
Action COMORE

Contrôle et Modélisation de Ressources Renouvelables

Localisation : *Sophia Antipolis*

Mots-clés : système dynamique, modélisation en biologie, ressources renouvelables, environnement, optimisation, automatique non linéaire.

1 Composition de l'équipe

Responsable

Jean-Luc Gouzé, chargé de recherche, Inria

Conseiller scientifique

Claude Lobry, Professeur à l'université de Nice

Assistante de projet

France Limouzis, TR, à temps partiel dans le projet

Personnel Inria

Odile Pourtallier, chargée de recherche, à temps partiel dans le projet

Chercheurs invités

Joydev Chattopadhyay, Indian Statistical Institute, Calcutta, Inde, juin à juillet 1996

Jacek Krawczyk, université de Wellington, Nouvelle-Zélande, 10 -15 juin 1996

Mabel Tidball, université de Rosario, Argentine, juin à juillet 1996

Chercheurs doctorants

Suzanne Touzeau, bourse MESR, université de Nice

Hervé Elmoznino, bourse Sylvolab, université de Nice

M. Zakaria Hadj-Sadok, bourse franco-algérienne, université de Nice

Stagiaire

Bruno Chenot, ENSAR, août 1996

2 Présentation de l'action

L'action Comore existe depuis avril 95 ; elle faisait auparavant partie du projet Miaou, avec lequel elle garde des contacts étroits. Elle envisage de devenir un projet commun CNRS-université P.M. Curie-Inria, avec des membres de l'URA 716 de la station zoologique de Villefranche-sur-Mer.

L'objectif global de cette action est d'appliquer des méthodes de l'automatique (régulation, observation, identification, contrôle optimal, théorie des jeux) et de la théorie des systèmes dynamiques à la modélisation mathématique de ressources vivantes exploitées (ressources renouvelables) et à leur gestion.

Actuellement, l'action se concentre sur quelques sujets importants, qui vont du système biologique en laboratoire, comme la croissance des algues en chemostat ou la modélisation de bioréacteurs (où il est possible d'isoler le système, de contrôler les entrées...) aux applications industrielles comme la pêche ou la forêt, où beaucoup de choses ne sont pas ou sont mal connues, et où on maîtrise mal les entrées.

Ces recherches s'intègrent dans le GDR CNRS 1107 (Programme Environnement, Vie et Sociétés) « Outils et modèles de l'automatique dans l'étude de la dynamique des écosystèmes et du contrôle des ressources renouvelables », qui a été créé en 1994, est dirigé par C. Lobry (univ. de Nice et station zoologique de Villefranche) et animé par notre équipe. Ces recherches font l'objet d'une collaboration avec le projet Inria Conge, dirigé par G. Sallet, à Metz, avec le CMA de l'Ecole des Mines (J.P. Marmorat, M. Bordier), la station zoologique de Villefranche-sur-Mer (P. Nival, A. Sciandra) et l'IFREMER de Nantes (Lab. MAERHA).

3 Actions de recherche

3.1 Modélisation de la croissance du plancton en laboratoire

Participants : Olivier Bernard (CNRS Villefranche-sur-mer), Jean-Luc Gouzé, Claude Lobry, Antoine Sciandra (CNRS Villefranche-sur-mer)

Mots-clés : bioréacteur.

Nous travaillons en collaboration avec la station zoologique de Villefranche-sur-mer (URA 716), qui a mis au point un chemostat (petit bioréacteur) automatisé et géré par ordinateur ; ce système se prête donc particulièrement à l'application des méthodes issues de la théorie du contrôle. Le travail consiste à étudier et valider des modèles de croissance en continu pour le plancton soumis à un environnement variable (lumière, nourriture). La croissance du plancton est à la base de toute la production de la matière organique des océans ; cependant, les modèles classiques existants (Monod, Droop) révèlent leur insuffisance en environnement « trop » variable, c'est à dire qu'ils ont été validés expérimentalement seulement à l'équilibre.

Nous avons poursuivi (en collaboration avec O. Bernard et A. Sciandra) le développement d'une méthode de validation dynamique robuste de modèles différentiels, qui utilise seulement le signe des éléments de la matrice jacobienne, et ne dépend donc pas de la formulation exacte des équations ni des paramètres. En effet, les modèles utilisés sont mal connus, et on utilise seulement le fait que certaines fonctions sont croissantes. On suppose donc que le modèle a une matrice jacobienne de signe fixé. On étudie alors la succession temporelle des extrema de chaque variable et du signe de l'écart par rapport à un équilibre quelconque ([398]). Ce sont des renseignements qualitatifs assez faciles à obtenir, même quand il y a beaucoup de bruit sur les mesures. On peut ensuite réunir les deux approches pour obtenir une description fine du comportement, qui exclut mathématiquement certaines régions.

O. Bernard, en collaboration avec Antoine Sciandra et Gauthier Sallet (projet Conge, Metz), a poursuivi des travaux concernant l'application de méthodes d'observateurs non-linéaires à des problèmes de modélisation biologiques, en l'appliquant au modèle de Droop (croissance du phytoplancton). L'approche choisie est originale : il s'agit d'utiliser l'observateur pour valider un modèle ou révéler ses lacunes. On compare donc les variables reconstituées par l'observateur aux mesures biologiques. Les techniques

d'observateurs (de type grand gain ou Kalman étendu) s'appliquent à toute une classe de modèles très fréquents en biologie : la matrice jacobienne doit être « presque » triangulaire (de type Hessenberg).

3.2 Modélisation et contrôle d'un bioréacteur

Participants : Jean-Luc Gouzé, M. Zakaria Hadj-Sadok

Mots-clés : bioréacteur.

Nous avons entamé un travail où nous appliquons l'expertise développée dans les problèmes de croissance des algues à des problèmes d'épuration (d'eau par exemple) dans des réacteurs biologiques.

Face à l'impact écologique du développement urbain et de la croissance démographique, la préservation des écosystèmes et du milieu naturel entraîne un durcissement de la réglementation des rejets des stations d'épuration (la directive européenne du 21 mai 1991 concernant le programme d'assainissement s'échelonnant entre 1998 et 2005). Parmi les différentes méthodes appliquées, le traitement biologique aura certainement un rôle important à jouer, particulièrement le procédé des boues activées.

Le premier objectif du travail concerne la modélisation du processus (aérateur et décanteur). La problématique est de trouver un modèle mathématique à la fois suffisamment complexe pour décrire les activités biochimiques importantes pouvant intervenir au cours du traitement biologique (croissance des microorganismes, oxydation, nitrification, dénitrification, hydrolyse, sédimentation,...) et suffisamment simple pour permettre une étude rigoureuse (analyse théorique, identification des paramètres, estimation des variables,...).

Comme pour tout processus industriel, le procédé des boues activées nécessite une régulation continue afin d'optimiser les opérations et maintenir la dégradation du substrat polluant à un niveau désiré à la sortie de l'unité de traitement. L'objectif est de définir un algorithme de commande efficace qui doit incorporer tous les éléments majeurs de la connaissance du processus (modèle), tout en étant capable de remédier au manque d'informations (données incomplètes, dynamiques négligées,...).

La validation des résultats théoriques par des applications sur un procédé pilote (société EPTEAU, Lyon) est envisagée.

Olivier Bernard, qui est maintenant en post-doc au laboratoire d'automatique Cesame (Louvain-la-Neuve), travaille sur des problèmes industriels de modélisation et contrôle dans des bioréacteurs concernant, d'une part, la production de vanilline, et, d'autre part, la dégradation des résidus d'une usine à bois.

3.3 Dynamique et contrôle de la pêche et de l'aquaculture

Participants : Jean-Luc Gouzé, Suzanne Touzeau, Claude Lobry

Mots-clés : pêche.

Nous avons poursuivi l'étude des populations marines exploitées par le biais d'outils issus de l'automatique. Les modèles dynamiques considérés représentent en général le stock, c'est à dire la phase de la population susceptible d'être exploitée (pas les stades larvaires). Ils sont en temps continu, structurés (en stades, classes d'âge...) ou non ; dans ce dernier cas, le stock est agrégé en une seule variable et on parle de modèle global.

L'an passé, nous avons procédé à l'identification d'un modèle global sur quelques stocks halieutiques présentant des relevés de pêche assez longs et complets. Avec ces mêmes caractéristiques, nous avons cherché, mais sans succès, des données structurées. Néanmoins, grâce à l'aide de la station zoologique de Villefranche (Sami Souissi et François Carlotti), nous avons obtenu des données très complètes et structurées sur le pseudo-stock d'*Euterpina*, copépodes non exploités élevés en laboratoire. Grâce à ces dernières, nous avons pu entamer une procédure d'identification des paramètres d'un modèle structuré.

Nous avons aussi repris l'étude d'un modèle global, par une approche de type « domaine contrôlé invariant » ([404]). Nous avons cherché dans quelles conditions il était possible de rester dans des

domaines de captures et d'effort de pêche donnés. Plusieurs scénarii ont été envisagés. L'avantage de cette méthode est qu'elle est peu sensible à des petites perturbations.

Par ailleurs, nous nous sommes penchés sur un exemple de contrôle relativement simple pour l'automatique, mais intéressant dans son application. Il s'agit d'une poursuite de consigne « captures = quotas », qui pourrait être fixée par exemple par les gouvernements. Nous avons élaboré une loi de contrôle qui en général réalise cette consigne. Cet exemple s'inscrit dans une série de travaux destinés à montrer aux halieutes et aux biologistes quelles peuvent être les applications de l'automatique à l'halieutique.

Claude Lobry a dirigé la thèse de Christophe Béné (Ifremer et Villefranche). L'objectif de cette thèse est d'étudier le couplage entre la dynamique d'une ressource renouvelable et d'un marché économique, au travers de l'analyse de la dynamique de la pêcherie crevette guyanaise. L'hypothèse de base est que certains systèmes anthropiques et en particulier les systèmes d'exploitation des ressources renouvelables, sont capables, dans une optique de viabilité économique, de développer une capacité de « résilience » qui leur permet d'amortir les perturbations externes. La première partie des recherches concerne l'identification des diverses sources de perturbation auxquelles le système-pêche guyanais est soumis. Une série de modélisations dynamiques est ensuite proposée. Le premier modèle analyse le rôle de la régulation des stockages dans le maintien de la viabilité économique de la pêcherie. Le second étudie les origines possibles des oscillations qui sont observées au sein du système ressource-flottille. Le dernier modèle analyse la dynamique endogène d'investissement de la flottille. La dernière partie des recherches concerne les enseignements que cette étude aura permis de mettre en évidence en terme de gestion pour les systèmes d'exploitation des ressources renouvelables.

3.4 Modélisation de la dynamique spatiale d'une forêt

Participants : Claude Lobry, Hervé Elmoznino

Mots-clés : forêt.

Si la modélisation de la croissance des arbres individuels et des forêts aménagées est bien maîtrisée, il n'en est pas de même des forêts naturelles.

L'automate cellulaire est le plus simple des systèmes dynamiques distribués spatialement ; mais il permet la production de comportements extrêmement complexes. C'est pourquoi nous avons choisi ce type d'outils afin d'étudier la modélisation de la dynamique forestière, et de rester dans un domaine mathématiquement abordable.

Le modèle que nous avons étudié est une généralisation simple du modèle de Greenberg et Hastings d'un milieu excitable, étudié mathématiquement par Allouche et Reder. Cependant, les spécificités induites pour notre automate ne nous ont pas permis d'appliquer directement les résultats concernant l'automate de G-H. Chaque cellule de l'automate étudié mime de manière très simplifiée la dynamique individuelle d'un arbre, de manière à tenter de mettre en évidence les liens entre la dynamique individuelle et la dynamique spatiale du peuplement forêt. Nous avons étudié complètement le comportement de notre automate réduit à deux cellules, et mis en évidence l'importance de cette étude dans la compréhension de la dynamique bi-dimensionnelle de l'automate. Nous avons aussi étudié des structures déterminantes pour notre automate : les cycles n -périodiques, sachant que n est le nombre total d'états.

Les modèles classiques de forêt sont des modèles où la structure spatiale n'est pas prise en compte. A chaque pas de temps chaque classe de diamètres reçoit de la classe qui la précède et donne à la classe qui la suit un nombre d'individus proportionnel au nombre de chaque classe (modèles de type Leslie). De tels modèles ne sont pas pertinents pour des petites surfaces où la structure spatiale produit des effets. Ceci est clairement démontré par les simulations. Deux questions se posent : un modèle densité-dépendant peut-il donner de bons résultats ? A partir de quelle superficie l'effet de moyennisation, s'il existe, permet-il de supprimer la structure spatiale ?

3.5 Mathématiques de la modélisation

Participants : Jean-Luc Gouzé, Claude Lobry

Mots-clés : modélisation en biologie, système dynamique.

Nous avons étudié une conséquence mathématique de critères logiques que doit respecter un modèle biologique ([399]) (travail basé sur des idées de R. Arditi, Orsay).

Nous avons étudié divers problèmes liés à des systèmes biologiques linéaires forcés par l'environnement : $\dot{x} = A(u)x$ où A est une matrice. En général, des résultats pour A fixé ne peuvent s'étendre à $A(u)$ variable. Nous avons exploré ces thèmes (exposés pendant le colloque du GDR CNRS 1107, avril, Luminy).

Nous avons démontré de nouvelles conditions de stabilité globale pour les systèmes compartimentaux fermés (exposé au colloque ECMBM, Heidelberg), qui s'appliquent aussi, par exemple, à des réacteurs à flux continu. Ces conditions font intervenir des propriétés de positivité des fonctions, au lieu des propriétés usuelles de croissance.

Nous avons démontré deux conjectures de René Thomas (Bruxelles) concernant la stabilité qualitative de systèmes dynamiques biologiques ¹.

Nous avons travaillé, avec Joydev Chattopadhyay à des modèles de dynamique de populations couplés à de l'épidémiologie.

3.6 Jeux à somme non nulle, environnement et économie

3.6.1 Gestion des effluents dans une municipalité

Participants : Jacek Krawczyk, Odile Pourtallier, Mabel Tidball

Mots-clés : théorie des jeux.

La gestion des effluents en secteur urbain est un problème complexe dans la mesure où d'une part les rejets proviennent de sources diverses (industrie, activité domestique, transports ...), et d'autre part les intérêts des différents acteurs peuvent entrer en contradiction.

La situation a été modélisée par un jeu à deux niveaux.

A un premier niveau (niveau followers), on a considéré deux firmes en situation de duopole qui cherchent à maximiser leurs bénéfices. Ces firmes prennent en compte la politique de taxe-subsidation mise en place par l'autorité locale qui cherche à les inciter à retraiter leurs effluents. Les firmes décident de leur niveau de production ainsi que de leur effort dans le retraitement de leurs déchets.

A un deuxième niveau (niveau leader), l'autorité locale a le double et contradictoire objectif de contrôler et réduire la pollution (au travers de taxes incitatives, mais aussi d'investissements dans le retraitement des eaux provenant du secteur industriel mais aussi du secteur domestique et des transports) tout en ne pénalisant pas l'activité économique de la ville.

Même dans le cas le plus simple, c'est à dire le cas statique, la recherche analytique de stratégies optimales (au sens de Nash au niveau des followers et de maximum au niveau du leader) présente de réelles difficultés dues à la présence de discontinuités intrinsèques à ce type de problèmes.

Les stratégies optimales de ce modèle ont été calculées et des tests numériques ont été faits dans le but de tester la pertinence de ce modèle.

On cherchera dans une deuxième étape de ce travail à introduire un aspect dynamique dans ce modèle.

¹Positive cycles and uniqueness of equilibrium in dynamical systems. *Journal of Biological systems*, to appear.

3.6.2 Taxation de la pollution en présence d'une concurrence extérieure

Participants : Gérard Mondello (LATAPSES, CNRS), Odile Pourtallier

Mots-clés : théorie des jeux.

Dans la littérature actuelle les études portant sur les « taxes à la pollution » se placent en général dans un cas où les firmes se trouvent en situation de duopole et sont toutes soumises à une même politique environnementale. La différence dans les comportements des gouvernements concernant l'environnement rend cette dernière simplification trop restrictive. Le présent travail cherche dans un premier temps à construire des modèles permettant de décrire le comportement de firmes et de gouvernements locaux dans le cas d'une concurrence extérieure non soumise à une réglementation locale portant sur l'environnement.

Les jeux à plusieurs niveaux sont utilisés pour décrire cette situation.

3.7 Jeux à somme non nulle et libre accès

Participants : Claude Lobry, Bruno Romagny (CEMAFI, univ. Nice)

Mots-clés : théorie des jeux.

Le jeu appelé « dilemme du prisonnier » est souvent invoqué pour expliquer le mauvais usage des ressources en libre accès. La matrice de gains utilisée est ad-hoc. Nous avons explicité des matrices de gain conséquences d'hypothèses écologiques simples, et montré que la métaphore du dilemme du prisonnier n'a pas une portée aussi universelle que semblent l'imaginer certains économistes de l'environnement. Ce travail s'est concrétisé par la soutenance de la thèse de B. Romagny (avec félicitations du jury), que Lobry coencadrerait.

4 Actions Industrielles

4.1 Gestion de la pêche

Participants : Jean-Luc Gouzé, Claude Lobry

L'action Comore est contractante dans un projet INTAS « Extinction risk assessment for harvested populations » coordonné par R. Arditi (Orsay). Il s'agit de préciser l'influence des paramètres de la population, ainsi que de la pêche, pour éviter la disparition de l'espèce. On cherche aussi des politiques optimales.

4.2 Modélisation de la forêt tropicale

Participants : Claude Lobry, Hervé Elmoznino

Programme d'action avec le GIS Sylvolab (objet : coordination de l'étude de la forêt amazonienne par les divers organismes scientifiques présents en Guyane, principalement ORSTOM, CIRAD et ENGREF, CNRS).

Financements : organismes participants, financements locaux. La bourse de thèse de H. Elmoznino est financée par Sylvolab.

5 Actions nationales et internationales

5.1 Actions nationales

Le GDR CNRS 1107 (programme Environnement, Vie et Sociétés) « Outils et modèles de l'automatique dans l'étude de la dynamique des écosystèmes et du contrôle des ressources renouvelables », qui a été créé en 1994, est dirigé par C. Lobry et animé par notre équipe. Comore est financé par ce GDR.

Jean-Luc Gouzé et Claude Lobry organisent un séminaire régulier « Etude et contrôle de modèles écologiques », en collaboration avec la station zoologique de Villefranche-sur-Mer.

Jean-Luc Gouzé et Claude Lobry ont organisé un groupe de travail « modélisation du recrutement » de deux jours, rassemblant une dizaine de participants à Paris dans le cadre du PNDR (Programme national sur le déterminisme du recrutement, CNRS). Ce travail a fait l'objet d'un contrat avec IFREMER.

C. Lobry a donné un exposé dans le cadre des journées Inria-Industrie à Paris le 7 novembre.

5.2 Actions internationales

S. Touzeau a participé et exposé à un groupe de travail dans le cadre d'une action concertée ayant pour titre : *Fisheries research in Western Mediterranean : interdisciplinary approach*, du 2 au 4 mai à Alicante (ES).

J.-L. Gouzé et S. Touzeau ont participé à la *Seconde réunion du groupe de travail DYNPOP* de la CIESM (Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée), du 2 au 5 octobre à Gènes (IT) avec un exposé de S. Touzeau : « Exemples d'applications de l'automatique à l'halieutique ».

5.3 Actions européennes

O. Pourtallier effectue de fréquents séjours dans le laboratoire H.E.C. (A. Haurie) à l'université de Genève, dans le cadre d'une collaboration portant sur la théorie des jeux.

6 Diffusion des résultats

6.1 Formation

6.1.1 Enseignement universitaire

J.-L. Gouzé a donné des cours de systèmes dynamiques au DEA européen d'océanographie biologique de Paris VI (15 h).

J.-L. Gouzé a organisé une semaine de cours « Modélisation et contrôle en écologie » à l'ISIA (Ecole des Mines) ; il a assuré les enseignements avec Olivier Bernard, (Villefranche, actuellement en post-doc à Louvain-la-Neuve) (35 h au total).

S. Touzeau a donné des cours de mathématiques de base à l'IUP d'ingénierie économique de la faculté de Nice (23 h).

O. Pourtallier a donné un cours de théorie des jeux à l'IUP d'ingénierie économique de la faculté de Nice (20h).

6.1.2 Thèses

- Thèses en cours :
 1. S. Touzeau, « Modèles de contrôle dans la gestion de la pêche », université de Nice-Sophia Antipolis.
 2. H. Elmoznino, « Modèles de la dynamique spatiale d'une forêt naturelle », université de Nice-Sophia Antipolis.
 3. M.Z. Hadj-Sadok, « Estimation et contrôle des réacteurs biologiques », université de Nice-Sophia Antipolis.
- Habilitation : Jean-Luc Gouzé a soutenu son habilitation à diriger les recherches en juin.
- Participation à des jurys de thèse : J.-L. Gouzé était membre du jury de la thèse de F. Jadot (Louvain-la-neuve, BE).

6.1.3 Stage

- B. Chenot, « Réalisation d'une page réseau interactive », ENSAR, 1 mois.

6.2 Organisation de colloques et de cours

Organisation d'une semaine de rencontres entre biologistes, mathématiciens et automaticiens du 15 au 19 avril au CIRM de Luminy (Centre International de Rencontres Mathématiques) à Marseille, dans le cadre du GDR CNRS 1107.

Organisateur scientifique : Roger Arditi (Ecologie, Orsay).

6.3 Participation aux manifestations

C. Lobry a été invité à une session « Environmental Problems » du MTNS (Saint-Louis, Missouri, US, juin) pour donner un exposé intitulé « Feedback systems and population growth ».

Z. Hadj-Sadok a participé à une école d'hiver sur les dynamiques de populations à Woudschoten (NL) du 10 au 14 janvier.

H. Elmoznino a participé, du 1 au 4 octobre, à un atelier de modélisation (Les Houches). Thème : hétérogénéité spatiale dans les systèmes biologiques.

J.-L. Gouzé et Z. Hadj-Sadok ont participé à un cours sur les observateurs non-linéaires, à Paris, organisé à l'École des Mines, les 8 et 9 février.

J.-L. Gouzé a participé au colloque ECMBM (Mathematics applied to biology) (Heidelberg, DE, octobre), et à la « Second Conf. on Automatic Control » (Porto, PT, septembre).

Toute l'équipe a participé au colloque « Ecologie des communautés: théorie et modèles » du GdR CNRS 1107 du programme Environnement, *Outils et modèles de l'automatique dans l'étude de la dynamique des écosystèmes et du contrôle des ressources renouvelables*, du 15 au 19 avril au CIRM, Luminy.

J.-L. Gouzé et S. Touzeau ont présenté une communication lors des *journées du programme Environnement, Vies et Sociétés* sur le thème « Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement », du 15 au 17 janvier 1996 à Paris.

S. Touzeau a présenté un poster (et un article soumis à publication) lors de la conférence *ProDynamics'96*, du 5 au 9 mars 1996 à Hambourg (DE) : « On the stock-recruitment relationships ».

O. Pourtallier a participé au *Seventh International Symposium on Dynamic Games and Applications* du 16 au 18 septembre 1996 au Japon [401].

7 Publications

Documents d'habilitation à diriger des recherches

- [397] J.-L. GOUZÉ, *Analyse mathématique qualitative de modèles biologiques*, habilitation à diriger des recherches, université de Nice-Sophia Antipolis, juin 1996.

Articles et chapitres de livre

- [398] O. BERNARD, J.-L. GOUZÉ, «Transient behavior of biological models as a tool of qualitative validation-Applications to the Droop model and to a N-P-Z-model», *Journal of Biological Systems* 4, 3, 1996, p. 303–314.

Communications à des congrès, colloques, etc.

- [399] J.-L. GOUZÉ, «Des critères logiques pour construire les modèles : application aux réseaux trophiques», in : *Actes des journées du programme Environnement, Vie et Sociétés*, A. Weil (réd.), La Villette, Paris, 15-17 janvier, 1996.
- [400] J.-L. GOUZÉ, «Global stabilisation of a class of non-linear systems by a positive control», in : *Proceedings of the Second Portuguese Conference on Automatic Control*, J. M. de Carvalho (réd.), Porto, Portugal, septembre, p. 491–494, 1996.
- [401] J. KRAWCZYK, O. POURTALLIER, M. TIDBALL, «Modelling and Solution to the Municipal Effluent Management Problem», in : *Proceedings of the Seventh international symposium on dynamic games and applications*, Kanagawa, Japon, décembre, 1996.
- [402] B. ROMAGNY, C. LOBRY, M. CANALIS, «Tragédie des communaux et dilemme du prisonnier», in : *Actes du colloque Ecologie, Société, Economie*, Paris, 22-25 mai, 1996.
- [403] S. TOUZEAU, J.-L. GOUZÉ, «Une modélisation du recrutement», in : *Actes des journées du programme Environnement, Vie et Sociétés*, A. Weil (réd.), La Villette, Paris, 15-17 janvier, 1996.

Divers

- [404] S. TOUZEAU, J.-L. GOUZÉ, «Exemples d'applications de l'automatique à l'halieutique», seconde réunion de la commission Dynpop de la CIESM (Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée), 1996.

8 Abstract

COMORE : Modelling and control of renewable resources.

The endeavour of the project is to apply methods from control theory (feedback control, optimal control, game theory) and from the theory of dynamical systems, to the mathematical modelling of living exploited resources (renewable resources) and their management.

Research themes

- Dynamics and control of fisheries and aquaculture.
- Modelling and control of phytoplankton growth.
- Modelling and control of bioreactors.
- Modelling of forest dynamics.
- Mathematics of modelling.
- Computer design in biological modelling.

International and industrial relations :

Collaboration with IFREMER (Maerha team, Nantes). Collaboration with the Station Zoologique, Villefranche-sur-Mer, UA CNRS 716. Participation in the "Programme Environnement, Vie et Sociétés" of the CNRS. Collaboration with the Politecnico di Milano (Italy), university of Wageningen (Holland), university of Lausanne (Switzerland)

Keywords: biological modelling, dynamical systems, systems theory, non-linear control, renewable resources