N., Verdier, G., Vila, J.P., 2008. Change detection for uncertain autoregressive models through nonparametric estimation. SupAgro-INRA-UMII Rapport de Recherche No 08-1.
- [AP9] De Persis, C. and Mazenc, F., 2008. Stability of quantized time-delay nonlinear systems : A Lyapunov-Krasowskii functional approach. Arxiv preprint arXiv :0812.2683, 2008 - arxiv.org
- [AP10] Abraham, C., 2007. Polycopié sur le cours « Modèles bayésiens », Master 2 Biostatistique, UM1-UM2-SupAgro, (82 pages).
- [AP11] Ecole-Chercheur INRA 'Systèmes dynamiques et modélisation des écosystèmes microbiens', 9-12 octobre 2007. La Grande Motte. Supports de cours : [https://www1.montpellier.inra.fr/intranet/fp/cdr/rubrique.php3?id\\_rubrique=26](https://www1.montpellier.inra.fr/intranet/fp/cdr/rubrique.php3?id_rubrique=26)
- [AP12] Haegeman, B. Hamelin J, Godon J.J, Harmand J. and Loisel P., 2006. A method for measuring the biological diversity of a sample. Brevet européen n°07301485.4.
- [AP13] Hilgert, N., Verdier, G. Vila, J.P., 2006. Diagnostic d'une panne en cours de fabrication. "La Lettre INRA aux Entreprises", No 6.
- [AP14] Mazenc F., K. Pettersen and H. Nijmeijer, 2006. Global Uniform Asymptotic Stabilization of an Underactuated Surface Vessel, Transactions on Control Systems Technology Best Paper Award.
- [AP15] Projet Sacadeau (Système d'Acquisition des Connaissances pour l'Aide à la Décision sur la qualité de l'EAU), Qualité de l'eau en milieu rural, éditions INRA, mars 2006.
- [AP16] Ecole-Chercheur INRA 'Modélisation et Écologie Microbienne' - Théorie et Méthodes, sessions des 1-3 juin 2005 et 20-23 septembre 2005. Gruissan. Supports de cours <http://www1.montpellier.inra.fr/MERE/ECOMIC/ECOLE/>
- [AP17] Module d'approfondissement 2ème année SupAgro 'Mathématiques pour la gestion de ressources renouvelables' (2005). Supports de cours et travaux dirigés : <http://www1.montpellier.inra.fr/MERE/DRN/COURS/>

**UMR 729 ASB**  
**Analyse des Systèmes et Biométrie**

**– Evaluation AERES –**  
**Annexes**

- Annexe I.** Liste des acronymes
- Annexe II.** Descripteurs ERFIN
- Annexe III.** Lettre de mission
- Annexe IV.** Rapport de la précédente évaluation

# Liste des acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AI	Assistant Ingénieur
AIP	Action Incitative Programmée
AIR	Action Incitative de Recherche
ALEA	Algorithmes d'apprentissage évolutionnaires avancés (EPI, Bordeaux)
ARC	Action de Recherche Collaborative (INRIA)
ASB	Analyse des Systèmes et Biométrie (UMR, Montpellier)
AUF	Agence Universitaire de la Francophonie
CAFE	Computer-aided food processes for control engineering (projet européen)
CAQ	Croissance Amélioration Qualité (groupe)
CDD	Contrat à Durée Déterminée
CEC-WYS	Central European Centre for Women and Youth in Science
CEES	Centre for Ecological and Evolutionary Studies (Université de Groningen)
CEFE	Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (Montpellier)
CEMAGREF	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts
CEPIA	Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture (département INRA)
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
CMM	Centre de Modélisation Mathématique (UMR, Santiago, Chili)
COLOR	COopérations LOcales de Recherche (actions de l'INRIA Sophia-Antipolis)
CR	Chargé de recherche
CRAN	Centre de Recherche en Automatique de Nancy (UMR)
CUSUM	CUMulative SUM Chart
DIMIMOS	Lien entre la diversité microbienne et le turn-over des matières organiques dans les sols agricoles (projet du programme SYSTERRA)
DISCO	Modélisation multi-échelles du COuplage bioDIversité Structure dans les biofilms (projet du programme SYSCOMM)
DPPE	Dynamique des Populations et des Peuplements Exploités (réseau)
DR	Directeur de Recherche
DYNAFOR	Dynamiques forestières dans l'espace rural (UMR, Toulouse)
DYNECOS	DYNAmique des ECOSystèmes (équipe)
EA	Environnement et Agronomie (département INRA)
Eco & Sols	Écologie fonctionnelle et biogéochimie des sols (UMR, Montpellier)
ECOGER	Ecologie pour la gestion des écosystèmes et de leur ressources (programme CNRS)
ECOMIC-RMQS	Microbio-géographie à l'échelle de la France par application d'outils moléculaires au Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (projet du programme Biodiversité de l'ANR)
ED	Ecole Doctorale
EDELWEIS	Echanges, Documents, Extraction, Languages, Web, Ergonomie, Interactions, Semantique, Serveurs (EPI, Sophia-Antipolis)
EDP	Equation aux Dérivées Partielle
EFPA	Ecosystèmes Forestiers, Prairiaux et Aquatiques (département INRA)
EMBRAPA	Brazilian Agricultural Research Corporation
ENPC	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Marne-la-Vallée)
ENV	Ecole Nationale Vétérinaire
EOLI	Efficient Operation of Low Investment wastewater treatment plants (projet européen)
EPI	Equipe Projet INRIA
EPS	Eco-microbiologie Previsonnelle Statistique (ARC)
GESSOL	Gestion du patrimoine sol (programme du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire)
GIS	Groupement d'Intérêt Scientifique
GMPA	Génie et Microbiologie des procédés alimentaires (UMR, Grignon)
HDR	Habilitation à Diriger des Recherches
I2S	Information Structures Systèmes (ED, Montpellier)
I3M	Institut de Mathématiques et de Modélisation de Montpellier (UMR)
IATE	Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes (UMR, Montpellier)
IBM	Individual Based Model
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IMCA	Instituto de Matemática y Ciencias Afines (Pérou)
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et Automatique
INSA	Institut National des Sciences Appliquées
IR	Ingénieur de Recherche
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (ex ORSTOM)
ITAP	Information et Technologie pour les Agro-Procédés (UMR, Montpellier)
ITV	Institut Technique de la Vigne et du Vin

LAMETA	Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée (UMR)
LBE	Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (unité INRA, Narbonne)
LEPSE	Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux (UMR, Montpellier)
LERFoB	Laboratoire d'Etudes des Ressources Forêt-Bois (UMR, Nancy)
LIRIMA	Laboratoire International de Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées
LIRMM	Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (UMR)
LISAH	Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème (UMR, Montpellier)
LISC	Laboratoire d'Ingénierie pour les Systèmes Complexes (Cemagref, Clermont)
LR	Région Languedoc Roussillon
LUBEM	Laboratoire Universitaire de Biologie et d'Ecologie Microbienne
MAE	Ministère des Affaires Etrangères
MC	Maître de Conférences
MCMC	Markov Chain Monte Carlo
MERE	Modélisation Et Ressources en Eau (EPI, Montpellier)
MGS	Microbiologie et Géochimie du Sol (UMR, Dijon).
MIA	Mathématiques et Informatique Appliquées (département INRA)
MICA	Microbiologie et Chaîne Alimentaire (département INRA)
MICR	Modélisation stochastique et inférence numérique pour l'évaluation et la gestion de ressources renouvelables (ARC)
MIFIMA	Mathematics, Informatics and Fisheries Management (action STIC AmSud)
MIPS	Mathématiques Informatique Physique Structures et Systèmes (pôle montpellierain)
MISAA	Méthodes Informatiques et Statistiques pour les Agrosystèmes et l'Agroalimentaire (équipe)
MISTEA	Mathématiques, Informatique, STatistique pour l'Environnement et l'Agronomie (future UMR, ex-ASB, Montpellier)
MODECOL	Using mathematical MODELing to improve ECOlogical services of prairies ecosystems (projet du programme SYSCOMM)
ONF	Office National des Forêts
PAC	Politique Agricole Commune
Pr	Professeur
PSH	Plantes et Systèmes de culture Horticoles (unité INRA, Avignon)
PU	Professeur des Universités
RTRA	Réseau Thématiques de Recherche Avancée
SARIAM	Soutien aux Activités de Recherche Informatique et Mathématique en Afrique
SPES	Società di Progettazione Elettronica Software (Italie)
SPO	Sciences Pour l'Oenologie (UMR, Montpellier)
STIC	Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication
SIBAGHE	Systèmes intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences et Environnement (ED, Montpellier)
SYSCOMM	Systèmes complexes et modélisation mathématique (programme de l'ANR)
SYSTEM	Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (UMR, Montpellier)
SYSTERRA	Ecosystèmes, Territoires, Ressources vivantes et Agricultures (programme de l'ANR)
UTFSM	Universidad Tecnica Federico Santa Maria (Valparaiso, Chili)
UMII	Université Montpellier II (Sciences et Techniques du Languedox)
UMR	Unité Mixte de Recherche
UMT	Unité Mixte Technologique
UR	Unité de Recherche
VITELBIO	VIrtual TELluric BIOreactors (ARC)

## DESCRIPTEURS ERFIN – UMR ASB

	<b>Produits</b>	<i>Nombre</i>	<i>Coefficient (indicatif)</i>	<i>Nombre pondéré</i>
	<b>A. Résultats vers le monde académique</b>			
<b>Production de connaissances</b>	Publications de « rang A » <sup>1</sup> et communications publiées dans des actes de congrès très sélectifs majeurs pour les STICS et SHS	131	1	131
	Publications dans des revues dont le facteur d'impact est dans le premier quartile de ceux la discipline <sup>2</sup>		1	
	Ouvrages dont l'édition a été coordonnée par un ou des membres de l'unité	1	3	3
	Ouvrages rédigés par un ou des membres de l'unité	2	4	8
	Chapitres d'autres ouvrages	5	0,5	2,5
	Brevets <sup>3</sup>	1	1	1
	Conférences invitées à des congrès internationaux <sup>4</sup>	11	1	11
	Communications lors de congrès avec actes <sup>5</sup>	80		
	S1 = Somme pondérée			156,5
<b>Partenariats scientifiques</b>	Projets européens (PCRD) coordonnés par l'unité en cours pendant la période.		4	
	WP de projets européens en cours, coordonnés par l'unité	1	1	1
	Projets scientifiques internationaux, ayant fait l'objet d'un appel d'offre compétitif, coordonnés par l'unité	1	4	4
	WP de tels projets internationaux coordonnés par l'unité		1	
	Réseaux thématiques internationaux ou réseaux nationaux inter-organismes « labélisés », animés par un membre de l'unité ; responsabilités dans les sociétés savantes	3	2	6
	Conférences et congrès internationaux dont l'unité est organisatrice	1	4	4
	Thèses ERASMUS MUNDUS ou thèse en co-tutelle internationale	1	2	2
	Participations à des comités éditoriaux de revues scientifiques internationales <sup>6</sup> ( <i>un éditeur en chef est compté pour 2</i> )	18	2	36
	Participations à de comités scientifiques de grands programmes de recherche internationaux ou nationaux inter-organismes	1	1	1

<sup>1</sup> Soit l'unité utilise la définition de « publication de rang A » de l'AERES, soit elle précise ce qu'elle compte comme « de rang A »

<sup>2</sup> Cet indicateur n'est pertinent que pour les disciplines dont les supports de publication sont bien référencés dans Thomson Scientific

<sup>3</sup> Les brevets qui protègent des connaissances génériques et dont l'exploitation n'est pas prévue à court terme sont considérés au même titre qu'une publication dans une revue académique. Les autres brevets, plus proches d'inventions, seront enregistrés dans la rubrique II.5

<sup>4</sup> Cet indicateur est un indicateur de visibilité dans une communauté scientifique. Le groupe le considère donc comme un indicateur d'impact plutôt que comme un indicateur de production primaire.

<sup>5</sup> Cet indicateur peut ne pas être pertinent lorsque la participation à des congrès est très régulière et va de soi. Il sera pertinent dans les domaines où les congrès sont plus rares ou lorsque ce type de communication doit être encouragée. Le coefficient sera adapté par l'organisme.

<sup>6</sup> On additionne les nombres d'éditeurs associés, membres de l'unité, dans chacune des revues

	<b>Produits</b>	Nombre	Coefficient (indicatif)	Nombre pondéré
	Projets en cours pilotés par l'unité, financés après appel d'offre compétitif (ANR...)	4	1	4
	<b>S2 = Somme pondérée</b>			<b>58</b>
<b>Grands instruments</b>	Nombre d'années (ETP) de chercheurs, ingénieurs et cadres scientifiques de l'unité consacrés au développement d'un grand instrument mis à disposition d'une communauté scientifique <sup>7</sup> .		2	
	Bases de données et logiciels scientifiques mis à disposition d'une communauté scientifique	14	1	14
	<b>S3 = Somme pondérée</b>			<b>14</b>
<b>SA</b>	<b>SA= S1 + S2 + S3</b>			<b>229,5</b>
	<b>B. Résultats vers le monde socio-économique</b>			
<b>Production de connaissances opérationnelles et innovations</b>	Articles dans des revues techniques ou professionnelles ou dans des revues d'ingénierie largement diffusées dans le domaine	6	1	6
	Guides techniques et ouvrages de synthèse destinés aux professionnels		4	
	Outils et modèles d'aide à la décision livrés aux utilisateurs ; logiciels déposés mis à disposition des utilisateurs ; brevets <sup>8</sup>	9	2	18
	Marques déposées, obtentions végétales...		3	
	Prototypes, procédés, pilotes, démonstrateurs livrés à l'utilisateur		3	
	Licences associées à des brevets déposés par l'unité		3	
	Entreprises créées par des membres de l'unité		4	
	<b>S5 = Somme pondérée</b>			<b>24</b>
<b>Partenariats socio-économiques</b>	Contrats ou projets de recherche partenariale dont le financement par les partenaires est supérieur à 50 000 € ou dans lequel est engagé au moins 0,5 ETP de l'unité	1	1	1
	Thèses en cours co-financées par des partenaires socio-économiques (comme les bourses Cifre) en cours pendant la période évaluée.		2	
	Participations de membres de l'unité dans des conseils d'orientation stratégiques de partenaires ou de porteurs d'enjeux		0,25	
	<b>S4 = Somme pondérée</b>			<b>1</b>
<b>Expertises et études, mise à disposition de techniques et d'instruments</b>	Missions d'expertises et études réalisées pour des partenaires ou clients <sup>9</sup>		1	

<sup>7</sup> Si cet instrument est majoritairement utilisé par des partenaires socio-économiques, on le compte dans la rubrique « partenariats socio-économiques » (ou éventuellement on partage ces ETP entre les 2 rubriques)

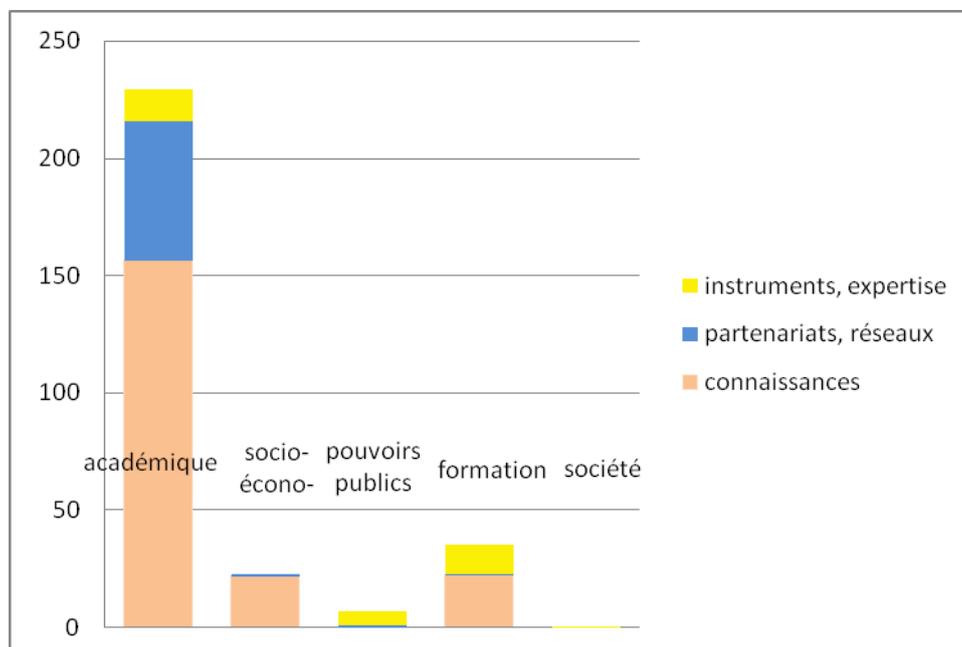
<sup>8</sup> Ceux qui ne sont pas comptés dans le rubrique 1

<sup>9</sup> Ces expertises doivent être identifiées dans la liste des produits et résultats

	<b>Produits</b>	Nombre	Coefficient (indicatif)	Nombre pondéré
	Nombre d'années (ETP) de chercheurs, ingénieurs et cadres scientifiques de l'unité consacrés à des missions d'expertise pour des partenaires ou clients		1	
	Nombre d'années (ETP) de chercheurs, ingénieurs et cadres scientifiques de l'unité consacrés au développement d'un grand instrument et à sa mise à disposition de partenaires socio-économiques		2	
	S6 = Somme pondérée			0
<b>SB</b>	<b>SB= S4 + S5 + S6</b>			23
	<b>C. Résultats pour les pouvoirs publics</b>			
<b>Production de connaissances opérationnelles</b>	Guides techniques		2	
	Outils et modèles d'aide à la décision livrés aux utilisateurs publics (hors recherche) ; logiciels déposés mis à disposition d'une instance publique		2	
	S'5 = Somme pondérée			0
<b>Partenariats avec les pouvoirs publics</b>	Projets de recherche avec un partenaire public hors recherche : ministères « techniques », régions.... dont le financement est supérieur à 50 000 € ou dans lequel est engagé au moins 0,5 ETP de l'unité, dont les thèses encadrées dans l'unité et financées par des partenaires publics hors recherche	1	1	1
	Participations de membres de l'unité dans des conseils d'orientation stratégique ou des conseils scientifiques de partenaires publics (hors organismes de recherche, comités ANR ...)	1	0,25	0,25
	S'4 = Somme pondérée			1,25
<b>Expertises scientifiques</b>	Rapports transmis à des acteurs publics ; contribution à des normes ou des textes réglementaires ; rapports d'expertise	2	1	2
	Animation d'expertises scientifiques collectives inter-instituts		3	
	Contributions à une expertise scientifique collective <sup>10</sup>	4	1	4
	Membres de comités d'expertise permanents (ou groupes d'experts permanents d'agences de sécurité sanitaire...). Une présidence est comptée pour 2		1	
	S'6 = Somme pondérée			6
<b>SC</b>	<b>SC= S'4 + S'5 + S'6</b>			7,25
	<b>D. Résultats pour l'enseignement et la formation</b>			
	Thèses soutenues pendant la période évaluée	6	2	12
	Stages de niveau master préparés dans l'unité	26	0,25	6,5
	HDR de membres de l'unité soutenues pendant la période évaluée	2	1	2
	Ouvrages pédagogiques	1	3	3

<sup>10</sup> on comptera autant de contributions que de scientifiques impliqués

	<b>Produits</b>	Nombre	Coefficient (indicatif)	Nombre pondéré
	Nouveaux modules de formation de niveau master élaborés par des membres de l'unité et mis en place	2	1	2
	Coordination (3 points) ou contribution (2 points) à des masters <i>Erasmus Mundus</i> ou à des masters internationaux		3 ou 2	
	Coordination de masters	1	0,5	0,5
	Nombre de services d'enseignant-chercheurs assurés par des membres de l'unité (EC, chercheurs, ingénieurs ...) (nb h de cours /128 + nb h de TD/192)	12,41	1	12,41
<b>SD</b>		S7 = Somme pondérée <b>SD = S7</b>		38,41
	<b>E. Résultats relatifs à l'interaction avec la société</b>			
	Rapports d'analyse de la demande sociétale, d'analyses prospectives		1	
	Articles de presse, interviews...	2	0,25	0,5
	Ouvrages destinés à un public large		3	
	Manifestation grand public, débats science-société animés par l'unité		0,5	
<b>SE</b>		S8 = Somme pondérée <b>SE=S8</b>		0,5



**Figure 1** : Représentation en histogramme des descripteurs pondérés

**Lettre de mission adressée à  
Alain Rapaport DU, et Pascal Neveu DU adjoint de l'UMR ASB n°729  
Du 01.01.2009 au 31.12.2010**

Comme toutes les unités du département MIA de l'INRA, l'UMR ASB a vocation à développer des méthodologies innovantes dans le champ des mathématiques appliquées et de l'informatique, dont l'objectif est de participer à répondre aux grands enjeux de l'agronomie et des sciences du vivant. Ces recherches doivent donc à la fois être confrontées aux recherches académiques pour en assurer la qualité et l'originalité méthodologique, et être menées en partenariat étroit avec des biologistes ou agronomes dans le cadre de projets cohérents avec les priorités de l'INRA. L'UMR ASB a également mission de venir en appui des enseignements de Montpellier SupAgro, aux interfaces entre les mathématiques appliquées et les sciences du vivant, notamment en statistique, en informatique ou en modélisation.

L'identité de l'UMR est clairement « Systèmes dynamiques complexes pour les sciences du vivant ». Il s'agit d'un champ prioritaire pour le département MIA et l'UMR ASB doit jouer un rôle leader sur ce champ à l'intérieur de l'INRA. D'autre part, Montpellier est un pôle important dans le dispositif national de recherche agronomique, et l'UMR doit donc viser à y jouer un rôle structurant.

L'utilisation de modèles dynamiques complexes se développe de manière importante dans les sciences de la vie. Ces modèles sont de plus en plus complexes en associant des échelles différentes, qu'elles soient spatiales, temporelles, ou de niveau d'organisation du vivant. Ces modèles renouvellent les questions posées aux mathématiques et ouvrent de nouvelles questions de recherche. En parallèle, les expérimentations autour de ces modèles et les simulations de ces modèles génèrent des quantités considérables de données de nature variée, faisant aussi intervenir des échelles de temps et d'espace. La confrontation de ces modèles complexes à ces grandes quantités de données provenant de différentes sources pose des questions nouvelles et décisives aux statistiques et à l'informatique, pour les gérer, les intégrer, et en tirer les conclusions sur les modèles.

C'est donc une chance pour l'UMR de pouvoir réunir différentes compétences en modélisation pour les sciences du vivant dans les domaines des systèmes dynamiques, de la statistique fonctionnelle ou de la représentation des connaissances, pour répondre à ces enjeux, mais en même temps un obstacle car chacune des méthodologies ne concerne qu'un nombre réduit de personnes dans l'UMR. L'objectif est donc à la fois d'exploiter cette association originale de compétences en identifiant les problématiques que cette association permet d'atteindre, tout en construisant des liens avec des équipes plus importantes dans chacun des champs disciplinaires afin d'éviter l'isolement et accroître la visibilité.

Les partenaires méthodologiques sont nombreux sur le site de Montpellier (INRIA, Universités, CIRAD, etc.) et, dans un contexte de fortes restructurations, il faut analyser les opportunités d'alliance et faire des choix qui préservent l'identité de l'UMR, tout en accroissant sa visibilité et son efficacité. En ce qui concerne le CIRAD, la possibilité d'associer l'INRA, SupAgro et le CIRAD, en bénéficiant de la dynamique du consortium, doit faire l'objet d'une réflexion spécifique. En ce qui concerne l'INRIA, la poursuite du

projet MERE apparaît tout à fait pertinente. La construction du projet devra être menée en interaction avec l'ensemble de l'UMR. Au-delà du projet MERE, l'INRIA peut offrir d'autres opportunités de partenariat. Par ailleurs, la pertinence de la construction d'une association plus ou moins étroite avec les statisticiens travaillant autour des sciences de la vie doit être analysée.

Sur le plan des thèmes finalisés, l'UMR est impliquée dans un nombre important de projets dans des domaines variés. Il apparaît nécessaire de diminuer dans l'avenir cette diversité et de se concentrer sur un nombre réduit de projets pour y être plus forts et visibles. Il peut être pertinent de profiter de la dynamique de pôle sur Montpellier et de privilégier les partenaires de ce pôle dans cette construction, sans viser l'exclusivité. Sur certains projets (concernant la gestion des forêts par exemple) des associations avec d'autres unités du département apparaissent nécessaires.

Concernant l'enseignement, il apparaît important que l'ensemble de l'UMR participe aux réflexions que mène SupAgro sur l'évolution de ses enseignements en modélisation, et s'implique dans la construction et la mise en œuvre de nouvelles offres d'enseignements, sous la responsabilité des enseignants chercheurs et de la direction de l'école.

Le mode de fonctionnement entre le DU et le DU adjoint est décrit dans une note qui a été adressée aux membres de l'UMR. Il est a priori satisfaisant comme guide de fonctionnement. Si une suite de l'EPI MERE est validée par l'INRA et l'INRIA, il faudra préciser le mode de fonctionnement tenant compte du double rôle d'Alain Rapaport dans le système. L'ensemble de l'UMR doit être tenue informée des activités et projets de l'EPI, et pouvoir travailler avec les membres de l'EPI le cas échéant et vice versa. L'UMR peut se structurer en équipes si elle y gagne en souplesse et efficacité. Cependant, il faut être vigilant sur les enjeux de visibilité externe et de concentration sur un nombre limité de projets d'envergure, qui ne doivent pas pâtir de la structuration en équipes.

Bruno GOFFINET, CD MIA INRA

Etienne LANDAIS, Directeur Général SUPAGRO

## Rapport du Comité d'Évaluation de l'UMR

« Analyse des Systèmes et Biométrie »

Réuni le 16 Mars 2006 à l'AGRO-M, Montpellier

UMR en renouvellement quadriennal 2007-2010

Le comité d'évaluation remercie l'ensemble des personnels de l'UMR pour l'effort de synthèse et de présentation préparé pour le comité d'évaluation.

L'identité de l'UMR, reflétée dans la nouvelle appellation par les mots « Systèmes complexes », se réfère de façon claire, argumentée, et moderne aux changements d'échelle, à des aspects intégratifs, mais aussi bien sûr aux interfaces entre statistique, dynamique et modélisation.

La production scientifique de l'UMR est satisfaisante mais hétérogène, et gagnerait à une politique de publication plus agressive. Le comité note la très bonne activité des thésards et leur bon suivi, malgré l'absence pour certains d'un comité de thèse, et l'excellente motivation des personnels techniques et administratifs.

La déclaration de politique scientifique de l'unité situe son travail dans le cadre des « Systèmes dynamiques complexes pour les sciences du vivant ». On entend par là des systèmes à plusieurs niveaux d'explication présentant des phénomènes « d'émergence » dus aux interactions entre sous-systèmes. Les aspects de la théorie des Systèmes Dynamiques utilisés concernent des modélisations de situations issues de problèmes agronomiques ou environnementaux par des équations différentielles ordinaires, ou des équations différentielles à mémoire, ou des équations d'évolution aux dérivées partielles, avec des variables de contrôle, ce qui conduit à utiliser des outils de la théorie du Contrôle, et notamment de la théorie du Contrôle Optimal. La théorie des Jeux Différentiels (discipline techniquement très liée au Contrôle optimal) y est également utilisée pour prendre en compte des objectifs contradictoires. La qualité mathématique des travaux effectués dans l'unité dans ces champs mathématiques est largement attestée par des publications dans une belle liste de revues internationales. L'une des spécificités de l'unité est le traitement des problèmes de Contrôle Optimal en horizon infini.

Le sentiment général est que l'unité réalise un réel travail d'interface entre la théorie mathématique des Systèmes Dynamiques et des problèmes agronomiques ou

environnementaux, dont la qualité scientifique est incontestable, ce qui est rare et précieux. Cette ouverture vers les disciplines biologiques est une forte spécificité de l'unité : en général en France les applications considérées par les équipes de recherche spécialisées en Systèmes Dynamiques concernent essentiellement les sciences physiques.

Le comité salue donc l'effort d'ouverture vers les communautés de biologistes autour de l'unité, en réponse à des besoins exprimés localement au plan géographique, et donc vers des applications qu'il convient de développer tout en veillant à rester sélectif et cohérent.

Par exemple, pour l'axe thématique « Microbiologie : fermentations, risques alimentaires », en raison du dynamisme des scientifiques et ingénieurs de l'unité, il apparaît une volonté de maintenir voir créer des collaborations, mais l'effet structurant pour l'unité n'est que partiel. De même, les activités en Intelligence artificielle s'inscrivent dans une approche qualitative pour l'agro-alimentaire dont il est difficile d'identifier la pertinence. Une concertation sur ces activités est souhaitable entre ce laboratoire et CEPIA.

S'appuyant sur le partenariat établi avec l'unité Sciences pour l'œnologie (SPO), les activités sur la gestion des données issues des procédés de fermentation en liaison avec le diagnostic sont originales. Elles alimentent un des deux pôles méthodologiques (approche stochastique des systèmes dynamiques) et sont cohérentes avec le développement de la plate forme logicielle CEPIA de l'INRA. Le nouveau thème proposé sur les risques alimentaires doit tenir compte de la mobilisation au plan national, d'équipes reconnues, couvrant de la modélisation des risques jusqu'à la maîtrise in situ (mise au point de capteurs), non mentionnées. Au minimum, des partenaires disposant de la connaissance de la microbiologie de l'aliment devraient être recherchés pour la validation des outils proposés. Le thème « Ecologie microbienne, dépollution » couvre bien une compétence du laboratoire dans le domaine de la maîtrise de la dynamique des écosystèmes microbiens caractéristiques des systèmes de dépollution. En cela, il est évidemment un partenaire incontournable dans un réseau de réflexion sur la maîtrise des écosystèmes microbiens, s'intéressant à un grand nombre d'applications (sols, tubes digestifs, fromages, ...), mais devra rester prudent sur le caractère générique des travaux sur le système « dépollution ».

Les spécificités et originalités de l'UMR sont réelles. Malgré des maladresses dans le « rapport unique », le comité pense clairement que l'aspect transversal des axes méthodologiques devrait permettre une bonne unité scientifique, une fois que le temps aura permis d'articuler plus fortement les thèmes « déterministe » et « stochastique ».

A cet égard, le comité souhaite saluer l'effort du précédent directeur d'Unité, Jean-Pierre Vila, et du directeur actuel, Pierre Cartigny, qui l'a remplacé en 2005, pour rassembler sur des objectifs communs des forces et des compétences portant sur un champ disciplinaire large et des cultures très différentes.

Deux points spécifiques ont retenu l'attention du comité :

- 1) Le comité souligne la nécessité d'attitudes collectives de la part de chercheurs et d'enseignants-chercheurs qui doivent tenir compte dans leurs choix de recherche, de collaborations, et d'ouvertures de leur accession inéluctable dans un avenir proche à des responsabilités.
- 2) Concernant le projet INRA-INRIA MER, la participation de l'INRIA sur une stricte base de « projet » lui enlève tout dialogue formel avec la direction de l'unité, et crée de ce fait une absence de vrai contrat scientifique. Le comité regrette d'ailleurs de ne pas avoir été informé des conclusions du comité de pilotage du projet MER récemment réuni. Les difficultés relationnelles au sein de l'UMR autour de ce projet sont regrettables et doivent retenir toute l'attention des membres de l'unité (et ont retenu celle du comité) alors que la toile de fond scientifique et la qualité des travaux menés par les uns et les autres est tout à fait propice à une vraie collaboration. La première solution, peu plausible à ce stade, serait que l'INRIA devienne une des tutelles de l'unité. Une autre solution est l'organisation de l'UMR en équipes distinctes. Le comité craint qu'une telle organisation revienne non seulement à reconnaître un état d'immaturation des relations collectives, mais risque de le perpétuer. Même si cette organisation devait être adoptée à titre conservatoire, nous recommandons, quelle que soit la solution adoptée, que l'unité s'appuie rapidement sur un texte écrit explicite, précisant les consensus sur les prérogatives et obligations des uns et des autres, afin que la liberté de création et d'initiative indispensable aux activités de recherche puisse se développer tout en restant au service de la collectivité que constitue une UMR.

Pour l'avenir de l'unité, compte tenu des départs en retraite prévu, il est logique qu'une réflexion sur les recrutements à venir se développe.

Concernant l'ENSAM, il convient de veiller avec soin à l'articulation dans les recrutements à venir des besoins d'enseignement en statistique, notamment en statistique du modèle linéaire, et des activités de recherche.

Concernant l'INRA, il convient de déterminer l'ancrage par rapport aux grandes orientations « déterministe » et « stochastique ». Il paraît clair qu'un recrutement au niveau DR aurait un impact structurant pour l'unité et apparaît donc clairement préférable à un recrutement au niveau CR.

Les relations avec l'UM II en statistique reposent sur les liens historiques et traditionnels s'étant renouvelés dans la jeune génération. Le comité salue notamment le fort engagement des MdC de l'unité dans le pilotage M2 recherche « Biostatistique ». Le comité encourage la création de relations avec l'UM II sur le thème « systèmes dynamiques ». Un tel pont favoriserait la maturation et l'articulation des problématiques de l'unité et donnerait l'accès à des étudiants de thèse.

En conclusion, la demande pluridisciplinaire actuelle et les compétences de l'UMR doivent pousser les uns et les autres à dépasser des difficultés et des tensions, qui, si elles ont inévitablement retenu l'attention du comité, sont susceptibles d'être rapidement réversibles sous réserve que des engagements collectifs clairs soient pris et tenus. Le comité réaffirme sa confiance à Pierre Cartigny pour permettre à l'UMR de poursuivre son évolution dans le respect des équilibres entre les domaines de compétence revendiqués par l'unité.

Composition du comité, réuni le 16 Mars 2006 à Montpellier

M. J.-D. LEBRETON, DR CNRS, Directeur UMR 5175 CEFE, président du comité

M. C. MILLIER, DR INRA, Directeur scientifique INA PG

Mme M. MARIN, Professeur INA P-G

M. Joël BLOT, Professeur, Mathématiques, université Paris I

M. George OPPENHEIM, Professeur,

Représentants des Tutelles :

M. B.GOFFINET, DR INRA, Directeur Dpt MIA, représentant l'INRA

M. J.MAILLET, Professeur AGRO-M, Directeur adjoint, représentant l'AGRO-M



Demandes de création/renouvellement d'unités en partenariat avec  
l'INRA  
– contractualisation à compter du 01 janvier 2007 –  
Avis de l'INRA

<b>Situation antérieure</b>			
N° Unité	Intitulé	Directeur	
UMR 729	Analyse des Systèmes et Biométrie -ASB INRA / Agro M	P. CARTIGNY	
<b>Demande pour 2007-2010</b>			
UMR 729	Analyse des Systèmes et Biométrie -ASB INRA / Agro M	DU : Pierre CARTIGNY MC - U. Méditerranée	
<p>Les orientations scientifiques de l'unité « Analyse des systèmes et biométrie » relèvent des systèmes dynamiques complexes pour les sciences du vivant. Elles sont organisées en trois domaines méthodologiques : i) approche déterministe, ii) approche stochastique pour les systèmes dynamiques, iii) reconnaissance et gestion des connaissances.</p> <p>L'unité relève du département INRA Mathématiques et informatiques appliquées et du centre de Montpellier.</p> <p><u>Points forts</u></p> <p>Le positionnement thématique global de l'unité, celui des systèmes dynamiques complexes pour les sciences du vivant, est pertinent. Il s'agit d'un champ prioritaire pour le département MIA et l'UMR ASB est leader sur ce champ parmi les unités du département.</p> <p>Sur le plan des champs finalisés, l'unité a réduit son investissement dans le champ des procédés agro alimentaires. Les pistes qui sont maintenant ouvertes autour de la microbiologie, des systèmes écologiques à l'échelle macro ou avec le LEPS sont pertinentes et la construction rapide de nouveaux partenariats, mise à l'actif du directeur d'unité, sont saluées.</p> <p>L'intérêt de valoriser le caractère générique de certains développements à travers leur usage dans des cadres variés, tel ce qui est fait au travers les écoles chercheurs en écologie microbienne, est souligné.</p> <p><u>Points faibles et recommandations</u></p> <p>Concernant les aspects méthodologiques, l'unité devra se donner comme objectif la confrontation et l'articulation entre les approches déterministes et stochastiques. L'originalité et la force de l'unité résident notamment dans sa capacité à proposer une variété d'approches pour modéliser les phénomènes dynamiques, d'offrir aux partenaires une vision cohérente de cette thématique, et de participer en profitant de ce positionnement original à la construction de ce champ de recherche. C'est un objectif difficile, car très peu d'équipes en France ou à l'étranger associent ces compétences, mais qui peut constituer un véritable projet d'unité.</p> <p>Enfin, l'unité devra trouver un mode de fonctionnement plus harmonieux, incluant et tirant profit de la présence du projet MERE INRA-INRIA qui lui apporte une visibilité importante et des partenaires méthodologiques de qualité. Cette démarche pourra s'appuyer sur la rédaction d'une charte, telle que recommandée par la commission d'évaluation, précisant les consensus sur les prérogatives et obligations de chacun.</p> <p>La structuration du projet « modélisation de processus dynamiques à grand nombre de données » pourra aussi constituer un facteur de meilleur équilibre interne de l'unité.</p> <p>En conclusion, la réflexion entamée dans l'unité il y a un peu plus d'un an a déjà donné des résultats intéressants. Un suivi de l'unité sera réalisé au niveau du département portant sur la mise en oeuvre des dynamiques nouvelles et le fonctionnement global de l'unité.</p>			
<u>Conclusion INRA</u>			
<b>L'INRA est favorable au renouvellement de l'UMR "Analyse des Systèmes et Biométrie" (LASB), en partenariat avec l'Agro M, sous la direction de Pierre CARTIGNY.</b>			
<b>UMR 729</b>	<b>UMR-Analyse des Systèmes et Biométrie ASB INRA / Agro M</b>	<b>Directeur : Pierre CARTIGNY</b>	<b>Renouvellement de l'UMR pour une durée de 4 ans (2007-2010)</b>

# UMR 729 ASB

## Analyse des Systèmes et Biométrie

### – Evaluation AERES –

### Projet 2011-2014

<b>Analyse de l'activité du quadriennal</b>	1
Points faibles	1
Points forts	2
Risques	2
Opportunités	3
<b>Projet et objectifs scientifiques</b>	4
1. Organisation	4
2. Positionnement	4
3. Objectifs à quatre ans	5
<b>Activités thématiques</b>	5
A. Systèmes dynamiques microbiens	5
B. Dynamique de ressources naturelles	7
C. Systèmes de productions agronomiques et interactions avec l'environnement	7
D. Procédés de transformation des aliments	8
<b>Activités méthodologiques</b>	9
1. Modélisation, systèmes dynamiques et optimisation	9
2. Statistique et processus stochastiques	9
3. Informatique et représentation de la connaissance	10
<b>Enseignement</b>	11
<b>Adéquation des moyens humains et financiers</b>	12

# Analyse de l'activité du quadriennal

La lettre de mission (ci-jointe en annexe) du tandem actuel de direction mentionne que *l'identité de l'UMR est clairement "Systèmes dynamiques complexes pour les sciences du vivant"*, et souligne le rôle que l'unité est amenée à jouer aussi bien à l'intérieur de l'INRA que dans le dispositif national de la recherche agronomique. Au regard de notre bilan, nous dégagons comme faits marquants pour la période 2005-2009 :

- une augmentation significative du nombre de partenaires, qui s'est concrétisée au travers de projets (AIP, RTRA, ANR, international),
- une production en croissance régulière de publications et de logiciels pour l'appréhension et le pilotage de systèmes complexes,
- un encadrement régulier de doctorants et post-doctorants sur le thème des systèmes dynamiques ainsi que des actions de formation autour de la modélisation et de l'analyse de systèmes dynamiques complexes,

qui témoignent que la thématique "systèmes dynamiques complexes" a bien été mise en avant, et que visibilité et attraits de l'unité sur ce thème sont en progression. Il mérite d'être souligné que ces orientations ne s'effectuent pas au détriment de la spécialité historique en biostatistiques de l'unité, mais bien en complémentarité (quelques projets font d'ailleurs appel aux deux familles d'outils méthodologiques). Le recentrage sur un plus petit nombre d'applications que par le passé ne se lit pas encore clairement dans notre bilan, car les activités liées à des engagements antérieurs ne peuvent cesser du jour au lendemain.

L'UMR a eu à porter, durant ce dernier quadriennal, une attention particulière sur deux points qui se sont révélés essentiels pour le bien être des rapports humains, la cohésion et l'efficacité de l'unité (et qui avaient été déjà relevés comme progrès à effectuer dans les conclusions de la dernière évaluation d'unité en 2005) :

- l'articulation entre les thèmes "déterministes" et "stochastiques",
- l'incorporation de l'EPI MERE, qui ne concerne qu'une partie des chercheurs, au sein de l'UMR.

Dans ce but, une réflexion et la consultation de l'ensemble de l'unité a eu lieu, jusqu'à l'automne 2008, pour mettre en place une nouvelle organisation portée par le binôme actuel de direction. L'organisation qui a été proposée est basée sur deux équipes informelles (alors que l'UMR n'était au préalable pas structurée en équipes) et quatre projets structurants. Cette nouvelle structuration est opérationnelle depuis début 2009. Ce choix vise tout d'abord à réduire le nombre de thèmes applicatifs affichés par groupes de personnes, sans opposer les méthodologies "déterministes" et "stochastiques", et à associer l'EPI MERE à une équipe et un projet structurant sans que celle-ci s'y retrouve seule. Cette structuration récente, maintenue pour le prochain quadriennal, est décrite plus précisément dans le projet de l'unité ci-après. Les locaux qui hébergeaient jusqu'alors l'intégralité de l'UMR ne permettaient malheureusement plus d'accueillir dans des conditions convenables visiteurs et nouveaux recrutés. Grâce à un soutien de la direction commune INRA/SupAgro du campus, des locaux supplémentaires ont été affectés à l'unité début 2009. Ainsi, les deux équipes sont actuellement installées dans deux bâtiments distincts sur le campus SupAgro.

Nous déclinons ci-dessous ce qui nous apparaît comme points faibles et forts de notre bilan, tout d'abord au niveau de l'unité considérée dans son ensemble, puis plus spécifiquement liés à nos thèmes structurants.

## Points faibles.

- Du point de vue contextuel et organisationnel, la bilocalisation de l'unité constitue une forme de frein à la cohésion ainsi qu'à la convivialité de l'unité, et nous impose d'être vigilants sur ces aspects.
- Le nombre de projets et domaines applicatifs paraît encore important au regard du nombre de permanents. Il s'explique par l'aspect générique et transversal de nos travaux qui sont associés à de fortes sollicitations extérieures, et qui engendrent logiquement des partenariats variés. Cela nous a conduit à une certaine pluridisciplinarité de nos méthodes, et nous démarque des autres unités de recherche en mathématiques et informatique appliquées. Cependant, le choix de cadrer nos activités en maintenant un nombre limité de domaines applicatifs nous paraît néanmoins adapté à la richesse du contexte scientifique.
- La politique d'enseignements hors biostatistique (modélisation, informatique) n'est pas encore clairement définie, et repose sur des opérations ponctuelles (internes et externes au campus), ce qui implique que nous n'apparaissions pas comme fédérateurs.
- Deux enseignants-chercheurs de SupAgro, des disciplines Statistique et Informatique, effectuent leurs activités de recherche sur des thèmes non présents dans notre UMR. En effet, ils sont depuis plus de dix ans rattachés à une autre UMR (LIRMM).
- Sur le projet A *Systèmes dynamiques microbiens*, notre valorisation logicielle est encore timide et en partie due à des questions de formalisation qui pourraient être résolues par le renfort d'un Ingénieur de Recherche avec de fortes compétences numériques. Aussi sur ce thème, il n'y a de pas contrat impliquant un industriel. Enfin, le nombre de participations aux conférences au regard du nombre de publications dans des revues et du nombre de participants pourrait être plus élevé.
- En *Dynamique des ressources renouvelables* (projet B), notre investissement est en baisse puisque nous avons choisi un recentrage. Notre pénétration au sein des réseaux INRA 'CAQ' et 'DPPE' n'a pas été aisée, malgré l'organisation d'un colloque, et n'est pas suffisamment visible. De plus, l'ambiguïté de travailler sur l'halieutique étant à l'INRA (puisque les questions de pêcheries en mer sont plutôt l'apanage de chercheurs de l'IFREMER alors que les problèmes de récoltes en eaux douces relèvent bien des missions de l'INRA) gêne notre reconnaissance et notre attractivité sur ce thème. La quasi absence de participations à des conférences avec actes, au regard du nombre de publications dans des revues, est un autre élément pénalisant pour la visibilité.

- Le projet C *Systèmes de production agricole et interactions avec l'environnement* est assez jeune dans l'unité (débuté en 2007) et par conséquent son bilan effectif est encore faible. Nous n'avons pas pu nous investir comme nous le souhaitions car d'autres projets encore engagés ne se sont achevés que très progressivement. Nous sommes conscients que nous devons positionner nos recherches plus précisément et consolider nos collaborations. Les systèmes d'information n'ont été mis en place que très récemment, ce qui nécessite une période d'adaptation pour cette première étape, et explique le manque actuel de visibilité de nos résultats.
- Les forces de l'unité sur les *Procédés de transformation des aliments* (projet D) sont assez limitées et nos travaux ont porté essentiellement sur des réalisations logicielles lourdes en efforts de développement, ce qui explique un bilan plutôt maigre en terme de publications relevant spécifiquement de ce thème.

### Points forts.

- Montpellier est une place forte de la recherche agronomique avec la présence de l'ensemble des acteurs nationaux. L'UMR bénéficie donc d'un contexte très favorable pour développer et mener à bien des collaborations de par son appartenance et sa localisation sur le campus SupAgro/INRA.
- La couverture disciplinaire large de notre unité devient un atout important dans le mode de fonctionnement très intégratif de la recherche agronomique aujourd'hui.
- Nous développons des approches déterministes et stochastiques sur les mêmes objets d'étude (écosystèmes microbiens, forestiers...). En effet, selon l'échelle choisie et la question de recherche, l'une ou l'autre de ces méthodes se révèle être plus pertinente ou complémentaire.
- La production de l'unité est significative et variée, et tous les (enseignants)-chercheurs sont publiants.
- L'unité est reconnue comme équipe d'accueil de la formation doctorale I2S<sup>1</sup> de l'Université Montpellier II aussi bien pour les spécialités *biostatistique* que *mathématique et modélisation*.
- Plusieurs collaborations (LBE, IATE, SPO) sont menées de longue date, et l'une d'elle a débouché sur la création d'un projet commun avec l'INRIA, dont trois chercheurs ont rejoint l'unité à temps plein.
- L'unité est cohabilitée avec l'Université de Montpellier II pour le parcours du master recherche de biostatistiques.
- Nous sommes partie prenante dans plusieurs projets internationaux au niveau de l'unité qui dépassent la collaboration individuelle.
- Sur le projet structurant A *Dynamique des systèmes microbiens*, nous relevons un bon score de publications à la fois dans des revues de mathématiques appliquées et de biologie, écologie ou bioprocédés, plusieurs financements de projets nationaux (AIP, ANR) ainsi qu'un encadrement important de doctorants et post-doctorants.
- En *Dynamique des ressources naturelles* (projet B), notre positionnement scientifique est original, puisque nous avons fait la pari de nous intéresser aux régimes transitoires. Nous entretenons des contacts fructueux avec plusieurs pays d'Amérique du Sud, en termes de co-publications et d'enseignement.
- Sur le projet C *Systèmes de production agricole et interactions avec l'environnement*, l'offre méthodologique en statistique et informatique est très complémentaire. L'effort consacré à ce thème est aujourd'hui significatif, et a été encore renforcé ces derniers mois par l'association avec des enseignants-chercheurs de l'UMII et l'arrivée d'un nouveau CR. Cet investissement a aujourd'hui clairement augmenté notre visibilité sur ce thème applicatif.
- Concernant nos activités portant sur les *Procédés de transformation des aliments* (projet D), le domaine de la représentation de connaissance appliquée exclusivement aux procédés alimentaires a été renforcé par le département CEPIA. Le pôle montpelliérain ainsi constitué en Intelligence Artificielle appliquée favorise une bonne dynamique sur ces aspects. Au travers du projet Européen CAFE nous avons notamment un réseau de partenariats internationaux.

### Risques.

- Nous redoutons de ne pas être assez visibles des autres communautés avec lesquelles nous pourrions naturellement interagir, ce qui pourrait être attribué à
  - un revers possible de notre pluridisciplinarité. De l'extérieur, chaque membre de l'unité a tendance à être perçu comme un interlocuteur individuel plutôt que représentant d'une équipe (cela est moins vrai pour l'EPI MERE structurée dès sa création)
  - une perte du savoir faire de l'unité si de nouveaux recrutements ne venaient pas dans les années à venir, puisque l'effectif de l'unité est appelé à décroître rapidement de par sa pyramide des âges.
- Rester trop souvent simple partenaire, et non porteur de réponses à des appels d'offre de l'ANR, de programmes internationaux ou de contrats industriels porte également atteinte à notre visibilité nationale et internationale. Ce risque est inhérent à nos disciplines méthodologiques, nos collègues biologistes et agronomes restant maîtres des objets d'étude finalisés.
- Le nombre croissant de projets finalisés (AIP, ANR,...) dans lesquels l'unité est engagée depuis peu risque d'accorder moins de temps aux chercheurs pour dégager les aspects génériques de leurs recherches et publier dans les revues méthodologiques. Nous devons rester vigilants à l'avenir.
- Rater un positionnement dans l'enseignement de la modélisation sur Montpellier, et par conséquent une reconnaissance locale, serait dommageable. Sur les aspects relevant de l'analyse et de la simulation de modèles complexes et la prise en compte de données nos compétences apparaissent complémentaires des autres initiatives lancées sur le pôle montpelliérain.

---

<sup>1</sup>Information, Structures, Systèmes

## Opportunités.

Ces dernières années ont vu naître sur Montpellier plusieurs dispositifs d'aide à la recherche sur des thèmes en adéquation avec le savoir-faire de l'unité :

- La Fondation Agropolis. L'unité, qui n'est pas membre de la Fondation, est partie prenante dans deux projets retenus sur les deux appels d'offre "plantes et écosystèmes numériques".
- L'opération campus, avec notamment la mise en place des pôles MIPS<sup>2</sup> et Environnement-Agronomie. Une thèse co-financée par les écoles doctorales I2S et SIBAGHE<sup>3</sup> est co-encadrée par l'unité.
- Le consortium agronomique. Depuis peu, l'unité réfléchit avec le CIRAD à un rapprochement sur Montpellier des chercheurs dont le cœur de métier repose sur les mathématiques et l'informatique pour les sciences de l'agronomie et de l'environnement<sup>4</sup> (cette réflexion est attendue dans la lettre de mission).
- Le renforcement de la présence de l'INRIA. L'unité est partie prenante dans 3 ARCs, dont 2 en tant que porteuse, et un projet INRA-INRIA.
- Les liens avec les pays d'Afrique francophone et du Maghreb se renforcent par la participation des membres de l'unité aux réseaux SARIMA et euro-méditerranée "3+3".
- Suite à des collaborations ponctuelles, des opportunités d'association avec de pays d'Amérique du Sud (Chili, Pérou) s'ouvrent à nous pour le prochain quadriennal.

---

<sup>2</sup>Mathématiques, Informatique, Physique, Structures et Systèmes

<sup>3</sup>Systemes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement

<sup>4</sup>Un site encore en construction [www1.montpellier.inra.fr/umr\\_asb/Mia/index.htm](http://www1.montpellier.inra.fr/umr_asb/Mia/index.htm) a été crée dans ce but.

# Projet et objectifs scientifiques

## 1 Organisation

Jusqu'en fin 2008, l'UMR était structurée en trois pôles méthodologiques :

- approche déterministe pour les systèmes dynamiques,
- approche stochastique pour les processus dynamiques,
- représentation et gestion de connaissances,

et deux axes applicatifs :

- modélisation et analyse du comportement des micro-organismes,
- modélisation et décision pour les macro-éco-systèmes.

Compte-tenu des évolutions des activités de l'UMR (notamment l'investissement récent en modélisation individuelle et de nouveaux contrats de recherche (notamment l'ANR SYSCOMM sur le changement d'échelles micro-macro dans les biofilms microbiens), les découpages "déterministe/stochastique" et "micro/macro" nous sont apparus moins pertinents. La nouvelle direction en tandem, effective au 1er janvier 2009, a proposé une nouvelle organisation en deux équipes, chacune étant sous la direction d'un des directeurs (cf l'organigramme fonctionnel) :

- équipe DYNECOS (DYNamique des ÉCOSystèmes) : *Mots-clefs thématiques* : écosystèmes, écologie microbienne, dynamique des populations, préservation des ressources, *Mots-clefs méthodologiques* : systèmes dynamiques, modèles spatio-temporels, modèles individus centrés, changement d'échelle, optimisation, théorie du contrôle, estimation et filtrage, simulations,
- équipe MISAA (Méthodes Informatiques et Statistiques pour les Agrosystèmes et l'Agro-alimentaire), *Mots-clefs thématiques* : gestion raisonnée de plantes ou d'arbres, gestion de procédés agro-alimentaires et environnementaux, ressources, *Mots-clefs méthodologiques* : statistique pour données fonctionnelles, masses de données temporelles, représentation de connaissances, raisonnement flou, ontologie, gestion de données,

accompagnées de quatre projets structurants :

- A. systèmes dynamiques microbiens (relevant de l'équipe DYNECOS),
- B. dynamique des ressources renouvelables (relevant des équipes DYNECOS et MISAA),
- C. systèmes de production agronomique et interactions avec l'environnement (relevant de l'équipe MISAA),
- D. procédés de transformation des aliments (relevant de l'équipe MISAA).

Le découpage en deux équipes est informel (puisque le budget de l'UMR reste commun et que l'unité ne souhaite pas que les deux équipes soient évaluées indépendamment) mais permet au tandem de direction d'équilibrer leur représentation, et d'éviter au directeur d'avoir à cumuler seul la direction de l'UMR et celle du projet commun INRA-INRIA, partie intégrante d'une des équipes. La structuration en deux équipes sur des thèmes complémentaires a pour pérennité une durée d'au moins égale à celle du mandat des élus à la direction de l'unité. Au contraire, les projets structurants, qui portent plus précisément sur des domaines d'application, sont appelés à évoluer en nombre et en moyen tout au long du mandat de direction, en fonction des opportunités de collaborations qui peuvent se présenter. Chaque projet est piloté par un animateur différent dont le rôle est de dynamiser la communication et les travaux autour de ces domaines (par exemple, les activités de statistique pour les ressources halieutiques et la modélisation déterministe des pêcheries s'inscrivent dans un même projet structurant). Ces projets n'ont donc pas restriction à rassembler des participants d'une seule des équipes, afin de favoriser communication et complémentarité.

Le projet commun INRA-INRIA sera amené à être renouvelé courant 2010, compte-tenu du changement de chef de projet qui s'est effectué en 2009 et de l'évaluation quadriennale du côté INRIA à l'automne 2009. Un nouveau projet sera proposé à l'INRIA et à l'INRA, dans la continuité de l'actuel projet et des objectifs scientifiques décrits plus loin en Section 3.

**MISTEA (Mathématiques, Informatique et STatistique pour l'Environnement et l'Agromie) : une nouvelle dénomination pour l'unité.** Afin de mettre en avant sa double appartenance aux pôles montpellierains MIPS et Environnement-Agronomie, l'unité souhaite renouveler son identité pour le prochain quadriennal.

## 2 Positionnement

Nos activités se positionnent comme suit par rapport au schéma stratégique du département MIA :

	systèmes dynamiques complexes	analyse et gestion des risques	spatial et spatio-temporel	grandes quantités de données	modèles pour l'action	algorithmique
écologie et épidémiologie	DYNECOS +	DYNECOS	DYNECOS			
gestion des agro-systèmes	MISAA +	MISAA		MISAA +		MISAA
alimentation et agro-alimentaire	DYNECOS + MISAA			MISAA	DYNECOS + MISAA	MISAA

(Légende : + signifie que nos efforts sont plus importants)

### 3 Objectifs à quatre ans

Afin de marquer notre attachement aux aspects finalisés de nos recherches, nous avons choisi de présenter nos activités selon nos quatre projets structurants actuels, puis sous l'angle méthodologique.

## Activités thématiques

### A Systèmes dynamiques microbiens

Depuis quelques années, par l'intermédiaire des écoles chercheurs que nous avons organisées, de nouvelles collaborations avec des chercheurs en écologie microbienne du sol se sont développées (participation aux ANRs Biodiversité "ECOMIC-RMQS" et SYSTERRA "DIMIMOS"). Les demandes en modélisation sont fortes car les modèles actuels de biogéochimie du sol ont le plus souvent des représentations frustes des compartiments microbiens. Même si on retrouve des réactions biochimiques et un maintien de nombreuses communautés microbiennes en interaction, comme dans les écosystèmes de dépollution décrits dans le Bilan (qui sont basés sur les mêmes cycles de l'azote et du carbone, en phases aérobie ou anaérobie), les écosystèmes microbiens du sol diffèrent

- par leur structuration spatiale, loin de vérifier l'hypothèse de milieux parfaitement mélangés comme dans un bioréacteur en phase aqueuse,
- par les échelles de temps des réactions, dus aux transferts de solutés relativement lents,
- par la difficulté d'instrumenter de vrais sols et de mener des expériences in situ.

D'autre part, l'industrie de la dépollution s'oriente de plus en plus vers des écosystèmes à biofilms, plus délicats à opérer mais plus efficaces. Les écosystèmes enzymatiques de la chimie verte, bien que de biodiversité moindre, présentent aussi des aspects de non-homogénéisation que nous commençons à étudier avec l'UMR IATE Montpellier, dans le cadre d'un projet financé par la Fondation Agropolis (co-encadrement d'un post-doc). Dans la continuité des travaux décrits dans le Bilan, ces trois domaines d'application nous conduisent à un nouveau challenge : proposer de nouveaux modèles d'écologie microbienne incorporant ces aspects spatiaux, et de complexité adaptée aux questions de recherche posées par nos partenaires. Les compétences en modélisation individus-centrée acquises récemment dans l'unité (cf section A.1.3 du Bilan) nous poussent également à étudier d'autres modélisations que les approches populationnelles déterministes.

#### A.1 Expérimentation et modélisation de la croissance microbienne

Nous avons la possibilité, par nos partenariats avec l'INRA Dijon et l'UMR Eco & Sols Montpellier de mener avec les microbiologistes des expériences en micro-plaques et en milieux simplifiés (sols reconstitués) à partir de souches prélevées dans des sols et alimentés par un substrat limitant (carbone). Ces expériences permettent d'aborder progressivement les interactions entre espèces puis l'effet de spatialisations. S'agissant de cultures batch, les mesures se font par densité optique, qui ne permettent pas de distinguer les biomasses "actives" des biomasses "mortes", ce qui pose de nouvelles difficultés d'identification des modèles. Une thèse co-dirigée avec l'INRA Dijon a débuté fin 2007, alternant expérimentation et modélisation. Nous venons également de recevoir l'acceptation d'un soutien financier du Réseau National des Systèmes Complexes dans le cadre de l'Appel à Idées 2009, pour mener à bien des expériences croisant progressivement plusieurs souches bactériennes dans des sols reconstitués.

#### A.2 Indicateurs de la qualité biologique d'écosystèmes telluriques

Les sols constituent un important réservoir de carbone organique et évaluer rapidement, correctement et à moindre coût, leur capacité de stockage apparaît comme un enjeu essentiel dans un contexte de changement climatique. L'UMR participe au projet de conception d'indicateurs de qualité biologique des sols à partir de données de spectrométrie afin de fournir des bioindicateurs de qualité pertinents, directement lisibles pour les utilisateurs et les gestionnaires des sols, afin d'optimiser la gestion du patrimoine sol (projet SpecBio, appel d'offre GESSOL). La mise en œuvre de ces indicateurs fera appel aux méthodes de statistiques sur données fonctionnelles, ici des courbes de spectrométrie, que développe l'unité.

### A.3 Modélisation par réseaux de réacteurs interconnectés

Dans le cadre de l'ARC INRIA VITELBIO (VIRtuel TELuric BIOreactors)<sup>5</sup> également financée par l'INRA, nous faisons le pari de modéliser le comportement entrée-sortie d'un écosystème complexe de type sol par un réseau de bioréacteurs (continu ou batch) interconnectés (par transfert ou diffusion). Cette idée part du constat que la structuration des sols concentrent le plus souvent les activités microbiennes en un nombre réduit d'"hot-spots". L'objectif de cette action est double :

- pédagogique, en développant un logiciel de simulation et d'apprentissage des modèles, mis à disposition des biologistes,
- théorique, en étudiant l'influence de la topologie du réseau sur les fonctionnalités de l'écosystème (notamment les dégradation, séquestration et biodisponibilité d'éléments chimiques pour les plantes).

Une thèse co-dirigée avec l'UMR Eco&Sols a débuté fin 2008. Il est prévu de recruter en 2010 un CDD pour le développement logiciel.

### A.4 Biofilms et changement d'échelle

Le projet DISCO<sup>6</sup> de l'ANR SYSCOMM porté par l'EPI MERE se propose de développer de nouveaux modèles de biofilms en s'appuyant

- sur des données microscopiques (motifs) et macroscopiques (propriétés physiques),
- sur une modélisation individus-centrée.

Le nombre extraordinairement grand d'individus et de paramètres qu'il faudrait considérer pour mener à bien des simulations ne rend pas opérationnels ces modèles. Nos objectifs sont

1. d'étudier différentes techniques de réduction de modèles (homogénéisation, perturbations singulières) pour arriver à des modèles "computationnels" que l'on pourra confronter aux données,
2. d'enrichir les modèles populationnels déterministes à l'échelle macroscopique des propriétés des biofilms, à partir desquels on peut développer des outils d'aide à la décision (optimisation, commande,...)

Deux postdocs seront recrutés par l'équipe sur les trois ans du projet.

### A.5 Modélisation et prédiction statistiques pour les écosystèmes microbiens

À court terme :

- Echantillonnage optimal des prélèvements pour le filtrage de systèmes microbiens : un critère d'échantillonnage séquentiel optimal, basé sur les coefficients de sensibilité de Sobol est à l'étude et sera testé prochainement.
- Supervision et détection statistique d'évolution bactérienne critique : pour détecter une éventuelle rupture de modèle (fonctionnelle ou paramétrique) due à un dysfonctionnement de dispositif, nos généralisations par filtrage de tests séquentiels de type CUSUM seront mises en œuvre. Dans le cadre de l'ARC INRIA EPS, des techniques de simulations d'évènements rares permettront de caractériser et d'analyser ces évolutions critiques. Après mise à jour du modèle (ou son maintien si aucune rupture n'est détectée), les lois conditionnelles d'effectifs, estimées (resp. prédites) par les filtres (resp. prédicteurs), permettront la construction d'intervalles de confiance et donc le déclenchement statistique d'alertes de prolifération, à des niveaux de risque fixés a priori.

Par ailleurs, le logiciel de filtrage de systèmes microbiens en cours de validation, va s'enrichir de nouvelles fonctionnalités (comparaison et sélection de modèles par calcul de facteur de Bayes) et de mise en œuvre (base de modèles).

À plus long terme : la prise en compte explicite de la *dimension multi-espèce* doit conduire à la caractérisation et à la formalisation des hiérarchies d'interactions dynamiques complexes (inhibitions, compétitions, synergies, régulations et auto-régulations) entre espèces bactériennes co-existantes dans les substrats considérés (en alimentaire : *Bacillus*, *Clostridium*, *Listeria*, *Salmonella*, etc). Là encore, la complexité de ces systèmes (systèmes dynamiques à espace d'état non linéaires) exclut le recours aux outils d'inférence statistiques habituels (tests de rapport de vraisemblances, critères informationnels) et va conduire à la mise en œuvre d'approches inférentielles innovantes (estimation de facteurs de Bayes par filtrage particulière) caractérisées de nouveau par l'usage du calcul intensif.

Travaux à l'interface des approches déterministes et stochastiques des systèmes dynamiques microbiologiques :

- Planification expérimentale optimale pour la discrimination de modèles dynamiques : étude de diverses variantes de critères de planification pour la discrimination (dérivées d'Atkinson-Fedorov et d'Ucinski) qui favorisent la puissance de tests de comparaison de type rapport de vraisemblance. La complexité numérique rencontrée dans la mise en œuvre (optimisation max-min) de ce type de critère appelle des études appropriées. Applications : génie des procédés biotechnologiques (ex : sélection entre modèle de Monod et modèle d'Haldane).
- Optimisation spatiale de l'acquisition de mesures - positionnement de capteurs : extension de notre critère de planification exacte (X-optimalité) à des systèmes dynamiques distribués spatialement (EDP).

<sup>5</sup>page web : [www1.montpellier.inra.fr/umr\\_asb/Vitelbio/index.htm](http://www1.montpellier.inra.fr/umr_asb/Vitelbio/index.htm)

<sup>6</sup>Modélisation multi-échelles du COuplage bioDiversité Structure dans les biofilms

## B Dynamique des ressources renouvelables

Du fait d'une diminution du nombre de chercheurs impliqués dans cette thématique, les activités vont se réduire et se focaliser sur les points suivants.

### B.1 Gestion du risque dans la prise de décision

L'impact économique d'une destruction mineure ou majeure du stock (du à un changement climatique ou à des interactions environnementales encore mal maîtrisées) peut avoir des conséquences catastrophiques. Il devient de plus en plus crucial d'être capable d'étudier la robustesse des politiques de gestion à de tels changements, et de développer si nécessaire des outils d'adaptation. Foresterie et aquaculture resteront nos cas d'étude privilégiés, en s'appuyant sur les modèles développés par les biologistes mais en s'autorisant d'en faire des versions simplifiées pour modéliser l'impact de ces aléas. Des liens privilégiés et accrus avec des économistes sont indispensables. En plus des réseaux cités dans le Bilan, nous comptons renforcer nos collaborations avec les halieutes (par le biais du Forum Halieumétrique) et les économistes (notamment de l'IFREMER).

### B.2 Modélisation de l'aide à la décision

Dans le cadre de la thèse co-encadrée avec l'INRA de Saint Pée sur Nivelle, portant sur la conservation de populations de saumons atlantiques, il s'agira de développer un nouveau modèle de dynamique de populations basés sur les différentes sources d'observation connues, et de construire une fonction d'utilité à partir des objectifs des différents acteurs de gestion.

D'autre part, le cadre "densité dépendant et stochastique" sera étudié, pour identifier les situations où il est pertinent de décider de cycles basés sur la maturité du peuplement ou de la population au lieu de cycles purement temporels.

### B.3 Etudes de viabilité

Remplacer un critère d'optimisation par un ensemble de contraintes à satisfaire peut être intéressant dans le contexte de l'aide à la décision lorsque plusieurs impératifs concurrents et hiérarchisés sont à respecter. Cette approche, suite à des travaux antérieurs [ACL88] pour le cas de dynamiques en temps discret, pourrait être poursuivie dans le cadre du projet MIFIMA (cf section B du Bilan) pour des dynamiques en temps continu [ACL13].

### B.4 Modèles pour la préservation des ressources

Nous comptons développer des relations avec le CIRAD et le laboratoire I3M de l'UMII sur la modélisation individu-centrée pour les forêts naturelles et plantées. Les relations avec l'Université de Fianarantsoa (Madagascar) vont se poursuivre notamment en collaboration avec l'IRD, les sujets visés sont notamment les dynamiques d'exploitation par facilitation. Un projet en ce sens a été déposé auprès du LIRIMA (Laboratoire International de Recherche en Informatique et Mathématiques Appliquées : laboratoire africain en réseau, en cours de création).

## C Systèmes de production agricole et interactions avec l'environnement

Les efforts de l'UMR sur cette thématique ont été sensiblement augmentés par un investissement récent de quatre chercheurs sur cette thématique. Ils seront encore accrus avec l'arrivée d'un jeune CR en statistiques en octobre 2009. Nos collaborations avec des partenaires agronomes sont à présent bien stabilisées autour de trois systèmes de production : arbres fruitiers, céréales et vigne. Les projets engagés bénéficieront des récents développements méthodologiques de l'unité.

### C.1 Système d'Information et annotation de ressources

Nous poursuivons notre activité sur ces aspects en nous orientant sur des méthodologies pour l'annotation de ressources que nous menons en collaboration avec les 3 ingénieurs informaticiens du LEPSE. Cette activité donne également lieu à une action "COLOR" INRIA avec l'équipe projet Edelweiss. L'originalité de ces travaux est de viser plus particulièrement l'annotation des traitements de données (fonctions R) et des démarches de nos collègues écophysiologistes. Nous espérons ainsi montrer qu'on peut modéliser du savoir faire et le mettre à profit de la communauté.

### C.2 Prétraitement des données

Les données issues du projet "maïs" sont des courbes d'évolution de variables associées à la plante et de variables environnementales. Elles sont souvent très bruitées ou dénuées de sens. Une première question de recherche concerne le prétraitement de ces données (validation, reconstruction et lissage) en utilisant la connaissance experte. Les méthodes classiques de prétraitement statistique des données sont des méthodes non paramétriques qui ne tiennent pas compte de la connaissance experte. Une nouvelle méthode [ACTN1] a été développée dans un cadre bayésien de statistique fonctionnelle. La connaissance experte y est formalisée comme une contrainte sur la forme et la régularité d'une fonction de régression. Il s'agira d'adapter ce formalisme aux données "maïs" : caractériser les contraintes et régularités associées tout en conservant un problème numériquement soluble.

### **C.3 Simulation - prévision du comportement d'un système**

Deux projets seront menés à court et moyen terme :

- Maïs : en partenariat avec le LEPSE. Rechercher les gènes responsables de la variabilité des courbes de croissance est un enjeu de première importance en biologie. Pour limiter les analyses génétiques coûteuses, il faut recourir à la modélisation mathématique de ces courbes et établir des liens entre génotypes et courbes phénotypiques, pour des organismes soumis à des conditions environnementales fluctuantes. La mise au point d'une démarche générique, à partir du cas concret du maïs, permettra de proposer des méthodes et outils innovants dans le domaine de la modélisation des courbes de croissance en biologie.

Dans un premier temps, des modèles stochastiques empiriques, utilisant des avancées récentes en analyse de données fonctionnelles, seront utilisés pour estimer des paramètres physiologiques difficilement mesurables. Cette partie nécessite des développements méthodologiques forts qui sont actuellement réalisés par les statisticiens de l'UMR en partenariat avec des enseignants chercheurs de l'UMII. Une collaboration avec UC Davis est aussi annoncée en 2010 avec le séjour post-doctoral prévu par le jeune CR recruté en octobre.

Dans un second temps, des modèles mécanistes déterministes permettront, à partir de la connaissance disponible, de simuler le comportement du système. Couplés avec les modèles stochastiques, ils permettront de tester des hypothèses biologiques. La mise en oeuvre conjointe de modèles déterministes et stochastiques pour une meilleure modélisation en biologie est un point innovant de ce projet pluridisciplinaire.

- Arbres fruitiers (pêchers) : Le projet PRIMo (Peach-Rot Ideotype Modelling), en partenariat avec PSH Avignon, est financé par Agropolis Fondation pour le recrutement d'un post-doctorant à partir de janvier 2010. L'objectif est de concevoir un système de production durable pour limiter la contamination des pêches par la moniliose, pourriture brune qui attaque principalement les fruits fissurés. Ce système combinera construction d'idéotypes de pêchers et recherche de pratiques culturales innovantes. La première étape de ce projet sera d'élaborer un modèle intégré à partir d'un modèle de fruit virtuel déjà existant, de nouvelles données expérimentales et de l'information génétique disponible. Ce modèle servira en simulation pour la recherche de scénarios techniques qui optimisent les interactions génotypes - environnement - pratiques selon des critères de faisabilité technique, rentabilité économique, impact environnemental et qualité de production.

### **C.4 Modélisation de la facilitation entre plantes**

Les espèces végétales ont différents besoins en nutriments (caractérisés notamment par leur rapport carbone/azote), ainsi que des capacités variées de prélèvements de leurs ressources dans le sol. L'enjeu est d'étudier à l'aide de la modélisation des scénarios de couplages de plusieurs variétés dans un environnement pauvre en nutriments, pour lequel une culture mono-spécifique ne serait pas viable mais où un effet de facilitation entre espèces pour l'acquisition des ressources permettrait leur croissance simultanée. Cette étude a débuté avec l'UMR Eco & Sols dans le cadre du co-encadrement d'un stage de maîtrise.

### **C.5 Aide à la décision**

Nous poursuivrons nos travaux sur la construction d'outils d'aide à la décision basés sur des méthodes d'intelligence artificielle. D'une part les travaux d'une thèse, menée à l'UMT Vinterra d'Angers, vont permettre de construire des indicateurs de potentiel de qualité du vin. D'autre part, suite à la réflexion du groupe de travail (UMR Lisah, ITAP, ASB), un sujet de thèse, sur le traitement de données spatialisées pour la génération et la comparaison de cartes de risque, a été proposé en 2009 avec le soutien du département MIA.

## **D Procédés de transformation des aliments**

Nous allons resserrer ce thème en collaborant majoritairement avec les UMR IATE et SPO. En fonction des évolutions des problématiques abordées et surtout des forces effectives sur ce thème, nous pourrions envisager d'ici 3 ou 4 ans de fondre ce thème avec le thème dynamique des populations microbiennes puisque de nombreux procédés agro-alimentaires que nous étudions reposent sur des fermentations liées à l'action de micro-organismes (levures, bactéries,...).

### **D.1 Méthodes d'intégration de connaissances expertes et de données pour la décision**

A court terme, nous souhaitons poursuivre et mener à bien les travaux du projet européen CAFE. Pour le workpackage "Knowledge representation and data management", dont l'unité est en charge, cela correspond à un nouveau type d'applications logicielles intégrant des concepts sémantiques au profit d'un collectif pluridisciplinaire. Au delà du projet CAFE, nous prévoyons l'élargissement des liens avec l'équipe Information Management de l'Université de Wageningen sur les annotations et l'intégration de connaissance.

Nous souhaitons également continuer la collaboration avec les chercheurs en Intelligence Artificielle de l'UMR IATE sur une approche intégrative expertise-données. Un sujet de thèse a été proposé sur ce thème, ainsi que plusieurs actions novatrices auprès du département CEPIA de l'INRA.

Dans le cadre du projet européen CAFE (cf Section D du Bilan), nous étudions comment piloter quatre réacteurs étagés de fermentation alcoolique à l'équilibre en quatre points de consigne, déterminés successivement sur la courbe de fermentation en batch. L'objectif est d'étudier à l'équilibre plusieurs états physiologiques des cellules. Ce travail donne lieu à un co-encadrement d'une thèse avec l'UMR SPO, co-financée par le projet et une demi-bourse INRIA-Chili.

# Activités méthodologiques

## 1 Modélisation, systèmes dynamiques et optimisation.

Pour le prochain quadriennal, l'unité souhaite développer des passerelles entre modèles déterministe, où elle bénéficie d'un savoir-faire reconnu, et modèles stochastiques dans lesquelles elle a plus récemment investi. La conciliation de ces deux approches méthodologiques pourra se cristalliser autour de la modélisation, notamment en écologie microbienne.

### 1.1 Perturbations singulières des systèmes dynamiques

La concomitance de dynamiques lentes et rapides est fréquente en biologie, et notamment en microbiologie du sol. Mais il arrive aussi souvent que des aspects lent-rapide apparaissent dans les modèles sans qu'on soit capable de reconnaître explicitement les systèmes sous une forme de perturbations singulières, ce qui est notamment le cas lorsque sont présentes plusieurs espèces "proches" [ACL6] ou en très grand grand [ACL24]. Nous cherchons à développer des méthodes systématiques de réduction pour des classes de systèmes microbiens [ACT13] qui pourront être utilisées pour la modélisation de biofilms (cf Section A.4).

### 1.2 Commande optimale et arcs singuliers

Dans les modèles d'aide à la décision pour les bioprocédés (conduite de fermentations, pilotage d'installation,...) nous rencontrons fréquemment des problèmes de commande optimale qui présentent des singularités, dues à la linéarité par rapport à la commande [ACL35, ACL21]. De nouveaux critères qui tiennent compte d'objectifs énergétiques et de valorisation de produits secondaires (tels que les biogaz) nous entraînent à maintenir une activité méthodologique dans ce domaine, et en particulier sur les techniques d'approximation par régularisation.

### 1.3 Modélisation probabiliste

L'unité a récemment investi dans la modélisation à l'aide de processus stochastiques. Nous souhaitons poursuivre dans cette voie en nous appuyant sur les acquis en termes de modélisation déterministe notamment à base d'équations différentielles. Les modèles stochastiques peuvent d'une certaine façon se représenter comme un modèle déterministe complété d'un terme stochastique de martingale. L'étude de cette partie martingale permet d'améliorer les capacités des modèles déterministes notamment dans le cas où ses derniers sont mis en difficulté. C'est notamment le cas lorsque l'une des populations du modèle est petite comme dans le cas du problème d'extinction ou de celui de persistance (avec la taille d'une des populations faible). Cette approche permet également de considérer des modèles spatio-temporels et de faire le lien avec les EDP. Cet axe se fera en coordination avec le thème « statistique et processus stochastique » pour les questions de confrontation aux données.

## 2 Statistique et processus stochastiques

### 2.1 Statistique sur données fonctionnelles

- **Régression avec contraintes.** Nous envisageons de poursuivre les travaux sur la régression avec des contraintes de régularité et de forme en étudiant une nouvelle méthode basée sur la décomposition des courbes sur une base spline. En effet, les bases de fonctions splines sont pratiques pour modéliser des fonctions de régression en garantissant des contraintes de régularité. Nous proposons d'étudier une approche originale qui permet de plus, de contrôler simplement, la forme.
- **Reconstruction de courbes.** Dans certains problèmes, une simple régression avec contrainte de forme et de lissage n'est suffisante pour reconstruire une courbe. C'est par exemple le cas lorsque pendant un intervalle de temps inconnu, l'appareil de mesure défectueux renvoie des valeurs aberrantes. Dans ce cas, on peut imaginer que sur cet intervalle de temps, la courbe observée ne correspond plus au processus d'intérêt mais à un autre processus ou éventuellement à la somme du processus d'intérêt avec un autre processus. Le problème consiste donc à estimer l'intervalle en question et à reconstruire la totalité de la courbe en tenant compte de sa forme.
- **Discrimination de courbes.** Dans un premier temps, on abordera le problème de discrimination de courbes suivant le principe de discrimination prédictive bayésienne. Les observations sont des courbes observées en un nombre fini de points, les courbes étant modélisées par un processus gaussien. Le point principal revient à bien estimer la fonction de covariance du processus gaussien. En effet, l'affectation d'une courbe à une classe dépend directement de la distance entre les courbes qui, elle-même dépend de la structure de covariance.

Dans un second temps, nous envisageons de prendre en compte la forme des courbes pour les discriminer. Ce type de problème se présente dans l'étude des activités enzymatiques, par exemple dans les phosphatases intra et extra cellulaire de souches de champignon. Les courbes d'activité (vitesse de réaction) en fonction du pH sont unimodales mais les observations peuvent conduire à des estimations bimodales qui ne représentent pas la réalité. Afin de classer réellement les activités enzymatiques en groupes homogènes, il est alors essentiel de procéder à une estimation de courbe unimodale.

#### - Régression en grande dimension.

- Étude non-asymptotique de nouveaux critères d'estimation et de test pour le modèle de régression linéaire en grande dimension (collaboration avec l'École Polytechnique et MIA-Jouy). Nous comptons étendre certains résultats au cas infini-dimensionnel et ainsi construire des procédures adaptatives pour le modèle linéaire de régression fonctionnelle (collaboration prévue avec UC Davis).
- Prévision et tests dans les modèles de régression linéaire fonctionnelle avec sortie fonctionnelle. Extension aux modèles de covariance fonctionnelle. Développement de fonctions R pour l'implémentation numérique.

## 2.2 Approches stochastiques des systèmes dynamiques

Pour une grande part, ces projets s'inscrivent dans la poursuite de nos travaux sur le filtrage non paramétrique et ses extensions. Ils visent particulièrement *des applications à l'étude et au contrôle des dynamiques de systèmes microbiens*, notamment de type alimentaire.

Nous travaillons d'ores et déjà à la mise au point de *procédures d'échantillonnage optimal pour le filtrage*, *i.e.* la recherche d'instants de mesures des variables d'observation, favorisant les rétrécissements des lois a posteriori des estimations de paramètres de modèle sur un horizon de filtrage donné. Par ailleurs, dans la continuité des travaux sur les filtres à convolution de particules, nous envisageons le développement de *prédicteurs à convolution à k pas en avant*, outils adaptés à l'inférence prévisionnelle sur les variables d'état (et donc à l'analyse de risque en microbiologie). De plus, nous comptons également, étendre nos résultats d'optimalité asymptotique des *procédures de filtrage-détection de rupture de modèles à espace d'état* (CUSUM généralisé), au cas fréquent de *non connaissance* des nouvelles valeurs de paramètres après rupture.

Dans la perspective de problèmes de régulation et contrôle de systèmes à espace d'état posés en microbiologie prévisionnelle, nous étudierons les propriétés d'un *contrôle prédictif quadratique sur un horizon donné*, des états *non observés* mais *filtrés* par filtre non paramétrique : calcul pas à pas des valeurs des variables de contrôle optimales après filtrage à partir des variables d'observation, étude de stabilité stochastique de la boucle fermée, recherche de majoration d'une erreur quadratique moyenne de poursuite d'un état-consigne.

Enfin, pour des modèles autorégressifs fonctionnels, nous développerons un test statistique d'ajustement de la densité inconnue des bruits à une loi donnée. Ce test doit reposer sur la construction d'un estimateur adapté de la densité. Le but de ce test est de pouvoir appliquer les procédures de détection de rupture de modèle de type cusum qui nécessitent de connaître la loi des bruits.

## 2.3 Planification optimale pour la discrimination où l'identification de modèles dynamiques

Pour des systèmes dynamiques à espace d'état avec co-variables, nous étudierons le développement ou l'adaptation de critères de planification expérimentale favorisant la puissance de tests statistiques de comparaison de modèles. Enfin pour l'identification de ces mêmes modèles, nous étudierons la généralisation de critères de planification optimale que nous avons déjà mis au point en régression non linéaire (de type X-optimalité), basés sur la minimisation d'espérances de volumes de régions de confiance exactes (et non asymptotiques). Les applications aux bio-procédés seront ici privilégiées.

## 2.4 Inférence pour les systèmes dynamiques stochastiques

Les modèles déterministes et stochastiques évoqués en Section 1 seront confrontés aux données à l'aide de méthodes d'inférence paramétriques notamment par méthodes de Monte Carlo. Nous ferons appel à des méthodes de Monte Carlo séquentielles (filtrage particulaire) et le lien sera fait avec les approches par observateurs. L'estimation de paramètres sera abordé par des techniques séquentielles, par augmentation de l'espace d'état, mais aussi par des techniques de méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov (MCMC). Concernant la confrontation des modèles IBM spatio-temporels aux données, les approches évoquées ci-dessus difficiles à mettre en œuvre. Il sera en fait nécessaire de faire appel dans un premier temps à des méthodes de calage de modèle par optimisation stochastique, voire à des méthodes d'assimilation de données.

## 3 Méthodes informatiques et représentation de la connaissance

Les projets appliqués décrits en C.5 et D.1 nécessitent des développements méthodologiques dans le cadre du raisonnement incertain et de l'apprentissage guidé par la connaissance experte. En lien avec cette activité, l'étude de systèmes dynamiques complexes implique un travail méthodologique concernant les annotations sémantiques, l'intégration de connaissance et et des modes d'inférence associés.

A côté de la co-organisation du master de biostatistique et des montages d'écoles-chercheurs (cf Bilan), des demandes d'enseignement en modélisation se font de plus en plus pressantes, notamment autour du pôle montpellierain d'agronomie et environnement. Plusieurs approches de modélisation sont déjà enseignées sur Montpellier, mais notre UMR est porteuse d'une force de propositions d'enseignements originaux sur la modélisation de systèmes dynamiques complexes, leur simulation numérique et leur analyse mathématique. Concrètement, il s'agit de poursuivre et renforcer les actions suivantes :

- interventions aux masters montpelliérains, en mathématique et en sciences de la vie,
- encadrements de stagiaires de master,
- propositions de modules doctoraux ouverts à la fois aux écoles doctorales I2S et SIBAGHE,
- organisations de semaines bloquées intensives pour des étudiants de SupAgro et en provenance des pays méditerranéens (dans le cadre du programme “3+3”),
- réflexions avec SupAgro sur l'enseignement de la modélisation.

L'idéal serait d'avoir au sein de l'UMR un enseignant-chercheur confirmé en modélisation afin de répondre aux demandes d'enseignement, qui pourrait également participer à l'animation scientifique autour de la modélisation sur le pôle montpellierain. Nous avons déjà initié des réflexions dans ce sens et devons défendre ce recrutement auprès des différents acteurs (SupAgro, INRA).

Il est à noter que SupAgro suggère d'être établissement associé à l'école doctorale I2S, compte-tenu de la participation significative de l'unité à l'ED et des grands axes scientifiques locaux. Les directions des établissements concernés sont en cours de discussion.

# Adéquation des moyens humains et financiers

La répartition des âges des (enseignants-)chercheurs permanents au 1er juin 2009 se lit comme suit

25-35	38-51	55-65	total
1	10	2	13

D'ici la fin du prochain quadriennal sont prévus deux départs à la retraite, d'un directeur de recherche INRA et d'un professeur de SupAgro (rattaché pour sa recherche à une autre UMR). Le profil du poste en remplacement pour SupAgro est actuellement à l'étude, mais la direction de l'École et l'unité souhaitent que sa composante recherche soit rattachée à l'UMR. Un profil de chercheur INRA en remplacement sera réfléchi en liaison. De plus, deux enseignants-chercheurs des Universités termineront leur délégation respectivement en 2009 et 2011.

Le projet "procédés de transformation des aliments" pourrait également voir un départ anticipé à la retraite d'un de ses animateurs, ce qui affaiblirait les activités du thème. Nous pensons qu'il pourrait alors être opportun d'anticiper ce départ et d'étudier le rapprochement possible avec le thème "systèmes dynamiques microbiens".

Enfin, l'EPI MERE qui a vu récemment le départ en retraite de son chef de projet, verra également le départ en 2010 d'un CR INRIA pour une nouvelle équipe en formation dans un autre centre INRIA.

Notons le départ à la retraite en 2011 de notre assistante INRA, que nous espérons voir remplacée de façon anticipée.

Un recrutement d'un CR INRA en statistique a été effectué à l'automne 2009, mais la baisse significative des effectifs attendue pour les prochaines années, conjuguée avec la croissance du nombre de projets portés par l'unité, risquerait de porter atteinte à la qualité du suivi de ces projets et de l'encadrement de nos doctorants, si elle n'était pas compensée par de futurs recrutements.

Une réflexion sur les prochains profils de chercheurs que l'UMR souhaiterait proposé a débuté au sein de l'unité. Les modèles étudiés par l'UMR relevant de plus en plus fréquemment des "systèmes complexes" (cf notamment le projet DISCO de l'ANR SYSCOMM) et se heurtant à des aspects computationnels (grandes quantités de données et de signaux, simulations numériques à grand nombre d'individus, spatialisations), aussi bien pour les modèles relevant de la statistique (filtrage particulière), des processus stochastiques (modèles individus-centrés) que déterministes (espace semi-implicite, forte biodiversité et optimisation), un profil IR INRA d'expert en calcul scientifique est à l'étude pour un horizon d'un à deux ans. À plus long terme mais d'ici la fin du quadriennal, un recrutement de CR INRA en modélisation et systèmes dynamiques permettrait de maintenir un bon équilibre entre les différentes "forces méthodologiques" de l'unité. Il serait souhaité que son intégration dans une UMR, où l'enseignement de la modélisation pourrait être plus présent qu'aujourd'hui, soit réfléchi conjointement avec SupAgro. De façon générale, nous sommes acteurs dans les définitions des nouveaux profils de recrutement SupAgro concernant les mathématiques, la modélisation et l'informatique.

Concernant les moyens logistiques, nous sommes prêts à œuvrer pour dégager des moyens de constitution d'une structure d'accueil,cranjard afin de rassembler sur le campus les forces en recherche et enseignement en mathématiques et informatique appliquées à l'agronomie et l'environnement.