

les dossiers
d'AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Compétences de la communauté scientifique

Écosystèmes
aquatiques :
Ressources
et valorisation

AGROPOLIS INTERNATIONAL

agriculture • alimentation • environnement

Agropolis International associe les institutions de recherche et d'enseignement supérieur de Montpellier et du Languedoc-Roussillon, en partenariat avec les collectivités territoriales, des sociétés et entreprises régionales, en liaison avec des institutions internationales.

Agropolis International constitue un véritable espace international ouvert à tous les acteurs du développement économique et social dans les domaines de l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Agropolis est un campus international dédié aux sciences « vertes ». Il représente un potentiel de compétences scientifiques et techniques exceptionnel : plus de 2 200 cadres scientifiques dans plus de 110 unités de recherche à Montpellier et en Languedoc-Roussillon, dont 300 scientifiques à l'étranger répartis dans 60 pays.

La communauté scientifique Agropolis International est structurée en grands domaines thématiques correspondant aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement :

- Agronomie et filières de productions agricoles méditerranéennes et tropicales,
- Biotechnologie et technologie agroalimentaire,
- Biodiversité, ressources naturelles et écosystèmes,
- Eau, environnement et développement durable,
- Développement rural et sociétés,
- Génomique et biologie intégrative végétale et animale,
- Alimentation et santé,
- Qualité et sécurité alimentaire.

Lieu de capitalisation et de valorisation des savoirs, espace de formation et de transfert technologique, plate-forme d'accueil et d'échanges internationaux, la communauté scientifique Agropolis International développe des actions d'expertise collective et contribue à fournir des éléments scientifiques et techniques permettant l'élaboration et la mise en place de politiques de développement.

Compétences en recherche de Montpellier et de la région Languedoc Roussillon en matière d'écosystèmes et de ressources aquatiques

Au sein de la biosphère, les milieux aquatiques et leurs ressources vivantes fournissent environ les deux tiers des biens et services que la biosphère offre à l'humanité.

Or, nombre de ces milieux sont déjà perturbés par les changements climatiques et les modifications de l'usage des sols. En outre, leurs ressources sont de plus en plus fragiles et vulnérables en raison des pressions anthropiques fortes et croissantes, surtout en Méditerranée.

Aussi, ces écosystèmes connaissent de nombreuses crises, aiguës ou chroniques: eutrophisation, marées vertes, anoxies, contaminations, etc.

Les stocks de poissons et d'invertébrés sont le plus souvent surexploités en raison de l'amélioration des technologies sans réduction de l'effort de pêche.

La demande en produits aquatiques s'accroît mais les crises d'origine anthropique qui affectent ces écosystèmes sont de plus en plus fréquentes. Il devient donc urgent et nécessaire de mieux connaître ces écosystèmes aquatiques, y compris dans leurs dimensions socio-économiques, afin de comprendre les mécanismes à l'œuvre et de les maîtriser.

Cet objectif exige de mobiliser des compétences multiples, organisées en réseaux à toutes les échelles spatiales, en partenariat avec les pays du Sud. Montpellier et la Région Languedoc-Roussillon possède, sur ces thématiques, le 3^{ème} ensemble de recherche en France, avec 23 laboratoires impliquant cinq universités, le CNRS, quatre instituts spécialisés, ainsi que deux structures fédératives. Parallèlement, la formation offre 13 cursus, allant de la licence professionnelle au doctorat.

Ces unités de recherche font partie intégrante de la communauté scientifique Agropolis International et contribuent ainsi à la visibilité et à la notoriété de cet ensemble scientifique de premier plan au sein de l'espace européen de la recherche.

Écosystèmes aquatiques : Ressources et valorisation

*Biodiversité et fonctionnement
des écosystèmes aquatiques* Page 4

Pêche : diagnostic et appui à la gestion Page 20

Aquaculture : enjeux et évolutions Page 30

Qualité de la ressource et biosurveillance Page 42

*Enjeux économiques, aménagement,
politiques publiques et outils de gouvernance* Page 50

*Thématiques couvertes
par les équipes de recherche* Page 58

*Les formations
à Agropolis International* Page 60

*Liste des acronymes
et des abréviations* Page 65



© Yannick Chancerelle (UMS 2978)

Sur les pentes externes de 15 îles polynésiennes est analysé avec précision le groupe des poissons. Les techniques utilisées permettent de travailler sur 9 indicateurs du peuplement ichtyque dont la diversité, la richesse, la densité, les régimes alimentaires, les tailles, etc.

Biodiversité et fonctionnement *des écosystèmes aquatiques*

Les écosystèmes aquatiques ont donné naissance à la Vie il y a près de 4 milliards d'années. Ils sont caractérisés par la présence d'un fluide beaucoup plus dense et visqueux que l'air. La sortie de l'eau est récente (400 millions d'années pour la vie métazoaire organisée) et fut un événement majeur dans l'histoire du Vivant. Ce milieu aquatique est continu et les contraintes physiques y sont spécifiques. Ses habitats dépendent de facteurs environnementaux comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH, la pression hydrostatique, la présence de polluants...

On a l'habitude de séparer les écosystèmes aquatiques en continentaux (eaux douces, rivières, fleuves, lacs, réservoirs...), lagunaires et côtiers, incluant les estuaires, les lagunes, les marais littoraux..., et en marins, rassemblant tous les milieux salés, de la côte au grand large. Le milieu marin regroupe aujourd'hui plus de 270 000 espèces vivantes soit quelques 15% de toutes les espèces connues, mais avec parfois d'énormes biomasses : les seules bactéries de la couche de sub-surface de l'océan représentant à elles seules 10% de toute la biomasse carbonée de la planète ! On décrit actuellement 16 000 nouvelles espèces par an, dont 1 600 marines, mais la diversité spécifique microbienne est très sous-estimée.

Le terme « Biodiversité », contraction de « diversité biologique », est universellement utilisé aujourd'hui. Il fut créé par des écologues au milieu des années 80 mais n'est sorti du sérail des biologistes qu'avec la signature de la Convention internationale sur la diversité biologique lors du « Sommet de la Terre » à Rio en juin 1992. Il s'extrayait alors du seul terrain biologique pour devenir politique. Ce terme regroupe l'ensemble de toutes les espèces vivantes, tous groupes confondus, peuplant un milieu donné sur la planète. L'espèce est le niveau taxinomique privilégié (reconnaissance et description), mais la diversité biologique correspond en fait à toute l'information génétique contenue dans les individus, les espèces et les populations. Ceci fait que sa signification est très large.

Quatre grandes problématiques peuvent s'y rattacher : (1) l'étude des mécanismes fondamentaux permettant d'expliquer la diversité des espèces et leurs spécificités et amenant les scientifiques

à « décortiquer » davantage les mécanismes de la spéciation et de l'évolution, (2) les approches plus récentes et prometteuses d'écologie fonctionnelle et de biocomplexité, incluant l'étude des flux de matière et d'énergie et les grands cycles biogéochimiques, (3) les travaux sur la nature « utile » pour l'humanité dans ses capacités à fournir des éléments nutritionnels, des substances à haute valeur ajoutée pour des médicaments, produits cosmétiques, des sondes moléculaires ou encore à offrir des modèles plus simples et originaux pour la recherche fondamentale et finalisée, afin de résoudre des questions agronomiques ou biomédicales, et enfin (4) la mise en place de stratégies de conservation afin de préserver et maintenir un patrimoine naturel constituant un héritage légitime pour les générations futures.

L'évolution des écosystèmes aquatiques est également très dépendante des activités anthropiques, l'humain détruisant et polluant dangereusement les milieux dulçaquicoles, saumâtres et côtiers. Aux effets locaux des activités humaines, s'ajoutent ceux des modifications plus globales des changements climatiques, superposition qui prend une résonance particulière dans les écosystèmes marins côtiers. La surexploitation des ressources aquatiques vivantes « renouvelables » est également très préoccupante et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime aujourd'hui que plus des trois quarts des stocks halieutiques sont pleinement exploités, voire surexploités. La pêche génère des réactions spectaculaires des espèces exploitées (reproduction pour chaque espèce de plus en plus petits et jeunes). Selon les espèces, 50 à 90% des grands poissons prédateurs ont disparu en 15 ans, les grands individus n'existent plus et des stocks entiers ont été détruits (cas emblématique des baleines). Les transplantations d'espèces (intentionnelles ou non) sont courantes et introduisent parfois de dangereux compétiteurs ou pathogènes, générateurs de déséquilibres biologiques et de perte de biodiversité. Tout écosystème est en évolution constante mais le danger actuel est la pression de l'homme et de ses activités, devenus le principal moteur de l'évolution du vivant sur la Terre. Les milieux aquatiques, malgré leur immensité apparente (2,42 fois plus d'eau que de terre sur la planète), n'y échappent pas.

**Gilles Boeuf (Laboratoire Arago, Banyuls,
UMR 7628, CNRS/UPMC)**

Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes aquatiques

Les organismes aquatiques, comme tous les autres organismes, sont soumis en permanence à des contraintes environnementales très fortes qui conditionnent leur survie. L'étude des paramètres clés qui déterminent cette survie sont à l'ordre du jour, notamment dans la perspective du changement climatique global qui va entraîner des modifications importantes de leur milieu de vie. L'anthropisation croissante des habitats marins et les changements climatiques annoncés nous obligent à chercher à mieux comprendre comment s'établissent les relations intimes entre un organisme et son environnement.

Mécanismes d'adaptation des organismes aquatiques à un environnement changeant

Dans ce contexte, le département *Biologie Intégrative* de l'Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (BI-ISEM) cherche à comprendre les mécanismes impliqués dans l'adaptation au milieu. Il s'agit notamment de faire la part de ce qui est inné (à travers l'analyse des génotypes) de ce qui est acquis, à travers les interactions avec l'environnement (analyse des phénotypes).

Le département est pour partie installé à la Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral (SMEL) de l'Université Montpellier 2 (UM2) à Sète. Il utilise deux modèles principaux (le loup et la moule) en ayant pour visée finale la compréhension de l'adaptation aux systèmes laguno-marins pour le premier cas, et le fonctionnement du système de contrôle des pathogènes dans le second cas. Pour le loup (*Dicentrarchus labrax*), il s'agit de comprendre les processus physiologiques et comportementaux qui participent à la sélection naturelle, opèrent de manière différentielle et façonnent la structure génétique des populations sauvages selon qu'elles exploitent la pleine mer ou le milieu lagunaire. Le modèle « moule » utilise deux espèces des côtes françaises (*Mytilus edulis* et *M. galloprovincialis*) qui peuvent s'hybrider.

L'analyse des performances de génotypes remaniés permet, par comparaison aux performances des génotypes parentaux, d'inférer les adaptations qui ont été retenues par la

sélection naturelle lors de l'évolution des espèces, notamment vis-à-vis des populations bactériennes.

La combinaison d'expertises variées (écophysiologie expérimentale en conditions contrôlées à la SMEL) et l'accès aux diverses plates-formes de génomique de Montpellier, ainsi que le gisement de compétences rassemblées dans l'Institut Fédératif de Recherche « Écosystèmes aquatiques » (IFR 129), placent ce projet dans un contexte très favorable pour avancer dans la difficile question de l'évolution des ressources aquatiques dans un environnement changeant.

Mécanismes de la spéciation et évolution

L'unité mixte de recherche *Modèles en biologie cellulaire et évolutive* (UMR 7628, Centre national de la Recherche Scientifique [CNRS]/Université Pierre et Marie Curie Paris 6 [UPMC]) fait partie de l'observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer, qui est également un Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU). Créée en 1997, elle était alors axée sur le contrôle et la régulation du cycle cellulaire ainsi que sur les mécanismes de la spéciation et de l'évolution chez des modèles échinodermes (oursins et étoiles de mer). Elle a ensuite diversifié ses activités. Elle regroupe actuellement trois grands types de projets.

Le premier a trait à l'activité « traditionnelle » de l'unité, à savoir des travaux concernant le cycle cellulaire et l'embryogenèse très précoce. Les modèles sont les échinodermes mais aussi un nouveau modèle unicellulaire de prasinophycée eucaryote (très petite micro-algue), *Ostreococcus tauri*.



M. Legendre © IRD

Œuf de poisson-chat en développement.

Les recherches regroupées sous l'appellation « Cycle cellulaire », portent sur trois types d'approches :

- La régulation moléculaire du cycle cellulaire, notamment sur le contrôle de la division cellulaire au travers de la régulation traductionnelle de la cycline B dans les ovocytes d'étoile de mer en méiose.
- Les mécanismes cellulaires cdk-dépendants (*Cyclin-Dependent Kinase*), notamment les événements très précoces post-fécondation, dans le zygote d'oursin, qui conditionnent la reprise des cycles mitotiques ainsi qu'à la recherche de la fonction de nouveaux cdk (*CDC2L5*).
- L'horloge circadienne et le cycle de division (plus spécialement le contrôle de la division chez *Ostreococcus* et sa transcription) sont étudiés à travers l'étude des mécanismes moléculaires de la régulation. L'obtention à Banyuls de la transformation de ce modèle est un outil très précieux.

Le second projet porte, d'une part, sur la physiologie environnementale et le contrôle neuroendocrinologique de l'adaptation au milieu, du développement et de la croissance (mécanismes adaptatifs et régulations neuroendocriniennes) et, d'autre part, sur le processus d'évolution/développement des chordés sur des modèles invertébrés (céphalopodes,

tuniciens [ascidies]), céphalochordés (*Amphioxus*) et sur des vertébrés, des poissons jusqu'aux micro-mammifères.

Trois types d'approches sont menés :

- l'implication de la mélatonine et de ses récepteurs dans le contrôle de la synthèse et de la libération d'hormones hypophysaires et sur le développement de diverses espèces de poissons (loup, poisson zèbre, turbot, salmonidés...) et d'invertébrés (ascidie, amphioxus...).
- L'étude de type « Evo-Dévo » (Évolution-Développement), des relations fonctionnelles entre deux voies de signalisation impliquées dans le « *patterning* » axial* des chordés durant le développement de l'amphioxus. L'obtention de la reproduction de cette espèce à Banyuls a été un succès.
- Les mécanismes évolutifs liés à l'insularité et aux spécificités parasitaires chez des musaraignes vivant en milieu continental ou sur diverses îles de la Méditerranée.

Le troisième thème (Génomique évolutive et environnementale du phytoplancton) s'attache à la génomique fonctionnelle chez des micro-algues du picophytoplancton marin telle *O. tauri*, espèce découverte dans l'étang de Thau en 1994.

Elle a fait l'objet de nombreuses études de génomique (génomome entièrement séquencé et le groupe de Banyuls a participé activement à l'annotation) et de génétique des populations.

Les chercheurs de Banyuls s'intéressent à l'adaptation des différents picoeucaryotes à leur environnement par des approches de génomique comparative et fonctionnelle. La diversité des Prasinophytes et la caractérisation des flux géniques au sein des populations, notamment *via* leur virus, sont étudiées. L'étude de la diversité est traitée selon 4 axes principaux : (i) isolement et caractérisation de souches de Picoeucaryotes isolées à partir d'échantillons environnementaux ; (ii) séquençage et analyse comparative des génomes complets de souches adaptées à différents environnements (6 génomes déjà séquencés ou en cours) ; (iii) étude fonctionnelle comparative de la photosynthèse pour ces différentes souches ; (iv) étude des virus associés. ...

* « *Patterning axial* », ou « patron de développement des axes » est un terme précisant le programme génétique chez un embryon qui met en place l'organisation des grands axes de l'organisme (antéro-postérieur...) et qui conditionnera ensuite toute la morphologie de l'être vivant.



Fonds marins à Madagascar.

P. Laboute © IRD

Les principales équipes

CRH

Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale
(IRD, Ifremer, UMR2)

52 scientifiques

Directeur : Philippe Cury,
philippe.cury@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

EA 3678 IMAGES

Institut de Modélisation et d'Analyse en Géo-Environnements et Santé
(UPVD)

20 scientifiques

Directrice : Catherine Goyet,
cgoyet@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 66 21 44

UMR 5110 CEFREM

Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin
(CNRS, UPVD)

9 scientifiques

Directeur : Serge Heussner,
heussner@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 66 20 96

UMR 5119 ECOLAG

Écosystèmes Lagunaires
(UM2, CNRS, Ifremer)

59 scientifiques

Directeur : Marc Troussellier,
troussel@univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 37 19

UMR 5244

Biologie et Écologie Tropicale et Méditerranéenne
(CNRS, EPHE, UPVD)

Directeur : André Théron,
theron@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 66 22 81

Équipe « récifs coralliens » (UPVD)

Directeur : René Galzin, galzin@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 50 36 86
32 scientifiques

... suite page 10

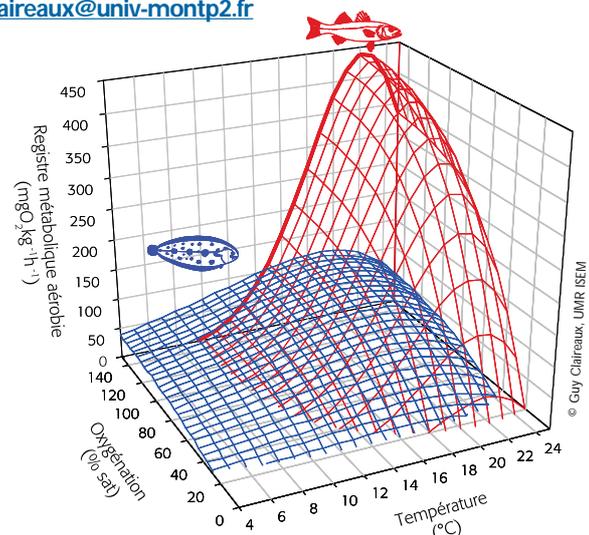
Différenciation génétique des populations de loup selon le milieu

Les lagunes et les étangs qui jalonnent le littoral méditerranéen sont des milieux essentiels pour les jeunes stades de nombreuses espèces de poissons. Les caractéristiques hydrologiques (température, oxygénation, salinité) et biotiques (proies) de ces écosystèmes déterminent pour une grande part les performances de croissance et de survie des animaux qui y rentrent. Dans ce contexte, le Département « Biologie intégrative » de l'UMR ISEM cherche à vérifier dans quelle mesure il existe une différenciation génétique des populations en fonction de leur lieu de vie. Ainsi, il est observé que, d'un étang à l'autre, le taux de croissance du loup (*Dicentrarchus labrax*) peut varier de près de 50%. La sélection naturelle peut-elle, au moins pour partie, expliquer de telles différences de performance ?

Parallèlement, par des approches d'écophysiologie expérimentale, les compromis physiologiques sous-jacents sont examinés. En effet, si « être grand » présente de nombreux avantages (relation proie/prédateur, production de gamètes), « grandir vite », en revanche, conduit à une perte d'intégrité fonctionnelle et à une diminution de la plasticité adaptative. Ces deux questions s'inscrivent dans le contexte de l'amélioration des procédures de gestion de ces milieux.

Contact : Guy Claireaux, guy.claireaux@univ-montp2.fr

Exemple de modélisation bioénergétique : effet de la température et de la teneur en oxygène de l'eau sur la quantité d'énergie mobilisable (capacité métabolique aérobie) par le loup (rouge) et la sole (bleu).



© Guy Claireaux, UMR ISEM

Rôle des organismes aquatiques sur les grands cycles biogéochimiques

Le Laboratoire d'Océanographie Biologique de Banyuls (LOBB) est la deuxième des trois composantes de l'Observatoire Océanologique de Banyuls-sur-Mer (UPMC, CNRS) qui est également un OSU. Les activités scientifiques du LOBB sont centrées sur le rôle des organismes vivants dans la portion marine des grands cycles biogéochimiques. Cette problématique générale répond à la fois à des questionnements très globaux (ex. la fixation de CO₂ par l'océan en relation avec l'effet de serre) ou bien régionaux (ex. l'évaluation de la qualité biologique des eaux littorales). Une composante majeure des activités du LOBB concerne la manière dont les changements environnementaux affectent la biodiversité marine et en retour, comment les changements de cette diversité modifient le fonctionnement des écosystèmes marins. Le LOBB est actuellement structuré en deux équipes de recherche qui s'intéressent respectivement aux écosystèmes benthiques* (interface eau-sédiment) et pélagiques**

(colonne d'eau) et conduisent cinq thématiques propres.

La première thématique concerne l'étude de la structuration et de la dynamique des communautés benthiques qui ont la capacité de servir d'indicateurs de la qualité de l'environnement marin. Le LOBB possède des compétences en faunistique, traitement de données, imagerie sédimentaire et en modélisation couplée physique-biologie. Son originalité tient à la prise en compte de différentes échelles temporelles depuis le journalier jusqu'au décennal.

Le laboratoire s'intéresse aussi à la manière dont les organismes benthiques influent sur le devenir de la matière organique sédimentée. Cette question est importante car l'enfouissement dans les sédiments constitue le seul mécanisme de piégeage à long terme du carbone organique par l'océan. Le LOBB dispose de compétences dans ce domaine tant pour l'étude des processus de nutrition que de bioturbation***. Il développe des techniques automatisées d'acquisition et d'analyses d'images permettant

de quantifier la nature et l'intensité de la faune benthique et de relier ces paramètres avec une large variété de processus biogéochimiques (ex. flux d'oxygène à l'interface eau-sédiment). La caractérisation biochimique des composantes labiles de la matière organique constitue un des autres points forts de cette thématique.

Un troisième axe étudie la diversité du bactério- et du phytoplancton. Les microorganismes jouent un rôle majeur dans le fonctionnement des écosystèmes marins. Ils constituent une des « pompes » qui permettent l'entrée du CO₂ atmosphérique dans l'océan. Le LOBB veut décrire leur biodiversité, encore méconnue, en utilisant conjointement des techniques biochimiques (dosages pigmentaires), culturelles (réalisation d'une souchothèque bactérienne) et moléculaires (DGGE et RFLP). Il s'attache aussi à relier la diversité et les capacités fonctionnelles du bactério- et du phytoplancton. ...

* Relatifs aux fonds marins ou lacustres.

** Qualifie ce qui se trouve en pleine eau, loin du fond et des rivages.

*** Transformation ou dégradation des sédiments sous l'action d'organismes se déplaçant ou creusant des cavités à l'intérieur de ceux-ci.



© W. Jeffrey

Les effets du rayonnement ultraviolet sont étudiés sur des échantillons incubés à différentes profondeurs dans des flaconnages en quartz recouverts de filtres plastiques assurant des coupures spécifiques du rayonnement UV.

effets sera fonction de la dose de rayonnement UV reçue par ces organismes et de leur sensibilité au stress UV.

Le rayonnement UV entraîne également des effets photochimiques sur la matière organique dissoute (MOD). Ces effets peuvent jouer un rôle important dans le cycle

Effets du rayonnement solaire ultraviolet UV sur les cycles biogéochimiques en milieu marin

Par son impact sur le phytoplancton et les bactéries, le rayonnement UV est susceptible de modifier les activités de production de matière organique par le phytoplancton et de sa dégradation par les bactéries, et donc l'équilibre entre les processus autotrophes et hétérotrophes, mais aussi la composition spécifique de ces communautés.

L'importance de ces effets sera fonction de la dose de rayonnement UV reçue par ces organismes et de leur sensibilité au stress UV.

du carbone dans le milieu marin en induisant soit une photominéralisation et la libération de CO et de CO₂, soit une photoproduction de composés organiques de faible poids moléculaire (acides organiques, acides aminés) qui stimule l'utilisation du carbone organique par les bactéries et sa transformation en biomasse et en CO₂.

L'UMR 7621 étudie les effets du rayonnement UV sur les cycles biogéochimiques par des approches de terrain dans différents environnements marins (lagunaires, côtiers, hauturiers), qui mettent en œuvre des mesures de pénétration du rayonnement UV dans la colonne d'eau et l'incubation d'échantillons à différentes profondeurs afin de mesurer les effets photochimiques sur la MOD et photobiologiques sur le phytoplancton et les bactéries. Les recherches concernent aussi l'étude des effets combinés du stress UV sur les microorganismes avec d'autres paramètres comme la richesse en nutriments, la température ou la présence de polluants, autant de paramètres susceptibles d'être modifiés par le changement global de l'environnement lié aux activités anthropiques. Ces travaux sont menés sur des communautés naturelles et sur différents modèles d'espèces phytoplanctoniques et bactériennes.

Contact : Fabien Joux, joux@obs-banyuls.fr



© Jacques Carbonne (CEFREM)

Les principales équipes

UMR ISEM (UM2, CNRS)

(CNRS)

11 scientifiques

Directeur : Jean-Christophe Auffray

Département Biologie-Intégrative

Directeur : François Bonhomme,

bonhomme@univ-montp2.fr

Fax : +33 (0)4 67 14 45 54

UMR 7621

Laboratoire d'Océanographie

Biologique de Banyuls-sur-Mer

(CNRS, UPMC)

30 scientifiques

Directeur : Antoine Grémare,

gremare@obs-banyuls.fr

Fax : +33 (0)4 68 88 73 95

UMR 7628

Modèles en biologie cellulaire et évolutive

(CNRS, UPMC)

17 scientifiques

Directeur : Gilles Bœuf,

gilles.boeuf@obs-banyuls.fr

Fax : +33 (0)4 66 88 73 98

UMS 2348 - École interne

EI38 UPMC – Observatoire

océanologique de Banyuls-sur-Mer

(CNRS, UPMC)

35 scientifiques

Directeur : Philippe Lebaron,

lebaron@obs-banyuls.fr

Fax : +33 (0)4 68 88 76 99

UR 070 RAP

Réponses adaptatives des populations

et des peuplements de poissons aux

pressions de l'environnement

(IRD)

10 scientifiques

Directeur : Raymond Lae,

raymond.lae@mpl.ird.fr

Fax : +33 (0)2 98 22 44 34

... suite page 12

Observations à long terme dans un système intégré bassin versant-plateau-pente

La Plateforme d'Observation de l'Environnement Méditerranéen - Littoral Languedoc-Roussillon (POEM-L2R), développée et mise en place par le CEFREM, a pour vocation d'accueillir des expériences durant des périodes allant de quelques semaines à un cycle annuel complet. Elle a été conçue pour fonctionner en continu entre ces périodes d'activité renforcée. Son objectif est d'assurer le suivi à long terme d'un ensemble de paramètres descriptifs des conditions météorologiques, hydrologiques et hydrosédimentaires dans un système intégré bassin versant - zone côtière - pente continentale.

Dans ce contexte, elle est unique en France. POEM comprend 4 modules :

- Un module « station atmosphérique » (Cap Béar) initié dans le cadre du programme ADIOS (*Atmospheric Deposition and Impact of pollutants, key elements and nutrients on the Open Mediterranean Sea*), collecte depuis 2001 des échantillons mensuels de dépôts atmosphériques.
- Depuis 2004, un module « fleuve côtier », à proximité de l'embouchure de la Têt, comprend une station automatique d'échantillonnage (eau et particules) et une sonde multiparamétrique (température, conductivité, pH, turbidité, hauteur d'eau). La fréquence d'échantillonnage est journalière, en débit normal, et horaire en période de crue. Les données sont transmises au laboratoire en temps quasi-réel.
- Un module « prodelta sous-marin » de la Têt, opérationnel depuis 2003, comprend une bouée intégrant capteurs météorologiques (vent, température, pression et humidité) et océanographiques (température, salinité, turbidité, fluorescence), un ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) de fond (profil de courant, caractéristiques des vagues) et des altimètres (évolution de la hauteur du sédiment). Les données météorologiques et océanographiques sont transmises au laboratoire en temps quasi-réel.
- Un module « pente continentale » en deux sites de la pente (Canyon de Planier au large de Marseille et Canyon Lacaze-Duthiers au large de Perpignan). Chaque site est équipé d'une ligne de mouillage intégrant pièges à particules à mi-hauteur d'eau (500 m) et près du fond (1 000 m) couplés à des courantomètres et capteurs CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*). Le suivi à long terme des transferts particulaires et des courants sur la pente du Golfe du Lion, assuré depuis 1993, représente la série la plus longue de ce type de mesures dans le domaine de marge continentale.

Contact : Serge Heussner, heussner@univ-perp.fr

◀ **La plate-forme expérimentale POEM est composée de quatre modules assurant mesures et échantillonnages des principaux compartiments d'un système intégré bassin versant - zone côtière - pente continentale : la photo montre le « module atmosphérique », installé au Cap Béar qui comprend un collecteur de retombées atmosphériques totales.**

La quatrième thématique s'intéresse à la manière dont les processus biogéochimiques interagissent avec la productivité des systèmes pélagiques. L'objectif est de déterminer comment le fonctionnement de la boucle microbienne se trouve contrôlé par des facteurs environnementaux tels que le rayonnement solaire, la disponibilité en éléments nutritifs et la circulation des masses d'eau.

Cette question est abordée par l'étude comparée d'une large diversité de systèmes écologiques dont le fonctionnement est susceptible d'être régulé par des facteurs environnementaux différents. Il s'agit notamment du *continuum* bassin versant-zone côtière et des lentilles de dilution associées, ainsi que de l'océan oligotrophe*.

La dernière thématique de recherche concerne la qualité biologique des eaux littorales et particulièrement la mise au point de méthodes de détection rapide de microorganismes pathogènes (par cytométrie). Autre voie d'étude : comme certaines bactéries ont la capacité de dégrader les hydrocarbures, elles pourraient être utilisées dans des techniques de bioremédiation** lors de pollutions accidentelles.

Deux actions transversales complètent ces 5 axes. L'étude des effets du rayonnement ultraviolet sur le développement des larves d'invertébrés benthiques et la création d'une base de données environnementales en étroite interaction à l'échelle européenne avec le Réseau d'excellence MarBEF (*Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning*).

Le LOBB constitue une composante majeure du dispositif régional de recherche en océanographie/écologie marine. Il a collaboré au programme de recherche SYSCOLAG (Systèmes Côtiers et Lagunaires) piloté par la Région Languedoc-Roussillon ainsi qu'à plusieurs

projets de collaborations trans-pyrénéennes avec les laboratoires espagnols de Blanes et de Barcelone. En relation avec le Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin (Université de Perpignan Via Domitia [UPVD]/CNRS) et sous l'égide de la Région, le LOBB a mis en place la plate-forme technologique CABLE (Caractérisation Biogéochimique de L'Environnement marin) qui rassemble techniques et compétences relatives à l'étude de la biogéochimie de l'environnement marin.

Le LOBB est un élément important du réseau des laboratoires océanographiques de la côte méditerranéenne française comme en témoigne sa participation aux grands programmes océanographiques nationaux (Programme National Environnement Côtier [PNEC], PROcessus biogéochimiques dans l'Océan et Flux [PROOF], Cycles Biogéochimiques, Environnement et Ressources [LEFE-CYBER]). À l'échelle internationale, le LOBB participe à plusieurs programmes du 6^{ème} plan cadre européen dont (1) MarBEF consacré à l'étude de la biodiversité et au fonctionnement des écosystèmes marins et (2) le programme intégré SESAME qui vise à décrire les réponses des écosystèmes de Méditerranée et de Mer Noire au changement climatique.

Réponses Adaptatives des poissons aux pressions de l'environnement

En réponse à des situations de stress (hyper salinité, pression de pêche excessive, pollution), certaines espèces de poissons présentent des adaptations écophysologiques remarquables et/ou développent des adaptations touchant les phénomènes de croissance ou de reproduction (maturité sexuelle précoce, nanisme) leur permettant de se développer là où des espèces moins plastiques sont appelées à disparaître.

Les effets sont ressentis à différents niveaux entraînant une modification profonde de la composition et surtout de la structure des peuplements. Ces réponses adaptatives sont encore mal connues et peu expliquées. Dans ce contexte, l'unité de recherche Réponses adaptatives des populations et des peuplements de poissons aux pressions de l'environnement (RAP, UR070, IRD) porte son attention sur les indicateurs biologiques de l'état des populations et des peuplements, les relations entre l'intensité des perturbations et la diversité/stabilité de ceux-ci, la caractérisation de leur spécificité, de leur sensibilité et de leur réactivité.

Une attention particulière est portée aux mécanismes et aux processus. La compréhension des facteurs qualitatifs et quantitatifs nécessaires à la prise en compte de la complexité des systèmes se fait à différentes échelles par des approches associant l'étude de la physiologie au niveau individuel, des traits de vie au niveau populationnel et de l'organisation au niveau des peuplements (nature du peuplement et de sa phase exploitée). Les travaux conduisent à créer un ensemble d'indicateurs qui, analysés conjointement, permettront d'évaluer l'ampleur de la perturbation subie par les peuplements. Il sera alors possible de rechercher des seuils de réponse à partir desquels les peuplements se déstructurent. À terme, ces indicateurs serviront à établir un diagnostic sur l'état des populations et peuplements, leur potentiel de production et leur capacité de restauration.

L'UR mobilise les moyens suivants :
1) la base de données RAP rassemblant les observations de terrain réalisées dans le cadre de la première phase de l'UR, 2) l'expérimentation en milieu naturel et en mésocosme (dispositifs expérimentaux clos, de taille moyenne), 3) l'observation d'écosystèmes présentant des niveaux de perturbation variables, 4) la modélisation écosystémique et multi-agents. ...

* Se dit d'un milieu pauvre en substances nutritives.
** Utilisation d'organismes vivants, en particulier de microorganismes, pour réduire ou éliminer des polluants spécifiques.

Le macrobenthos : un indicateur de la qualité de l'environnement marin

Les organismes vivant sur/ou dans les sédiments marins (macrobenthos) présentent souvent une mobilité réduite. La plupart d'entre eux possèdent également des stades larvaires sensibles. Cette double caractéristique les rend extrêmement dépendants des variations de leur environnement. Toute perturbation significative de l'environnement induit des modifications de la composition spécifique du macrobenthos. Ces modifications suivent des évolutions comparables au fur et à mesure que l'on s'éloigne dans le temps et dans l'espace de la perturbation. Ce processus appelé « succession secondaire » s'accompagne en général d'une diminution de la biodiversité : disparition des espèces sensibles à la perturbation et prolifération d'un petit nombre d'espèces dites opportunistes car favorisées par la disparition des précédentes. L'analyse de la composition spécifique du macrobenthos est souvent utilisée comme indicateur de la qualité des habitats marins. C'est donc un outil au service de la Directive Européenne sur l'eau qui préconise l'accession à un bon ou très bon état écologique de l'ensemble des masses d'eau européennes à l'horizon 2015.

Un tel objectif nécessite de caractériser l'état écologique actuel des masses d'eau et donc de documenter la composition du macrobenthos. La base de données quantitatives constituée par le LOBB bénéficie des informations liées au programme SYSCOLAG sur les côtes de la région Languedoc-Roussillon et des résultats d'analyse de l'ensemble des prélèvements de macrobenthos (campagne préliminaire 2006, Ifremer) le long de l'ensemble des côtes méditerranéennes.

Un travail similaire est mené pour élaborer de nouveaux indicateurs biologiques qui reposent tous sur les notions de diversité et de sensibilité/tolérance des espèces présentes. Une évaluation des indices biologiques les plus reconnus à deux échelles spatiales différentes est alors réalisée. La première est régionale et s'appuie sur les données du programme SYSCOLAG. La seconde est pan européenne et s'appuie sur la base de données Marben (cadre : réseau d'excellence européen MarBEF sur l'ensemble des côtes européennes, soit plus de 430 000 signalisations). Le laboratoire exploite les données pour ce qui concerne la validation des indices biologiques au sein de MarBEF.

Enfin, la stratégie d'échantillonnage permet de séparer l'effet des facteurs anthropiques de ceux du changement à long terme (type climatique) ou de ceux associés à des fluctuations temporelles à plus court terme. Le laboratoire compare, à long terme, la composition des communautés benthiques des peuplements des côtes du Languedoc-Roussillon (référence : fin des années 1960). Les résultats montrent l'existence de changements importants dans les 4 communautés étudiées. Ainsi, dans les communautés sableuses, l'abondance du ver *Ditropa arietina* peut être corrélée à une modification de la fréquence des tempêtes hivernales, elle-même contrôlée par l'oscillation nord-atlantique dont la périodicité est d'environ 8 ans.

Contact : Antoine Grémare, gremare@obs-banyuls.fr

Les chantiers principaux de l'UR se situent en Afrique de l'Ouest. L'étalonnage des indicateurs sera facilité par l'intérêt porté dans la sous région aux aires marines protégées (écosystèmes en voie de restauration mais à différents niveaux d'évolution) et à la possibilité de disposer de zones d'étude et de référence quasi idéales. Les écosystèmes retenus appartiennent aux pays de la Commission Sous Régionale des Pêches qui soutiennent un programme

régional de conservation marine (Gambie, Sénégal, Guinée Bissau, Mauritanie). Puis le test des indicateurs sera élargi à des écosystèmes (lagunes méditerranéennes, brésiliennes ou mexicaines) où la composition spécifique des peuplements est différente de celle observée en Afrique de l'Ouest.

Des collaborations avec des laboratoires partenaires de France, du Brésil et du Mexique devraient permettre une analyse comparative des méthodes, des indicateurs sélectionnés et des échelles de référence. L'implantation principale de l'UR se situe à Brest avec des collaborations avec l'IUEM (Institut Universitaire Européen de la Mer), l'Ifremer, l'Ensar et l'IRD. Une implantation secondaire existe au CRH (Centre de Recherche Halieutique méditerranéen et tropicale) de Sète et à l'UM2 (Ecolag). Des collaborations existent avec le Cirad, l'Inra et l'Ensat. L'implantation de l'unité en Afrique (Dakar) a permis de collaborer avec les universités et instituts de recherche du Sénégal, de Côte d'Ivoire, de Guinée Bissau, de Gambie et de Mauritanie. À l'étranger, elle collabore dans le cadre de deux projets européens avec de nombreux partenaires européens ou non.

Cyanobactéries : biologie, rôles et modes de contrôle

La disponibilité et la qualité des ressources en eau pour les besoins domestiques et les productions vivrières figurent parmi les facteurs entravant le développement au Sud. Les milieux aquatiques tropicaux, continentaux ou marins côtiers, sont soumis à de fortes pressions anthropiques qui déséquilibrent leur fonctionnement : les proliférations algales sont symptomatiques de ces dysfonctionnements, quel que soit le statut trophique des milieux considérés. Les cyanobactéries forment une composante importante des communautés phytoplanctoniques et leur présence est souvent favorisée à l'occasion de ces déséquilibres. Ces procaryotes (organismes unicellulaires dont le noyau est dépourvu de membrane) aux capacités adaptatives remarquables sont des compétiteurs efficaces, supportant de faibles éclaircissements et exploitant au mieux les ressources nutritives, dans la mesure où certaines espèces sont diazotrophes (capables de fixer l'azote atmosphérique dissous).

Les principales équipes

UR 097 ECO-UP
Structuration et fonctionnement
des écosystèmes d'*upwelling* exploités :
analyses comparatives en vue d'une
approche écosystémique des pêcheries
(IRD)

13 scientifiques
Directeur : Pierre Fréon,
pierre.freon@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 02

UR 167 CYROCO
Cyanobactéries des milieux aquatiques
tropicaux peu profonds :
rôles et contrôles
(IRD)

16 scientifiques
Directeur : Robert Arfi,
arfi@univmed.fr
Fax : +33 (0)4 91 04 16 35

... suite page 14



Le ver *Ditrupa arietina* prolifère de manière cyclique dans les fonds sableux du Golfe du Lion et ce apparemment en relation avec des processus climatiques régulés par l'oscillation nord-atlantique.

© E. Dutrieux (CREOCEAN)

Ils présentent aussi des capacités de résistance élevée aux conditions environnementales extrêmes.

Par ailleurs, le contrôle des cyanobactéries par les réseaux trophiques demeure mal compris dans les milieux tropicaux où les connaissances acquises dans les systèmes tempérés sont difficilement transposables en raison de structures trophiques différentes. Le développement d'une boucle microbienne efficace et complémentaire de la voie trophique herbivore renforce le rôle fonctionnel des cyanobactéries, en particulier celui des cellules picoplanctoniques.

En milieu continental, à la toxicité potentielle de certaines espèces s'ajoutent en cas d'efflorescence les effets néfastes de l'accumulation puis de la dégradation des fortes biomasses ainsi constituées. Dans les eaux marines côtières, les cyanobactéries sont à l'inverse à la base de la production primaire de nombreux milieux oligotrophes. D'une manière générale, l'impact des cyanobactéries sur la qualité, la productivité et les usages d'écosystèmes continentaux et marins côtiers est souvent très significatif.

Pour étudier ces organismes, l'UR *Cyanobactéries des milieux aquatiques tropicaux peu profonds : rôles et contrôles* (UR167 CYROCO, IRD) s'est associée avec ses partenaires du Nord (CNRS, Inra, Muséum national d'Histoire naturelle [MNHN], Universités de la Réunion, Paris 7, Aix-Marseille I et II) et du Sud (Côte d'Ivoire, Sénégal, Burkina Faso, Mali, Madagascar). Le projet combine des études en milieu naturel et en conditions expérimentales pour mieux comprendre les raisons du succès écologique des cyanobactéries en précisant leur rôle dans ces écosystèmes.

Les objectifs que l'unité poursuit en Afrique de l'Ouest (lacs et réservoirs, estuaires) et dans l'océan indien (lagunes et lagons coralliens) sont de :

- caractériser et mieux comprendre les modes d'adaptation des cyanobactéries à leur environnement, y compris aux conditions extrêmes et aux pollutions et, le cas échéant, décrire les mécanismes et les conséquences de leur toxicité ;
- définir les rythmes, les modalités et l'importance qualitative et

quantitative des apports nutritifs qui favorisent le développement des cyanobactéries, qu'ils soient allochtones via le ruissellement et les crues, les dépôts secs et humides et les rejets anthropiques ou associés à des sources autochtones, comme la minéralisation à l'interface eau - sédiment, les produits de la lyse virale, les exsudats algaux et l'excrétion des organismes supérieurs ;

- comprendre les processus de compétition ou à l'inverse, de mutualisme, qui structurent les interactions entre les cyanobactéries et les organismes des réseaux microbiens pour l'accès aux ressources nutritives ;
- préciser l'importance des contrôles trophiques susceptibles d'influer sur le développement des cyanobactéries : compétition – compétitivité des réseaux trophiques herbivores et microbiens, importance des brouteurs omnivores, rôle du micronecton (partie du plancton microscopique qui nage) ;
- favoriser l'exploitation de leurs potentialités biotechnologiques (culture d'algue, support à la pisciculture). ...

Écosystèmes d'upwelling : structure et fonctionnement

Les écosystèmes d'upwelling, caractérisés par des remontées d'eaux froides et riches en sels nutritifs, fournissent plus de 40% des captures des pêcheries mondiales alors qu'ils représentent moins de 3% de la surface de l'océan.

Ils sont caractérisés par une grande variabilité, reliée à celle du climat et à leur instabilité structurelle. Actuellement, ils supportent les effets du changement climatique et ceux de la réorganisation des pêcheries mondiales, qui peuvent aboutir à d'importants changements de leur organisation. La gestion des pêcheries dans les zones d'upwelling doit se concevoir dans le cadre plus large de l'aménagement des zones côtières qui les bordent.

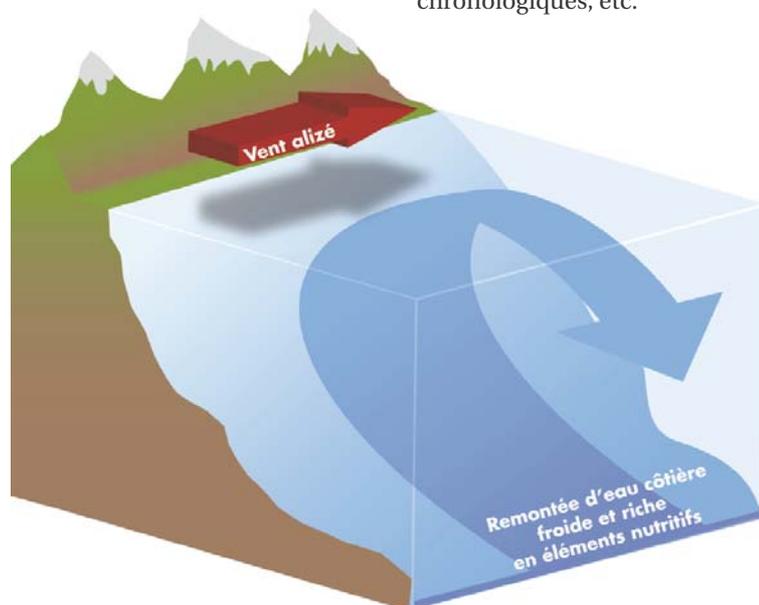
- à la mise en place ou au soutien d'une gestion précautionneuse basée sur des indicateurs issus des données de suivi continu des communautés (exploitées et non exploitées) ; cette gestion prend aussi en compte le contexte global (variabilités inter-annuelles et inter-décennales) ;
- à la formation de jeunes chercheurs et étudiants des pays partenaires (Afrique du Sud, Namibie, Angola, Chili, Pérou, Maroc, Mauritanie, Sénégal) dans les domaines de la modélisation, la collecte et l'analyse de données, les systèmes d'information, le traitement d'images satellitaires et l'évaluation environnementale.

L'objectif de l'UR *Écosystèmes d'upwelling* (ECO-UP, IRD) est de fournir une méthodologie adaptée pour l'analyse de la structuration et du fonctionnement des écosystèmes d'upwelling dans le contexte de la mise en place d'une approche écosystémique des pêcheries. En appliquant une démarche intégrée et comparative, la dynamique des poissons pélagiques et de leur écosystème est étudiée à différentes échelles spatiales, en relation avec leur exploitation et les changements environnementaux globaux et régionaux. Grâce à l'utilisation d'outils de représentation des dynamiques spatiales, des dynamiques temporelles et de leurs interactions, une intégration et une représentation des savoirs deviennent réalisables, ce qui permet de relier des questions d'écologie fondamentales à des applications d'aménagement.

Trois chantiers sont actuellement mis en œuvre dans les écosystèmes du Benguela (Angola, Namibie, Afrique du Sud), du Humboldt (Chili, Pérou) et des Canaries (Maroc, Mauritanie, Sénégal), dont les axes de recherche concernent le climat et l'environnement physique (modélisation océanique, approches Lagrangiennes), les productions primaire et secondaire (modèles NPZD et télédétection), les populations exploitées (modèles écotrophiques, analyses éco-éthologiques) et les pêcheries (analyses rétrospectives, modèles bio-économiques). Pour cela, différents outils et méthodes sont développés et utilisés : modélisation, observations acoustiques en deux et trois dimensions, observations satellitaires, systèmes d'information géographique (SIG), outils d'analyse des séries chronologiques, etc.

Une grande importance est donnée :
• au transfert des connaissances vers les pays partenaires et l'ensemble de la communauté scientifique ;

► *Schéma du processus de remontées d'eaux profondes (upwelling), froides et riches en sels nutritifs sous l'action du vent et de la force de Coriolis.*



Autres équipes concernées par ce thème

HMT

Laboratoire Ressources Halieutiques
Sète
(Ifremer)
14 scientifiques
Directeur : Gildas Le Corre,
gildas.le.corre@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

LER/LR

Laboratoire Environnement Ressources
en Languedoc-Roussillon
(Ifremer)
25 scientifiques
Directeur : Thierry Laugier
Thierry.Laugier@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 96

UPR 20

Aquaculture et gestion
des ressources aquatiques
(Cirad)
8 scientifiques
Directeur : Jérôme Lazard,
jerome.lazard@cirad.fr
Fax : +33 (0)4 67 16 64 40

UR 109 Thetis

THons tropicaux et Écosystèmes
pélagiques : Taxies, Interactions
et Stratégies d'exploitation
(IRD)
19 scientifiques
Directeur : Francis Marsac
marsac@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

UR 175 Caviar

Caractérisation et valorisation
de la diversité ichthyologique
pour une aquaculture raisonnée
(IRD)
14 scientifiques
Directeur : Marc Legendre
Marc.Legendre@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)4 67 63 57 95

US 007 Osiris

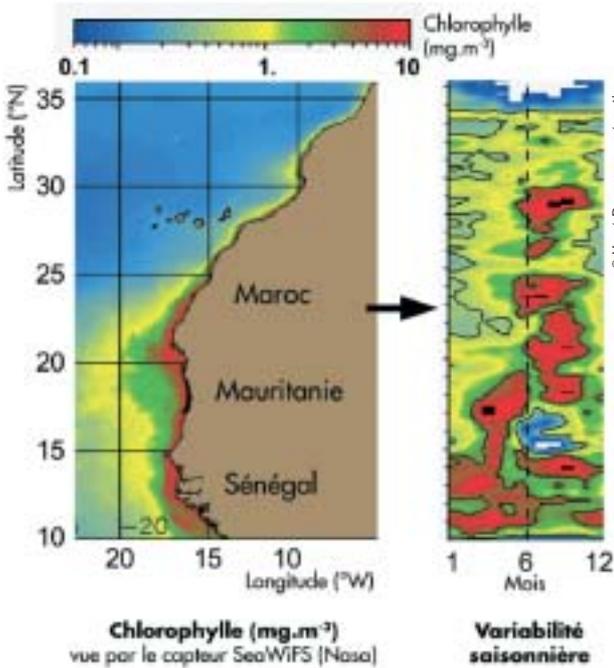
Observatoire et systèmes d'information
des pêches tropicales
(IRD)
12 scientifiques
Directeur : Pierre Chavance,
Pierre.Chavance@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

Un atlas comparatif en ligne pour représenter les écosystèmes d'*upwelling*

Cet atlas WEB interactif, réalisé par l'UR ECO-UP (IRD) permettra la représentation dynamique, synthétique et comparative des différentes dynamiques en jeu (environnementale, biologique, écologique) dans les écosystèmes d'*upwelling*. Il nécessite de définir les outils adaptés à une visualisation souple, multi-thématiques et multi-chantiers (*TimeMaps*). Il sera constitué d'une base de données répartie sur les sites de Brest, du Cap, puis Sète et les autres chantiers (Benguela, Humboldt, Canaries). L'outil permettra de mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes d'*upwelling* et d'expliquer d'étonnantes différences de productivité. Cet atlas devrait être opérationnel en 2007.

Contact : Christian Mullon, christian.mullon@bondy.ird.fr

◀ **Comparaison de la distribution spatio-temporelle de la chlorophylle-a obtenue par satellite.**



Écosystèmes coralliens : variabilité, fonctionnement et évolution

L'une des équipes de l'UMR *Biologie et Écologie Tropicale et Méditerranéenne* (UMR 5244 CNRS, École Pratique des Hautes Études [EPHE], UPVD), labellisée « récifs coralliens » a comme objectifs de :

- tirer parti de séries de données écologiques et environnementales accumulées depuis plus de 10 ans (Moorea, Tuamotu) ;
- approfondir l'étude du fonctionnement de différents compartiments du complexe lagono-récifal et de l'écosystème récifal dans son ensemble ;
- développer la mise au point de modèles fonctionnels et prédictifs des flux de matières et d'énergie dans l'écosystème qui pourraient être utilisés dans l'étude des effets des changements globaux (actions anthropiques ou du climat).

Des études de variabilité temporelle des unités de peuplements benthiques et nectoniques sont menées (point 1) et notamment des peuplements coralliens (Polynésie française). Il s'agit d'obtenir une meilleure connaissance de la variabilité des écosystèmes coralliens et d'évaluer leur état de santé. Les points 2 et 3 visent à élucider comment les peuplements et les communautés récifales se mettent en place, se maintiennent et fonctionnent. Le problème de l'origine des peuplements est

développé (poissons récifaux) sous l'angle de la phylogéographie et de la biogéographie.

Parallèlement, à une échelle plus petite, les modalités du recrutement de larves de poissons et de coraux, de leur colonisation, et de leur influence sur la structuration des populations adultes représentent un thème central des recherches. En ce qui concerne le fonctionnement, l'accent est surtout mis sur une meilleure connaissance des flux de matière et d'énergie entre les différents compartiments de l'écosystème récifal, ainsi qu'entre les récifs et les milieux environnants, océanique et littoral. Plus précisément, les modèles trophodynamiques des lagons (Takapoto) ou des communautés necto-benthiques récifales (Tiahura) sont mis au point ou raffinés. Dans le domaine des échanges récifs-océans, les données de base sur l'exportation de carbone sont maintenant acquises. L'effort porte sur les importations de carbone organique et inorganique en provenance de l'océan et portera ensuite sur les échanges récifs-milieux littoraux et terrestres. La problématique devient ainsi de plus en plus « systémique » (prise en compte de l'écosystème récifal dans son ensemble et de ses relations avec les milieux voisins), fonctionnelle et, dans une certaine mesure, prédictive.

Les outils de recherche sont divers : génétique moléculaire (génétique des populations), étude des effets des interactions durables (parasites-

poissons), géochimie des isotopes stables, imagerie satellitaire.

Des collaborations mobilisent des partenaires australiens, américains et japonais. Un effort est fait dans tous les projets pour les intégrer dans des thématiques de grands programmes nationaux (PNEC) et internationaux (*International Coral Reef Initiative/ Global Coral Reef Monitoring Network Global Ocean Observing System, Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone*).

En parallèle des travaux sur les récifs coralliens, une équipe travaille en Méditerranée sur le maintien des populations de poissons exploités, avec comme modèles principaux le sar commun, *Diplodus sargus* et l'anguille européenne, *Anguilla anguilla*. Après avoir étudié le cycle de vie du sar commun et principalement la phase de recrutement, les travaux sont maintenant axés sur l'intérêt des aires marines protégées et des récifs artificiels en tant qu'outil de gestion de la pêche artisanale. Les travaux de marquages et de microanalyses chimiques sur les otolithes montrent l'importance des habitats essentiels (littoraux et lagunaires) dans les équilibres entre les différentes populations. Pour l'anguille européenne, la situation est plus préoccupante depuis le déclin des populations résultant à la fois de la surpêche, de la dégradation des habitats essentiels, principalement des lagunes, et de l'apparition d'un parasite, *Anguillicolacrasus*. ...



© Yannick Chancerelle (UMS 2978)

Technique employée pour collectionner les données benthos sur un récif corallien barrière d'une île haute (recouvrement du substrat et peuplements des coraux, algues, mollusques et échinodermes).

Structure et variabilité des peuplements coralliens

Des observations réalisées *in situ* par l'équipe *Écosystèmes aquatiques tropicaux et méditerranéens* (UMR 5244 CNRS/EPHE/UPVD) indiquent que les récifs coralliens ont évolué dans un environnement hydrologique et climatique instable à l'échelle de la durée de vie des organismes et qu'ils se rétablissent, plus ou moins rapidement, suite à la destruction engendrée par des stress d'origine naturelle. D'autres études, basées sur des résultats obtenus à l'aide de simulations ou d'observations réalisées en milieu naturel tendent à montrer que les récifs coralliens présenteraient de multiples états de stabilité, comme par exemple un état stable caractérisé par la présence majoritaire des macroalgues. Afin d'étudier la dynamique des écosystèmes récifaux (actions des stress d'origines naturelle et anthropique sur les peuplements et interactions entre les peuplements), des suivis temporels à long terme sont nécessaires (rôle d'OSU de l'Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer, CNRS/UPMC). Les travaux de l'unité rendent compte des résultats obtenus dans ce domaine, à plusieurs échelles de temps et d'espace. Les sites ateliers sont le secteur de Tiahura, sur la côte nord de Moorea (depuis 1970) et les pentes externes de récifs d'une quinzaine d'autres îles de Polynésie française. Une partie des travaux entrepris dans le cadre du programme Crisp (Initiative Corail dans le Pacifique Sud), effectué en coopération avec l'IRD et plusieurs universités, relève de cette thématique.

Contact : René Galzin, galzin@univ-perp.fr



Sur les pentes externes de 15 îles polynésiennes est relevé avec précision le recouvrement en corail vivant dont les fluctuations sont ensuite chiffrées par analyse d'images.

Lagunes côtières : fonctionnement et évolution d'un écosystème fragile

Les écosystèmes marins côtiers représentent près d'un tiers des richesses écologiques de notre biosphère. Les forçages physiques, chimiques et biologiques qui s'y exercent localement et globalement ne cessent d'augmenter. Les lagunes côtières font partie des zones les plus sensibles et les plus durement touchées par l'anthropisation. C'est dans ce contexte que la thématique de l'UMR *Écosystèmes Lagunaires* (Ecolag, UMR 5119, UM2/CNRS/Ifremer) est centrée sur l'étude des effets des changements locaux et globaux liés à l'anthropisation sur les écosystèmes lagunaires et marins côtiers.

Ces écosystèmes d'interface ont des rôles écologiques et économiques majeurs : pêche, aquaculture, épuration, etc., reconnus depuis longtemps. L'étude du fonctionnement biologique de ces écosystèmes et des effets des changements repose sur une approche intégrative. Elle considère à la fois la caractérisation des composantes biologiques, physiques et chimiques dans leur ensemble,

l'analyse de leurs interactions et des fonctions associées et ce à différentes échelles d'observation. Elle met en œuvre des études *in situ*, des approches expérimentales en mésocosmes et s'appuie sur une large gamme d'outils et de méthodes : biologie moléculaire, chimie analytique, cytométrie, etc.

Ces recherches pluridisciplinaires (principalement en biologie et écologie) mobilisent des collaborations avec des équipes d'autres organismes de recherche nationaux et internationaux pour leurs compétences en écotoxicologie, hydrologie, hydrodynamique à travers des programmes conjoints. La définition des scénarios d'évolution des écosystèmes marins côtiers nécessite l'implication des sciences humaines et sociales.

En effet, c'est l'anthroposystème qui *in fine* gouverne l'état de santé et les services des écosystèmes. Des collaborations avec les disciplines des sciences humaines et sociales ont été initiées dans le cadre du programme national d'environnement côtier (PNEC), le programme européen Ditty (*Development of an Information Technology Tools for the management of Southern European lagoons*) ou l'IFR 129. L'unité inclut 6 équipes, un axe transversal de recherche et

des plateaux techniques communs qui offrent des capacités d'analyse et d'expérimentation (9 plates-formes techniques dont celle d'écologie aquatique expérimentale Medimeer (*Mediterranean Platform for Marine Ecosystem Experimental Research*). Ainsi, les effets des différents types de forçages environnementaux sont abordés en référence à la dynamique et aux rôles des différentes communautés de micro-organismes et de macro-organismes vis-à-vis des usages et du fonctionnement des écosystèmes marins côtiers.

Trois équipes travaillent sur les micro-organismes responsables de crises environnementales graves. Les sujets sont les suivants :

- « Efflorescences algales toxiques » : compréhension de ces phénomènes et de leurs déterminismes.
- « Pathogènes et environnement » : organismes bactériens (pathogènes humains et animaux) ayant des conséquences majeures sur l'état de santé des écosystèmes marins côtiers du point de vue de certains de leurs usages.
- « Réseaux microbiens sous forçages environnementaux » : effets des modifications de différents facteurs environnementaux sur la structure et les interactions au sein des réseaux de micro-organismes. ...

Deux approches pour étudier le stockage du carbone anthropique dans les océans

La problématique des perturbations du cycle du carbone océanique engendrées par l'accumulation du carbone anthropique dans l'atmosphère est intimement liée à celle du changement climatique via une multitude d'actions et de rétroactions entre l'atmosphère, l'océan et la biosphère terrestre. La capacité de stockage du carbone anthropique par l'océan est bien supérieure à celle de la biosphère terrestre. L'océan joue donc un rôle majeur dans la diminution de l'effet de serre et donc du réchauffement climatique. Deux approches sont adoptées par Images afin d'étudier la complexité des processus mis en jeu :

■ L'approche de terrain consiste à mesurer les propriétés du système des carbonates, en développant et en utilisant des systèmes de mesure pour l'alcalinité totale (AT) et le carbone inorganique total dissous (CT) par potentiométrie, ainsi que la pression partielle du CO₂ (pCO₂) dans l'eau de mer. La participation à des campagnes de mesures est nécessaire sur tous les océans. À l'échelle régionale, les eaux des bassins Ouest et Est de la mer Méditerranée sont échantillonnées. La mer ligurienne est étudiée via la station temporelle Dyfamed (Dynamique des Flux Atmosphériques en Méditerranée). Étant donnée la quasi absence de ce type de mesures dans la base de données historique Medar/Medatlas 2002 (*Mediterranean Data Archaeology and Rescue*), celles-ci sont d'une grande valeur scientifique.

■ L'approche par la modélisation des systèmes océaniques permet d'estimer la distribution du CO₂ anthropique dans les océans en particulier pour la mer Méditerranée. Deux types de modèles sont utilisés : les modèles inverses (*back-calculation model*) et un modèle dynamique 3D de toute la mer Méditerranée couplé à de la biologie. En utilisant la méthode d'interpolation de CT, il est possible de dresser des cartes pour les principales propriétés du système des carbonates (AT, CT) et du carbone anthropique. La procédure mise en place requiert les propriétés de température, de salinité et d'oxygène dissous, données abondantes au sein de Medar/Medatlas 2002. Ces cartes révèlent des différences majeures entre les différents bassins pour AT et CT ainsi que des zones préférentielles de séquestration du carbone anthropique (mer Egée, nord et centre du bassin ouest). Le modèle dynamique 3D permet ainsi d'estimer la distribution du carbone anthropique indépendamment des modèles inverses. Ce modèle pluridisciplinaire permet d'analyser les processus physiques, chimiques et biologiques impliqués dans les transferts air-mer du carbone et de sa séquestration dans les couches profondes.

Contact : Catherine Goyet, cgoyet@univ-perp.fr

Pour plus d'informations : Goyet, C. et Davis D., 1997. Estimation of total CO₂ concentration throughout the water column. *Deep Sea Research Part I*. **44**: 859-877.



© Marc Troussellier (UMR Ecolog)

Mésocosmes pélagiques de la plate-forme MEDIMEER.

Les trois autres équipes travaillent sur les macro-organismes (poissons, invertébrés benthiques et macrophytes) qui sont les utilisateurs terminaux des ressources produites par les réseaux microbiens. On distingue trois thématiques scientifiques :

- « Écologie fonctionnelle des macro-organismes » et notamment leur dynamique spatio-temporelle en réponse aux pressions naturelles ou anthropiques.
- « Adaptation écophysiologique des animaux aquatiques au cours de l'ontogénèse » notamment leur capacité d'osmorégulation et leurs bases cellulaires et moléculaires.
- « Réponse immunitaire, aquaculture, environnement » : mécanismes cellulaires et moléculaires de la réponse immunitaire d'invertébrés marins d'intérêt aquacole.

Flux de matière et d'énergie et de leur influence sur le fonctionnement de l'écosystème marin

La thématique du transfert de matière aux interfaces du système côtier, selon l'axe schématique continent-plateau-pente, et son influence sur les grands cycles biogéochimiques marins est située au cœur des préoccupations du *Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin* (CEFREM, UMR 5110 CNRS/UPVD). Ses recherches s'intéressent particulièrement aux marges continentales (région immergée

du continent), régions de forte productivité affectées par les activités humaines à travers les apports de nutriments, de sédiments, de polluants et l'exploitation des ressources. Elles portent sur la dynamique des échanges d'eau, de particules et d'éléments associés entre l'hydrosphère continentale et celle marine. La connaissance des mécanismes de transfert permet d'aborder le devenir des polluants et l'impact des transferts sur le fonctionnement des écosystèmes. Les effets du changement climatique sont pris en compte à travers les modifications du régime des apports terrestres et la fréquence d'occurrence des tempêtes et des plongées d'eau dense. Focalisées sur la zone côtière méditerranéenne et son hydrosystème, ces recherches tiennent compte de la demande sociétale en matière de développement durable et d'impact anthropique sur le milieu marin.

L'étude prospective et rétrospective des apports continentaux (carbone, éléments nutritifs, matières en suspension) à la Méditerranée et de leur impact potentiel sur le fonctionnement des écosystèmes, vise à quantifier les apports terrestres selon leur provenance : érosion des sols et des roches, atmosphère, production biologique, rejets anthropiques et pollution. Ces recherches nécessitent la caractérisation du matériel et la connaissance des processus biogéochimiques intervenant au niveau de la mobilisation, du transport et de la sédimentation de cette matière. Le rôle des transferts fluviaux

dans le cycle du carbone est également évalué, et les transferts de polluants inorganiques et organiques quantifiés. Les polluants permettent alors une certaine traçabilité du devenir des apports terrestres en mer. Différentes échelles spatiales et temporelles sont abordées : du bassin versant jusqu'à l'ensemble de la Méditerranée, et de l'événement bref à la variabilité interannuelle.

La caractérisation biogéochimique du matériel transféré permet de déterminer les sources de ce matériel et de comprendre son devenir et son impact sur le milieu marin. L'origine et la nature de ce matériel se déterminent grâce à un ensemble de traceurs organiques et inorganiques spécifiques employés simultanément. Les parts respectives du matériel continental et marin dispersé et déposé sur les différents secteurs de la marge, sa transformation lors du transfert et son impact potentiel sur l'écosystème côtier sont identifiées. La variabilité spatiale et temporelle est prise en compte.

L'étude des processus physiques du transfert entre le plateau et l'océan profond vise à mieux comprendre certains processus hydrodynamiques favorisant les transferts de matière et d'énergie du plateau vers les domaines intermédiaires et profonds de la pente continentale, comme les écoulements gravitaires (plongées d'eau dense) et leur interaction avec la topographie sous-marine (canyons). Associée à la caractérisation de la matière particulière, l'étude des mécanismes de transfert vers la pente profonde

MEDIMEER :

MEDiterranean platform for Marine Ecosystem Experimental Research

Medimeer est mis en oeuvre depuis 2003 par l'UMR *Écosystèmes Lagunaires*, en bordure de la lagune de Thau (Sète) à proximité de la Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral (SMEL). Il permet deux types d'actions : Observations et Expérimentations. Les instruments de mesure (optique, station météo) permettent des observations en continu des variables climatiques (la température et le rayonnement solaire) qui peuvent servir pour évaluer les changements globaux dans l'environnement méditerranéen. Les facilités d'expérimentation en conditions contrôlées (mésocosmes) permettent de quantifier et qualifier les effets de ces variables sur les organismes aquatiques. De ce point de vue, ce dispositif est unique en son genre en Europe.

Cette plate-forme est équipée de mésocosmes immergés (pélagiques) qui permettent un confinement de masses d'eau significatives (>2 000 L) et la simulation contrôlée de forçages ; ceci autorise l'étude simultanée des réponses des communautés pélagiques (virus, bactéries, producteurs primaires, secondaires, filtreurs, etc.) et de l'ensemble des réseaux trophiques aux

forçages. Le Medimeer peut mettre en oeuvre des mésocosmes pélagico-benthiques (allant jusqu'à 50 000 L) afin de réaliser des expérimentations à l'interface des milieux pélagique et benthique en incluant des organismes de grandes tailles (e.g. huîtres, poissons). Il peut également servir de support pour des expérimentations en mésocosmes (1-20 L) pour étudier certains processus spécifiques (e.g. broutage). Il inclut également une centrale d'acquisition en continu de données de base pour les paramètres météorologiques et de mesure de la température et du rayonnement solaire, dans les longueurs d'ondes visibles (*Photosynthetically available radiation* : PAR, 400-700 nm) et dans l'ultraviolet B (280-320 nm) et l'ultraviolet A (320-400 nm). L'ensemble des équipements permet la simulation des changements globaux en augmentant la température de l'eau et les rayons UV B de façon continue dans les mésocosmes. Cette plate-forme sert de support à plusieurs projets du PNEC, des « Réseaux Trophiques Aquatiques » et fait partie des équipements mutualisés de l'IFR 129.

Contact : Bezhad Mostajir, bmostajir@univ-montp2.fr

permet d'appréhender les transferts et leur impact sur le fonctionnement des marges. Parmi les projets nationaux et internationaux associant le CEFREM,

- l'ORME (*Observatoire Régional Méditerranéen sur l'Environnement*) s'intéresse aux hydrosystèmes et aux transferts de matière et d'éléments au sein des systèmes aquatiques du Languedoc-Roussillon (continentaux et côtiers) ;
- le PNEC évalue l'influence des apports continentaux naturels et anthropiques sur la structure, le fonctionnement et l'évolution de la zone côtière en Méditerranée nord occidentale ;
- Hermes (*Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas*, 45 partenaires, 15 pays européens) étudie le fonctionnement des écosystèmes des marges continentales européennes, particulièrement des systèmes spécifiques et/ou sensibles ;
- Sesame (*Southern European Seas: Assessing and Modelling the changes in Ecosystems*, 50 partenaires) veut estimer les changements affectant les écosystèmes (principalement pélagiques) de Méditerranée et de la Mer noire et prédire les changements futurs possibles, sous différents scénarios climatiques.

Modélisation de l'environnement marin

L'Institut de Modélisation et d'Analyse en Géo-Environnements et Santé (EA 3678 Images, UPVD) a pour mission scientifique de quantifier (au moyen

de mesures et de modèles) l'évolution temporelle de notre environnement et son influence sur la santé.

Il a pour objectifs principaux :

- la modélisation morphodynamique des environnements sédimentaires littoraux et la quantification de la dynamique sédimentaire des marges et des bassins océaniques actuels ;
 - le développement de méthodes analytiques pour l'analyse et le suivi des polluants dans l'environnement et leur influence sur la santé ;
 - la quantification de l'évolution du cycle du carbone naturel et anthropique dans l'océan.
- Depuis le 1^{er} janvier 2007, il regroupe 3 laboratoires de l'UPVD : anciennement BioMem (*Bio-Analyse et Membranes*), BDSI (*Biophysique et dynamique des systèmes intégrés*) et Legem (*Laboratoire d'Études des Géo-Environnements Marins*). Depuis plusieurs années, les thèmes de recherche en géo-environnements (**objectif 1**) sont tournés vers l'étude de la sédimentation au niveau des marges et notamment celles du bassin méditerranéen. Cette activité s'inscrit dans les thèmes de recherche sur l'étude du Quaternaire et des environnements marins actuels.

L'orientation des recherches vers le domaine marin profond répond à la demande croissante des grands groupes industriels, notamment les compagnies pétrolières, et à celle des gestionnaires des espaces marins nationaux et européens. L'activité de recherche s'articule autour de deux axes majeurs :

(i) les environnements et paléo-environnements sédimentaires littoraux et (ii) la morphostructure et la dynamique sédimentaire des marges et des bassins océaniques actuels.

La recherche des polluants présents dans différents milieux (**objectif 2**) est une thématique d'un grand intérêt, que ce soit dans un but de contrôle ou pour l'étude du devenir de ces polluants (*voir chapitre 4*).

La quantification du CO₂ anthropique dans l'océan (**objectif 3**) constitue un sujet d'intérêt croissant, en particulier pour estimer l'évolution future de la pénétration du CO₂ dans l'océan et donc l'évolution probable du réchauffement climatique. L'expertise des mesures des paramètres du cycle du carbone dans l'eau de mer est acquise. La nécessité d'une capacité d'extrapolation à de grandes échelles implique la maîtrise de modèles.

L'activité de recherche dans ce domaine s'articule autour de deux axes : (i) Méthodes d'étude de la pénétration et du stockage du CO₂ anthropique dans l'océan et des propriétés des milieux aquatiques, (ii) Modélisation de la pénétration et du stockage du CO₂ anthropique dans l'océan.

IMAGES développe de nombreuses collaborations au plan régional, national et international, sur des financements de la Région, du CNRS et de l'Europe. ■



O. Barbaroux © Ifremer

Senneur industriel au large

Pêche : diagnostic *et appui à la gestion*

La surexploitation par la pêche entraîne sur les écosystèmes de profondes modifications qui ne sont pas toujours réversibles ; elle diminue leur productivité globale pour les pêcheries et amplifie l'impact de l'environnement sur les populations marines. La liste des changements observés dans les écosystèmes marins est longue et, aujourd'hui, ils ne peuvent plus être perçus comme de simples faits isolés. Leur étude est essentielle car les écosystèmes sont de nos jours reconnus comme étant l'échelle appropriée pour l'intégration des connaissances scientifiques et la gestion des ressources renouvelables.

Les engagements internationaux (la déclaration de Reykjavik de 2001, le sommet mondial de Johannesburg de 2002...) définissent les enjeux, en précisant les échéances pour lesquels les nations vont devoir mettre en oeuvre les approches écosystémiques dans l'exploitation des ressources vivantes. L'émergence de changements globaux, tel le changement climatique mais aussi la surexploitation des ressources renouvelables, dessinent un nouveau contexte, le plus souvent défavorable, car il compromet la sécurité alimentaire et le développement économique et social de nombreux pays, particulièrement les plus pauvres.

Les changements globaux sont la résultante d'une démographie croissante et d'une activité humaine en pleine expansion économique et dont les besoins en ressources renouvelables (agriculture, pêche) et non renouvelables (énergie) ne cessent de s'accroître. Ces activités humaines modifient de façon profonde notre environnement ainsi que ses capacités à fournir les biens et services dont nous dépendons, hypothéquant le potentiel de développement durable. À l'échelle de notre planète, nous commençons tout juste à quantifier certains changements à long terme d'ordre climatique ou encore liés à la perte de la biodiversité et des capacités de renouvellement des ressources marines. On peut assimiler cela à une expérience à l'échelle de la planète dont on évalue encore mal l'ampleur et les impacts sur les écosystèmes marins ainsi que les enjeux à venir. Dans ce contexte, il est légitime de s'interroger sur les conséquences des changements globaux sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes marins. Quels sont la vitesse et le degré du changement ? Quel est le degré de réversibilité des phénomènes observés ? S'agit-il d'une simple superposition d'effets ou bien ces effets peuvent-ils se combiner de manière synergique et précipiter certaines dynamiques ? Comment peut-on concilier développement durable et changements globaux ?

La recherche doit alors contribuer à développer les connaissances qui permettront de mettre en place une approche écosystémique pour l'exploitation des ressources marines. Elle a pour objectif de réconcilier conservation et exploitation, c'est-à-dire maintenir des activités d'exploitation et de développement tout en assurant la viabilité de long terme des ressources marines.

Philippe Cury (CRH, IRD, Ifremer, UM2)

Pêche : diagnostic et appui à la gestion

Dans le contexte du changement climatique et de la surexploitation, il est important de définir et de garantir des pratiques pour une pêche dite responsable dans un cadre écosystémique. La prise en compte de la conservation des systèmes aquatiques, objectif primordial, passe par la protection des ressources aquatiques et de leur environnement ainsi que le respect de la biodiversité.

Le Centre de Recherche Halieutique pour une approche écosystémique des pêches

Sur le plan international, différentes initiatives font date et illustrent l'intérêt croissant porté à ces thèmes : Convention des Nations Unies sur de Droit de la Mer (1982), Code de conduite pour une pêche responsable de la FAO (1995), Symposium international de Montpellier sur le thème 'Ecosystem Effects of Fishing' (1999), Conférence de Reykjavik (2001). La Déclaration de Reykjavik, signée par 47 états, a permis une reconnaissance internationale de l'opportunité de développer les AEP (Approche Ecosystémique des Pêches). Un guide pratique a été élaboré (consultation d'experts FAO, 2002) et le sommet mondial sur le développement durable de Johannesburg (2002) a ensuite encouragé fortement l'application de l'approche écosystémique dans la gestion des pêches à l'horizon 2010. En 2004, le Symposium 'Quantitative Ecosystem Indicators for Fisheries Management' organisé par le Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale de Sète (CRH, Ifremer, IRD, UM2) a permis aux scientifiques de 53 pays de faire le point sur l'avancement des recherches sur les indicateurs écosystémiques. La prochaine étape est celle de la mise en œuvre sur le terrain de cette dynamique pour que l'AEP dépasse le niveau des discours et devienne une réalité opérationnelle.

Créé en 2001, le CRH est une structure de recherche spécialisée sur les milieux marins méditerranéens et tropicaux et leurs ressources halieutiques.

Il développe des recherches intégrées pluridisciplinaires pour une approche écosystémique des pêches. Les thématiques abordées et les compétences mobilisées font appel à l'écologie marine, les modélisations couplées physique/biogéochimie/ressources halieutiques, les interactions trophiques, la dynamique des populations exploitées et des pêcheries, l'évaluation des stocks, la technologie des pêches, les systèmes d'information, les indicateurs et les techniques de traçabilité (isotopes stables).

De nombreux outils, systèmes d'information dynamiques et modèles ont été développés pour mieux comprendre la complexité des écosystèmes marins : modèles hydrodynamiques côtiers, modèles individus-centrés, SIG géoréférencés, etc. Néanmoins, leur application aux problèmes scientifiques ou aux questions d'aménagement ne fait que commencer. Il s'agit de prendre en compte les diverses composantes de la pêche depuis les ressources jusqu'à leurs marchés. Il est important de pouvoir combiner les savoirs biologiques, écologiques et économiques, divers outils (SIG et indicateurs) et les modélisations. C'est ce que rend possible l'Ecoscope développé par le CRH.

Quatre thèmes de recherche sont principalement développés :

- Les indicateurs écosystémiques permettent de quantifier, simplifier et traduire les résultats de la recherche obtenus sur la structure, le fonctionnement des écosystèmes et leur exploitation.
- La gestion spatiale de l'effort de pêche et des interactions écologiques intéresse les pêcheries du Nord et



Locaux CRH de Sète

P. Brehmer © IRD

du Sud. L'étude des variations des distributions spatiales en fonction de l'abondance de la ressource, de l'environnement et de l'activité anthropique seront complétées par celles des relations entre densité en poisson et prise par pêche en faisant référence aux termes d'accessibilité à la ressource, de types d'agrégation des poissons et de leur capturabilité.

■ La modélisation des écosystèmes et de leur exploitation permet une meilleure compréhension et prédiction des dynamiques de systèmes complexes. Elle permet d'explorer de nombreuses hypothèses et processus écologiques importants pour l'exploitation et la compréhension des interactions au sein des écosystèmes.

■ Les systèmes d'information halieutique constituent un outil pour l'étude des dynamiques dans le secteur des pêches (notamment la gestion) et de l'aquaculture. Les approches écosystémiques imposent de représenter, comprendre et synthétiser les interactions spatiales et les interactions entre les différentes composantes des écosystèmes.

La recherche française halieutique et en écologie marine possède des atouts en Méditerranée et dans

les zones tropicales car elle peut afficher :

- Une recherche couplée à une démarche évaluation-expertise pour l'aménagement des ressources ;
- Une forte implication dans les évaluations des pêcheries d'Europe (Ifremer) et des pays du Sud (IRD) ;
- L'expérience de l'UM2 dans le domaine de la formation ;
- Une zone d'activité mondiale avec des programmes de recherche en halieutique à large spectre d'écosystèmes allant des zones lagunaires, les stocks très côtiers jusqu'aux grands pélagiques des eaux tropicales ;
- La reconnaissance d'une approche AEP qui prend en compte les différentes composantes de l'écosystème ;
- La maîtrise de nombreux outils méthodologiques, systèmes d'information, modèles et définition d'indicateurs écosystémiques des pêches, etc. ;
- Des compétences pluridisciplinaires diverses.

Avec une implantation commune en Méditerranée à Sète au CRH, les organismes de recherche ont d'ores et déjà une base bien équipée, visible et attractive au plan national et à terme international, ouverte aux partenaires du Sud comme du Nord. ...

Les principales équipes

CRH
Centre de Recherche Halieutique
méditerranéenne et tropicale
(IRD, Ifremer, UM2)

52 scientifiques

Directeur : Philippe Cury,
philippe.cury@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

HMT
Laboratoire Ressources
Halieutiques Sète
(Ifremer)

14 scientifiques

Directeur : Gildas Le Corre,
gildas.le.corre@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

UR 109 Thetis
THons tropicaux et Écosystèmes
pélagiques : Taxies, Interactions
et Stratégies d'exploitation
(IRD)

19 scientifiques

Directeur : Francis Marsac,
marsac@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

US 007 Osiris
Observatoire et systèmes d'information
des pêches tropicales
(IRD)

12 scientifiques

Directeur : Pierre Chavance,
Pierre.Chavance@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

... suite page 24

L'ECOSCOPE, outil scientifique pluridisciplinaire du CRH



L'Ecoscope est un projet intégrateur qui vise à thésauriser, articuler, restituer les savoirs acquis dans le domaine de l'approche écosystémique des pêches à partir de travaux réalisés par les institutions membres et leurs partenaires dans le domaine des écosystèmes marins exploités tropicaux et méditerranéens.

L'approche retenue consiste à mettre progressivement en place un dispositif pour faire circuler le savoir parmi les contributeurs, en l'enrichissant « au passage », d'une valeur ajoutée issue de l'intégration et de l'articulation. Le dispositif en question traitera des aspects suivants :

- la mobilisation des savoirs (accueil, communication)
- leur conservation et intégration (données, informations, connaissances)
- leur articulation/intégration (méthodes, modèles, théories)
- leur restitution/diffusion (synthèse, vulgarisation, diffusion)

Le projet est développé en plusieurs phases. La mise en place a été réalisée en 2004 avec des actions liées à la conceptualisation, le recueil des besoins, l'organisation d'une assurance qualité, etc.

Après avoir été validé, le projet est entré dans une phase de faisabilité de deux ans, visant à explorer les aspects méthodologiques. En 2007, l'Ecoscope est en cours de développement autour d'études de cas, principalement le Golfe du Lion et les systèmes d'*upwelling*.

L'apport de l'Ecoscope se traduira par la restitution d'une perception intégrée de tout ou partie d'un écosystème marin, à partir de savoirs diversifiés proposés par une communauté de chercheurs spécialistes. Outre l'obtention de bénéfices partagés en termes de conservation, capitalisation et restitution intégrées et documentées, la mutualisation des savoirs devrait permettre des avancées dans le domaine de l'approche écosystémique des pêches comme la reconnaissance de dénominateurs communs, l'identification du rôle et de la place de la diversité des approches et des savoirs, la mise à disposition d'un milieu original pour l'échange des idées, la formation des partenaires, la sensibilisation des jeunes aux problèmes écologiques...

**Contacts : Philippe Cury, Philippe.Cury@ird.fr
Laurence Vicens, Laurence.Vicens@ird.fr**

Pour plus d'informations,
http://ecoscope.org/index_CI.htm
Site CRH : www.crh-sete.org

Ressources halieutiques : évaluation et appui à la gestion en Méditerranée

La thématique halieutique de l'Ifremer a pour objectif de disposer à court terme de moyens et méthodes scientifiques pour assurer un équilibre des pêcheries et une préservation des habitats, des écosystèmes et de la biodiversité. C'est dans ce contexte que le *Laboratoire Ressources Halieutiques de Sète* (Ifremer) a pour responsabilité la façade méditerranéenne, ce qui l'amène à travailler avec les acteurs locaux, professionnels et institutionnels des trois régions.

La finalité de ses recherches est de fournir des diagnostics sur l'état de la ressource, en réponse à la demande des instances régionales, nationales et communautaires, et de proposer des scénarios pertinents pour la gestion des pêcheries dans une optique de développement durable.

Les compétences du laboratoire correspondent à plusieurs disciplines de l'halieutique : biologie animale, biologie des populations et écologie, dynamique des populations exploitées, technologie des pêches,

acoustique appliquée. D'autres compétences ou disciplines peuvent être mobilisées grâce à des collaborations régionales avec d'autres unités de l'Ifremer.

Les actions du laboratoire se regroupent en trois domaines :

- Des activités d'observation et d'aide à la gestion des pêcheries ; elles concernent les ressources halieutiques, les milieux ainsi que les entreprises qui les exploitent. Il s'agit de gestion de réseaux de suivi et de collecte d'informations, de réalisation d'analyses pour produire les diagnostics et recommandations utilisés dans le cadre de l'expertise institutionnelle, et du développement technologique d'outils d'investigation innovants.

- Le développement de l'AEP vise à faire évoluer les modalités de la gestion des pêches en intégrant un ensemble de déterminants et d'interactions actuellement non pris en compte dans l'analyse des pêcheries. Cette démarche est initiée sur les lagunes côtières du Languedoc-Roussillon, sur la pêcherie multi-spécifique du golfe du Lion et sur les populations de thon rouge.

Autres équipes concernées par ce thème

UMR 5119 ECOLAG
Écosystèmes Lagunaires
(UM2, CNRS, Ifremer)
59 scientifiques
Directeur : Marc Troussellier,
troussel@univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 37 19

UR 070 RAP
**Réponses adaptatives des populations
et des peuplements de poissons
aux pressions de l'environnement**
(IRD)
10 scientifiques
Directeur : Raymond Lae
raymond.lae@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)2 98 22 44 34

UR 097 ECO-UP
**Structuration et fonctionnement
des écosystèmes d'upwelling exploités :
analyses comparatives en vue d'une
approche écosystémique**
(IRD)
13 scientifiques
Directeur : Pierre Fréon,
pierre.freon@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 02



Remontée d'un thon dans la « Matanza ».

O. Barbaroux © Ifremer

■ L'étude du réseau trophique d'un prédateur supérieur s'intègre dans un programme sur le devenir des contaminants en domaine marin. Les méthodes de traceurs isotopiques appliquées au modèle Merlu permettent d'obtenir des résultats en termes de flux de matière, mais également sur le comportement des individus et de la population dans son habitat.

Les objets d'études concernent les ressources démersales*, petits pélagiques et grands pélagiques, exploitées par les pêches de « petits métiers », de chalutage et de thoniers-senneurs.

Le laboratoire développe de nombreux partenariats régionaux, nationaux et internationaux, scientifiques et

institutionnels. Citons en France, sans être exhaustif, le CEFREM, le CNRS, l'EPHE, l'Inra, l'IRD et, en Europe, le CSIC-ICM (*Consejo Superior d'investigaciones científicas/Institut de Ciències del Mar de Barcelona*) et l'IEO (*Instituto Español de Oceanografía*), le Cefas (*Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science*) en Grande Bretagne, plusieurs universités italiennes (Bari, Gènes, Pise), la FAO, etc.

Des collaborations existent également avec des institutions scientifiques du Maghreb (INRH, Institut National de Recherche Halieutique, Maroc et INSTM, Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, Tunisie). Des partenariats sont également développés régionalement avec les organisations professionnelles.

L'Ifremer dispose d'un navire de façade « NO. L'Europe » (29 m) qui réalise en mer Méditerranée des missions diverses, liées notamment à la recherche halieutique et à l'environnement littoral. Les missions halieutiques concernent les chalutages démersaux (jusqu'à 1 300 mètres), pélagiques et expérimentaux, l'évaluation des ressources par des capteurs acoustiques, le déploiement d'engins dormants (filets maillants, palangres, casiers...). Le laboratoire dispose également de plusieurs bateaux d'intervention en petits fonds pouvant être équipés de capteurs acoustiques. ...

* Espèces qui vivent sur le fond ou à son voisinage, sans pour autant en être complètement dépendant dans l'accomplissement des fonctions biologiques.

Observatoires et systèmes d'information des pêches tropicales

L'unité de service *Observatoire et systèmes d'information des pêches tropicales* (US07 Osiris, IRD) a pour objectif principal de contribuer à la création ou au renforcement des dispositifs d'observation et d'information sur les ressources et les exploitations.

L'unité est organisée en quatre compétences :

■ **Dispositif d'observation** : les systèmes étudiés ou mis en œuvre pour objet de la récolte de données sur l'effort de pêche et sur la capture (quantité, composition spécifique et en tailles). D'autres types de données concernent la description de l'environnement physique et du contexte socio-économique.

■ **Technologie et outils de l'information** : il s'agit de concevoir des outils informatiques au service de la collecte, de la conservation, de la gestion, du traitement et de la diffusion des données halieutiques de l'unité et de ses partenaires.

■ **Évaluation et synthèses** : l'objectif est de contribuer à l'analyse des données sur les ressources et sur les pêcheries dans le contexte des écosystèmes. Il s'agit de mettre en œuvre de façon pratique et opérationnelle des outils d'analyse monospécifique, écosystémique et halieutique. Les résultats sont synthétisés sous forme de cartes ou d'indicateurs comme les indices d'abondance.

■ **Théorie et prospective** : l'objectif est d'entretenir une réflexion sur diverses questions théoriques, conceptuelles, éthiques ou déontologiques associées à l'information dans le domaine des pêches (relation « données-information-connaissance », nature de la demande, confidentialité des données, statut de l'information, relation entre systèmes d'information publics et circuits de l'information des acteurs privés...).



1

Son implantation principale est au CRH de Sète, avec des implantations secondaires à Brest, au Sénégal (IRD Dakar), et aux Seychelles (*Seychelles Fishing Authority*). L'unité dispose de partenariats diversifiés au niveau national et international comme ceux avec différentes équipes de l'IRD, notamment Thetis (UR109) dans le cadre du maintien et de la gestion des systèmes de suivi des pêches thonières françaises (Observatoire Thonier).

Parmi les projets importants auxquels participe l'unité, citons les projets européens Ecocost (*Ecosystems, Societies, Consilience, Precautionary principle: development of an assessment method of the societal cost for best fishing practices and efficient public policies*, 9 partenaires du Sud) et Istam (*Improving scientific and technical advances for fisheries management*) portant sur la façade ouest africaine. Des chantiers sont mis en œuvre en Afrique (Guinée, Mauritanie, Sénégal, Madagascar, Seychelles), aux Antilles et en Asie. ...

Un outil pour le suivi de l'écosystème côtier guinéen



2



3



4

En République de Guinée, la production de ressources marines (productivité de l'écosystème) est principalement réalisée dans la zone côtière, les estuaires et les mangroves, où les juvéniles de poisson trouvent nourriture et abri avant de peupler la haute mer. Pour permettre une bonne gestion de la ressource, il faut pouvoir contrôler les bonnes conditions de développement de ces ressources. Ceci nécessite la mise en place d'un système de suivi qui soit (i) régulier et de long terme, donc peu coûteux et (ii) réalisé de façon scientifique et pluridisciplinaire afin de disposer de données fiables et représentatives. Sur la base d'une collaboration entre l'unité Osiris (IRD) et deux institutions de recherche guinéenne, le Cerescor (Centre d'Études et de Recherches Scientifiques de Conakry-Rogbané) et le CNSHB (Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoira), un système complet (logistique et méthodologique) a été élaboré pour permettre un suivi prenant en compte ces contraintes. L'accès aux petits fonds côtiers se fait grâce à une barque en polystyrène équipée (GPS, sondeur, filets variés, etc.), avec l'appui d'une pirogue locale dans laquelle est installé le matériel d'hydrologie (suivi à poste fixe de 24 h). Les suivis sont réalisés par une équipe pluridisciplinaire de chercheurs guinéens. Des prélèvements de plusieurs types sont réalisés à chaque station : caractéristiques de l'eau et des courants, analyse du benthos (principale source de nourriture), inventaire de la ressource, étude de différents types de plancton (source de nourriture et milieu de vie des larves de poisson). Ce dispositif (méthodes, outils et compétences) a ainsi permis le suivi régulier de l'écosystème côtier prenant en compte toutes les dimensions de la productivité des zones estuariennes guinéennes.

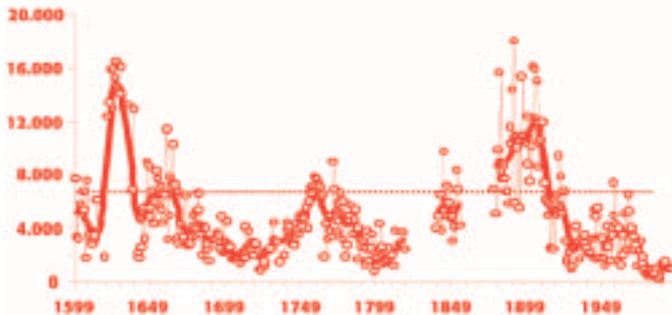
1. (médaillon) Barques de pêche, Cap Vert
2. Poissons de l'ouest africain
3. Filet tournant en Guinée
4. Marché au poisson en Guinée

Contact : Jean Le Fur, lefur@ird.fr

Pour plus d'informations, www.mpl.ird.fr/webblefur/indexG.htm

Des projets de recherche pour évaluer l'état des ressources halieutiques

indice abondance



Série temporelle - indice d'abondance du thon rouge

Dans les organisations régionales des pêches, Ifremer participe aux diagnostics scientifiques sur l'état des stocks et l'adéquation des niveaux de production avec une exploitation durable. Cette responsabilité d'expertise, assumée par des groupes de travail internationaux, s'appuie sur les données statistiques caractérisant l'activité des pêcheries et sur les connaissances sur les espèces acquises par des projets de recherche.

Ainsi, Ifremer et l'IRD sont impliqués conjointement dans la CICTA/ICCAT – Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique. Les travaux scientifiques de reconstitution d'une série d'abondance du Thon Rouge sur plus de 300 ans, établie à partir des données historiques des madragues, permettent de mieux comprendre la dynamique de l'espèce à grande échelle. D'autres projets de recherche, tels que FADIO (*Fish Aggregating Devices as Instrumented Observatories of pelagic ecosystems*) qui a étudié les processus d'agrégation sous les dispositifs de concentration de poissons) ou le marquage électronique de thons en cours de réalisation dans le cadre du programme européen *Data Collection Régulation* par les pays européens de Méditerranée, ont pour objectifs de progresser sur le comportement individuel des espèces.

Contact : Gildas Le Corre, gildas.le.corre@ifremer.fr

Un programme international pour étudier l'agrégation des thons tropicaux aux objets flottants

Le programme européen FADIO (*Fish Aggregating Devices as Instrumented Observatories of pelagic ecosystems*), financé par la DG Recherche de la Commission européenne, vient de se terminer. Il était coordonné par l'IRD (UR 109 Thetis) et a développé la majorité de ses activités de terrain à partir des Seychelles. Ce programme avait deux objectifs :

- (1) développer des prototypes de nouveaux instruments (marques électroniques et bouées instrumentées) pour observer de manière directe les mouvements des thons tropicaux et
- (2) collecter les premières informations sur leur comportement autour des objets flottants dérivants.

En effet, plus de la moitié des captures mondiales de thons tropicaux proviennent de pêches autour de ces objets flottants appelés DCP (Dispositifs Concentrateurs de Poissons) ; or ni la raison ni les conséquences de ce comportement agrégatif ne sont encore élucidées. Le partenariat fort de l'IRD et de la SFA (*Seychelles Fishing Authority*) a ainsi permis aux autres membres de l'équipe (Espagne, Norvège, Grèce, Belgique, USA) de mener des recherches pointues en éco-éthologie marine dans l'océan Indien. La position privilégiée des Seychelles, au centre de l'activité thonière de l'océan Indien, a ainsi facilité le succès de cinq campagnes océanographiques avec l'utilisation de nombreux outils modernes d'observation : marquages électroniques divers, échosondeurs et sonars, caméras, hydrophones...

Contacts : Laurent Dagorn, dagorn@ird.fr
et Francis Marsac, marsac@ird.fr
Pour plus d'informations, www.fadio.ird.fr

Radeau agrégatif dérivant vu de dessous.

M. Taquet © Fadio, IRD-Ifremer



Évaluation et suivi de l'impact de l'exploitation halieutique sur la biodiversité des milieux estuariens et côtiers ouest africains



Pêche expérimentale à la senne tournante dans l'estuaire du Sine Saloum, (Sénégal).

Dans le cadre du Programme Régional de Conservation Marine, développé au sein de la Commission Sous Régionale des Pêches (Guinée, Guinée Bissau, Sénégal, Gambie, Mauritanie, Cap Vert), l'UR RAP (IRD) et ses partenaires évaluent l'impact de la pêche artisanale sur la biodiversité, les ressources et les écosystèmes estuariens et côtiers (projet soutenu par l'Agence Universitaire de la Francophonie). La réponse des peuplements au stress halieutique est complexe et passe par la compréhension des réponses à différentes échelles de l'organisation biologique : individus, populations et peuplements. Ces différentes réponses constituent un outil essentiel pour les scientifiques et les décideurs chargés de la gestion des ressources aquatiques exploitées. L'utilisation d'indicateurs biologiques de l'état des peuplements et des populations doit permettre d'établir un diagnostic de l'état des peuplements de poisson comme de leur écosystème.

Dynamique et exploitation d'écosystèmes hauturiers

Le programme de l'UR THETIS *Thons tropicaux et Écosystèmes pélagiques : Taxies, Interactions et Stratégies d'exploitation* (UR109, IRD) s'intéresse aux écosystèmes tropicaux de haute mer. Il s'agit de comprendre comment la variabilité climatique, et notamment les changements climatiques globaux, peuvent affecter le fonctionnement de ces écosystèmes. Parallèlement à ces forçages naturels, la pression de pêche croissante peut entraîner des modifications structurelles sur les écosystèmes pélagiques. Dans le domaine pélagique hauturier, les pêcheries thonières constituent un exemple très bien documenté dans tous les océans depuis le milieu du 20^{ème} siècle pour étudier les réponses des populations à cette exploitation croissante et diversifiée (multi-engins, multispécifique et en mutation permanente au plan des technologies).

L'objectif de THETIS est de comparer la dynamique et l'exploitation d'écosystèmes régionaux hauturiers en vue d'une régionalisation des

mesures d'aménagement des pêcheries. L'élaboration d'indicateurs est l'un des moyens privilégiés retenus pour résumer la complexité des interactions et élaborer des outils de décision et de gestion.

Trois questions scientifiques fondamentales permettent d'en cerner le domaine thématique :

- Quels sont les processus physiques et biologiques agissant sur la structuration spatio-temporelle d'une ressource migrante ?
- Quelles sont les tactiques et stratégies développées par les pêcheurs pour s'adapter au caractère agrégé de cette ressource ?
- Quels sont les effets conjoints de l'environnement et de l'exploitation sur la structure et la dynamique des écosystèmes hauturiers ?

Pour aborder ces différentes questions, le projet est structuré en 5 thèmes de recherche :

- Grégarisme et agrégation aux dispositifs de concentration de poissons ;
- Distribution, mouvements et habitats des prédateurs ;
- Interactions ressource - pêcheurs ;
- Réponses de l'écosystème pélagique à la variabilité du climat et à la pêche ;

Les partenaires du projet ont réalisé des études écologiques et halieutiques sur les principaux écosystèmes de la région (campagnes scientifiques, suivi des pêches commerciales, évaluation directe de l'abondance et de la répartition des peuplements par acoustique).

Après inventaire des données, une première sélection a été faite sur des systèmes assez documentés et présentant des niveaux de perturbation significativement différents :

- Guinée : baie de Sangareyah, estuaires de la Fatala et du Konkouré
- Guinée Bissau : archipel des Bijagos, Rio Grande de Buba
- Gambie : estuaire de la Gambie
- Sénégal : estuaires de la Casamance, du Sine Saloum, du Sénégal
- Mauritanie : zone exploitée du Banc d'Arguin, zone non exploitée du Banc d'Arguin
- Cap Vert : zone côtière

Une liste préalable d'environ 40 indicateurs a été proposée, classés en 7 catégories : capacité d'accueil du milieu, abondance et/ou biomasse, composition spécifique, tailles, facteurs trophodynamiques, traits de vie et exploitation. Il a été convenu d'ajouter une catégorie d'indicateurs environnementaux, et de définir, expliciter ou renommer certains indicateurs particuliers, tels que les interfaces, le débit, la turbulence, la dominance, etc. À terme, les résultats de ce projet doivent mener à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision en matière de diagnostic et de pilotage des activités halieutiques.

Contact : Raymond Lae, raymond.lae@ird.fr
Pour plus d'informations : www.prcmarine.org

- Modélisation des écosystèmes et simulations.

L'Océan Indien constitue le chantier principal de Thetis, avec des personnels en poste à La Réunion et des actions de recherche conduites aux Seychelles, à la Réunion et dans le Canal de Mozambique.

Des collaborations internationales sont développées avec des institutions en Europe (Espagne : IEO, Université de Las Palmas, Commission Internationale pour la Conservation des Thons Atlantique ; Suède : *Institute of Marine Research* ; Belgique : Université Libre de Bruxelles), aux États Unis (Université d'Hawaï), Australie (CSIRO), Afrique (SFA aux Seychelles ; Madagascar : Institut Halieutique et des Sciences Marines ; Afrique du Sud : Université de Cape Town, *Marine Coastal Management* ; Commission des Thons de l'Océan Indien), en Asie (Maldives : *Marine Research Centre*) et au Mexique. Parmi les collaborations nationales, le Centre d'Étude Biologiques de Chizé, l'Ifremer, l'Institut Universitaire Européen de la Mer, l'UPMC, le MNHN, l'Université Sophia Antipolis, l'Université de La Réunion, etc. ■





M. Legendre © IRD

***Pisciculture en cages flottantes
sur le lac de barrage de Cirata (Java ouest, Indonésie).***

Aquaculture : *enjeux et évolutions*

La production mondiale d'aquaculture était de 4 millions de tonnes en 1970. Elle a connu une croissance soutenue depuis 1980, pour dépasser en 2003 les 50 millions de t. (végétaux inclus). Cette croissance est parmi les plus élevées des productions alimentaires et dépasse aujourd'hui celle des volailles et des porcins. La contribution de l'aquaculture à l'alimentation humaine est passée de moins de 1 kg/habitant/an dans les années 1970, à plus de 6 kg en 2005. Cette évolution contraste fortement avec celle des captures liées à la pêche dont les débarquements stagnent, voire régressent, depuis une dizaine d'années à un niveau situé entre 90 et 95 millions de tonnes. Les productions aquacoles proviennent pour 50% de la mer (principalement mollusques et végétaux aquatiques), pour 45% des eaux douces (principalement poissons) et pour 5% des eaux saumâtres (principalement crevettes). Les espèces élevées sont nombreuses : plus de 220 espèces animales et

végétales recensées en 2002, dont 25 assurent 90% de la production.

Le « boom » aquacole de ces 20 dernières années est surtout le fait des pays en développement et émergents (90%) avec une part prépondérante de l'Asie et en particulier de la Chine (71%). La contribution des pays développés est passée de 42% en 1973 à 9,2% en 2003. Par ailleurs, ce « boom » résulte pour l'essentiel de productions déjà bien établies dans les années 1970 : poissons d'eaux douces, principalement en étangs, et mollusques en zones côtières. Les deux espèces les plus élevées dans le monde en 2004 étaient l'huître japonaise et la carpe argentée. Les productions, plus récentes, de poissons marins et de crustacés en eaux saumâtres sont encore inférieures en volume, même si leur part en valeur est plus élevée ; poissons marins, salmonidés et crustacés représentaient en 2003 14% de la production totale en volume et 40% en valeur.

La pisciculture d'eau douce (45% de la production aquacole totale) présente des caractéristiques spécifiques. Elle permet une forte intégration aux systèmes de production agricoles (agriculture et élevage) grâce à une utilisation partagée de l'eau, au recyclage des déchets et effluents d'élevage comme fertilisants des étangs de pisciculture, ou à l'utilisation de sous-produits agricoles bruts comme aliments pour le poisson. Elle repose principalement sur des espèces à chaîne alimentaire courte (carpes, tilapias, etc.). Elle est surtout mise en œuvre à travers des systèmes de production extensifs et semi-intensifs au sein desquels la polyculture, la fertilisation et l'alimentation complémentaire constituent les éléments de base. Cependant, depuis une vingtaine d'années, se sont développés à très grande échelle, essentiellement en Asie du Sud-Est, des élevages intensifs d'espèces dulçaquicoles en cages flottantes dans le contexte global de l'intensification des productions agricoles.

La pisciculture d'eau de mer est surtout basée sur des poissons carnivores à chaîne alimentaire longue et réalisée dans des systèmes de production intensifs ou semi-intensifs en cages flottantes. Les espèces se répartissent en deux groupes selon le degré de maîtrise de leur cycle d'élevage : celles dont l'élevage est entièrement contrôlé (bar, daurade, salmonidés) et celles dont le grossissement est pratiqué à partir d'alevins pêchés dans le milieu naturel (sériole, thon).

À l'heure actuelle, l'aquaculture dispose encore d'une bonne marge de progression (estimée entre 4 à 5% par an d'ici 2020), ce qui fait émerger les enjeux suivants.

■ **La qualité des milieux** joue un rôle considérable en aquaculture, surtout en conchyliculture, forme d'élevage qui constitue l'une des valorisations les plus durables de la productivité écologique des zones côtières. Une relance des recherches en écotoxicologie et écopathologie pour comprendre et maîtriser des phénomènes tels que la production de toxines par des blooms d'algues et la bioconcentration de polluants, apparaît fondamentale.

■ **Les recherches sur l'alimentation des systèmes** aquacoles intensifs devront à la fois viser à réduire l'impact des rejets par une meilleure efficacité de l'aliment et de son utilisation, et anticiper une inévitable réduction des ressources en huiles et farines de poissons, tout en préservant la qualité des produits. Concernant ce dernier point, les solutions alternatives feront appel, d'une part à la diversification des apports en protéines (notamment par incorporation de produits d'origine végétale) et, d'autre part, à des procédés de bioconversion de déchets agro-industriels.

■ **La lutte contre les bioagresseurs**, aspect important de l'aquaculture, en particulier quand elle est intensive, devra privilégier des approches mettant en œuvre les capacités de

résistance naturelle (améliorées par la sélection génétique) et l'induction de mécanismes de défense non spécifiques combinées à des approches écopathologiques.

■ **La promotion de systèmes de production durables**, au-delà de la viabilité économique et de la maîtrise des impacts environnementaux, aura à prendre en compte les attentes et les besoins des citoyens-consommateurs, y compris dans la dimension d'une activité « équitable ».

■ **La pisciculture d'eau douce d'espèces de faible valeur** (#1 USD/kg) demeurera une composante majeure de l'aquaculture, notamment dans les pays en développement et émergents. L'intensification raisonnée de ces systèmes constitue un enjeu considérable et complexe dans la mesure où il devra combiner des savoir-faire traditionnels et démarches scientifiques (nutrition, écologie, limnologie, génétique, sociologie, etc.).

■ **La domestication de nouvelles espèces indigènes** d'intérêt aquacole constitue un enjeu important de l'aquaculture du futur. Elle permettra, entre autres, par le bouclage en captivité du cycle biologique des espèces, de s'affranchir du prélèvement de juvéniles dans le milieu naturel et de mettre en place des programmes d'amélioration génétique. Elle constitue de plus le meilleur rempart aux introductions d'espèces exotiques et permet la diversification des productions, objectif permanent des pisciculteurs, notamment des PED où le poisson représente une source essentielle de protéines. Cette démarche devra s'accompagner d'une gestion attentive des ressources génétiques, tant au sein des populations d'élevage qu'en termes d'impact sur les populations naturelles.

■ **Enfin, l'amélioration génétique** constituera un point déterminant pour le développement de l'aquaculture comme dans toutes les filières terrestres. Les espèces élevées aujourd'hui disposent en effet d'un important et prometteur potentiel de sélection et d'adaptation (à des milieux et/ou à des situations particulières d'élevage aquacole) car elles sont peu ou pas domestiquées. Les caractères concernés par l'amélioration génétique sont nombreux (capacités d'adaptation, croissance, rendement, qualité de la chair, résistance à certains pathogènes, stérilité etc.) et les méthodes diversifiées (sélection, polyploidisation, monosexage etc.). Le progrès génétique aura des implications majeures pour l'avenir des filières car il a un impact direct sur l'économie, la qualité du produit, le respect de l'environnement (la stérilisation permet de préserver la biodiversité en limitant la contamination des populations sauvages) et l'éthique animale par l'amélioration du bien-être des animaux.

Jérôme Lazard (UPR 20, Cirad),
Béatrice Chatain (BOME, Ifremer)
et Marc Legendre (UR 175, IRD)

Aquaculture : enjeux et évolutions

Les principales équipes

BOME
Département « Biologie
des Organismes Marins Exploités »
(Ifremer)
28 scientifiques
Directrice : Évelyne Bachère,
evelyne.bachere@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 67 13 04 58

UMR 7628
Modèles en biologie cellulaire
et évolutive
(CNRS, UPMC)
17 scientifiques
Directeur : Gilles Boeuf,
gilles.boeuf@obs-banyuls.fr
Fax : +33 (0)4 66 88 73 98

UMS 2348 - École Interne E138
UPMC – Observatoire océanologique
de Banyuls-sur-Mer
(CNRS, UPMC)
35 scientifiques
Directeur : Philippe Lebaron,
lebaron@obs-banyuls.fr
Fax : +33 (0)4 68 88 16 99

UPR 20
Aquaculture et gestion
des ressources aquatiques
(Cirad)
8 scientifiques
Directeur : Jérôme Lazard,
jerome.lazard@cirad.fr
Fax : +33 (0)4 67 16 64 40

UR 175 Caviar
Caractérisation et valorisation
de la diversité ichtyologique pour une
aquaculture raisonnée
(IRD)
14 scientifiques
Directeur : Marc Legendre,
Marc.Legendre@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)4 67 16 64 40

... suite page 36

Aquaculture et gestion des ressources aquatiques dans les pays du Sud

Depuis 10 ans, la production de l'aquaculture, réalisée pour l'essentiel en zone tropicale, progresse d'environ 15% par an alors que celle de la pêche stagne ou régresse. L'aquaculture tropicale est donc amenée à l'avenir à produire plus et, pour répondre à la demande, produire mieux.

En Afrique subsaharienne (production aquacole très faible), le Cirad a longtemps focalisé ses activités sur les aspects biotechniques de la pisciculture des tilapias du genre *Oreochromis* et de diverses espèces africaines (*Clarias gariepinus*, *Heterotis niloticus*, etc.). Désormais, il met l'accent sur des thématiques socio-économiques tels les déterminants de l'innovation destinés à accompagner les dynamiques de développement.

Au Brésil, la coopération porte sur le développement durable de la pisciculture dans ses dimensions de gouvernance et d'impact sur l'environnement. Les thèmes développés dans le bassin du Mékong sont axés sur la domestication d'espèces autochtones d'intérêt aquacole (*Pangasius spp.*) et l'optimisation des filières d'élevage.

Aux Philippines, le Cirad répond à une demande forte sur l'aquaculture côtière à la fois sur le plan de l'analyse

des systèmes de production et de leurs dynamiques, sur la mise au point d'une souche de tilapia adaptée à l'élevage en eau saumâtre et sur la construction de la qualité tout au long de la filière aquacole.

Dans ce cadre, l'unité propre de recherche Aquaculture et gestion des ressources aquatiques (UPR20, Cirad) dispose d'un réseau de chercheurs et de partenaires en Asie du Sud-Est, en Afrique et au Brésil, où des travaux de recherche sont réalisés en station expérimentale et en partenariat avec les pisciculteurs des pays concernés.

L'unité dispose d'une plate-forme scientifique multidisciplinaire grâce à un regroupement d'équipes à thématique commune avec l'IRD : le Groupe aquaculture continentale méditerranéenne et tropicale (Gamet). Elle dispose ainsi au Gamet d'un complexe commun d'élevage expérimental qui comprend plusieurs circuits en eau recyclée et thermorégulée alimentant différents types de structures d'élevage d'espèces tropicales (bacs, aquariums, éclosérie, module d'élevage larvaire). Les principales espèces étudiées sont les tilapias (*Oreochromis* et *Sarotherodon*) ainsi que les poissons-chats africains (*Heterobranchus*) et asiatiques (*Pangasius*). Elle dispose également de laboratoires de physiologie et biologie moléculaire principalement dédiés à la recherche de marqueurs fonctionnels liés à 2 caractères d'intérêt aquacole majeur chez les tilapias : le déterminisme du sexe et la tolérance à la salinité.



*Aquaculture de poissons en cage,
en mer du Japon*

© D. Lacroix

Les thématiques de recherche de l'unité sont les suivantes :

- Identification/développement/amélioration des performances d'espèces et souches d'intérêt aquacole de tilapias en réponse à l'évolution des besoins et des contraintes : souches présentant une thermosensibilité du déterminisme du sexe, souches présentant un niveau élevé de tolérance à la salinité : Montpellier et international.
- Construction de la qualité tout au long de la filière aquacole tropicale comprenant l'identification et la gestion des contraintes rencontrées par les différents opérateurs : Philippines.
- Domestication d'espèces d'intérêt aquacole par la maîtrise complète du cycle biologique à partir de géniteurs nés en captivité : Laos et péninsule indochinoise.
- Construction des innovations en pisciculture par une approche de recherche-action en partenariat : Cameroun et Afrique sub-saharienne.
- Développement et validation d'outils d'évaluation de la durabilité des systèmes d'élevage aquacoles dans les pays tropicaux : tous pays.

Pour une pisciculture tropicale raisonnée

Le développement actuel et futur de la pisciculture requiert une connaissance approfondie de la structure génétique, de l'histoire de vie et des performances des espèces de poissons en relation avec leur environnement, de même que la définition, sur cette base, de solutions zootechniques adaptées aux modèles et contextes locaux. Cet enjeu est crucial dans les régions tropicales, en raison de leur potentiel aquacole élevé et de la dépendance actuelle de la pisciculture vis-à-vis d'espèces allochtones.

Faisant suite à 25 ans d'implication de l'IRD dans le domaine de la pisciculture tropicale, l'UR *CAractérisation et Valorisation de la diversité Ichtyologique pour une Aquaculture Raisonnée* (UR 175, Caviar) a pour objectif de renforcer ces connaissances en vue du développement d'une aquaculture raisonnée de différentes espèces de poissons autochtones.

Actuellement, les recherches sont développées en réseau avec des chercheurs et partenaires institutionnels dans deux régions du monde où la diversité biologique en poissons d'eau douce est particulièrement élevée, l'Indonésie et l'Amazonie (Bolivie et Pérou). Dans ces deux régions, les travaux portent sur des espèces d'intérêt aquacole, avéré ou potentiel, pour la consommation humaine (par ex. Characidae et Pimelodidae en Amazonie, Pangasiidae et Bagridae en Indonésie) ou l'ornement (*Apistogramma* spp., *Chromobotia macracanthus*, *Scleropages* spp.). Les recherches produisent en outre des connaissances utiles à la gestion des pêches et à la conservation de ces espèces.

En métropole, l'UR anime avec ses collègues du Cirad une plateforme scientifique commune : Gamet (cf. supra). Le projet scientifique de l'unité s'appuie sur plusieurs disciplines de l'ichtyologie et développe une approche intégrée allant d'une meilleure compréhension de ...

Diversité biologique et aquaculture : des poissons-chats en Asie du Sud-Est



L'Asie du Sud-Est est, avec la Chine, le principal producteur mondial de poissons d'élevage en eau douce. Le développement de l'aquaculture dans cette région reste cependant limité par un manque de connaissances sur la biologie et le potentiel aquacole des espèces locales. Dans ce contexte, des instituts de recherche indonésiens, vietnamiens, belges et français (IRD, Cirad) ont conduit depuis 1996, avec le soutien de l'Union Européenne, le programme *Catfish Asia*. Coordonné par l'IRD, *Catfish Asia* a permis de mieux décrire et de valoriser la diversité biologique des poissons-chats asiatiques, et d'améliorer la maîtrise de leur cycle de vie en captivité

Au Vietnam, le contrôle de la reproduction des espèces de *Pangasius* a conduit ces dernières années à une augmentation spectaculaire de leur production, jusqu'alors dépendante de la capture de juvéniles en milieu naturel. En Indonésie, la recherche menée par l'IRD et le RCA (*Research Center for Aquaculture*, Jakarta) a notamment permis d'identifier une espèce locale prometteuse pour l'aquaculture indonésienne, *Pangasius djambal*. Ce poisson-chat à croissance rapide a été présélectionné comme nouveau candidat pour l'aquaculture de par sa grande taille (plus de 20 kg), sa large répartition géographique (îles de Java, Sumatra et Kalimantan) et sa popularité auprès des consommateurs. La reproduction contrôlée de *P. djambal* en captivité a été obtenue pour la première fois en 1997. Les productions d'alevins et essais de grossissement en captivité montrent que cette espèce autochtone est particulièrement bien adaptée à l'élevage et peut contribuer à la diversification de la pisciculture en Indonésie. À l'heure actuelle, son utilisation en pisciculture est fortement encouragée par les autorités locales pour le développement d'une filière orientée principalement vers l'exportation.



Des recherches partageant les mêmes objectifs de valorisation de la diversité ichtyologique sont aussi en cours dans le bassin de l'Amazonie, sur des espèces locales de poissons-chats et d'autres poissons autochtones, dont le pirarucu, *Arapaima gigas*.

Contact : Marc Legendre, Marc.Legendre@mpl.ird.fr

l'évolution des groupes d'espèces et populations étudiés et de leurs relations phylogénétiques jusqu'au développement de systèmes d'élevage adaptés aux espèces cibles et aux différents contextes de mise en œuvre.

La recherche se décline en quatre axes complémentaires :

- Les études en taxinomie et phylogénie mettent en œuvre des approches synergiques incluant la biologie moléculaire, la biométrie et l'ostéologie et visent à caractériser la diversité biologique et les rythmes de diversification évolutive.
- L'analyse de l'organisation spatiale et temporelle des systèmes populationnels est basée sur l'utilisation de marqueurs moléculaires.

Ces recherches visent à déterminer la structure géographique des populations, à quantifier les flux géniques, à fournir des outils permettant d'estimer et de gérer la variabilité génétique des souches d'élevage et de garantir leur intégrité.

- L'étude en milieu naturel et en conditions contrôlées des traits d'histoire de vie, de leurs variations et de leurs relations avec les facteurs environnementaux permet de définir l'aptitude de espèces et populations à répondre aux changements de l'environnement et leur adaptabilité à différents contextes d'élevage. Plus particulièrement, les recherches concernent les stratégies reproductrices (taille et âge à la maturité sexuelle, fécondité, taille des œufs), les habitats et régimes alimentaires en milieu naturel,

le développement des structures morphologiques et systèmes physiologiques liés à l'ingestion et à la digestion, de même que les variations ontogénétiques des exigences et préférences des poissons vis-à-vis des facteurs environnementaux biotiques et abiotiques.

- L'acquisition de ces bases biologiques de l'élevage permet d'optimiser les techniques de reproduction contrôlée et les méthodes d'élevage et d'alimentation des jeunes stades de vie. En parallèle, des recherches ciblées sur la phase de grossissement visent au développement d'une aquaculture intégrée, basée sur le recyclage et la valorisation de déchets agro-industriels (par exemple tourteau de palmiste-asticot-poisson). ...

Génétique du bar : le projet européen *Heritabolum*

Cinq organismes de recherche et les quatre plus grosses piscicultures européennes se sont associés dans un projet sur la génétique du bar (2 ans, 1 million €). Une collecte de données a été réalisée sur 7 000 poissons (253 familles mélangées issues du croisement de 33 pères et 23 mères) élevés en Italie, au Portugal, en Israël et en France. Plus de 500 000 mesures ont été effectuées qui fournissent une exceptionnelle base de données sur la variabilité génétique d'une quarantaine de caractères relatifs à la croissance, à la morphologie, au développement des principaux compartiments corporels et à la qualité de la chair de l'espèce.

La stratégie de croisement et d'élevage utilisée a permis d'obtenir les paramètres génétiques de ces caractères avec une très grande précision. Ils constituent un outil qui va permettre aux producteurs de choisir, sur une base scientifique solide, des objectifs et des stratégies de sélection adaptés à leurs besoins, leur contexte d'élevage et économique, leur marché. C'est une grande étape pour la filière-bar encore majoritairement basée sur l'élevage d'animaux sauvages car l'espèce possède un fort potentiel en sélection individuelle et les gains espérés par génération pour les critères commercialement les plus intéressants sont prometteurs *e.g.* :

- L'héritabilité du poids est forte et devrait permettre un gain de croissance de 30-40% par génération. La sélection sur la croissance modifiera peu le gras musculaire, caractère lui-même fortement héritable donc contre-sélectionnable.



Chantier de biométrie, projet Heritabolum

- L'échographie permet de prédire sur l'animal vivant le rendement final de l'éviscération.

- Le sex-ratio est héritable et lié au poids ; les gains de croissance iront donc de pair avec la production de plus de femelles, celles-ci ayant des vitesses de croissance supérieures de 30% par rapport à celles des mâles.

- Les interactions génétique-milieu sont modestes. Les meilleures familles sont toujours à peu près les meilleures dans des sites de grossissement extrêmement différents (*e.g.* extensif vs intensif, eaux atlantiques vs tropicales).

Ces résultats confortent voire favorisent les écloseries françaises aujourd'hui pionnières en sélection et déjà reconnues pour leur production de juvéniles de qualité.

Contact : Béatrice Chatain, Beatrice.Chatain@ifremer.fr

Photopériodisme et mélatonine :

leur rôle sur le développement, la croissance et la reproduction du loup de Méditerranée



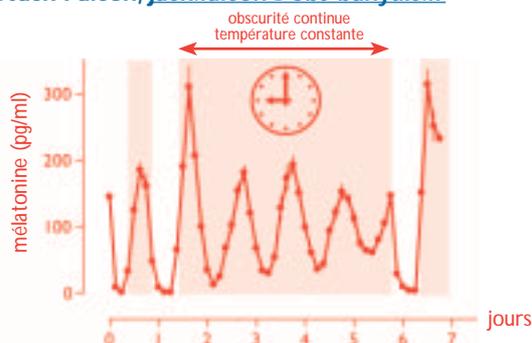
De la molécule à la cellule, de l'organe à l'individu et jusqu'aux sociétés organisées, toutes les activités des êtres vivants sont rythmiques. Dans leur grande majorité, ces rythmes sont engendrés par des horloges biologiques internes qui permettent d'anticiper et donc de mieux se préparer aux variations des facteurs de l'environnement. Le « tic-tac » d'une horloge

biologique résulte de l'activité oscillatoire et autonome d'unités moléculaires fonctionnant en boucle. Les variations quotidiennes et saisonnières de l'éclairement et de la température sont le remontoir chargé d'entretenir et de synchroniser les oscillations sur les périodicités naturelles. « L'aiguille hormonale » des horloges biologiques est la mélatonine dont les variations des niveaux sanguins reflètent celles de la photopériode et de la température environnantes : l'hormone informe l'organisme sur l'heure du jour ou le moment de l'année. Ainsi, la mélatonine intervient dans le contrôle de rythmes journaliers tels ceux de veille/sommeil et de locomotion, de prise alimentaire ou encore de pigmentation de la peau et des rythmes annuels de fonctions vitales comme la croissance et la reproduction.

Ces questions sont abordées chez un poisson d'intérêt socio-économique majeur pour la région, le bar de Méditerranée. Dans ce but, l'équipe « Facteurs du Milieu et Mécanismes Adaptatifs » (UMR 7628) a constitué un groupement de recherche (GDR 2821) avec des chercheurs de la station Ifremer de Palavas-Les-Flots (BOME) et de l'Université Jean Monnet de Saint-Étienne. Il s'agit d'accroître

les connaissances sur la biologie de cette espèce et ainsi contribuer à optimiser les conditions de son développement, de sa croissance et de sa reproduction. Les recherches en cours sur d'autres modèles de poissons sont pertinentes dans le cadre de l'évaluation de l'impact des changements climatiques actuels sur la physiologie des organismes comme sur les écosystèmes. Enfin, ces recherches intéressent le domaine médical car la mélatonine, donneur de temps cyclique, apparaît comme marqueur du temps linéaire et son rôle dans les processus du vieillissement et pathologies associées est pris en considération. Cette approche est réalisée chez une musaraigne locale dont l'espérance de vie est inférieure à deux ans et qui se prête donc bien à ce type d'études.

Contact : Jack Falcón, jack.falcon@obs-banyuls.fr



La mélatonine (à droite) est produite en quantité plus importante de nuit (fond rouge) que de jour (fond blanc) ; l'horloge biologique permet de maintenir ce rythme pendant plusieurs jours en obscurité continue et à température constante.

Bases du déterminisme du sexe et de la différenciation gonadale pour le contrôle du sexe en aquaculture

Le travail mené par l'UPR *Aquaculture et gestion des ressources aquatiques* (Cirad) et ses partenaires (Inra, Université de Würzburg en Allemagne, Université de Galway en Irlande, Université de Pise en Italie et un producteur privé France-Turbot) a permis de caractériser le déterminisme du sexe chez le turbot et de produire des géniteurs dont les descendances monosexes femelles présentent de meilleures croissances que les mâles. Chez le tilapia, de fortes interactions entre le génotype sexuel et les effets masculinisants de la température ont été mis en évidence. Chez ce groupe d'espèces, le sexe est donc défini par l'interaction entre des facteurs génétiques majeurs portés par les chromosomes sexuels, des facteurs mineurs et par la température d'élevage. L'analyse moléculaire de la cascade du déterminisme du sexe a permis d'identifier des marqueurs liés au sexe chez le platy et le médaka, ainsi que des gènes clés de la différenciation du sexe chez le tilapia, la truite et le bar. En particulier, le rôle majeur des œstrogènes dans la différenciation ovarienne des poissons a été démontré. Ces connaissances ouvrent la voie à de nouvelles approches pour contrôler le sexe chez les poissons. Quarante-quatre publications internationales sont issues du projet.



▲ **Cage d'élevage de bars communs**
(*Dicentrarchus labrax*)
▶ **Tilapia du Nil**
(*Oreochromis niloticus*)

Contact : Jean-François Baroiller, baroiller@cirad.fr

Autres équipes concernées par ce thème

LER/LR

Laboratoire Environnement Ressources en Languedoc-Roussillon
(Ifremer)
25 scientifiques
Directeur : Thierry Laugier,
Thierry.Laugier@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 96

UMR 5119 ECOLAG Écosystèmes Lagunaires (UM2, CNRS, Ifremer) 59 scientifiques

Directeur : Marc Troussellier,
troussel@univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 37 19

UMR 5569 HSM HydroSciences Montpellier (CNRS, IRD, UM1, UM2) 60 scientifiques

Directeur : Eric Servat,
servat@msem.univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 47 74

UR097 ECO-UP Structuration et fonctionnement des écosystèmes d'upwelling exploités : analyses comparatives en vue d'une approche écosystémique (IRD)

13 scientifiques
Directeur : Pierre Fréon,
pierre.freon@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)4 67 16 64 40

UR 167 CYROCO Cyanobactéries des milieux aquatiques tropicaux peu profonds : rôles et contrôles (IRD)

14 scientifiques
Directeur : Robert Arfi,
arfi@univmed.fr
Fax : +33 (0)4 91 04 16 35

Production durable d'animaux marins : poissons, mollusques et crevettes

Le Département *Biologie des Organismes Marins Exploités* (BOME, Ifremer) est composé de deux laboratoires :

■ Le Laboratoire Aquaculture Languedoc-Roussillon (LALR) constitué de 3 équipes : « Génétique-Reproduction » et « Milieu-Santé », spécialisées en pisciculture (Palavas) et « Réponse Immunitaire » (UM2), s'intéressant aux modèles invertébrés marins (mollusques et crevettes).

■ Le Laboratoire Aquaculture de la Martinique (LAM).

Le département BOME vise à mobiliser les compétences et efforts de recherche en soutien aux filières aquacoles : pisciculture, y compris tropicale, production de mollusques bivalves (huîtres) et de crevettes péneïdes. Il contribue à la production durable d'animaux marins élevés dans des conditions optimales de santé et dans tous types d'environnements, des plus contrôlés aux plus ouverts (milieux naturels). L'approche du département repose sur la sélection de lignées plus performantes (critères économiques), plus résistantes (santé et adaptation aux conditions d'élevage sans antibiotiques) et contribuant au

respect de l'environnement dans des systèmes intensifs comme extensifs. Les modèles utilisés sont des poissons (bar, *Dicentrarchus labrax*), mollusques (huître, *Crassostrea gigas*) et crevettes (dont *Litopenaeus stylirostris*).

La pérennité de l'aquaculture est abordée via des projets développant des méthodes d'évaluation de la durabilité de divers systèmes de production piscicole dans des environnements géographiques et socio-économiques différents. Ces projets interdisciplinaires sont conduits en partenariat avec des chercheurs spécialistes des sciences sociales et économiques. BOME a aussi en charge le projet « Pisciculture Marine d'outre-mer » axé sur le développement et l'analyse socio-économique de la filière d'élevage de l'espèce « ombrine » (*Sciaenops ocellatus*) et sur les perspectives de diversification d'autres espèces tropicales.

Des études sont menées sur :

■ Les interactions entre le milieu d'élevage (notamment dans les systèmes recirculés) et l'état de santé des poissons, en recherchant un équilibre assurant le bien-être général de l'animal et donc l'optimisation de ses performances. Pour cela, différents axes sont développés : la maîtrise du milieu et la biosécurisation, la compréhension

des mécanismes gouvernant l'état de santé, l'éco-physiologie et l'éthologie, notamment le comportement alimentaire.

■ La caractérisation de la réponse immunitaire, comme grande fonction physiologique des organismes exploités, avec une attention particulière aux peptides/protéines antimicrobiennes et leur interaction avec les populations microbiennes afin (i) d'étudier l'effet du milieu sur la réponse immunitaire, (ii) d'identifier des critères de résistance aux pathogènes et de meilleures adaptations aux conditions d'élevage, (iii) de développer des biomolécules de l'immunité alternatives aux antibiotiques, (iv) de mener des bioessais pour l'évaluation de la santé et des capacités immunitaires intrinsèques des animaux.

■ Le déterminisme de l'activité sexuelle et de la qualité des produits génitaux pour la mise au point de protocoles de gestion de reproducteurs conduisant à une production sécurisée de juvéniles (programmes de sélection génétique). Les connaissances servent aux approches écotoxicologiques ainsi qu'à valider les données halieutiques..

■ L'exploitation du potentiel génétique du poisson pour (i) la construction de schémas de sélection individuelle pour la croissance et la qualité (rendement au filetage, adiposité, teneur en lipides du muscle, morphologie), l'efficacité alimentaire ainsi que la santé, (ii) l'obtention d'animaux monosexes et/ou stériles par triploïdisation ou par hybridation.

Les installations du LALR à Palavas représentent une plate-forme expérimentale constituée de 4 halls d'élevage comportant de nombreux bassins (expérimentation zootechnique en conditions contrôlées et à différents stades de développement), une salle d'analyse de la qualité des eaux, des salles d'analyse biochimique et de biologie moléculaire, de culture des proies vivantes, de cryopréservation et d'une salle d'élevage biosécurisé pour la pathologie.

Les collaborations sont actives avec des partenaires français (Inra, Cirad, IRD, CNRS...) et étrangers (laboratoires de recherche d'Europe, dont Europe de l'Est, du pourtour Méditerranéen, d'Asie...) mais également privés (fermes aquacoles, sociétés de biotechnologie...). ■

Produire du tilapia écologique et bon marché : les avantages du recyclage intégral

Près de 30% des produits alimentaires d'origine aquatique sont issus de l'aquaculture. Lorsqu'elle est fondée sur l'élevage de carnivores (saumon, bar), la pisciculture devient difficilement compatible avec la logique de durabilité. Son prix de revient est élevé car l'aliment doit être riche en farines de poisson qui peuvent de plus concentrer des polluants comme la dioxine. Les piscicultures intensives consomment beaucoup d'eau et peuvent dégrader l'environnement par leurs rejets riches en matières organiques. Il peut donc être intéressant de développer la production d'espèces situées à la base de la chaîne alimentaire, comme les carpes et les tilapias. Ces poissons, surtout herbivores et détritivores, consomment des protéines végétales moins coûteuses et peu sujettes à l'accumulation de polluants. Les conditions climatiques tropicales sont idéales pour maximiser ce type de production en « eau verte », riche en phytoplancton.

Depuis 1980, l'IRD étudie le tilapia euryhalin ouest africain *Sarotherodon melanotheron* en Côte d'Ivoire, puis à Montpellier. Le programme Genetics (93-98) a identifié la sous-espèce *heudelotii* (Smh), du Sénégal, comme intéressante pour l'élevage. Vivant en eau salée, Smh consomme la matière organique sédimentaire, les algues fixées et le phytoplancton ; ses alevins utilisent le zooplancton. L'unité CYROCO conduit actuellement des recherches sur un système associant élevage et lagunage planctonique (épuration) en circuit fermé sous serre. Un prototype de ce Système Aquacole à Recyclage Intégral (SARI ; brevet IRD) est implanté sur le centre IRD de Mbour (Sénégal). Le SARI réduit les pertes en matières organiques et minérales. Le phytoplancton, fertilisé par la minéralisation des *excreta* des poissons et de l'aliment non utilisé, est consommé dans le circuit d'élevage par du zooplancton herbivore (rotifères *Brachionus*). Ces rotifères contribuent à réguler la biomasse phytoplanctonique et servent aussi d'aliment complémentaire aux alevins et aux juvéniles.

Le SARI présente plusieurs avantages : économie de 2/3 d'aliment, réduction des rejets par le recyclage de la matière organique, protection de l'élevage vis-à-vis des pathogènes et des compétiteurs (eau de forage), protection des populations locales d'une pollution



S. Gilles (UR 167) © IRD

génétique (fuite de poissons), économie d'eau douce (1% d'apport quotidien suffit contre 10% en élevage semi-intensif classique). Les expérimentations ciblent l'écologie fonctionnelle des réseaux trophiques poissons-plancton. Le but est d'identifier et quantifier les facteurs de forçage contrôlant les compartiments physiques et biologiques, ainsi que les flux associés de matière et d'énergie pour permettre une modélisation dynamique du système.

Le SARI permettra d'abaisser le coût de production du tilapia à moins de 1 €/kg, le rendant ainsi compétitif au plan international. Au Sénégal, en l'absence de tradition piscicole, l'intérêt pour l'application de cette technique vient des mareyeurs professionnels. À terme, cette technique pourrait attirer aussi des coopératives et des petits producteurs locaux.

Contacts : Sylvain Gilles, Sylvain.Gilles@ird.sn
Xavier Lazzaro, Xavier.Lazzaro@ird.sn



*Élevage de tilapia en cages flottantes
(Lac Taal, Philippines).*

J. Lazard © Cirad

Évaluation de la durabilité des systèmes de production aquacoles :

élaboration d'une méthode et application dans différents contextes en zones tropicale et tempérée

Ce projet, conduit par l'UPR *Aquaculture et gestion des ressources aquatiques* (Cirad) en partenariat avec l'Inra, l'Ifremer, l'IRD, et l'UM1, propose une méthode générique d'analyse des facteurs du développement de l'aquaculture afin d'évaluer sa durabilité et de l'adapter aux spécificités locales à travers la perception qu'ont de celle-ci les différents acteurs impliqués. Cette démarche suppose la construction d'un cadre commun d'analyse des systèmes aquacoles afin d'organiser la prise en compte des facteurs de durabilité. Un des produits intermédiaires sera de proposer un cadre de représentation des systèmes aquacoles. La méthode vise à concevoir et mettre en œuvre des principes, critères et indicateurs adaptés à l'activité aquacole dans les domaines de la durabilité. Ces indicateurs seront construits avec la participation des divers groupes d'acteurs dans les contextes environnementaux, sociaux et économiques de cinq zones d'études différentes, reflétant des enjeux contrastés pour l'aquaculture :

- Bretagne : baisse de la production intensive de truite d'eau douce, augmentation des pressions réglementaires, contexte environnemental très surveillé, stagnation des marchés ;
- Méditerranée : évolution des systèmes de production en cage vers des systèmes hors sol plus intensifs du fait de la pression foncière et touristique sur la côte ;

- Philippines : évolution continue du niveau d'intensification des systèmes piscicoles côtiers ;
- Cameroun : développement de l'innovation piscicole lié aux dynamiques de diversification des systèmes agricoles de production dans un contexte de changements sociaux et économiques parfois radicaux ;
- Indonésie : pisciculture villageoise insérée dans d'autres activités agricoles ou non agricoles et dont le développement rapide pose la question de son impact environnemental.

Les résultats doivent constituer un outil d'aide à la décision en matière de pilotage des exploitations et de mise en œuvre de politiques de développement. Ce projet permettra de consolider et d'élargir le groupe de recherche existant sur le développement durable de l'aquaculture ainsi que d'expérimenter la mise en œuvre d'une approche interdisciplinaire à plusieurs partenaires. La partie générique de la démarche pourrait être transposable à l'analyse d'autres systèmes de production agricoles afin de prendre en compte les spécificités géographiques locales en interaction avec les acteurs.

Contact : Jérôme Lazard, lazard@cirad.fr

Immunité innée et prévention des maladies en aquaculture

© E. Bachère



Les organismes marins vivent dans un environnement riche en microorganismes, certains constituant leur microflore interne et vivant comme commensaux. Au cours de l'évolution, ils ont atteint un certain état d'équilibre avec leur environnement et leur système immunitaire s'est adapté pour les préserver des infections microbiennes

potentielles. Toutefois, les animaux élevés sont soumis à un environnement anthropisé et à des pratiques culturales qui peuvent favoriser le développement de certaines maladies infectieuses ou non. Celles-ci peuvent constituer un frein important au développement des élevages, surtout en milieu ouvert.

Aussi, l'approche préventive est privilégiée par rapport au traitement curatif. Elle fait appel à des connaissances sur l'immunité, l'évaluation de l'état de santé des animaux et sur la sélection génétique de lignées résistantes aux maladies. Des recherches sont menées sur la caractérisation de la réponse immunitaire, notamment avec une attention particulière aux peptides/protéines antimicrobiennes. Le projet européen Immunaqua (*Antimicrobial immune effectors in marine invertebrates: characterisation and application for disease control in aquaculture*) a porté sur la caractérisation de peptides antimicrobiens chez les invertébrés marins et leur potentiel d'application en aquaculture. Le département BOME a ainsi évalué la possibilité d'utilisation de ces biomolécules naturelles en alternative aux antibiotiques dont l'usage intensif a des impacts négatifs en termes d'environnement et de santé publique. Des essais expérimentaux sont actuellement développés (collaboration Cirad) dans le cadre du projet « *Évaluation de l'utilisation de peptides antimicrobiens d'origine marine en aquaculture : une alternative à l'usage des antibiotiques* » (financement ANR, Agence Nationale pour la Recherche) pour analyser l'effet protecteur de peptides antimicrobiens sur les poissons d'élevage (*Dicentrarchus labrax*).

Le projet Immunaqua a permis de montrer que, chez les crevettes pénéides, les gènes codant des peptides antimicrobiens représentaient des marqueurs phénotypiques utilisables en sélection génétique, car révélant de meilleures capacités de santé et de survie aux infections spécifiques des animaux. Ces travaux s'inscrivent dans une démarche de durabilité de l'aquaculture et concernent toutes les productions aquacoles. Ils seront poursuivis dans le cadre de multiples collaborations scientifiques, et en partenariat avec le secteur privé pour faciliter le transfert de ces nouveaux concepts et des techniques associées.

Contact : **Évelyne Bachère**, ebachere@ifremer.fr
Pour plus d'informations, www.immunaqua.com

© J.F. Pepin



▲ **Crevettes pénéides**,
Litopenaeus vannamei

◀ **Le bar**,
Dicentrarchus labrax



D. Lacroix © Ifremer

Tables ostréicoles, étang de l'Or (Hérault, France)

Qualité de la ressource *et biosurveillance*

L'urbanisation croissante de la façade méditerranéenne (littoral, étangs, arrière-pays), engendre un accroissement des rejets sur les bassins versants, caractérisés par un régime hydrique intermittent. La biosurveillance mise en place en milieu littoral et marin permet d'évaluer la qualité des eaux ou des ressources, qu'elles soient conchylicoles, ou exploitées par la pêche côtière.

Les molécules recherchées ne sont pas toujours celles qui sont les plus utilisées. L'émergence de nouveaux contaminants pose la question de leur risque sanitaire et écotoxicologique. Sont particulièrement étudiées les molécules et formulations nouvelles appartenant à des classes telles que les médicaments, produits de soins, substances perturbatrices des fonctions reproductrices, nanotechnologies ; elles se retrouvent en mélange à l'état de trace dans des matrices complexes avec d'autres contaminants aquatiques d'origine naturelle (toxines algales) ou anthropique (pesticides, PCBs, HAP, dioxines...). La récente Directive Cadre Européenne sur l'Eau (et sa transposition en droit français) insiste sur la nécessité d'atteindre un bon état chimique et écologique de l'ensemble des masses d'eaux. Il faut donc disposer d'outils pour évaluer la contamination chimique des eaux vis-à-vis du cadre réglementaire, et anticiper l'effet de nouveaux contaminants. Ces outils mobilisent des technologies capables d'identifier ces contaminants à l'état de traces dans des milieux complexes : eau, sédiments, organismes vivants.

L'étude des relations « Environnement-Santé » à partir de la connaissance des risques sanitaires, toxiques et écotoxicologiques est donc indispensable. À cet effet, le Plan National Santé Environnement et sa déclinaison en Région Languedoc-Roussillon a retenu 8 axes, dont 3 sont de nature à solliciter les compétences en biosurveillance et qualité des ressources biologiques : l'axe II « Protéger la santé publique en améliorant la qualité des milieux », l'axe IV « Mieux maîtriser les risques liés aux substances chimiques » et l'axe VI « Mobiliser et développer le potentiel de recherche et d'expertise ».

Les études environnementales constituent un atout important pour la réalisation d'objectifs nationaux et régionaux en « santé - environnement », ainsi que pour le développement des connaissances nécessaires à la préservation des ressources dans une perspective de développement durable. D'ores et déjà, des programmes européens en Méditerranée, initiés ou à développer, sont de nature à atteindre ces objectifs. Les spécificités de la région Languedoc-Roussillon conduisent à s'intéresser plus particulièrement :

■ **À la vulnérabilité des écosystèmes lagunaires :** le littoral languedocien est l'objet d'une agriculture intensive (viticulture, maraîchage,...) et d'une urbanisation intense. Plus de 400 molécules de synthèse de pesticides, sous plus de 8 800 formulations, sont utilisées en agriculture et en zones urbaines (entretien des parcs et jardins publics et privés, désherbage,...). Les niveaux de contamination issus des zones urbaines peuvent être importants, compte tenu des coefficients de lessivage élevés des surfaces imperméabilisées sur lesquelles ils sont utilisés. De plus, la pluviométrie méditerranéenne induit des apports de concentration élevée sur de courtes périodes. L'évaluation des risques écotoxicologiques et pour la santé humaine passe alors par la connaissance des niveaux de présence dans les milieux exposés. Les milieux lagunaires constituent le premier réceptacle des eaux issues des bassins versants. Une connaissance précise des apports et des niveaux de présence des produits phytosanitaires est nécessaire pour assurer au mieux la gestion à long terme de la qualité de ces écosystèmes à haute valeur patrimoniale.

■ **Au maintien de la conchyliculture et de la pêche des coquillages** qui représente un enjeu social et économique important pour la région. Depuis plusieurs années, de nombreux épisodes de contaminations phycotoxiques ont perturbé cette activité générant des pertes importantes pour les producteurs et les pêcheurs. La mise en place d'un système d'avertissement précoce efficace impose la recherche des teneurs en toxines et leur profil dans le milieu. L'analyse des toxines dans l'eau, le plancton et les coquillages, permettrait de proposer une alerte précoce.

■ **Aux émissaires en mer qui rejettent des eaux usées traitées** provenant d'agglomérations urbaines importantes. Les substances organiques rejetées restent à identifier et à rechercher qualitativement et quantitativement, pour valider les aménagements réalisés en termes de traitement des eaux usées. Les critères d'évaluation des systèmes de traitement ne prennent pas en compte la diversité des molécules organiques rejetées pouvant avoir un impact sur la qualité de la ressource et du milieu. Une approche scientifique prenant en compte contaminants multiples, faibles traces et effets à long terme, est donc envisagée.

Cette approche conduit à fédérer des équipes de recherche aux thématiques multiples pour lesquelles les données environnementales sont indispensables. Elle facilite la recherche de pointe avec le souci d'aboutir à des applications de protection environnementale.

**Claude Casellas (HSM, CNRS, IRD, UM1, UM2)
et Thierry Laugier (LER/LR, Ifremer)**

Qualité de la ressource et biosurveillance

Qualité de l'environnement et de la ressource en Languedoc-Roussillon

Les missions du *Laboratoire Environnement Ressources en Languedoc-Roussillon* (LER/LR, Ifremer) s'inscrivent dans le cadre de quatre activités principales :

- l'observation du littoral en mettant en œuvre et en valorisant les réseaux nationaux de surveillance de la qualité de l'environnement littoral et de la ressource, complétés par des réseaux régionaux ;
- les recherches et études régionales, nationales et européennes, en partenariat avec des laboratoires thématiques, sur la connaissance des écosystèmes (surtout les milieux côtiers semi-fermés), l'analyse des impacts anthropiques sur l'environnement et les ressources conchylicoles, les réponses aux questions exprimées par la demande sociale en matière de protection et mise en valeur du littoral ;
- l'expertise auprès des collectivités territoriales, des organismes publics et des structures professionnelles, et l'émission d'avis auprès des ministères et services déconcentrés ;
- la valorisation des connaissances et des résultats acquis vers les professionnels, les services de l'État, des collectivités et le public, et le transfert des méthodes auprès des professionnels.

Pour les questions environnementales, la zone d'étude du LER/LR s'étend de l'embouchure du Petit Rhône à la frontière espagnole. Son action intéresse le littoral et la façade maritime de la Région Languedoc-Roussillon et des quatre départements : Gard, Hérault, Aude et Pyrénées Orientales. Cet espace se caractérise par deux ensembles côtiers particuliers : celui des écosystèmes lagunaires et celui du plateau et du talus

continental du Golfe du Lion. Pour les ressources conchylicoles, la zone de responsabilité du LER/LR est la façade méditerranéenne nationale. Le laboratoire développe ses activités sur les sites d'exploitation conchylicole sur le littoral (lagunes et baies) et en mer ouverte. Ses activités s'inscrivent dans les axes suivants :

- Le laboratoire agit comme un observatoire et assure la surveillance de la qualité des eaux, des milieux côtiers et des ressources conchylicoles en répondant aux exigences de gestion d'un patrimoine comme à des obligations réglementaires. Il opère cinq réseaux nationaux (ROCCH [ex RNO], REMI, REPHY, REMORA, REPAMO) et un réseau spécifique de suivi du niveau d'eutrophisation et de la qualité des milieux lagunaires, le Réseau de Suivi Lagunaire. Il participe à un réseau inter-régional sur les intégrateurs biologiques (RINBIO).
- Il fournit des appuis à la décision auprès des partenaires institutionnels et professionnels locaux et régionaux de l'Ifremer (avis, expertise, diagnostic). Ces appuis concernent la gestion et la préservation de l'environnement littoral et des ressources conchylicoles, la sauvegarde et le développement durable des activités économiques afférentes, y compris les aspects sanitaires.
- Il mène études et recherches sur les interactions entre Ressources, Environnement et Santé et sur le développement des connaissances en aide à l'aménagement et à la gestion intégrée des environnements spécifiques de la façade méditerranéenne nationale (milieux côtiers semi fermés - lagunes- et mer ouverte). Il participe aux projets européens DITTY et SPICOSA, au chantier « Lagunes méditerranéennes » du PNEC, etc.

Les principales équipes

EA 3678 IMAGES
Institut de Modélisation et d'Analyse en
Géo-Environnements et Santé
(UPVD)
20 scientifiques
Directrice : Catherine Goyet,
cgoyet@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 66 21 44

LER/LR
Laboratoire Environnement Ressources
en Languedoc-Roussillon
(Ifremer)
25 scientifiques
Directeur : Thierry Laugier,
Thierry.Laugier@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 96

UMR 5569 HSM
HydroSciences Montpellier
(CNRS, IRD, UM1, UM2)
60 scientifiques
Directeur : Eric Servat,
servat@msem.univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 47 74

... suite page 44



© Ifremer - LER-LR

▲ **Vue aérienne de l'étang de l'Ayrolle, épargné par l'eutrophisation et les herbiers de phanérogames dominent la végétation immergée**

► **Effet de l'eutrophisation : prolifération d'algues vertes opportunistes dans la lagune du Prévost. (France, Languedoc-Roussillon)**

H. Farrugio © Ifremer



■ Il participe aux développements et à l'application des outils de l'océanographie côtière opérationnelle tels que des instruments d'observation et de mesure, des outils de simulation et de représentation des tendances d'évolution du milieu et de ses ressources sous forme de modèles numériques hydrodynamiques et écologiques et de SIG.

■ Il développe une base de connaissances partagées afin de mieux communiquer l'information sur l'environnement. Les approches intégrées, utiles pour la surveillance du milieu comme la gestion et l'aménagement du littoral, nécessitent une base de connaissances commune.

Ifremer joue un rôle majeur dans l'élaboration et la mise en œuvre de ce référentiel au sein du programme régional SYSCOLAG. La contribution spécifique du laboratoire concerne la compréhension du fonctionnement des écosystèmes lagunaires, leur modélisation, la surveillance de leur qualité et le développement d'outils d'aide à leur gestion durable. ...

De la recherche au diagnostic écologique :

le Réseau de Suivi Lagunaire pour une aide à la gestion des milieux lagunaires du Languedoc-Roussillon

En Languedoc-Roussillon, les lagunes côtières représentent des écosystèmes littoraux d'intérêt majeur, tant pour leur valeur patrimoniale qu'économique, et occupent plus de 40 000 hectares et la moitié du linéaire côtier. Mais la croissance démographique et urbaine sur les bassins versants les ont soumises à de plus en plus d'apports azotés et phosphorés, perturbant leur fonctionnement écologique.

Afin de pouvoir évaluer précisément cet état de perturbation, une série d'indicateurs écologiques ont été construits à partir d'un ensemble de lagunes représentatif du gradient d'eutrophisation observé, et testés sur un autre ensemble de lagunes. Basé sur le diagnostic écologique de plusieurs compartiments de l'écosystème lagunaire (colonne d'eau, sédiments, phytoplancton, macrophytobenthos), l'outil d'évaluation permet de caractériser l'état des milieux vis-à-vis de l'eutrophisation selon cinq niveaux (de l'état non perturbé à un écosystème fortement perturbé). Le croisement des indicateurs et des compartiments permet d'appréhender les causes et les effets de l'eutrophisation et le sens et l'état d'évolution de l'écosystème. Appliqué en routine sur 23 lagunes de la région, dans le cadre du Réseau de Suivi Lagunaire, fruit d'un partenariat entre la Région Languedoc-Roussillon, les Agences de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse et Ifremer, cet outil fournit aux gestionnaires et décideurs un bilan annuel de l'état des lagunes dont ils ont la charge. Ces résultats ont à la fois pour but d'alerter en cas de dégradation des lagunes comme d'évaluer les résultats des mesures de gestion prises en vue de leur préservation ou de leur restauration.

Contact : Thierry Laugier, Thierry.Laugier@ifremer.fr
Pour plus d'informations, <http://rsl.cepralmar.com>



Expérimentation sur les systèmes d'eau recirculée en aquaculture

D. Lacroix © Ifremer

Autres équipes concernées par ce thème

BOME
Département Biologie
des Organismes Marins Exploités
(Ifremer)

28 scientifiques
Directrice : Évelyne Bachère,
evelyne.bachere@ifremer.fr
Fax : +33 (0)4 67 13 04 58

UMR 5119 ECOLAG
Écosystèmes Lagunaires
(UM2, CNRS, Ifremer)

59 scientifiques
Directeur : Marc Troussellier,
troussel@univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 37 19

UMR 5474 LAMETA
Laboratoire Montpellierain d'Économie
Théorique et Appliquée

(CNRS, UM1, Montpellier SupAgro, Inra)
6 scientifiques
Directeur : Marc Willinger,
willinger@lameta.univ-montp1.fr
Fax : +33 (0)4 67 15 83 67

Directeur de l'IFR 129 : François Valette,
valette@lameta.univ-montp1.fr

UR 167 CYROCO
Cyanobactéries des milieux
aquatiques tropicaux peu profonds :
rôles et contrôles
(IRD)

16 scientifiques
Directeur : Robert Arfi,
arfi@univmed.fr
Fax : +33 (0)4 91 04 16 35

Processus biogéochimiques et risques écologiques

Les travaux développés au sein du Laboratoire *HydroSciences Montpellier* (HSM, UMR 5569 CNRS, UM2, IRD, UM1) portent essentiellement sur l'étude des impacts climatiques et anthropiques sur les hydrosystèmes méditerranéens et tropicaux. Ses recherches, ciblées sur les ressources en eau, comportent trois thèmes : l'eau dans l'environnement et les risques associés, l'eau comme ressource mobilisable et exploitable, l'eau et la variabilité du climat.

Les travaux s'organisent autour de quatre axes, dont le premier intéresse les ressources aquatiques :

- (i) Processus biogéochimiques et risque écologique (contaminants organiques et biosurveillance du milieu aquatique [ECORISK], sources, transport, biotransformation des contaminants inorganiques, pollutions d'origines minières [POM]) ;
- (ii) Karsts et milieux fissurés : hydrogéologie et transfert ;
- (iii) Variabilité hydrologique : analyse, mécanismes et impacts sur les ressources en eau ;
- (iv) Risques hydrologiques liés aux aléas extrêmes.

Les recherches nécessitent le développement de techniques analytiques utilisant de nouveaux marqueurs de transfert des contaminants dans les eaux. Un laboratoire d'analyse (Maison des Sciences de l'Eau) permet la détermination des éléments majeurs et des éléments traces dans les eaux et un laboratoire (UMI) permet l'analyse des nutriments (N, P) et de contaminants organiques (GC-MS). L'équipe logistique terrain est un service commun d'HSM qui a pour rôles le conseil technique dans le choix de l'instrumentation, la mise en place des stations sur le terrain et la maintenance des stations et interventions préventives.

Parmi les programmes de recherche, citons celui sur l'interface Environnement-Santé (Évaluation des effets endocrines non intentionnels de produits phytosanitaires), le programme national perturbateurs endocriniens (PNRPE, évaluation de l'impact des perturbateurs endocriniens sur les milieux aquatiques), INCO-SSA (utilisation du mullet comme indicateur des changements environnement du littoral), le PNEC, le programme Ifremer Medicis

(Contaminants émergents et biosurveillance : émissaires en mer, lagunes côtières, surveillance en Méditerranée), etc.

Au niveau international, HSM collabore avec des structures de recherche ou d'enseignement supérieur, principalement autour du bassin méditerranéen et en Afrique sub-saharienne. Ses implantations à l'étranger (Tunisie, Liban, Bénin, Mali) contribuent à renforcer les équipes locales et à développer des partenariats équilibrés. Sa participation aux réseaux scientifiques Friend (AMHY et AOC) de l'UNESCO conforte son engagement méditerranéen et Ouest africain. En région, HSM entretient des relations étroites avec les collectivités territoriales et de nombreuses entreprises de la région

Languedoc-Roussillon. Sur un plan institutionnel, HSM est un partenaire majeur de la Maison des Sciences de l'Eau basée à Montpellier.

Les polluants et leurs impacts sur la santé et l'eau

La recherche des polluants dans divers environnements est indispensable pour le contrôle comme l'étude du devenir de ces polluants. Les techniques d'analyse physico-chimiques classiques sont de plus en plus performantes, mais aussi complexes et coûteuses. Aussi, le développement de méthodes simples d'analyse est nécessaire. L'un des objectifs d'IMAGES (*Institut de Modélisation et d'Analyse en Géoenvironnements et Santé*, UPVD) est

de développer des capteurs utilisant différents récepteurs biologiques : enzymes (acétylcholinestérase et protéine phosphatase), anticorps, ou éléments biologiques comme des thylacoïdes, et des cellules entières (bactéries et cyanobactéries). Les cibles visées sont les insecticides, les herbicides et les toxines présentes dans le milieu aquatique (microcystine, acide okadaïque...). Les études de l'impact de ces polluants sur les organismes vivants sont aussi importantes. L'activité de recherche s'articule ainsi autour de deux axes : (i) Approche des problèmes environnementaux à partir de méthodes bio-analytiques, (ii) Méthodes d'étude de l'impact de xénobiotiques et polluants sur la santé et l'environnement. ■

Gestion et traitement de l'eau en aquaculture : différents projets en partenariat

Les productions aquacoles nécessitent l'utilisation de grandes quantités d'eau : pour produire 1 kg de poisson, il faut faire circuler environ 100 m³ d'eau dans un bassin d'élevage. Cette eau peut être pompée directement, puis rejetée après utilisation dans le milieu naturel si les élevages sont en circuit ouvert. Elle peut être traitée et réutilisée pour l'élevage en système recirculé. Les volumes d'eau pompée dans le milieu naturel sont alors réduits environ 100 fois. La production génère toujours un rejet d'eau polluée, d'un débit équivalent à celui de l'eau pompée dans le milieu naturel et dont la concentration en nutriments est inversement proportionnelle au débit. Les méthodes de traitement de ces eaux doivent être compatibles avec une utilisation à grande échelle dans des conditions économiques acceptables.

Plusieurs projets sont menés par l'équipe « Milieu – Santé » (station de Palavas) concernant le traitement de l'eau dans la boucle de recyclage et l'eau de rejet afin de la rendre réutilisable dans le système d'élevage. Ils contribuent à l'amélioration de la durabilité des systèmes de production aquacoles.

■ **GRRAS** (*Towards elimination of Growth Retardation in marine Recirculation Aquaculture Systems for turbot*) porte sur l'amélioration de la qualité de l'eau recirculée où certaines substances s'accumulent et peuvent avoir un effet inhibiteur sur la croissance des poissons. Cet effet est faible pour certaines espèces (bar), ou très marqué pour d'autres (turbot). L'objectif de GRRAS est d'identifier les substances responsables de cette baisse de croissance et leur origine, puis de définir des méthodes pour les éliminer (partenariat recherche/producteurs privés, Hollande, France, Allemagne, Royaume Uni).

© C. Przybyla



Système d'élevage expérimental en recirculation

■ **Aquaetreat** (*Improvement and innovation of Aquaculture Effluent TREATment technology*) veut définir des méthodes de traitement et valorisation des rejets de différents types de fermes piscicoles ainsi que les impacts de ces traitements sur l'environnement et sur l'économie des entreprises. Ce projet est coordonné par la Fédération Européenne des Producteurs aquacoles qui anime un partenariat européen (Belgique, Italie, France, Danemark, Royaume uni) entre 4 piscicultures utilisant des systèmes différents (ouvert et en recirculation, eau douce, eau de mer) et 4 instituts de recherche.

■ **Pearl** (Pisciculture en Eau Recyclée Lagunée), en partenariat avec des pays de l'Europe de l'Est (Croatie, Roumanie, Russie, Tchéquie), est centré sur la réutilisation de l'eau de rejet dans la boucle d'élevage après traitement algal. Il focalise sur les performances et la qualité de la chair de poissons élevés dans de tels systèmes complètement fermés.

Contact : Jean-Paul Blancheton,
Jean.Paul.Blancheton@fremer.fr





O. Barbaroux © Ifremer

Vue aérienne du littoral, Palavas-les-Flots (Hérault, France)

Enjeux économiques, *aménagement,* politiques publiques *et outils de gouvernance*



Qu'on les envisage en tant que milieux accessoirement en interaction avec d'autres, ou en tant qu'interfaces complexes entre ces derniers (écosystèmes terrestres, milieu marin, anthroposystème...), les écosystèmes aquatiques jouent partout des rôles très divers, et souvent essentiels, dans la régulation des processus du vivant tout comme au sein des sociétés qui les gèrent à toutes les échelles. Les enjeux de leur gestion, dans l'esprit de leur préservation et/ou de leur exploitation sont de ce fait multiples et concernent de nombreuses disciplines scientifiques, tant parmi les sciences dites de la Nature que parmi celles de la Société. Certaines activités, ainsi que « l'offre » des ressources qui leur sont associées, dépendent fortement de leur état, et sont donc vulnérables aux dégradations qu'ils subissent, qui deviennent autant de facteurs de risques pour les sociétés.

Ainsi les « crises environnementales » ne cessent de se diversifier (effondrement des stocks, prolifération d'algues toxiques...) en même temps qu'on note la tendance croissante de leur intensité, de leur fréquence et/ou de leur multiplicité sur certains sites. Dans cette vaste problématique de gestion, les objets privilégiés de l'attention des sciences sociales sont naturellement les communautés locales et les territoires dont le sort dépend le plus directement des ressources en question. Les espaces littoraux et les zones côtières, convoités pour de multiples raisons par des acteurs très divers, souvent lieux de conflits d'usage et d'appropriation des ressources, sont ainsi à même d'intéresser la plupart des disciplines des sciences humaines et sociales (SHS), appelées à intervenir à divers titres : économie et gestion, géographie, sociologie, science politique, histoire...

D'abord centrées sur les questions d'enjeux et d'impact des « forçages » anthropiques sur l'environnement, les problématiques et approches correspondantes évoluent dans une logique systémique vers des analyses plus globales des causes et conséquences des processus, et *in fine*, des enjeux de la gestion pour les populations concernées, des types d'incitations appropriées pour faire au besoin évoluer leurs comportements... Ces recherches complètent les travaux entrepris par ailleurs sur les interactions entre écosystèmes et sociétés, en étudiant non seulement les impacts de l'action des hommes sur les écosystèmes, mais aussi les risques auxquels les sociétés sont par là exposées, en termes d'impacts économiques et/ou d'effets sur la santé, et les réponses apportées par les sociétés à travers des politiques publiques tendant à réguler l'exploitation de ces ressources pour ne pas en compromettre la conservation*. Les apports des sciences sociales peuvent ainsi devenir concrets à plusieurs échelles :

■ **Au niveau dit « micro »**, proche des lieux précis et acteurs réels de la gestion visée, avec l'étude des comportements des acteurs et des entreprises dans le cadre de l'exploitation et des usages qu'ils font de l'écosystème, ainsi que de leurs réactions, interprétables en termes de dépendance ou vulnérabilité aux changements d'état des écosystèmes.

■ **Au niveau dit « méso »**, en situant l'écosystème dans un territoire, et en analysant ainsi les représentations que s'en construisent les acteurs, son poids dans la culture locale en tant qu'élément de patrimoine, sachant que ces représentations jouent un rôle essentiel dans la structuration des communautés locales et dans le choix de leurs stratégies ;

■ **Au niveau dit « macro »**, notamment via l'étude des systèmes de gouvernance qui se sont progressivement mis en place pour gérer au mieux l'ensemble des interactions évoquées. A ce niveau, les problématiques des SHS ont évolué de façon très sensible au cours des deux dernières décennies, leurs préoccupations premières d'aménagement et d'optimisation des modes d'exploitation des écosystèmes s'étant peu à peu faites discrètes devant les impératifs et les attentes de la société à propos de la conservation des ressources environnementales.

Ainsi les perspectives nouvelles du développement durable et de la gouvernance éthiquement responsable ont forcé les problématiques de régulation à intégrer le domaine dit de l'action collective, qui tend à associer plusieurs gestionnaires (État, Europe, collectivités territoriales...) à un ensemble élargi de parties prenantes (*stakeholders*). Les intérêts souvent divergents de tous ces acteurs doivent de plus en plus systématiquement être confrontés dans le cadre de processus de concertation plus ou moins formels ou contraignants. Ces nouveaux dispositifs de régulation doivent en outre répondre au mieux aux objectifs de participation et d'information des populations récemment introduits dans les politiques publiques de tous niveaux par des conventions internationales, telle la convention d'Aarhus pour l'Europe.

Sur le plan scientifique, cette évolution récente des réalités, ainsi que des perceptions communes de ces réalités au sein et autour des écosystèmes aquatiques, est accompagnée d'un changement positif de l'image et des rôles des sciences humaines, tant dans leurs rapports avec les autres sciences que dans le cadre de l'élaboration des politiques publiques**. Longtemps « à la remorque » des sciences réputées « dures » dans les contrats de recherche, du local à l'international, notamment pour répondre à des préoccupations d'évaluation d'impacts socio-économiques et environnementaux, elles y sont en effet plus souvent sollicitées en tant que partenaires à part entière, voire leaders de projets. L'apport spécifique des SHS est de définir des architectures adaptées au stade de leur montage et de contribuer à élaborer des résultats en rapport avec les attentes plus générales des institutions qui les financent, et donc pour, *in fine*, mieux répondre à la « demande sociale ». Au-delà de cet objectif, les collaborations qui se sont ainsi établies ont souvent permis des transferts d'un champ de connaissance à un autre, de méthodes et de données, voire le développement de nouvelles approches des problèmes posés, qui n'auraient pas pu être mises au point autrement***. Cette évolution est sensible dans les recherches financées par l'Union Européenne au fil des trois derniers Programmes-cadres de recherche et de développement. Ainsi, dans le plus récent (FP 7), l'ouverture aux SHS apparaît aujourd'hui naturelle et indispensable.

François Valette (Lameta, UMR CNRS, UMI, Montpellier SupAgro, Inra)

* On admet généralement que les usages des écosystèmes par les sociétés qui y vivent et en vivent déterminent, dans une large mesure, les modes de protection et de gestions utiles et possibles.

** La sociologie et le droit ont sans doute été les principaux « bénéficiaires » de ce changement. L'économie a pu diversifier son offre de « services » (économie expérimentale, théorie des jeux, évaluation d'actifs non monétaires...) et se rapprocher des autres disciplines (sociologie, géographie...).

*** On pense ici aux collaborations entre biologistes, sociologues et économistes dans le cadre de recherches en cours, sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques ; les analyses de systèmes conduites par les SHS ont permis de mettre en évidence des faits et/ou recueillir de nombreuses données auxquels les sciences de la nature (SdN) n'avaient pas directement accès, en même temps que les SdN ont pu contribuer à la définition de scénarios réalistes de gestion que les SHS ne pouvaient inventer seuls.

Enjeux économiques, *aménagement,* politiques publiques *et outils de gouvernance*

Les principales équipes

EA 2039 LASER/CEP
Laboratoire des sciences économiques
de Richter
(UM1)
26 scientifiques
Directeur : Jacques Percebois,
jpcb@univ-montp1.fr
Fax : +33 (0)4 67 15 84 04

EA 3766 GESTER
Gestion des sociétés, des territoires
et des risques
(UM 3)
16 scientifiques
Directeur : Jean-Marie Miossec,
jean-marie.miossec@univ-montp3.fr
Correspondant pour l'élaboration du dossier
sur les écosystèmes aquatiques :
Jean-Pierre Doumenge, doumenge.jp@free.fr

Fax : +33 (0)4 67 14 55 48

UMR 5112 CEPEL
Centre d'Études Politiques
de l'Europe Latine
(CNRS/UM1)
18 scientifiques (dont 3 travaillent sur l'eau)
Directeur : Hubert Peres,
cepel@univ-montp1.fr
Fax : +33 (0)4 67 41 76 52

UMR 5474 LAMETA
Laboratoire Montpellierain d'Économie
Théorique et Appliquée
(CNRS, UM1, Montpellier SupAgro, Inra)
6 scientifiques
Directeur : Marc Willinger,
willinger@lameta.univ-montp1.fr
Fax : +33 (0)4 67 15 83 67

Correspondant pour l'élaboration du dossier
sur les écosystèmes aquatiques et Directeur
de l'IFR 129 : François Valette,
valette@lameta.univ-montp1.fr

... suite page 52

Économie des ressources aquatiques et systèmes de régulation

Le Laboratoire des sciences économiques de Richter (LASER, UMI), réalise des recherches dans le domaine de l'économie des ressources halieutiques et de l'aquaculture, ainsi que dans celui de l'évaluation des politiques et des systèmes de gouvernance aux échelles locale et internationale. Les recherches portent sur la gestion des ressources naturelles, les systèmes de gestion intégrée entre usagers des écosystèmes, les dispositifs institutionnels susceptibles mobiliser des acteurs et de stimuler leur participation aux procédures de décision et de gestion collective. Il s'agit d'appréhender la dynamique des interactions entre les systèmes productifs et les écosystèmes auxquels ils appartiennent, et d'étudier les systèmes de régulation chargés de contrôler les ressources. Ces derniers comprennent les dispositifs institutionnels de régulation et les systèmes d'information intervenant en appui à la décision et au suivi des évolutions. Quelques exemples de thématiques récentes peuvent être cités :

- Analyse des interactions entre les sociétés humaines et l'écosystème lagunaire,
- Analyse des systèmes de régulation et de leur gouvernance (politique de gestion des usages des ressources),

- Analyse des conditions de mise en oeuvre des politiques de gestion intégrée des zones côtières et de développement durable du littoral,
- Prise en compte des risques environnementaux en caractérisant les processus et leurs conséquences en termes de chaîne d'effets comme de perception des populations exposées,
- Évaluation de la perception et des politiques de gestion de l'érosion côtière,
- Coproduction d'indicateurs territoriaux de gestion intégrée en appui des schémas de cohérence territoriale (SCOT),
- Étude de l'usage des indicateurs par les acteurs notamment dans la mise en oeuvre du développement durable.

Un large réseau de collaborations a été établi avec des équipes d'économistes et des chercheurs d'autres disciplines, en particulier pour aborder des problématiques de gestion intégrée des écosystèmes. Des collaborations plus étroites sont établies avec des équipes de l'IRD pour les questions sociales et de développement autour de la problématique de l'économie de la connaissance et avec l'unité de service *Expertise et spatialisation des connaissances en environnement* (US Espace) concernant l'approche des systèmes d'informations. Enfin le Laser participe à l'animation de l'axe 3 de l'IFR 129 concernant les usages des ressources aquatiques.



Vue aérienne de la station d'épuration à Mèze, près de l'étang de Thau (Hérault, France)

O. Barbaroux © Ifremer

Gouvernance des milieux aquatiques et politiques publiques

La gestion des espaces et des ressources naturelles (l'eau en particulier) est devenue depuis 15 ans un objet de recherche pour la science politique en France notamment par l'entrée « analyse des politiques publiques » dans les champs de l'aménagement, de l'environnement, du foncier, de l'urbanisme, croisée avec les perspectives de développement durable. Outre la montée en puissance des normes internationales de durabilité pesant sur l'action publique, la décentralisation et l'intégration européenne ont constitué deux processus « facilitateurs » de cette prise en compte, ne serait-ce que par l'inflation des dispositifs de gestion (Missions, SAGE, Natura 2000, DCE « eau »...) qui en a résulté.

Le CEPPEL (Centre d'Études Politiques de l'Europe Latine, UMR CNRS/UM1 5112) a été acteur du développement des travaux de recherche dans ce champ depuis 1996 et ce dans plusieurs dimensions :

- Repositionnement des organisations et redéfinition

des domaines d'activités dans la gestion de l'eau comme ressource naturelle mais également des milieux lagunaires et plus largement du littoral comme « estran », frontière entre « aquatique » et « terrestre »,

- Développement de nouveaux dispositifs de gestion rompant avec les logiques d'implémentation des politiques publiques « top-down » et innovant en matière de concertation avec les populations et les groupes d'intérêt concernés (p. ex. les professionnels de la pêche),
- Nouvelles formes de médiation dans la régulation des conflits entre les groupes d'acteurs,
- Mise en œuvre de nouveaux modes de conduite de l'action publique dans le domaine de l'eau et de l'aménagement du littoral,
- Mise en œuvre d'une approche comparative entre contextes nationaux européens et entre Europe et Amérique Latine. Cette perspective inclut les aspects de transferts de savoir-faire et d'adaptation par les acteurs locaux des dispositifs aux contextes régionaux. (Ex : application de la Directive Cadre Eau en France et en Espagne mais également au Brésil, Uruguay et Argentine ; transfert de la Gestion Intégrée des Zones Côtières en Europe du Sud et au Chili).

Ceci amène à une approche globale en termes de gouvernance des milieux aquatiques et de territorialisation des politiques publiques, schéma alternatif aux approches traditionnelles privilégiant les politiques publiques nationales et reposant sur l'analyse séquentielle des systèmes de prise de décision.

Plusieurs recherches ont été menées (notamment des thèses) dans le cadre du programme régional SYSCOLAG, le ministère de l'Écologie et du Développement durable (MEDD), le ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE) et l'Ifremer, comme par exemple :

- Gestion et exploitation des ressources naturelles sur l'étang de Thau (Ifremer/MEDD),
- Gouvernance littorale en Méditerranée : PNEC (Ifremer/CNRS/IRD),
- Mobilisations et enjeux dans la gestion concertée des espaces littoraux : Programme « Concertation – Décision - Environnement » (Inra – MATE),
- Gestion de l'eau en Méditerranée : forum, société civile et apprentissages, menée en co-direction avec l'UMR Espace dans le cadre du programme CNRS « Vie, Environnement et Sociétés ». ...



Aménagement du port de Gênes

© J.-P. Doumenge

Autres équipes concernées par ce thème

CRH

Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale

(IRD, Ifremer, UIM2)

52 scientifiques

Directeur : Philippe Cury,
philippe.cury@ird.fr

Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

EA 3678 IMAGES

Institut de Modélisation et d'Analyse en Géo-Environnements et Santé

(UPVD)

20 scientifiques

Directrice : Catherine Goyet,
cgoyet@univ-perp.fr

Fax : +33 (0)4 68 66 21 44

HMT

Laboratoire Ressources Halieutiques Sète

(Ifremer)

14 scientifiques

Directeur : Gildas Le Corre,
gildas.le.corre@ifremer.fr

Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

LER/LR

Laboratoire Environnement Ressources en Languedoc-Roussillon

(Ifremer)

25 scientifiques

Directeur : Thierry Laugier,
Thierry.Laugier@ifremer.fr

Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

UMR 5110 CEFREM

CEntre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin

(CNRS, UPVD)

9 scientifiques

Directeur : Serge Heussner,
heussner@univ-perp.fr

Fax : +33 (0)4 68 66 20 96

... suite page 54

Les ports, points névralgiques de la Gestion Intégrée des Zones Côtières

Sur les littoraux, les ports constituent des pôles remarquables de concentration d'hommes, d'activités, de capitaux. Ils sont donc un élément majeur dans la GIZC. Leur analyse croise la thématique des écosystèmes aquatiques sur trois points.

■ Comment intégrer des activités économiques intercontinentales et de proximité sur le territoire de la ville portuaire ?

Les ports jouent un rôle structurant dans l'organisation de nombreuses activités à dimension maritime dont souvent la petite pêche, activité de proximité, où les entreprises sont bien impliquées dans le tissu local, mais pas toujours rentables. Certains ports traitent aussi les produits de la pêche et du commerce comme de simples plates-formes de transit. Les autorités publiques ont donc une importante responsabilité dans le choix de la place faite à la valorisation des ressources marines via le choix des infrastructures (quais, criée, équipements, etc.).

■ Comment gérer les conflits entre usagers et intégrer les différentes activités sur le territoire portuaire ?

La rareté de l'espace portuaire fait la spécificité de son aménagement. Aussi les conflits y sont légion comme ceux entre les fonctions traditionnelles de pêche et de commerce (dont les quais constituent le « gagne-pain ») et les activités des plaisanciers, pour lesquels les plans d'eau sont des « bassins de jeu ». Ce sont en fait les conditions de passage d'une société de travail à une société de loisir dans le périmètre portuaire qui sont en jeu et sur lesquelles les autorités publiques doivent arbitrer notamment pour les opérations de reconversion d'anciens bassins portuaires.

■ Quel développement durable pour les ports dans le cadre de la GIZC ?

Artificialisation du littoral, modification du trait de côte, pollutions marines, les ports constituent des points noirs du littoral au plan de l'environnement. Les autorités portuaires tentent de plus en plus d'intégrer ce paramètre dans leur gestion. Poids des cadres réglementaires nationaux et communautaires, attente de bénéfices économiques des entreprises, pratiques de certification/labellisation établies pour les entreprises et les ports « verts » par divers organismes (Ecoports, ISO 14001, Pavillon Bleu...), l'examen de leurs motivations explique bien les choix des modes de gestion. Mais la thématique portuaire est encore souvent mal prise en compte dans les documents d'aménagement traditionnels (de type PLU ou SCOT) surtout sur le long terme.

Contact : Valérie Lavaud-Letilleul, lavaud.letilleul@club-internet.fr

Analyse et modélisation économique des usages et des politiques de régulation des écosystèmes

Le Laboratoire Montpelliérain d'Économie Théorique et Appliquée (LAMETA, UMR CNRS, UM1, Montpellier SupAgro, Inra) compte pour essentiel, parmi ses axes de recherche, celui de l'économie des ressources naturelles et de l'environnement, qui vise *in fine* celui des politiques publiques de développement durable. Les recherches sont centrées sur les questions d'évaluation économique et de modélisation, ainsi que de négociation et de coordination des politiques publiques d'environnement et de gestion des ressources naturelles, à différentes échelles jusqu'à celle des négociations internationales.

À ce niveau, du fait de l'absence d'autorité centrale légitime, la coordination et l'harmonisation des politiques ressortent de processus de négociation entre les pays. Différentes approches (économie de l'environnement, économie expérimentale, théorie des jeux, modélisation intégrée...) sont mises en œuvre mettant l'accent sur la coordination fonctionnelle et stratégique des politiques,

respectivement sectorielles et d'environnement. Les objets de recherche dans ce cadre sont notamment l'eau, les paysages, la biodiversité, le changement climatique et le développement durable.

Au-delà des caractéristiques génériques des problèmes d'environnement et de ressources naturelles (absence de droits de propriété bien définis, absence ou incomplétude de marchés, dynamique naturelle difficile à contrôler...) et de la question fondamentale de l'intégration des externalités, la problématique actuelle de l'analyse économique des politiques de l'environnement a été renouvelée par le constat qu'elles doivent s'insérer dans des dispositifs sectoriels existants qui limitent leur portée spécifique et appellent une coordination souvent difficile et coûteuse. La légitimité des politiques de régulation dépend donc de la capacité des parties concernées à prendre en compte d'autres intérêts et fonctions que la seule fonction productive, à mettre en cohérence des différentes politiques sectorielles, et à gérer au mieux les problèmes posés par des faits tels que les asymétries d'information et l'hétérogénéité des préférences des agents. Cette logique d'internalisation concerne

bien sûr, au-delà de la gestion des écosystèmes aquatiques, l'ensemble des politiques sectorielles (eau, forêts, énergie, transports...).

Plusieurs chercheurs du LAMETA se sont impliqués dans le programme européen Ditty (*voir chap. 4*). Diverses problématiques de recherche en économie ont pu être envisagées dans ce cadre :

- Analyse des acteurs (*Stakeholder analysis*) visant à rendre compte de leurs stratégies des conflits d'usage au travers d'une méthodologie originale de simulation des enjeux des négociations entre collectivités territoriales,
- Évaluation par des méthodes dites du transfert d'évaluation (*valuation transfer* ou méta analyse) de la valeur accordée à la qualité de l'eau de l'étang de Thau,
- Évaluation, par une approche relevant de l'économie expérimentale, de l'impact de la mise à disposition d'informations issues de modèles sur la gestion des ressources,
- Recours à un modèle macro-économique pour simuler le fonctionnement de l'économie du bassin versant de Thau, et les impacts (socio-économiques et environnementaux) de divers modes de gestion des ressources correspondantes. ...

Évaluation de la valeur des écosystèmes : l'exemple de la lagune de Thau

L'évaluation économique totale d'un actif naturel concerne ses valeurs d'usage (direct, indirect du fait des services environnementaux produits par le bien et d'option pour un usage ultérieur) et ses valeurs de non-usage (notamment de legs et d'existence pour les générations futures). L'évaluation des valeurs non marchandes ne pouvant pas être effectuée à partir de prix observés, elle doit s'appuyer sur d'autres approches spécifiques devant permettre d'évaluer l'ensemble des coûts et avantages, y compris non marchands, liés aux différents « rôles » de l'actif en question.

Dans le cadre du projet Ditty, le Lameta a testé l'application des nouvelles méthodes dites du transfert d'évaluations (« *benefits transfer* », « *meta-analyse* ») pour évaluer la valeur accordée à la qualité de l'eau de l'étang de Thau. Cette méthode permet d'utiliser, pour évaluer sur un site donné la valeur économique d'un actif, un ensemble de données obtenues dans le cadre de multiples évaluations contingentes déjà réalisées sur des sites similaires.



Dans le cas de l'étang de Thau on a mobilisé des évaluations issues d'une cinquantaine d'études concernant d'autres zones humides, dont 31 ont pu être exploitées pour la méta-analyse. Les résultats ont été comparés aux valeurs des consentements à payer des ménages pour la préservation de la qualité de l'eau de l'étang de Thau, qui avaient été évaluées dans le cadre d'une recherche (évaluation contingente) réalisée en 1997. Au total, la valeur de la qualité de l'eau varie selon les méthodes entre 25 et 30 millions d'euros (2005), valeur qui peut être rapprochée des montants de dépenses publiques liées à l'assainissement (de 28 à 50 M€).

Contacts : Jean-Marie Boisson, jean-marie.boisson@univ-montp1.fr
Geoffroy Enjolras, enjolras@lameta.univ-montp1.fr
François Valette, valette@lameta.univ-montp1.fr

Recherche en économie expérimentale

Autres équipes concernées par ce thème

UMR 5119 ECOLAG
Écosystèmes Lagunaires
(UM2, CNRS, Ifremer)
59 scientifiques
Directeur : Marc Troussellier,
troussel@univ-montp2.fr
Fax : +33 (0)4 67 14 37 19

UMR 7621
Laboratoire d'Océanographie
Biologique de Banyuls
(CNRS, UPMC)
30 scientifiques
Directeur : Antoine Grémare,
gremare@obs-banyuls.fr
Fax : +33 (0)4 68 88 73 95

UMR 5244
Biologie et Écologie
Tropicale et Méditerranéenne
(CNRS, EPHE, UPVD)
Directeur : André Théron,
theron@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 66 22 81

Équipe « récifs coralliens »
dirigée par René Galzin, galzin@univ-perp.fr
Fax : +33 (0)4 68 50 36 86
32 scientifiques

UMS 2348 - École Interne EI38 UPMC
Observatoire océanologique
de Banyuls-sur-Mer
(CNRS/UPMC)
35 scientifiques
Directeur : Philippe Lebaron,
lebaron@obs-banyuls.fr
Fax : +33 (0)4 68 88 16 99

UPR 20
Aquaculture et gestion
des ressources aquatiques
(Cirad)
8 scientifiques + 6 thésards
Directeur : Jérôme Lazard,
jerome.lazard@cirad.fr
Fax : +33 (0)4 67 16 64 40

UR 109 Thetis
THons tropicaux et Écosystèmes
pélagiques : Taxies, Interactions
et Stratégies d'exploitation
(IRD)
19 scientifiques
Directeur : Francis Marsac,
marsac@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

UR 175 Caviar
Caractérisation et valorisation
de la diversité ichtyologique pour une
aquaculture raisonnée
(IRD)
14 scientifiques
Directeur : Marc Legendre,
Marc.Legendre@mpl.ird.fr
Fax : +33 (0)4 67 63 57 95

US 007 Osiris
Observatoire et systèmes d'information
des pêches tropicales
(IRD)
12 scientifiques
Directeur : Pierre Chavance,
Pierre.Chavance@ird.fr
Fax : +33 (0)4 99 57 32 95

O. Barbaroux © Ifremer



Vue aérienne du littoral de La Grande Motte
près de Montpellier (Hérault, France)

Dans le cadre du projet européen Ditty, une recherche en économie expérimentale a été entreprise pour repérer dans quelle mesure les décisions prises par les acteurs individuels de la gestion d'une ressource renouvelable mais limitée (un stock d'eau) pouvaient être influencées par des informations issues d'un modèle de simulation de la gestion de cette ressource. Cette recherche devait donc *in fine* répondre à des questions telles que : le fait de fournir des informations prospectives sur la dynamique de la ressource partagée est-il susceptible de conduire les acteurs à prendre conscience des interactions entre leurs comportements (micro-décisions de gestion simulées par des achats virtuels) et ceux des autres ? L'accès à un outil de simulation peut-il réduire les risques de surexploitation de cette ressource ? Permet-il de rendre plus efficace, voire optimale, son exploitation ? Etc. Un autre programme de recherche financé par le PNEC s'est appuyé sur une démarche analogue pour comparer divers modes de gestion des aquifères côtiers. Dans les deux cas, l'économie expérimentale a permis de reproduire en laboratoire des situations économiques stylisées, fondées sur des modèles d'exploitation simplifiés qui reflétaient au mieux les caractéristiques essentielles, au sens de la théorie des jeux, de la problématique testée.

Contacts : Marc Willinger, willinger@lameta.univ-montp1.fr
Jérémy Celse, celse@lameta.univ-montp1.fr

Évaluation du coût d'une fermeture de l'étang de Thau pour cause bactériologique

Dans le cadre du projet Ditty, le Laser a évalué les risques économiques liés à la qualité de l'eau de l'étang, c'est-à-dire l'occurrence des épisodes de contamination et le coût économique induit par une fermeture de la commercialisation des coquillages pour la conchyliculture. L'analyse est menée à l'échelle des mailles du modèle de circulation de l'eau dans la lagune (soit 100 m sur 100 m) en fonction des types de vents et en distinguant trois grandes saisons pour la survenance des fermetures afin de tenir compte des différentiels d'impacts commerciaux (été, Noël et reste de l'année). La répartition de la production et de la valeur ajoutée conchylicole a été faite en tenant compte des différentiels de productivité des zones (4 classes de productivité), des types d'espèces élevées (huîtres ou moules) et des prix de vente en fonction des circuits de commercialisation qui varient selon la taille des entreprises (trois classes de taille). On peut ainsi évaluer le coût économique d'une fermeture en fonction des vents et des périodes auxquelles intervient la fermeture. Cette évaluation du manque à gagner lié à une interdiction de commercialisation, ne représente qu'une partie du coût total. Il manque d'autres types de coûts ou effets plus qualitatifs comme ceux liés à l'image, ou aux pertes potentielles de marchés, notamment dans les cas où la durée d'interdiction est longue ou proche des fêtes de fin d'année.

Contacts : Hélène Rey-Valette, helene.rey-valette@univ-montp1.fr
Syndhia Mathé, syndhia.mathe@univ-montp1.fr

Aménagement et développement littoral et maritime : pour une gestion intégrée des zones côtières

La dimension territoriale de la gestion des écosystèmes aquatiques s'est imposée dans les dernières années au travers de la notion de gestion intégrée des zones côtières (GIZC). Validé sur le plan politique au niveau communautaire au travers de la recommandation 2002/413/CE du parlement européen et du Conseil du 30 mai 2002 avant d'être repris en France, ce concept présente *de facto* une entrée territoriale. Il trouve de ce fait un écho fort dans les recherches que les géographes et les aménageurs mènent sur les milieux littoraux et maritimes. C'est d'autant plus fondamental qu'en 2050, on comptera probablement 70% de la population mondiale implantés sur les littoraux, le plus souvent dans un contexte d'agglomérations millionnaires. Les enjeux des espaces littoraux et maritimes sont donc essentiels en termes de gouvernance territoriale.

Dans les pays développés, le tropisme de « la vie facile en bord de mer », est un vecteur d'anthropisation

massive des littoraux. Parce que les loisirs balnéaires restent la forme dominante du « temps libre » des pays développés, vivre en bord de mer devient synonyme de « qualité de vie », déterminant un puissant mouvement de recherche d'une résidence en zone littorale surtout chez les jeunes couples et les retraités. Cette tendance conduit à la multiplication de grandes agglomérations côtières intégrant une ville portuaire et des banlieues alignées sur le lisière côtier ou autour d'un plan d'eau abrité comme l'étang de Thau. Or, le littoral, comme toute « interface », est fragile.

Aussi, la prise en compte du principe de précaution conduit à élaborer une programmation systémique du fonctionnement des territoires littoraux pour faire face à trois défis d'aménagement :

- trouver un volume suffisant d'activités à haute valeur ajoutée, générateur de richesses, pour faire face aux besoins d'une population en fort accroissement,
- concilier les besoins en services divers et infrastructures publiques des populations résidentes à l'année et les attentes plus ludiques des touristes de passage,
- gérer les effets de l'érosion sur le trait de côte soumis à l'urbanisation

et les conséquences de la pression humaine sur la qualité des eaux des plages et des lagunes.

Cette approche implique de disposer d'un cadre stable de référence pour entreprendre la GIZC. Il faut donc travailler en « intercommunalité », voire en « interrégional » comme en France, via les « communautés d'agglomération » et les « pays » afin de traiter des relations « bande côtière - arrière pays » au travers des SCOT (schéma concerté d'organisation du territoire).

L'objectif central de l'équipe d'accueil *Gestion des sociétés, des territoires et des risques* (EA GESTER, UM3) est d'aboutir à un diagnostic des dysfonctionnements territoriaux éventuels, en faisant appel aux outils d'analyse spatiale et d'analyse cartographique permettant le croisement de bases de données lourdes et complexes (SIG...). Cette démarche contribue à faciliter l'action des collectivités humaines dans leur environnement, le but étant le renouvellement des idées et des méthodes de gestion collective du développement et la recherche d'une meilleure cohérence des territoires dans un environnement. ...

Apport des sciences sociales dans le Programme National Environnement Côtier (PNEC)

Afin d'évaluer les interactions entre les sociétés humaines et la lagune de Thau, le laboratoire Laser a mis au point des indicateurs pluridisciplinaires grâce à une approche multicritère participative. Ce type de méthode permet de concilier les différentes attentes vis-à-vis des indicateurs : les chercheurs proposent des indicateurs qu'ils jugent importants (et qu'ils sont en mesure de calculer) ; les décideurs veulent disposer d'indicateurs de synthèse ; les utilisateurs (conchyliculteurs ou touristes intéressés par la qualité de l'eau) aimeraient aussi être renseignés par des indicateurs dont les qualités premières sont alors la lisibilité et la facilité d'interprétation.

La démarche s'est déroulée en trois phases :

(1) Élaboration d'une situation de référence à partir d'une étude statistique de la zone qui rend compte des formes d'occupation économique, des aménagements et des usages de l'espace, y compris les conflits générés et l'évaluation des pratiques liées aux



usages récréatifs. Il s'agit d'évaluer les pressions anthropiques et les réponses apportées par les systèmes de régulation dans le cadre de la gestion de ces pressions mais aussi de vulnérabilité des populations et des activités par rapport au milieu lagunaire. (2) Analyse fonctionnelle du système économique et social de la zone lagune et bassin versant. Elle met l'accent sur les déterminants de comportements des acteurs, la structure des réseaux sociaux et permet d'identifier les logiques de fonctionnement et les niveaux hiérarchiques d'organisation du système

« Bassin de Thau » pour établir des scénarios prospectifs.

(3) Élaboration proprement dite des indicateurs : elle est ensuite menée en deux temps correspondant aux deux logiques de co-construction de ces indicateurs : (i) l'identification par les chercheurs d'un panel d'indicateurs de développement durable en fonction des enjeux de la zone et des résultats de l'analyse fonctionnelle du bassin de Thau ; (ii) la sélection dans le cadre d'une recherche action avec le Syndicat Mixte du Bassin de Thau (SMBT) et la Ceparlmar d'un nombre réduit d'indicateurs qui sont ensuite hiérarchisés au travers d'une approche multicritère participative de façon à être à la fois pertinents et appropriés par l'ensemble des acteurs.

Contact : Hélène Rey-Valette, helene.rey-valette@univ-montp1.fr

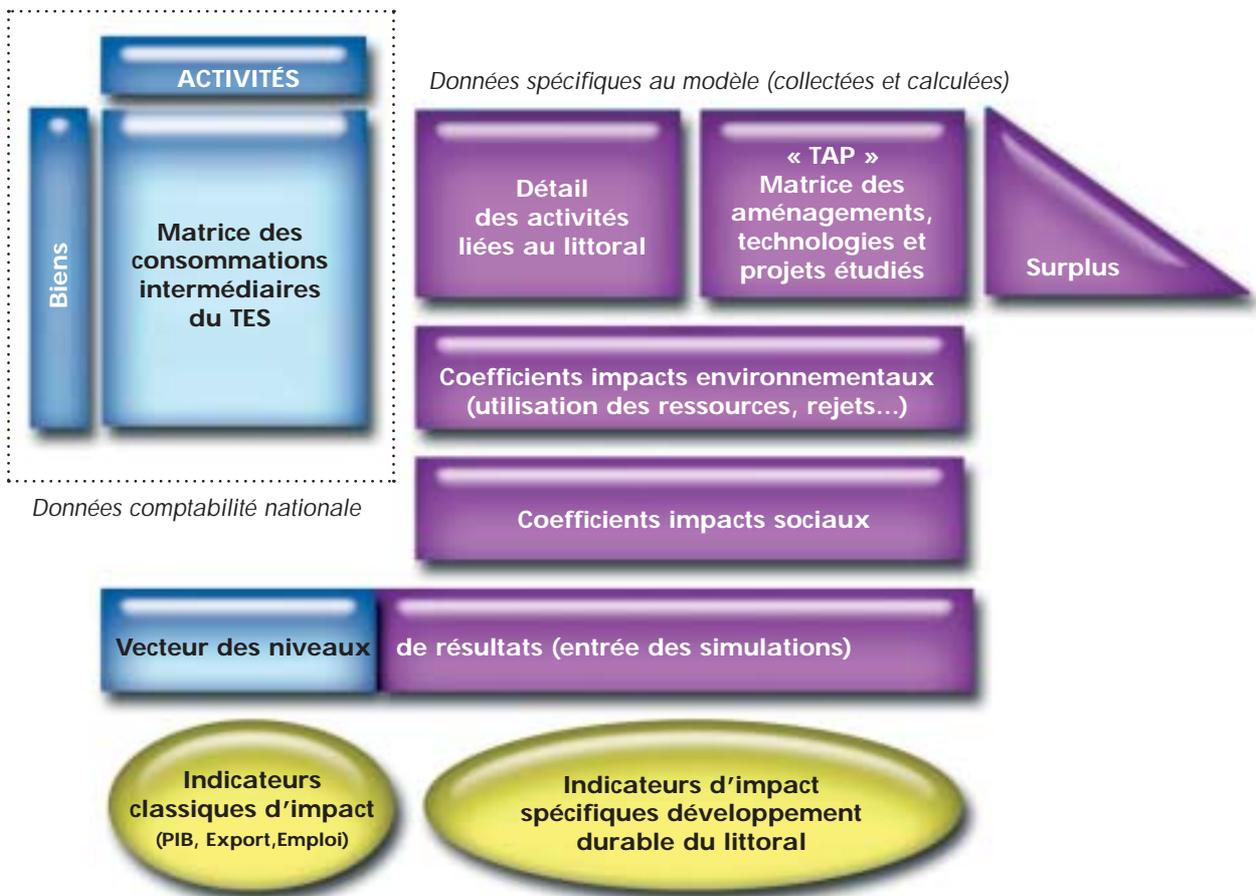
Modélisation de l'économie d'un territoire à des fins d'évaluation des impacts socio-économiques et environnementaux de divers scénarios de sa gestion

Un modèle macro-économique a été élaboré pour représenter le fonctionnement de l'économie du territoire qui comprend la lagune de Thau et l'ensemble des communes qui l'entourent – afin d'inclure l'ensemble des bassins versants qui alimentent cette lagune en eau douce ainsi que les espaces qui la séparent de la mer. La description proposée (cf. schéma ci-dessous) permet, sur la base d'une information détaillée sur les productions et consommations de biens et services par les principales activités, de rendre compte de diverses stratégies d'équipement (technologies), d'aménagement (infrastructures) et/ou de gestion (fonctionnement) envisageables sur ce territoire pour cerner *in fine* les principaux enjeux des stratégies à même d'intégrer différents choix sur tous ces plans. Ce modèle (MEPP-Thau) a ainsi permis de simuler la mise en œuvre de diverses options de gestion des ressources à fort impact environnemental et d'effectuer des évaluations de diverses politiques publiques de développement durable envisageables ou en cours d'application au niveau local ou régional.

L'exploitation du modèle a d'abord été envisagée dans une logique de prospective territoriale en simulant, à travers quelques scénarios dits « globaux », divers changements importants dans les structures techniques, sociologiques et/ou économiques de l'économie locale. Des scénarios plus « spécialisés » ont aussi été envisagés pour simuler des changements de priorité au sein des politiques locales, tendant par exemple à favoriser le développement du tourisme, le maintien et la création d'emplois, et/ou la priorité à la qualité environnementale, ou à la qualité de l'eau dans la lagune. Ceci a permis ainsi de fournir des descriptions détaillées des impacts d'une grande diversité de décisions.

* Cette modélisation s'appuie principalement sur une combinaison originale d'un (TES) (tableau des consommations intermédiaires des activités de la zone considérée), et d'une base de données du modèle de référence MEPP (Modèle d'Économie Physique et de Prospective) qui permet d'introduire ou de décomposer des activités.

Contact : François Valette,
valette@lameta.univ-montp1.fr



Structure générale du modèle macro-économique

TES : Tableau d'Entrées-Sorties • TAP : Projets en cours ou envisagés dans la construction des scénarios



Vue aérienne d'une Marina aménagée sur la côte du Languedoc (France)

O. Barbaroux © Ifremer

Trois grandes orientations structurent son activité, en particulier dans le domaine de la recherche littorale et maritime en milieu tempéré ou tropical :

- la connaissance des risques d'exposition aux aléas naturels pour tous les aménagements de production ou de résidence situés en zone littorale,
- l'analyse des processus d'urbanisation sur les littoraux et, de façon sous-jacente, des risques de pollution liée aux extensions des activités humaines,
- l'harmonisation des usages et l'adaptation des aménagements à des environnements fragiles comme le littoral, dans une perspective de recherche d'équilibre entre espaces anthropisés et naturels.

Ces trois axes ont en commun une réflexion sur la « gestion intégrée des zones côtières » (GIZC), ce qui inclut l'aquaculture sous ses différentes formes, les récifs artificiels, mais aussi les infrastructures portuaires et l'urbanisation (en particulier à finalité touristique). Les espaces maritimes étudiés par Gester sont les littoraux de la Méditerranée, les îles océaniques (arc antillais, Mascareignes, Comores, Insulinde, îles du Pacifique, dont celles de la France d'outre-mer), ainsi que la façade orientale du Japon.

Sur le thème des mutations des territoires en Europe, les recherches de l'UMR 5045 « Mutations de Territoires en Europe » (CNRS - UM3) s'inscrivent principalement dans l'Europe du Sud et l'Europe médiane, même si, en parallèle, les collaborations se développent vers « d'autres Sud », notamment l'Amérique Latine.

Trois axes marquent la cohérence de l'ensemble des recherches en cours ou projetées de l'UMR :

- les figures et trajectoires des territoires analysés comme des systèmes socio-spatiaux,
- la régulation et l'aménagement des milieux bio-physiques et des espaces socio-économiques et culturels en vue d'un développement durable des territoires,
- les qualifications territoriales intégrant la question de la qualité des produits et de territoires, les labellisations et les processus socio-économiques qui président à la qualification des espaces de vie.

La GIZC tient une place de choix dans ce dispositif de recherche. L'analyse de l'impact des infrastructures portuaires, résidentielles et de loisir sur les littoraux s'effectue tant sous l'angle des modifications paysagères que de celui de la gouvernance territoriale, ce qui implique une analyse critique des usages et conflits d'usage régionaux.

Plusieurs opérations de recherche ont été menées dans ce domaine :

- **Sur les ports**, en tant qu'équipements structurant l'activité d'exploitation et de valorisation des ressources aquatiques, à l'interface entre les zones d'activité maritime et l'aire de distribution des produits,
- **Sur la capacité de charge du littoral en matière d'activités de loisirs** : une thèse en cours dans le cadre du programme régional SYSCOLAG sur « l'occupation et la fréquentation liées aux activités récréatives et leurs impacts sur le littoral du Languedoc-Roussillon »,
- **Sur la question des processus conflictuels** entre acteurs impliqués sur le littoral, leur mode de résolution et leur contribution à l'émergence de nouvelles formes de GIZC (thèse soutenue en 2006 sur « les conflits d'usage liés à l'environnement sur le littoral du Languedoc-Roussillon »),
- **Sur les aspects de qualification de produits et de territoires** : recherches sur la qualité des produits typiques en relation avec les ressources territoriales terrestres ou maritimes, le rôle des acteurs dans la construction de la qualification, la représentation des produits selon la connaissance sur l'origine territoriale et l'analyse du concept polysémique de terroir, applicable au terroir aquatique. ■

Thématiques couvertes par les équipes de recherche

(janvier 2007)

Les différentes unités et équipes de recherche apparaissent dans le texte de ce dossier sont consignées dans le tableau ci-dessous.

1. Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes aquatiques
2. Pêche : diagnostic et appui à la gestion
3. Aquaculture : enjeux et évolutions

4. Qualité de la ressource et biosurveillance
5. Enjeux économiques, aménagement, politiques publiques et outils de gouvernance

Unité	1	2	3	4	5
IFR 129 Écosystèmes aquatiques - Armand Sabatier (Cemagref, Cirad, CNRS, Ifremer, IRD, UM1, UM2) François Valette	•	•	•	•	•
BOME Département de biologie des organismes marins exploités (Ifremer) Évelyne Bachère			•	•	
EA 3766 GESTER Gestion des sociétés, des territoires et des risques (UM3) Jean-Marie Miossec					•
UMR 5112 CEPOL Centre d'Études Politiques de l'Europe Latine (CNRS/UM1) Hubert Peres					•
CRH Centre de Recherche Halieutique méditerranéenne et tropicale (IRD, Ifremer, UM2) Philippe Cury	•	•			•
EA 2039 LASER/CEP Laboratoire des sciences économiques de Richter / Centre d'Étude et de Projets (UM1) Jacques Percebois					•
EA 3678 IMAGES Institut de Modélisation et d'Analyse en Géo-Environnements et Santé (UPVD) Philippe Cury	•	•			•
LER/LR Laboratoire Environnement Ressources en Languedoc-Roussillon (Ifremer) Thierry Laugier	•		•	•	•
HMT Laboratoire Ressources Halieutiques Sète (Ifremer) Gildas Le Corre	•	•			•
UMS 2348 École interne EI38 UPMC Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (CNRS, UPMC) Philippe Lebaron	•		•		•
UMR 5110 CEFREM Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin (UPVD, CNRS) Serge Heussner	•				•
UMR 5119 ECOLAG Écosystèmes Lagunaires (UM2, CNRS, Ifremer) Marc Troussellier	•	•	•	•	•
UMR BI ISEM (UM2/CNRS) Jean-Christophe Auffray Département Biologie Intégrative François Bonhomme	•				
UMR 5474 LAMETA Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée (CNRS, UM1, Montpellier SupAgro, Inra) Marc Willinger/François Valette				•	•
UMR 7621 Laboratoire d'Océanographie Biologique de Banyuls (CNRS, UPMC) Antoine Grémare	•				•
UMR 5474 LAMETA Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée (CNRS, UM1, Montpellier SupAgro, Inra) Marc Willinger/François Valette				•	•
UMR 7628 Modèles marins en biologie cellulaire et évolutive (CNRS, UPMC) Gilles Bœuf	•		•		

Unité	1	2	3	4	5
UMR 5244 - Biologie et Écologie Tropicale et Méditerranéenne (CNRS, EPHE, UPVD) André Théron <i>Équipe « récifs coralliens »</i> René Galzin	•				•
UMR HydroSciences (CNRS, IRD, UM1, UM2) Eric Servat			•	•	
UPR 20 Aquaculture et Valorisation des ressources aquatiques » (Cirad) Jérôme Lazard	•		•		•
UR 070 RAP Réponses adaptatives des populations et des peuplements de poissons aux pressions de l'environnement (IRD) Raymond Lae	•	•			
UR 097 ECO-UP Interactions et dynamiques spatiales des ressources renouvelables dans les écosystèmes d'upwelling (IRD) Pierre Fréon	•	•			
UR 109 THÉTIS Thons tropicaux et écosystèmes pélagiques : taxies, interactions et stratégies d'exploitation (IRD) Francis Marsac	•	•			•
UR 167 CYROCO Cyanobactéries des milieux aquatiques tropicaux peu profonds : rôles et contrôles (IRD) Robert Arfi	•		•	•	
UR 175 Caviar Caractérisation et valorisation de la diversité ichthyologique pour une aquaculture raisonnée (IRD) Marc Legendre	•		•		•
US 007 OSIRIS Observatoire et systèmes d'information des pêches tropicales (IRD) Pierre Chavance	•				

L'IFR 129 « Écosystèmes Aquatiques - Armand Sabatier »

La création de l'IFR 129 en 2003 pour 4 ans (Directeur : M. Troussellier) a été motivée par le souci de mettre en synergie les travaux des organismes montpellierains de recherche et d'enseignement supérieur dont les activités concernaient essentiellement l'étude des milieux aquatiques et de leurs ressources vivantes, à diverses échelles, des communautés aux écosystèmes, et à divers degrés d'anthropisation, entre systèmes naturels et artificiels.

Ses principaux objectifs scientifiques sont de contribuer à :

- **Observer et comprendre les mécanismes de l'impact des perturbations et forçages anthropiques sur le fonctionnement des écosystèmes**, pour repérer jusqu'à quel niveau de perturbation ces systèmes peuvent continuer à assurer l'essentiel des « services » qui en sont attendus (contribution à l'équilibre des cycles biogéochimiques, production stable de ressources, , épuration naturelle,...) ;
- **Comprendre le rôle de la biodiversité** (végétale, animale, microbienne) sur la stabilité des écosystèmes en question (résistance et résilience) ;
- **Analyser dans des conditions environnementales fluctuantes et variées l'évolution de la relation structure/fonction des communautés observées**. Différencier les mécanismes de réponse aux perturbations qui sont communs à tous les systèmes de ceux qui sont « système-dépendants », à travers la comparaison des divers contextes étudiés par les partenaires de l'IFR : tempéré vs tropical, naturel vs artificiel...
- **Développer et approfondir la coopération entre les chercheurs des sciences dites « dures » de l'environnement et les autres, dites « de contexte »**. Cet objectif, déjà poursuivi avec de bons résultats lors du premier mandat de l'IFR, sera conservé dans le cadre de son renouvellement. Cette collaboration développera les synergies entre les approches « scientifiques » et « sociétales » en associant de nouveaux acteurs.

L'IFR 129 a été renouvelé en 2007. Il s'inscrit dans la continuité du précédent, dont il conserve les grandes orientations. Le nouveau projet tendra à accroître les interactions entre l'IFR et ses autres partenaires potentiels au niveau régional pour les questions d'environnement et de développement durable, qu'ils soient scientifiques ou représentants d'autres acteurs (entreprises, collectivités territoriales...). Il propose aussi de renforcer les actions de coopération interdisciplinaire.

Les 15 unités constitutives de l'IFR 129 sont les suivantes :

- Écosystèmes lagunaires : organisation biologique et fonctionnement (UM2/CNRS/Ifremer)
- Laboratoire Montpellierain d'Économie Théorique et Appliquée (UM1)
- Laboratoire des sciences économiques de Richter / Centre d'Étude et de Projets (UM1)
- Observatoires et Systèmes d'Information des Pêches Tropicales (IRD)
- Structuration et fonctionnement des écosystèmes d'upwelling exploités (IRD)
- Thons tropicaux et écosystèmes pélagiques : taxies, interactions, stratégies d'exploitation (IRD)
- Réponses adaptatives des poissons aux pressions de l'environnement (IRD)
- Caractérisation et valorisation de la diversité ichthyologique pour une aquaculture raisonnée (IRD)
- Cyanobactéries des milieux aquatiques tropicaux peu profonds. Rôle et contrôle (IRD)
- Ressources Halieutiques (Ifremer)
- Laboratoire Environnement Ressources du Languedoc-Roussillon (Ifremer)
- Laboratoire Biologie des espèces marines exploitées (Ifremer)
- UR Hydrobiologie (Aix-en-Provence), équipe « Écosystèmes lacustres », Montpellier (Cemagref)
- Aquaculture et gestion des ressources aquatiques (Cirad)
- Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (UM2/CNRS)

Directeur : François Valette, valette@lameta.univ-montp1.fr



C. Parel © IRD



O. Barbaroux © Ifremer

Les formations à *Agropolis International*

Photo principale : en octobre 2004, les chercheurs de l'IRD Guyane sont allés à la rencontre des populations du littoral guyanais. Des animations - approche de la télédétection notamment - menées en partenariat avec l'ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage) ont été présentées aux scolaires de trois communes de l'Est Guyanais : Régina, Cacao et Roura. Ici à l'école primaire de Régina.

En vignette : Étude de la croissance et de la reproduction de la perche du Nil dans une ferme aquacole de la Mée en Côte d'Ivoire.

Les formations à Agropolis International

dans le domaine des écosystèmes aquatiques

Agropolis International, au travers de ses établissements membres, universités et écoles d'ingénieurs (et institutions spécialisées dans la formation continue), propose une offre de formation complète.

Cela représente plus de 80 formations diplômantes (de bac +2 à bac +8 : technicien, ingénieur, licence, master, doctorat...) ainsi qu'une centaine de modules de formation continue (préexistants ou à la carte).

Les tableaux présentés ci-après détaillent les formations relevant du domaine des écosystèmes aquatiques. Ils précisent les niveaux de diplômes, les intitulés des formations et les établissements opérateurs.

Les formations diplômantes

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation	Établissement
Bac +2	DU	Technicien spécialisé en aquaculture	UM2- CREUFOP
Bac +4	DESTA	Cadre opérationnel de gestion des entreprises d'aquaculture et des activités associées	CNAM, UM2
Bac +5	DU	Chef de projet en aquaculture	UM2 - CREUFOP
	Master recherche	Sciences et technologies - Mention Environnements Méditerranéens et Développement Durable	UPVD
		Sciences et technologies - Mention Sciences de l'univers, environnement, écologie - Spécialité « Océanographie environnement marin »	UPMC / Observatoire Biologique de Banyuls
	Master Professionnel	Sciences et technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement - Spécialité « Bioressources aquatiques en environnement méditerranéen et tropical »	UM2
		Sciences et technologies - Mention Environnements Méditerranéens et Développement Durable	UPVD
		Sciences et technologies - Mention Sciences de l'univers, environnement, écologie - Spécialité « Océanographie environnement marin »	UPMC / Observatoire Biologique de Banyuls
Bac +8	Doctorat	Différentes Écoles Doctorales permettent la préparation d'un Doctorat en lien avec la thématique « Écosystèmes aquatiques » <i>(cf infra)</i>	

Formations centrées sur d'autres thématiques dont des composantes significatives portent sur la thématique « Écosystèmes aquatiques »

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation	Établissement
Bac +3	Licence	Biologie	UM2
		Sciences de la terre et de l'environnement	UM2
		Biologie - Environnement - Évolution	UPVD
		Géosciences	UPVD
Bac +5	Master recherche	Sciences et technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement - Spécialités « Ecologie, Biodiversité, Evolution », « Fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés » et « Terre, eau, environnement »	Montpellier SupAgro, UM2
		Sciences de la vie et de la terre Spécialité « Environnement et gestion de la biodiversité »	EPHE
		Sciences et technologies - Mention Biologie intégrative et physiologie - Spécialité "Biologie et physiologie comparées, adaptation au milieu"	UPMC / Observatoire Biologique de Banyuls
	Master Professionnel	Droit, Sciences politiques - Mention Environnement-Risques ou Sciences et technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement ou Sciences de l'Homme, des Territoires et des Sociétés - Mention Dynamique spatiales, gestion des territoires et environnement Spécialité « Gestion des littoraux et des mers »	UM1, UM2, UM3
		Sciences de l'Homme, des Territoires et des Sociétés - Mention Dynamique spatiales, gestion des territoires et environnement - Spécialités « Tourisme durable, écotourisme » et « Gestion des catastrophes et des risques naturels »	UM3
		Sciences de l'Homme, des Territoires et des Sociétés - Mention Ingénierie territoriale, sociale et urbaine Spécialité « Territoires de l'urbain »	UM3
		Sciences et technologies - Mention Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement Spécialités « Productions animales en régions chaudes »	Cirad, UM2
		Agronomie et Agroalimentaire - Mention « Productions animales en régions chaudes »	Cirad, Montpellier SupAgro
		Sciences de la vie et de la terre - Spécialité « Environnement et gestion de la biodiversité »	EPHE

Les formations courtes non diplômantes Modules courts de formation

Établissement	Intitulé
Cirad	Aquaculture tropicale (2 semaines)
	Contrôle officiel des produits de la pêche (7 jours)
AgroParisTech - ENGREF, CNED	Connaître et gérer les zones humides (formation à distance)
UPMC / Observatoire Biologique de Banyuls	BIOMA : Ecologie méditerranéenne marine et terrestre (18 jours)
	BIOPROME : Biodiversité des producteurs primaires en Méditerranée (macrophytes, phytoplancton) (18 jours)
Montpellier SupAgro	De la mouche de pêche à l'écologie des cours d'eau : les invertébrés aquatiques et leur habitat (5 jours)
	Directive Cadre sur l'eau : les macro-invertébrés benthiques (5 jours)
	Le patrimoine naturel dans la gestion des rivières (5 jours)
	Lecture de rivière : le cours d'eau, support d'éducation à l'environnement (5 jours)
	Qualité de l'eau et écologie des rivières (5 jours)



D. Lacroix © Ifremer

Écoles doctorales en rapport avec le thème des écosystèmes aquatiques et de leurs ressources

D'une durée de trois ans, le doctorat sanctionne un travail de recherche dans un laboratoire. Tout étudiant s'inscrivant en doctorat est en outre rattaché à une École Doctorale (ED). Les ED regroupent les unités de recherche ou laboratoires d'accueil autour de grandes thématiques.

Elles ont pour mission, outre l'encadrement scientifique direct des doctorants, d'offrir des compléments de formation apportés sous forme de séminaires et conférences scientifiques, de modules de formation pendant les trois années de préparation de la thèse. Ces modules ont pour but d'améliorer la formation scientifique des doctorants et de mieux préparer leur avenir professionnel.

Contacts et coordonnées

École doctorale « Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydros-cienciences et environnement » (SIBAGHE)
(UM2, AgroParisTech-Engref, Montpellier SupAgro, UM1, UPVD, Université d'Avignon)

Reponsable : Bernard Godelle, UM2,
Bernard.Godelle@univ-montp2.fr
Fax: +33 (0)4 67 14 46 46
www.sibaghe.univ-montp2.fr

Une école doctorale est principalement concernée par la thématique « Écosystèmes aquatiques » :

École doctorale « *Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydros-cienciences et environnement* » (SIBAGHE)

Cette nouvelle ED est une école de l'Université Montpellier 2, co-accréditée avec l'AgroParisTech - ENGREF, Montpellier SupAgro, l'Université Montpellier 1, l'Université de Perpignan *Via Domitia* et l'Université d'Avignon. Elle résulte de la fusion des anciennes ED « Biologie des systèmes intégrés, agronomie, environnement » (BSIAE) et « Terre, Eau, Espace » (TEE).

Elle insiste particulièrement sur les interactions et l'intégration dans les systèmes biologiques.

Ses domaines d'intervention concernent :

- la biologie intégrative des plantes
- les écosystèmes
- l'évolution, l'écologie, les ressources génétiques, la paléontologie
- la microbiologie/parasitologie
- les eaux continentales et la société
- les géosciences.

De nombreux aspects de ces domaines concernent les processus biologiques impliqués dans les questions d'environnement : biodiversité, développement durable, changements globaux.

Ce champ d'activité et les objectifs de formation conduisent à inclure dans les projets de l'ED la formation des étudiants à l'interaction avec d'autres champs disciplinaires : biologie de la santé, génie alimentaire, mathématiques, sciences sociales, sciences juridiques, sciences économiques et de gestion, géographie.

L'ED accueille environ 100 nouveaux doctorants par an. ■



Liste des acronymes et abréviations

- ADCP** : *Acoustic Doppler Current Profiler*
- ADIOS** : *Atmospheric Deposition and Impact of pollutants, key elements and nutrients on the Open Mediterranean Sea*
- AEP** : Approche écosystémique des pêches
- AMHY** : *Alpine and Mediterranean Hydrology*
- ANR** : Agence Nationale de la Recherche
- AOC** : Afrique de l'Ouest et Centrale
- AQUAETREAT** : *Improvement and innovation of Aquaculture Effluent TREATment technology*
- BIOMEM** : Bio-Analyse et Membranes
- BDSI** : Biophysique et dynamique des systèmes intégrés
- BOME** : Biologie des Organismes Marins Exploités
- BSIAE** : Biologie des systèmes intégrés, agronomie, environnement
- CABLE** : Caractérisation Biogéochimique de L'Environnement marin
- Caviar** : Caractérisation et valorisation de la diversité ichtyologique pour une aquaculture raisonnée
- CDL** : *Cyclin-Dependent Kinase*
- CEFAS** : *Centre for Environment, Fisheries & Aquaculture Science* (G.B.)
- CEFREM** : Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin
- CEPEL** : Centre d'Études Politiques de l'Europe Latine
- CEPRALMAR** : Centre d'Études et de Promotion des Activités Lagunaires et Maritimes du Roussillon
- CERESCOR** : Centre d'Études et de Recherches Scientifiques de Conakry-Rogbané (Guinée)
- CICTA** : Commission Internationale pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique
- Cirad** : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
- CSIRO** : *European Laboratory Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Division of Entomology*
- CNED** : Centre national d'enseignement à distance
- CNRS** : Centre National de la Recherche Scientifique
- CNSHB** : Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (Guinée)
- CREUFOP** : Service de formation professionnelle continue de l'UM2
- CRH** : Centre de Recherche Halieutique méditerranéen et tropicale
- CRISP** : Initiative Corail dans le Pacifique Sud
- CSIC-ICM** : *Centro científico d'investigacione científicas - Institut de Ciències del Mar de Barcelona* (Espagne)
- CTD** : *Conductivity, Temperature, Depth*
- CYROCO** : Cyanobactéries des milieux aquatiques tropicaux peu profonds : rôles et contrôles
- DATAR** : Délégation à l'aménagement du territoire et à l'action régionale
- DCE** : Directive Cadre Européenne sur l'Eau
- DCP** : Dispositifs Concentrateurs de Poissons
- DESTA** : Diplôme d'Études Supérieures des Techniques Aquacoles
- DIREN LR** : Direction régionale de l'environnement du Languedoc-Roussillon
- DITTY** : *Development of an Information Technology Tools for the management of Southern European lagoons*
- DYFAMED** : Dynamique des Flux Atmosphériques en MEDiterranée
- DU** : Diplôme universitaire
- EA** : Équipe d'accueil
- ECOLAG** : Écosystèmes Lagunaires
- ECO-UP** : Écosystèmes d'upwelling
- ECOST** : *Ecosystems, Societies, Consilience, Precautionary principle: development of an assessment method of the societal cost for best fishing practices and efficient public policies*
- ED** : École doctorale
- ENSAR** : École supérieure agronomique de Rennes
- ENSAT** : École Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse
- EPHE** : École Pratique des Hautes Études
- Espace** : Expertise et spatialisation des connaissances en environnement
- EVAD** : Évaluation de la Durabilité de l'Aquaculture
- FADIO** : *Fish Aggregating Devices as Instrumented Observatories of pelagic ecosystems*
- FAO** : *Food & Agriculture Organisation* (organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
- GAMET** : Groupe aquaculture continentale méditerranéenne et tropicale
- GDR** : Groupement de recherche
- GESTER** : Gestion des sociétés, des territoires et des risques
- GIZC** : Gestion Intégrée des Zones Côtières
- GRRAS** : *Towards elimination of Growth Retardation in marine Recirculation Aquaculture Systems for turbot*
- HERMES** : *Hotspot Ecosystem Research on the Margins of European Seas*
- HSM** : HydroSciences Montpellier
- ICRAM** : *Instituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare* (Italie)
- IEO** : *Instituto Español de Oceanografía* (Espagne)
- IFR** : Institut Fédératif de Recherche
- Ifremer** : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
- IMAGES** : Institut de Modélisation et d'Analyse en Géo-Environnements et Santé
- IMMUNAQUA** : *Antimicrobial immune effectors in marine invertebrates: characterisation and application for disease control in aquaculture*
- Inra** : Institut national de la recherche agronomique
- INRH** : Institut National de Recherche Halieutique (Maroc)
- INSTM** : Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (Tunisie)
- IRD** : Institut de Recherche pour le Développement
- ISEM** : Institut des sciences de l'évolution de Montpellier
- ISTAM** : *Improving scientific and technical advices for fisheries management*

**Marquage de crevettes
en mer (*Penaeus Notialis*,
mesuration de la longueur du
céphalothorax). Mauritanie**



F. Lhomme © IRD

- IUEM** : Institut Universitaire Européen de la Mer
LALR : Laboratoire Aquaculture Languedoc-Roussillon
LAM : Laboratoire Aquaculture de la Martinique
LAMETA : Laboratoire Montpellierain d'Economie Théorique et Appliquée
LASER/CEP : Laboratoire des sciences économiques de Richter/Centre d'Études de Projets
LEFE-CYBER : Cycles Biogéochimiques, Environnement et Ressources
LEGEM : Laboratoire d'Études des Géo-Environnements Marins
LER/LR : Laboratoire Environnement Ressources en Languedoc-Roussillon
LOBB : Laboratoire d'Océanographie Biologique de Banyuls
MARBEF : *Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning*
MATE : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
MEDAR/MEDATLAS : *Mediterranean Data Archaeology and Rescue*
MEDD : Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables
MEDICIS : *MEDiterranean Contaminants Integrated Survey*
MEDIMEER : *Mediterranean Platform for Marine Ecosystem Experimental Research*
MEPP : Modèle d'économie physique et de prospective
MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle
MOD : Matière Organique Dissoute
ORME : Observatoire Régional Méditerranéen sur l'Environnement
OSIRIS : Observatoire et systèmes d'information des pêches tropicales
OSU : Observatoire des sciences de l'univers
PEARL : Pisciculture en Eau Recyclée Lagunée
PNEC : Programme national d'environnement côtier
PNRPE : Évaluation de l'impact des perturbateurs endocriniens sur les milieux aquatiques
POEM-L2R : Plate-forme d'Observation de l'Environnement Méditerranéen - Littoral Languedoc-Roussillon
PROOF : PROcessus biogéochimiques dans l'Océan et Flux
RAP : Réponses adaptatives des populations et peuplements de poissons aux pressions de l'environnement
RCA : *Research Center for Aquaculture*
REMI : Réseau du contrôle microbien
REMORA : REseau MOLLusques des Rendements Aquacoles
REPAMO : REseau de PATHologies des MOLLusques
REPHY : REseau de surveillance du PHYtoplancton
RINBIO : Réseau inter-régional sur les intégrateurs biologiques
ROCCH : Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du milieu marin
SARI : Système Aquacole à Recyclage Intensif
SCOT : Schéma concerté d'organisation du territoire
SESAME : *Southern European Seas: Assessing and Modelling the changes in Ecosystems*
SFA : *Seychelles Fishing Authority*
SHS : Sciences Humaines et Sociales
SIG : Système d'Information Géographique
SMBT : Syndicat mixte du bassin de Thau
SMEL : Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral
SYSCOLAG : Systèmes Côtiers et Lagunaires
SPICOSA : *Science Policy Integration for Coastal System Assessment*
TEE : Terre, Eau, Espace
TES : Tableau entrées-sorties
THETIS : Thons tropicaux et Écosystèmes pélagiques : taxies, Interactions et Stratégies d'exploitation
UM1 : Université Montpellier 1
UM2 : Université Montpellier 2
UM3 : Université Montpellier 3
UMR : Unité Mixte de Recherche
UMS : Unité Mixte de Service
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
UPMC : Université Pierre et Marie Curie Paris 6
UPR : Unité Propre de Recherche
UPVD : Université de Perpignan Via Domitia
UR : Unité de Recherche
US : Unité de Service

Les organismes membres et
partenaires d'Agropolis International
impliqués dans ce dossier

AgroParisTech/Engref
www.agroparistech.fr

Cemagref
www.cemagref.fr

Cirad
www.cirad.fr

CNAM
www.cnam.agropolis.fr

CNRS
www.cnrs.fr

EPHE
www.ephe.sorbonne.fr

Ifremer
www.ifremer.fr

Inra
www.inra.fr

IRD
www.ird.fr

MNHN
www.mnhn.fr

Montpellier SupAgro
www.supagro.fr

UM1
www.univ-montp1.fr

UM2
www.univ-montp2.fr

UM3
www.univ-montp3.fr

UMPC
www.umpc.fr

Université Perpignan via Domitia
www.univ-perp.fr

Directeur de la publication : Henri Carsalade

Réalisation : Isabelle Amsallem (Agropolis Productions)
et Denis Lacroix (Ifremer/Agropolis International)

Coordinateur scientifique : Denis Lacroix

Ont participé à ce numéro : Robert Arfi, Jean-Christophe Auffray,
Evelyne Bachère, Etienne Baras, Jean Barret,
Jean-François Baroiller, Jean-Paul Blancheton,
Jean-Marie Boisson, Fabien Boulter, Gilles Bœuf,
Jean-François Boyer, François Bonhomme, Marc Bouvy,
Claude Casellas, Jérémie Celse, Béatrice Chatain,
Pierre Chavance, Guy Claireaux, Philippe Cury, Laurent Dagorn,
Hervé Demarcq, Thang Do Chi, Jean-Pierre Doumenge,
Geoffroy Enjolras, Jack Falcón, Annie Fiandrino,
Pierre Fréon, René Galzin, Sylvain Gilles, Bernard Godelle,
Catherine Goyet, Antoine Grémare, Serge Heussner, Fabien Joux,
Raymond Lae, Thierry Laugier, Valérie Lavaud-Letilleul,
Jérôme Lazard, Xavier Lazzaro, Philippe Lebaron,
Gildas Le Corre, Jean Le Fur, Marc Legendre,
Philippe Lenfant, Lionel Loubersac, Francis Marsac,
Syndhia Mathé, Jean-Marie Miossec, Behzad Mostajir,
Christian Mullon, Jacques Percebois, Hubert Peres,
Hélène Rey-Valette, Eric Servat, André Théron,
Marc Troussellier, Pierre Valarié, François Valette,
Laurence Vicens, Guy Vidy, Marc Willinger

Corrections : Isabelle Amsallem, Denis Lacroix,
David Manley, Michel Salas, Nathalie Villemejeanne

Remerciements pour l'iconographie :
Olivier Barbaroux (Ifremer), tous les auteurs
et la base Indigo (IRD)

Conception, mise en page et infographie :
Olivier Piau (Agropolis Productions)
agropolisproductions@orange.fr

Impression : Les Petites Affiches (Montpellier)

ISSN : 1628-4240 • **Dépôt légal :** Octobre 2007



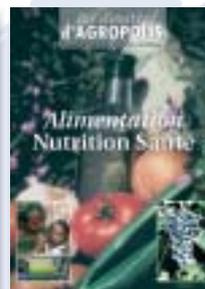
Partenaires



Dans la même collection



Mai 2001
24 pages
Français et Anglais



Septembre 2005
60 pages
Français et Anglais



Novembre 2005
56 pages
Français et Anglais



Mars 2007
60 pages
Français et Anglais



Mars 2007
64 pages
Français et Anglais



Octobre 2007
68 pages
Français et Anglais

— Les dossiers d'Agropolis International —

La série des « dossiers d'Agropolis International » est une des productions d'Agropolis International dans le cadre de sa mission de promotion des compétences de la communauté scientifique.

Chacun de ces dossiers est consacré à une grande thématique scientifique. On peut y trouver une présentation synthétique et facile à consulter de tous les laboratoires, équipes et unités de recherche présents dans l'ensemble des établissements d'Agropolis International et travaillant sur la thématique concernée.

L'objectif de cette série est de permettre à nos différents partenaires d'avoir une meilleure lecture et une meilleure connaissance des compétences et du potentiel présents dans notre communauté mais aussi de faciliter les contacts pour le développement d'échanges et de coopérations scientifiques et techniques.

Photo couverture : Élevage de culture d'huîtres perlières sur la côte de l'île de Haïnan, Chine 1991 - O. Barbaroux © Ifremer



AGROPOLIS
INTERNATIONAL

Avenue Agropolis
F-34394 Montpellier CEDEX 5
France

Tél. : +33 (0)4 67 04 75 75
Fax : +33 (0)4 67 04 75 99

agropolis@agropolis.fr
www.agropolis.fr