

Le golfe du Lion

Un observatoire de l'environnement en Méditerranée

A. Monaco, W. Ludwig,
M. Provansal, B. Picon,
coordinateurs

Le golfe du Lion

Un observatoire de l'environnement en Méditerranée

A. Monaco, W. Ludwig,
M. Provansal, B. Picon,
coordinateurs

Éditions Quæ
c/o Inra, RD 10, F – 78026 Versailles Cedex

Collection *Update Sciences & Technologies*

La mise à l'épreuve. Le transfert des connaissances scientifiques en questions
Christophe Albaladejo, Philippe Geslin, Danièle Magda, Pascal Salembier, coord.
2009, 280 p.

Contaminations métalliques des agrosystèmes et écosystèmes péri-industriels
Philippe Cambier, Christian Schwartz, Folkert van Oort, coord.
2009, 308 p.

Conceptual basis, formalisations and parameterization of the STICS crop model
Nadine Brisson, Marie Launay, Bruno Mary, Nicolas Beaudoin, editors
2008, 304 p.

Les nouvelles ruralités à l'horizon 2030
Olivier Mora, coord.
2008, 112 p.

L'élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores
Benoît Dedieu, Eduardo Chia, Bernadette Leclerc, Charles-Henri Moulin, Muriel Tichit,
éditeurs
2008, 296 p.

Sommaire

Introduction. De l'exploration au développement durable des milieux aquatiques.....	9
André Monaco, Wolfgang Ludwig	

Partie I

Les fleuves : source et ressource

Chapitre 1. La Têt en Roussillon. Ce que l'eau d'un fleuve enseigne sur son bassin et ses habitants.....	19
Wolfgang Ludwig, Javier García-Esteves, André Monaco	
Chapitre 2. Les événements hydroclimatiques dans le golfe du Lion. Variabilité des échanges terre-mer.....	31
François Bourrin, Xavier Durrieu de Madron, Jean-Claude Aloïsi, André Monaco, Gérard Jeanty	
Chapitre 3. Gestion collective de l'eau de la Lentilla : enjeux contemporains et enseignements du passé.....	43
Jeanne Riaux, Audrey Richard-Ferroudji	
Chapitre 4. Végétation méditerranéenne et cycle de l'eau.....	63
Serge Rambal, Florent Mouillot, Jean-Pierre Ratte	
Chapitre 5. Gestion intégrée des ressources en eau : limites et perspectives des outils prototypes développés sur le bassin versant de l'Hérault.....	79
Nathalie Courtois, Sandra Lanini, Vincent Petit, Jean-Daniel Rinaudo	
Chapitre 6. Évolution des apports en nutriments du Rhône à la Méditerranée.....	91
Patrick Rimbault, Nicole Garcia, Michel Fornier, Michel Lafont	

Chapitre 7. Les radionucléides, marqueurs des apports solides du Rhône à la mer Méditerranée	105
Mireille Arnaud, Sabine Charmasson, Frédérique Eyrolle	

Partie II

Les zones humides : une interface convoitée

Chapitre 8. Évolution de la végétation aquatique et gestion de l'eau en Camargue, entre 1980 et 2000	123
Jean-Christophe Aznar, Alain Dervieux, Patrick Grillas	
Chapitre 9. Environnement, risques et développement durable. Les processus de construction sociale des politiques publiques à partir de l'exemple de la Camargue et de l'étang de Berre	135
Bernard Picon	
Chapitre 10. Salinisation de l'eau souterraine en Camargue	151
Christine Vallet-Coulomb, Olivier Radakovitch, Véronique de Montety, Daniel Hermitte, Corinne Sonzogni, Patrick Ollivier, Maxence Paul	
Chapitre 11. Entre terre et mer : la lagune de Salses-Leucate, un « lac marin »	167
Roselyne Buscail, Florence Vouvé, Raymonde Lecomte-Finiger, Philippe Lenfant, Jérémy Pastor, Mohamed Abdullah, Raphaël Certain	
Chapitre 12. Entre terre et mer : le point sur une situation critique pour l'anguille européenne	183
Pierre Sasal, Catherine da Silva, Géraldine Fazio	
Chapitre 13. Des indicateurs d'apprentissage institutionnel pour une gestion durable et participative des territoires littoraux	195
Hélène Rey-Valette, Olivier Dedieu, Marion Réau, Pierre Valarié	
Chapitre 14. Gestion intégrée de l'étang de Berre : des études opérationnelles pour sa réhabilitation	213
Philippe Picon, Guillaume Bernard	

Partie III

La zone côtière : variabilité et vulnérabilité

Chapitre 15. La zone côtière du golfe du Lion : zone test des changements environnementaux globaux et régionaux	235
André Monaco, Mireille Provansal, Wolfgang Ludwig, Serge Heussner, Jacques Carbonne	

Chapitre 16. Le golfe du Lion, poumon de la circulation méditerranéenne	257
Claude Estournel, Patrick Marsaleix, Francis Auclair, Caroline Ulses, Marine Herrmann	
Chapitre 17. Impact des événements extrêmes et du chalutage sur les bilans de matière et de carbone dans le golfe du Lion	269
Xavier Durrieu de Madron, Bénédicte Ferré	
Chapitre 18. Les métaux lourds dans le golfe du Lion : voies de contamination	277
Wolfgang Ludwig, Vincent Roussiez, André Monaco, Jean-Luc Probst	
Chapitre 19. Des organismes « sentinelles » pour la surveillance de la qualité chimique des eaux littorales	289
Bruno Andral	
Chapitre 20. Apports sédimentaires du Rhône à la mer. Variabilité séculaire et impacts des aménagements	301
Mireille Provansal, François Sabatier, Guillaume Raccasi, Grégoire Maillet, Christelle Antonelli, Jules Fleury	
Chapitre 21. Modélisation de l'impact du changement climatique sur l'érosion des dunes. Cas pilote du nord du golfe de Beauduc (Camargue).....	315
François Sabatier	
Conclusion. De la terre à la mer : épilogue et perspectives	323
André Monaco, Wolfgang Ludwig, Pierre Serrat	
Liste des équipes participant au programme Orme	331
Liste des auteurs	333

Remerciements

Sans les appuis de nombreuses structures, cet ouvrage n'aurait pu voir le jour. Le Programme environnement, vie et société (PEVS), puis le département EDD (Environnement et développement durable), devenu aujourd'hui l'Institut de l'écologie et de l'environnement (Inee) du Cnrs, ont reconnu et encouragé de manière récurrente, depuis 10 ans, le programme Orme et la zone atelier du golfe du Lion. Par ailleurs, plusieurs organismes de recherche nationaux, à travers les soutiens institutionnels et incitatifs, ont permis aux équipes d'avoir accès à divers moyens en équipements, allocations de recherche et fonctionnement courant. On citera le Cnrs (départements OA et SHS), le MESR à travers les universités, mais aussi l'Ore-Resyst, l'IRSN, l'EPHE, le BRGM, l'Ifremer, l'IRD, l'Inra et le Cemagref.

Les auteurs sont reconnaissants aux régions Languedoc-Roussillon et Paca, au Cephalmar (programme Syscolag), à Météo France, à la CNR, à l'Epshom, au Pam, aux Chambres d'agriculture, qui ont contribué au soutien des équipes à travers des instruments, des bourses ou l'accès à des données précieuses. Notre gratitude s'adresse également aux établissements publics : Agence de l'eau RMC, Diren de bassin Rhône, Symadrem et Communauté d'agglomération Perpignan-Méditerranée, qui ont contribué au maintien de la zone atelier et, en retour, ont bénéficié des données acquises dans ce cadre de recherche.

Le golfe du Lion a été, et continue à être, chantier ou atelier occasionnel pour de nombreux programmes nationaux et européens auxquels on doit une base de données variées et des soutiens financiers importants. En retour, ces programmes ont bénéficié de l'organisation et de la fédération des chercheurs autour de la zone atelier. On citera au plan national : le Pnec, le Patom (Lefe), l'ANR, les programmes Gicc et Liteau du Meeddat, Carma, Extrema, et au plan européen et international : Adios, Remotrans, Eurostrataform, Hermes, Sesame.

Nos remerciements vont aussi à la Station biologique de la Tour du Valat ainsi qu'à la Réserve nationale de Camargue pour leur participation aux travaux sur le terrain. Nos recherches ont été l'occasion de contacts fructueux avec les gestionnaires, opérationnels et acteurs. S'agissant de l'espace « littoral », on ne saurait oublier l'aide des professionnels des étangs de Salses-Leucate, de Thau, de Berre et de la Camargue.

Le comité de pilotage d'Orme est composé de représentants du Cnrs-EDD (devenu Inee), de l'Ifremer, du BRGM, de l'Agence de l'eau RMC et de la région Languedoc-Roussillon. Nous espérons qu'ils apprécieront de voir la matérialisation des efforts de tous et l'intérêt des échanges entre chercheurs et gestionnaires.

Le séminaire du programme Orme, qui s'est tenu en juin 2007 sur le site d'Agropolis à Montpellier et auquel ont participé les représentants et chercheurs d'autres laboratoires, a été l'occasion d'échanges fructueux ayant constitué un préalable aux choix thématiques de cet ouvrage.

Les auteurs remercient vivement Pierre Chevallier, directeur de l'Institut languedocien de recherche sur l'eau et l'environnement à Montpellier, pour avoir accepté la relecture scientifique de la totalité de l'ouvrage et la validation de son contenu. Ses remarques et conseils pertinents ont contribué à la qualité des écrits.

L'édition d'un ouvrage collectif est une tâche longue et difficile ; les auteurs ont apprécié le concours de notre collègue Pierre Serrat dans cette dernière phase de préparation et de coordination.

Nous sommes reconnaissants à Mmes Nadine Zakhia-Rozis et Joëlle Veltz-Pautré des éditions Quæ, pour l'énorme travail de relecture et de mise en conformité de toutes les contributions, afin de présenter cet ouvrage dans des conditions qui, nous l'espérons, satisferont les lecteurs dans leur diversité.

La réalisation de l'ouvrage a bénéficié du concours financier du Cnrs-EDD (devenu Inee), de l'Agence de l'eau et de l'IRSN.

Introduction

De l'exploration au développement durable des milieux aquatiques

ANDRÉ MONACO, WOLFGANG LUDWIG

De l'exploration à une perspective de recherche globale

Les recherches sur les milieux aquatiques, particulièrement en océanographie, ont été monodisciplinaires et le plus souvent menées sur des terrains nationaux. Elles ont eu, parfois, un caractère appliqué qui correspondait à une demande d'expertise, au moment où tant les industriels que les politiques étaient tournés vers la recherche et l'exploitation des ressources minérales et vivantes (pétroles, nodules polymétalliques, granulats, récifs artificiels, aquaculture) et du patrimoine (agriculture, aménagement des fleuves et du littoral). Dans les années 1960-1970, soucieux de découvertes dans un univers encore peu exploré, les chercheurs en sciences dites « exactes », voire « naturelles », avaient peu de préoccupations environnementales.

Dix à vingt ans plus tard, une première révolution intervient ; les chercheurs se tournent vers une vision plus globale affichée dans les programmes internationaux comme le Programme international géosphère biosphère (PIGB), mis en place par le Conseil international pour la science. L'objectif de ce programme concerne le changement global et prévoit de « décrire et comprendre :

- les processus physiques, chimiques et biologiques interactifs qui régulent le système Terre,
- les changements qui affectent ce système,
- et la manière par laquelle ils sont influencés par l'action de l'homme ».

À travers cette définition, nombre d'éléments et de concepts nouveaux apparaissent : l'emprise globale des connaissances scientifiques à acquérir, la notion de système

environnemental, la nécessaire pluridisciplinarité de la recherche et le rôle des activités humaines.

C'est dans ce cadre que se sont développés : l'Expérience mondiale sur la circulation océanique WOCE (*World Ocean Circulation Experiment*), le Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC) et les recherches sur les flux océaniques globaux JGOFS (*Joint Global Ocean Fluxes Study*) axées sur la dynamique d'éléments comme le carbone, l'azote et le phosphore. Mais, jusque-là, pas de réelle interdisciplinarité allant jusqu'aux sciences humaines ; les objets de recherche sont vus comme des systèmes naturels. Les eaux côtières restent déconnectées des bassins versants alors que ceux-ci fournissent une grande partie des matières nécessaires à la production biologique. Ici, en amont du système, les chercheurs, traditionnellement liés aux disciplines telles que l'hydrologie et la pédologie, s'orientent de préférence vers les processus biogéochimiques des sols et non vers ceux de la zone côtière.

Avec l'apparition du programme international LOICZ (*Land Ocean Interactions in the Coastal Zone*) au milieu des années 1990, et son équivalent européen ELOISE (*European Land Ocean Interaction Studies*), la vision commence à changer. Pour la première fois, la définition de la zone côtière ne se limite plus exclusivement aux eaux marines, mais inclut également la frange continentale. Une grande partie de la population mondiale vit dans cette frange et contrôle donc largement les échanges de matières entre la terre et la mer. Avec le changement global et les modifications de la dynamique des populations, c'est un vaste domaine des écosystèmes aquatiques qui risque d'être perturbé.

Le golfe du Lion a « vécu » cette évolution de la recherche scientifique. Après son exploration dans les différents champs disciplinaires, biologiques, géologiques, chimiques et physiques, il a été le premier chantier du programme JGOFS-France soutenu par le Cnrs (1985-1987), par ailleurs focalisé sur le domaine côtier ou marge continentale. Ce premier programme Écomarge (Écosystèmes de marges continentales) qui fédérait, autour de cette zone, de nombreuses équipes françaises, a été le point de départ de collaborations internationales, avec des programmes équivalents sur d'autres systèmes de marges océaniques et avec des programmes européens, dont MTP-Mater (*Mediterranean Targeted Project – Mass Transfer and Ecosystem Response*) (1996-2000), étendu à l'ensemble de la Méditerranée, celle-ci étant considérée comme une mer régionale.

De l'écosystème à l'anthroposystème

Les années 1990-2000 sont celles des sciences de l'environnement ; ce dernier est alors « vu sous le double aspect des ressources et des pollutions, ce qui veut dire que les équilibres naturels qui sont à l'origine des ressources et à la base du développement social et humain, sont considérés comme mis en péril par les activités humaines à tous les niveaux, mondial, national et local. »

Si l'environnement est apparu dès les années 1970 comme un patrimoine à transmettre aux générations futures, c'est en 1987 qu'une définition du développement durable est proposée (rapport Brundtland), sous l'égide des Nations unies, par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, présidée par la ministre norvégienne de l'Environnement. Cette définition est reprise au Sommet de la Terre, à Rio de Janeiro, en 1992 : « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Il faudra attendre le

Sommet de Johannesburg, en 2002, pour que s'affirment l'universalité des principes du développement durable et le soutien de l'Organisation des Nations unies, instance représentative pour favoriser le développement durable. Un traité sur la conservation des ressources naturelles et la biodiversité est ratifié. Ses points cruciaux concernent le changement climatique, la pollution et l'exploitation, qui sont à l'origine de la perturbation des écosystèmes. Ces considérations environnementales vont amener à des notions de qualité, de valeur des ressources et de leur gestion pour en assurer le maintien ou la restauration. Dans ce contexte, l'eau va devenir un déterminant. Désormais, le grand public y est sensibilisé et, si en 2002, seuls 9 % des Français savent ce que l'expression « développement durable » veut dire, ils sont 40 % en 2007. À travers ce concept de développement durable, l'interdisciplinarité entre sciences de la société et sciences de la nature avance.

Cette nouvelle vision politique et médiatique de la planète a des répercussions sur la recherche, ce qui se traduit en quelques mots clés bien connus par les chercheurs : transdisciplinarité allant jusqu'aux sciences humaines, opérationnalité de la recherche, délimitations géographiques et dimension spatiale pour se rapprocher des territoires et périmètres d'action des politiques publiques, etc. Autrement dit, l'homme devient partie intégrante de l'écosystème, renforçant ainsi la nécessité de l'approche systémique. D'où l'injonction faite au chercheur – dans les institutions internationales et nationales qui guident les programmes de recherche – de répondre, par son activité, à la demande sociétale.

Ainsi, des dispositifs internationaux vont naître et engager la communauté scientifique dans des thèmes associés au développement durable. Le chercheur va s'intéresser de manière plus nette au système côtier, non déconnecté de son pendant continental où se concentrent les activités humaines. Le GIWA (*Global International Water Assessment*, <<http://www.giwa.net>>), initiative menée en juillet 1999 par le Pnu pour évaluer de manière intégrée les eaux internationales, définit 66 sous-régions de référence dont la Méditerranée (révision de la convention de Barcelone). Le LME (*Large Marine EcoSystems*, <<http://www.lme.noaa.gov>>), coordonné par diverses agences intergouvernementales, s'adresse plus directement aux grands écosystèmes marins englobant la partie aval des bassins fluviaux. À l'échelle européenne, la Commission européenne et l'Agence spatiale s'engagent dans la surveillance environnementale à travers le GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*) où la France est présente. Ce programme concerne la gestion des milieux océaniques, atmosphériques et continentaux, les ressources en eau et les risques naturels et industriels.

L'approche des systèmes côtiers ne peut être dissociée de celle de la ressource et de la qualité des eaux. En effet, à côté de l'aspect dynamique du système, comment oublier que sur les 25 mégacités de plus de 9 millions d'habitants existant actuellement dans le monde, 15 sont situées sur la côte ! Aussi, à la suite des conférences de Dublin (26-31 janvier 1992) et de Rio de Janeiro (3-14 juin 1992), le Forum mondial de l'eau de La Haye (17-22 mars 2000) a abouti à un plan d'action qui se réfère à la Gestion intégrée des ressources en eau ou Gire (en anglais IWRM ou *Integrated Water Resources Management*). En Europe, cette notion de gestion intégrée s'est formalisée dans la Directive cadre européenne sur l'eau (DCE) adoptée en octobre 2000. L'objectif de la DCE est d'atteindre, d'ici 2015, le bon état écologique et chimique de tous les milieux aquatiques naturels, et ainsi, de réduire la vulnérabilité de leurs populations.

La Gestion intégrée des zones côtières (GIZC) représente une autre initiative internationale ayant comme cadre le développement durable. Elle a fait l'objet, en mai 2002, d'une recommandation du Parlement et du Conseil européens, recommandation dont la mise en œuvre en France a été décidée par le Comité interministériel de la mer en avril 2003. On y recommande à la fois une approche globale et régionale « traitant simultanément terre et mer, [...] un périmètre pertinent, les enjeux définissant le territoire, [...] une concertation entre acteurs pour gérer l'interaction mer-terre, [...] une mise en œuvre des règles de gestion par une structure opérationnelle, [...] des systèmes de diffusion au public des informations relatives à leurs zones côtières... ». Sur la base de la convention de Barcelone (février 1976, modifiée en juin 1995), un protocole spécifique à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée vient d'être signé (janvier 2008). L'Union pour la Méditerranée, organisation intergouvernementale, à vocation régionale, relance une approche globale dans un processus de partenariat euro-méditerranéen. Dans le domaine concerné, l'une des priorités est « la dépollution de la Méditerranée, y compris des régions côtières et des zones marines protégées, en particulier dans le secteur de l'eau et des déchets ».

Au Centre national de la recherche scientifique, la réflexion stratégique de 2001-2002 et le contrat d'action pluriannuel (2002-2005) insistent sur les « enjeux sociaux » et les différentes formes de valorisation qui accompagnent la diffusion des connaissances vers les gestionnaires (<<http://www.cnrs.fr/fr/organisme/strategie.htm>>). Dans le domaine plus précis de l'environnement, ils recommandaient : l'interdisciplinarité, la surveillance systématique et sur le long terme, le besoin urgent d'outils pour prévoir et gérer l'impact de l'homme, les enjeux de la recherche concernant les ressources en eau, la pollution et l'impact du changement climatique. Ils prévoyaient la mise en place de nouveaux moyens d'observation ainsi que l'amélioration des moyens de l'Institut national des sciences de l'univers (Insu) et des zones ateliers du Programme environnement, vie et sociétés (PEVS). En 2003, le département « Environnement et développement durable » remplace le PEVS, mais le concept d'« anthroposystème » est lancé pour signifier que l'homme fait partie intégrante de l'écosystème et figure parmi les facteurs qui contrôlent sa variabilité. « Les interactions sociétés-nature sont étudiées par une approche intégrée et systémique à long terme, et dans une perspective de développement durable » (Lévêque *et al.*, 2003).

La réflexion sur la réponse du scientifique à la demande sociétale demeure à l'ordre du jour dans la plupart des programmes de recherche interorganismes, ainsi que dans les programmes plus appliqués soutenus par le ministère de l'Écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, tels que le Gicc (Gestion et impacts du changement climatique) (<<http://www.ecologie.gouv.fr/GICC.html>>) ou Liteau sur la gestion du littoral. Des instruments sont en place : systèmes d'observations *in situ* ou spatiaux, zones ateliers (ZA), observatoires de recherche sur l'environnement (Ore), systèmes intégrés modèles-observations comme, par exemple, Mercator pour la prévision océanique opérationnelle. Les recommandations portent sur le besoin de développer des systèmes intégrés de gestion de l'environnement, la nécessité d'aller vers le préopératoire et d'organiser des réponses cohérentes. Pour cela, la promotion de la recherche scientifique et technique ne va pas sans une coordination institutionnelle des entités nationales, régionales et locales, ni sans une coopération internationale qui peut prendre la forme de réseaux.

Cela est encore plus vrai en 2007 où la Commission européenne et l'Onerc (Observatoire national sur les effets du changement climatique ; <<http://www.ecologie.gouv.fr/Adaptation-au-changement.html>>), ainsi que la plupart des ministères, engagent à passer rapidement à des stratégies d'adaptation et d'atténuation dont il faut évaluer le coût. Dans le livre vert de la Commission européenne (juin 2007), la vulnérabilité particulière de l'Europe méridionale et de la Méditerranée est reconnue (<<http://ec.europa.eu/environment/climat/adaptation>>). Définie par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) comme une action préventive d'« ajustement des systèmes naturels et humains face à un environnement changeant », l'adaptation suppose, au préalable, une bonne identification des impacts. En adoptant l'approche intégrée d'un système à dimension régionale, le bilan des recherches sur la ZA Orme, dans le golfe du Lion, peut contribuer à identifier les vulnérabilités de la zone vis-à-vis de l'impact du changement climatique et humain en Méditerranée et à anticiper la réflexion sur les mesures possibles d'adaptation. Des deux régions administratives concernées, Paca et Languedoc-Roussillon, cette dernière n'est-elle pas la première région française pour sa croissance démographique ?

Approche intégrée d'un anthroposystème méditerranéen

Comme le dit B. Picon (chapitre 9 de cet ouvrage), on construit « l'objet environnemental » à travers une démarche scientifique interdisciplinaire, à l'interface des sciences du milieu et des sciences humaines. Cette démarche entre dans la logique des systèmes complexes. C'est dans ce contexte général que l'Observatoire régional méditerranéen de l'environnement (Orme) est mis en œuvre sur le golfe du Lion, d'abord comme projet en réponse à un appel d'offres du Programme environnement, vie et sociétés (PEVS) du Cnrs, en 1999. Cet appel d'offres stipule que l'environnement « est l'ensemble des systèmes naturels ou artificialisés dans lesquels l'homme intervient ou est intervenu, soit en les exploitant soit en les aménageant ». Il est proposé d'appeler « anthroposystèmes » ces systèmes d'interactions sociétés-milieux. L'accent est mis sur l'échelle régionale mais sans perdre de vue l'aspect global des thématiques, celles-ci pouvant porter sur les « problèmes associés aux hydrosystèmes (bassins versants), zones côtières, espaces ruraux, etc. » Il s'agit, dans l'esprit du concept de développement durable, d'analyser et de comprendre l'évolution de ces anthroposystèmes, de construire des outils (modélisation, instrumentation, moyens pratiques de gestion et transmission des connaissances), dans une démarche à la fois rétrospective (20 à 100 ans) et prospective d'observations à long terme. Cette approche fait référence à la stratégie utilisée dans les *Ilter (International Long-Term Ecosystem Research)*, observatoires internationaux de recherche destinés à enregistrer la signature d'évolutions lentes. En conséquence, les « observatoires des anthroposystèmes sont des lieux privilégiés pour recueillir les informations nécessaires à l'élaboration de modèles de fonctionnement, mener des expériences en vraie grandeur, évaluer les conséquences éventuelles de mesures de gestion ». Ils doivent être de type « systémique », être envisagés dans la durée pour « reconnaître le caractère dynamique, l'évolution et notamment les facteurs climatiques et les usages » (Lévêque *et al.*, 2003).

Les dispositifs d'observation à long terme sont aujourd'hui des actions transversales, placées dans le champ de responsabilité de l'« Institut écologie et environnement » du Cnrs (<<http://www.cnrs.fr/inee/>>) et figurant dans le plan stratégique « Cnrs 2020 ». Sept zones ateliers (ZA) ont été labellisées, souvent organisées à l'échelle régionale « pour répondre par une démarche scientifique à une demande politique, économique et sociale » (<<http://www2.cnrs.fr/presse/journal/3536.htm>>). En se focalisant sur le golfe du Lion dans son ensemble (bassin versant et zone côtière), la zone atelier Orme est la seule à s'intéresser au système eau-sédiments dans un *continuum* terre-mer.

À travers la dynamique de l'eau et de la matière (comme objets et ressources), divers compartiments du système sont intégrés et approchés : bassins versants, fleuves dans leur partie aval surtout, zones humides, étangs, littoral et zone côtière. Les données proviennent de recherches antérieures et en cours, effectuées dans le cadre de nombreux programmes nationaux et européens, de travaux expérimentaux et d'enquêtes de terrain, d'outils de modélisation, de plates-formes de mesures *in situ*, de formalisations par des systèmes d'information géographiques (Sig). Pour les sciences expérimentales, l'objectif le plus difficile à atteindre aura été la constitution d'un réseau de stations de mesures autonomes en des sites représentatifs, pour les suivis temporels. Cette stratégie a rendu compatible l'observation des tendances à long terme et celle des extrêmes. Dès le début du programme, les conditions météo-climatiques ont offert l'opportunité de plusieurs événements (plongées d'eaux froides, crues et tempêtes), particulièrement ceux de 1999, 2003 et 2004.

La fédération d'équipes autour des objectifs scientifiques de la ZA Orme, les divers soutiens régionaux, nationaux et internationaux (cités dans les différents chapitres de cet ouvrage) ont permis d'équiper de nouvelles plates-formes, d'avoir accès à des réseaux existants et d'engager les équipes de proximité dans les suivis temporels (fig. 1, cf. planche couleur 1). On citera : la plate-forme terre et mer Poem du Cefrem, la station observatoire Opera de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) sur le Rhône en Arles, la station du BRGM (Bureau de recherche géologique et minière) sur l'Hérault. L'observatoire de recherche sur l'environnement Resyst, étudiant la réponse du système deltaïque du Rhône, a été intégré dans la ZA ; une coordination avec la ZABR (Zone atelier du bassin du Rhône) est en cours.

Les recherches couvrent un spectre spatio-temporel large, mais les objectifs de recherche peuvent se résumer en quelques questions clés : quels sont les flux d'eau, de matière et d'éléments qui sont apportés à la zone côtière et quelles quantités sont échangées avec les autres sous-systèmes ? Quel est le rôle du climat, des événements météo-climatiques et des aménagements dans la modification de ces échanges et de la qualité des milieux ? Quelles sont les échelles spatio-temporelles des mécanismes de transfert d'eau et de matière ? Quels sont les facteurs qui déterminent les dynamiques naturelles et sociales du système eau ? Sur la base des données actuelles, est-il possible d'identifier l'évolution physique, biogéochimique et socio-économique du système ? Quelle est l'ampleur des changements observés ? Comment est perçue la pression socio-économique sur les systèmes ? Comment sont gérés les ressources en eau et les milieux aquatiques ?

Outre les aspects liés à la recherche scientifique, l'observatoire Orme-golfe du Lion a deux autres fonctions : pédagogique et de communication. Parmi les actions pédagogiques, on peut citer le projet « Histoire d'eau », adressé aux classes d'enseignement

secondaire, soutenu par le Cnrs dans le cadre de « Passeport pour la science », et par le Rectorat, la région Languedoc-Roussillon (LR), la DRRT et l'Ensa de Montpellier. Le projet « Au fil de la Têt » a intéressé plusieurs collèges et lycées du département des Pyrénées-Orientales, pour effectuer des suivis de la qualité des eaux du fleuve côtier Têt. Orme a également mis en place, à l'université de Perpignan, un cycle de conférences, nommé « Perspectives », qui s'adresse à un large public.

L'observatoire est inséré dans le tissu local, régional, national et international ; il reçoit le soutien de la Communauté d'agglomération Têt-Méditerranée, des régions LR et Paca, et de programmes nationaux et européens.

Un comité de pilotage a été mis en place, il comprend : l'Agence de l'eau, l'Ifremer, le BRGM, la région Languedoc-Roussillon et le Cedralmar (Centre d'études et de promotion des activités lagunaires et maritimes du Roussillon). Mais, pour parvenir véritablement à une gestion intégrée, un nouvel « outil cognitif », qui respecte l'unité physique du système, reste à forger. Comme il est recommandé dans le protocole du Pnu sur la gestion intégrée des zones côtières, de nouvelles formes de concertation entre scientifiques, politiques et gestionnaires, restent à trouver.

Présentation de l'ouvrage

Les systèmes naturels sont dits « complexes », *a fortiori* lorsqu'on y inclut nécessairement l'homme. D'où la difficulté de présenter, à ce stade du programme à long terme, une analyse complète et synthétique, transdisciplinaire et multiéchelle. Nous avons choisi de respecter l'approche par sous-systèmes et de présenter une suite d'« éclairages » à diverses échelles d'espace et de temps, mais, placés tous sur le fil rouge de l'eau et de la matière et des deux déterminants génériques que sont le climat et l'homme (fig. 2, cf. planche couleur 2). Du point de vue du temps, le spectre va du siècle à l'aléa météo-climatique ; du point de vue spatial, l'emprise va de l'ensemble de la zone – pour montrer l'unité du golfe du Lion dans sa fonction d'interface – à quelques kilomètres carrés lorsqu'on se focalise sur la gestion de la ressource en eau où le niveau local est le plus pertinent.

C'est dans un souci de simplification que l'on a choisi de s'adresser surtout aux composantes abiotiques, celles-ci constituant le premier niveau de fonctionnalité des systèmes. En revanche, on a recherché quelques indicateurs biologiques originaux, spécifiques des milieux analysés et témoins de leur état d'évolution.

Au plan des usages, l'accent est mis sur les contaminants, traceurs des pratiques et des technologies mises en œuvre par les sociétés – ici l'industrie, l'agriculture et le tourisme – activités diversement distribuées dans le territoire étudié. Sont également mis en lumière les effets des pratiques gestionnaires. Au total, une identification de la nature des impacts dans une zone méditerranéenne typique et une tentative d'évaluer la vulnérabilité des milieux.

Du point de vue de l'organisation de l'ouvrage, on trouvera une suite de chapitres portant sur trois systèmes et leurs interactions : en première partie, le système fluvial (*Les fleuves : source et ressource*), en deuxième partie, le système estuarien (*Les zones humides : une interface convoitée*), et en troisième partie, le système marin (*La zone côtière : variabilité et vulnérabilité*).

Dans la première partie, trois systèmes bassins versants sont présentés : le Rhône, l'Hérault et la Têt. Ils sont source d'eau et de matière (particules et nutriments), mais aussi de contaminants (métaux, radionucléides). Les flux peuvent être ainsi quantifiés pour parvenir à un bilan. En tant que ressource, ils sont alors regardés sous l'angle du paysage et de la végétation, ou encore de la gestion de l'eau.

Les zones humides et estuariennes, présentées dans la deuxième partie, appartiennent à trois départements et environnements différents, soit, de l'est à l'ouest, l'étang de Berre, le delta du Rhône et la Camargue, la lagune de Thau et l'étang de Salses-Leucate. C'est dans ces systèmes – où l'on trouve une grande diversité des activités humaines et aussi une plus grande facilité d'accès aux diverses méthodes d'investigation – que se réalise la meilleure intégration entre sciences de la nature et sciences économiques et sociales. Ainsi, nous avons considéré : les relations entre biologie et usages, biologie et gestion, biologie et état du milieu, ainsi que les dispositifs institutionnels de gestion intégrée allant jusqu'à la réhabilitation et un modèle socio-économique appliqué aux processus de décision.

La troisième partie est consacrée au domaine marin et à son évolution à long et court terme, sous le double effet du climat méditerranéen et de l'anthropisation, celle-ci étant vue par le degré de contamination par les métaux ou par l'activité de chalutage. Le littoral étant à la confluence du double impact des aménagements (amont et aval) et du changement climatique (élévation du niveau marin), les observations sont focalisées sur le domaine rhodanien, principale source de matériaux. On y considère les nappes d'eau souterraines et l'évolution du delta. Un modèle d'érosion dunaire sous l'effet des tempêtes est proposé.

Le séminaire de restitution, organisé à Agropolis (Montpellier) les 4 et 5 juin 2007, a été l'occasion de présenter une partie des travaux d'Orme. L'invitation faite à d'autres équipes travaillant sur ces thèmes ou sur des thèmes complémentaires a permis d'enrichissantes discussions et la mise en perspective des résultats.

Références bibliographiques

Lévêque Ch., Muxart T., Abbadie L., Weil A., van der Leeuw S., 2003. L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieus. *In*: Lévêque Ch., van der Leeuw S. (eds), *Quelles natures voulons-nous ?* Elsevier, Paris, pp. 110-129.

Partie I

**Les fleuves :
source et ressource**

