



le Grenelle de la Mer



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Analyse de l'Académie des sciences sur les propositions issues des débats du Grenelle de la Mer

24 juin 2009



L'Académie des sciences a pris connaissance du contenu des 4 volumes regroupant les propositions issues du Grenelle de la Mer.

Nous avons d'emblée constaté que la grande richesse et la variété des propositions présentées (plusieurs centaines), de même que les fréquents recouvrements thématiques d'un volume à l'autre, rendent l'analyse synthétique de l'ensemble relativement malaisée. De plus, nombre de propositions (tourisme, aspects non scientifiques de la gouvernance...) n'entrent pas dans le champ d'expertise de notre Académie. Enfin, celles des propositions qui entrent dans ce champ n'ont en général pas été traitées en termes opérationnels sur le plan de la science (organisation des recherches prioritaires...), ce qui laisse penser que des comités ad hoc de type COMOP pourront être chargés ultérieurement de proposer la mise en œuvre scientifique et technique des mesures retenues, notamment en termes de priorités. D'une manière générale, les propositions, pour intéressantes qu'elles soient, ne sont ni hiérarchisées ni chiffrées au plan des conséquences économiques, et seules des idées très générales de créations de nouvelles taxes ou d'affectation à des objectifs nouveaux des taxes déjà existantes sont présentées, ce qui nuit à la cohérence de l'ensemble. De même, la question des bilans énergétiques des mesures envisagées n'est pas évoquée, ce qui peut surprendre car c'est un élément clé qui doit maintenant entrer dans les critères de faisabilité.

Nous nous contenterons donc de signaler les principaux domaines scientifiques qui nous paraissent devoir être soutenus ou développés, tant en termes de moyens que de volonté politique (pour certains d'entre eux, l'Académie des sciences s'est déjà exprimée dans le passé). Nous indiquerons à chaque fois une ou plusieurs des propositions du Grenelle qui nous semblent correspondre à ces besoins, mais **nous ne les citerons pas toutes**, pour deux raisons :

- certaines sont redondantes d'un volume à l'autre, il est donc inutile de se répéter ;
- d'autres, dont le titre est tout à fait acceptable, contiennent, dans leur déroulé parfois complexe, des sous-propositions dont certaines ne nous semblent pas pertinentes.

Le délai imparti pour la réponse et le souci de relative concision qui nous anime interdisent d'entrer plus loin dans le détail.

*
* *

Les principaux constats sur lesquels se sont fondés les débats du Grenelle de la Mer sont exacts :

- - la mer est un réservoir de biodiversité très riche et en même temps une archive de la vie ;
- - la pression accrue sur les ressources minérales et vivantes (halieutiques, ou aquacoles) entraîne un déclin avéré de cette biodiversité ;
- - la mer subit de plein fouet les pollutions anthropiques et les effets du changement climatique global (élévation de sa température, acidification...), avec des rétroactions sur le climat ;
- - bien qu'en raison de la grande variété et de la dispersion géographique de ses territoires d'outre-mer, la France soit la deuxième puissance maritime mondiale (3 % des océans en superficie ZEE), elle n'est pas à la hauteur des enjeux sur le plan de la connaissance et de la protection de ce milieu ;
- - pourtant, les océans représentent un champ important de développements technologiques potentiels (énergies nouvelles, aquaculture, techniques de pêche sélective, biotechnologies « bleues »...), riches d'opportunités pour ses régions côtières et, en particulier, l'Outre-Mer.

Un nombre important des propositions présentées par les groupes de réflexion du Grenelle rejoignent les recommandations déjà adressées par l'Académie des sciences aux pouvoirs publics, principalement dans cinq rapports :

- - *Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes*, Rapport RST n° 17 (2003), Lucien Laubier coord., Tec & Doc.
- - *Etudes sur l'environnement – De l'échelle du territoire à celle du continent*. Rapport RST n° 15 (2003), Paul Caseau coord. Tec & Doc.
- - *Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux*, Rapport RST n° 27 (2007), Georges Pédro coord., EDP Sciences.
- - *Systématique – Ordonner la diversité du vivant*, Rapport RST n° 11 (2000), François Gros et Jean Dercourt coord., Tec & Doc.
- - *La recherche spatiale française*, Rapport RST n° 22 (2006), Jean-Loup Puget coord., EDP Sciences.

Ces rapports sont fournis en appui de la présente analyse ; certains extraits et recommandations en sont annexés au présent document.

*
* *

L'Académie des sciences est en accord avec les propositions qui visent à :

1. Renforcer la recherche afin de développer la connaissance, et valoriser ses résultats

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol 1 : 20, 21, 22, 23, 24, 26

Vol 2 : I.4.2 et I.4.3

La recherche est le fil conducteur des 5 rapports cités plus haut.

Au plan scientifique, nous avons en effet noté que la mise en oeuvre de beaucoup des recommandations du Grenelle, nécessitera un **accroissement des connaissances sur la biologie et l'écologie des organismes et des écosystèmes marins**. C'est le cas notamment des domaines suivants : analyse, protection et suivi de la biodiversité, gestion des ressources halieutiques et aquacoles, inventaire et exploitation des ressources génétiques pour les biotechnologies bleues, substances bioactives et fonctionnelles extraites des organismes vivants...

Sur tous ces aspects, il faut signaler ici que la biologie marine est, comme en d'autres domaines de la biologie, en train d'effectuer une révolution, fondée sur les approches de génomique et de post-génomique. Ces approches sont désormais disponibles sur de nombreux organismes modèles ou d'intérêt économique, voire directement sur les écosystèmes (méta-génomique). Elles réconcilient, si besoin était, les approches réductionnistes et globalistes de la biologie et de l'écologie marines et favorisent leur intégration au sein des autres sciences (nécessité commune de traiter des grandes masses de données, couplage des analyses désormais plus globales avec la connaissance du milieu physique, mise au point de bio-senseurs embarqués sur les instruments automatisés d'exploration océanographique, ...).

De fait, **l'intégration pluridisciplinaire** est seule en mesure de traiter des domaines suivants : fonctionnement des écosystèmes et lutte contre les pollutions diverses, étude des interactions continent-océan et océan-atmosphère... Les phénomènes chimiques et biologiques sont en effet tellement imbriqués, les rétroactions entre les différents compartiments biologiques - modulées par les processus hydrodynamiques et les interactions avec l'atmosphère - tellement fortes que cette complexité ne peut être traitée que par une approche pluridisciplinaire. **Il importe, en particulier, d'accorder une attention particulière aux recherches en biogéochimie marine**, dont le développement passe par la collaboration entre biologistes, systématiciens, chimistes, géochimistes, physiciens et climatologues, soutenue par la création de modèles numériques venant compléter les systèmes d'observation.

Il convient aussi, sans plus attendre, **d'évaluer le dispositif existant dans les sciences de la Mer en France**, d'en analyser les forces et les faiblesses, et d'évaluer les synergies possibles à mettre en oeuvre, au plan territorial, national et international. Au risque d'anticiper sur le diagnostic de cette analyse stratégique, nous pensons que la France dispose déjà, avec ses laboratoires marins, d'une couverture de base pour répondre aux défis conceptuels et technologiques mis en avant par le Grenelle de la Mer en biologie marine fondamentale et appliquée. Ces laboratoires sont déjà (au travers des deux pôles de compétitivité mer) ou doivent devenir un point de rencontre des divers porteurs d'enjeux identifiés par le Grenelle, en faisant connaître et transférer leurs activités de recherche, d'enseignement, d'observation et d'innovation vers les décideurs publics et les entreprises, ainsi que vers le grand public et les associations professionnelles ou de défense de la nature.

De plus, par leur action motrice dans divers instruments de programmation scientifique transversale de la Commission européenne (réseaux d'excellence, programmes d'infrastructures de recherche I3 et ESFRI, actions Marie Curie, ...), les laboratoires français du domaine de la mer ont acquis une incontestable position de chef de file en Europe. Il importe maintenant qu'ils soient accompagnés par les ministères, afin que la France prenne toute sa place dans la dynamique de co-programmation en océanographie et biologie marine qui est en train de s'organiser entre l'Union européenne et ses Etats membres. C'est une condition nécessaire à la réussite de l'objectif affiché de placer notre pays en pointe des nations maritimes.

En effet, monter des programmes de recherche du type proposé demande une très grande continuité dans l'effort. Il faut assembler des équipes de recherche pluridisciplinaires, leur assurer un financement récurrent sur le long terme (10 à 20 ans au moins), orienter leurs travaux grâce à un comité de coordination où sont représentés les organismes gestionnaires et les parties prenantes intéressées (dont les élus). Les seuls appels d'offre ANR de 3 ou même 5 ans ne permettent pas de construire de tels programmes et d'obtenir des analyses du fonctionnement des écosystèmes continentaux, estuariens, côtiers et marins, qui puissent éclairer les politiques d'aménagement. C'est plutôt au moyen d'Observatoires de l'Environnement, à financement pérenne sur le long terme, que cela est possible (cf. point 2).

Dire qu'il faut augmenter l'effort de recherche sans préciser comment, ni indiquer des budgets et des durées, est sans réelle conséquence ni impact.

Ces remarques valent pour l'ensemble des points retenus.

2. Développer les observatoires et les techniques d'observation satellitaires

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol 1 : 32, 33, 63, 87

Vol 2 : I.1.2 et I.1.3,
I.2.1, I.2.3,
I.3.1, I.3.4, I.3.6, I.3.7

Vol 4 : page 11, 1.1 b 2^e proposition (*GEO*)
page 12, 1.1 d (*Développer les moyens et les services d'observation des espaces maritimes*)

Ces propositions sont en accord avec les recommandations déjà exprimées par l'Académie, notamment dans ses rapports *Cycles biogéochimiques* et *La recherche spatiale française* (cf extraits en annexe).

Il convient en outre de mentionner le rôle de leader international que joue la France dans la mesure du niveau de l'océan par altimétrie spatiale (Topex-Poseidon puis Jason).

3. Développer la connaissance spécifique des questions posées par l'interface Terre-Mer

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol 1 : 2, 3, 4

Ces propositions de gouvernance supposent une analyse poussée de l'organisation ou de la réorganisation des pouvoirs publics en ce domaine.

De même, les allusions au rôle de certaines agences, comme par exemple les Agences de l'Eau, qui sont des outils mis en place progressivement depuis la Loi sur l'Eau de 1964, nécessitent de s'assurer que les nouvelles missions qui leur seraient confiées seraient compatibles avec leur statut, leur mode de financement, la représentation des collectivités et parties prenantes au sein de leurs instances dirigeantes, comme le Comité de bassin.

Ces aspects organisationnels et juridiques ne relèvent pas directement des compétences de l'Académie des sciences, mais, sur le fond, ces propositions sont globalement en accord avec les recommandations déjà exprimées par l'Académie, notamment dans son rapport *Cycles biogéochimiques* (cf extrait du chapitre 6.3 en annexe) : l'interface Terre-Mer est un champ scientifique à part entière, qui soulève des problèmes spécifiques nécessitant une recherche intégrée qui n'est pas assez développée.

De ce point de vue, il est par ailleurs étonnant que n'ait pas été évoquée la question de l'impact des projets de transferts de l'eau douce venue d'une rivière se jetant en mer, vers un autre point distant du littoral (exemple du projet de transfert Rhône Barcelone).

4. Assurer la protection et la restauration de la biodiversité marine et en particulier des stocks halieutiques. Pour cela, notamment, organiser une collaboration entre scientifiques et pêcheurs

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol. 1 : 36, 55, 56, 57, 58, 60, 137, 139

Vol. 2 : II.6.1, II.6.2, IV.4, VIII.1, VIII.6, VIII.7, VIII.9

Vol. 3 : 12, 15, 60

Vol. 4 : 1^{ère} partie 3.2 (pages 17/18)
1^{ère} partie, 1.2.b (Pages 13/14)
3^e partie, 4.1 et 4.2 (p. 47/48)

Le développement des aires marines protégées paraît nécessaire pour reconstituer les stocks en voie d'épuisement, mais ceci passe par une étude des modalités économiques et par l'implication des pêcheurs professionnels (proposition 60). Cette implication est d'ailleurs indispensable dans tous les domaines qui concourent à la définition d'une pêche pérenne (notamment gouvernance partagée de la connaissance, embarquements communs avec des scientifiques, approche écosystémique des pêches, certification des pêcheries, rencontres professionnels/experts,...).

Ces propositions vont dans le sens des recommandations du rapport *Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes* (Académie des sciences 2003), dont les conclusions synthétiques sont données en annexe.

5. Etudier les conditions scientifiques d'une aquaculture durable

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol. 1 : 26, 144

Vol. 2 : VIII.10, VIII. 11

Vol. 3 : 12

6. Etudier les pollutions pour mieux les combattre

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol. 1 : 61, 65, 66, 67, 68, 70, 73, 76, 77

Vol. 2 : II 5.1, II 5.2, VIII 4

Vol. 4 : 3^e partie 1.1 (page 44)

7. Prendre en compte les effets du réchauffement climatique

De ce point de vue, le texte de commentaire déposé par l'ONERC est satisfaisant : nous soutenons le point de vue exprimé dans la dernière partie, sous le titre : *Position de l'ONERC*.

8. Energies marines renouvelables

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention:

Vol. 1 : 129, 131, 133

Vol. 2 : VI

Les possibilités de produire de l'énergie électrique diffuse avec les océans sont immenses. L'objectif affiché est de créer des installations productrices d'énergie électrique renouvelable (Groupe 1 Cap V.1) dans le respect de l'environnement. La stratégie envisagée pour y parvenir (Groupe 2 VI) est décrite. Toutefois il n'y a pas d'indication sur les études qui sous-tendent les propositions concernant l'énergie de la mer. Il est donc difficile de juger de la crédibilité tant de l'objectif que de la stratégie, d'autant plus que la stratégie est ambitieuse car elle vise à un leadership de la France notamment en matière de technologies non matures.

En effet si les conditions techniques et économiques de l'implantation de l'éolien et du photovoltaïque sur le littoral sont connues, il en est déjà autrement en mer. De plus, pour ce qui concerne l'énergie des courants marins, l'énergie de la houle et des vagues et l'énergie thermique, etc., on en est au stade de l'expérimentation « *in situ* ». Le seul retour d'expérience industrielle concerne les usines marémotrices.

Des actions sont déjà lancées (sont mentionnées le projet global GERRI à la réunion, l'initiative nationale IPANEMA) qui réunissent les experts du domaine. Le Grenelle appelle à les soutenir. Il appelle aussi à développer les technologies innovantes, mais il n'y a pas d'indications sur l'état d'avancement des plus prometteuses parmi celles utilisées ou prévues dans les très nombreux projets en cours en France et surtout dans le monde (rapidement accessibles par Internet).

L'objectif de déploiement est 2020. Cette date assez rapprochée nécessite une planification urgente et un développement rapide de démonstrateurs. La date de 2015 est avancée pour un choix de technologies pré-industrielles permettant de positionner rapidement la France sur le marché. Le programme proposé pour la mobilisation de moyens est logique mais il n'y a pas d'indication sur les possibilités réelles de le mettre en œuvre.

Les actions et les mesures préconisées sont décrites en termes généraux et convenus qui n'emportent pas la conviction. Les parties du Grenelle de la Mer consacrées à l'énergie marine manquent, pour l'essentiel, d'indications sur des perspectives concrètes.

9. Outre-Mer, TAAF, Arctique, Méditerranée

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Outre-mer :

Vol. 1 : 25 (partie générale)

Vol. 3 : 16, 17, 18

Vol. 4 : 2^e partie, 1.10 (page 31) : sans prise de position sur les mesures concrètes évoquées.

TAAF :

Vol. 3 : 13

Arctique :

Vol. 4 : 1^{ère} partie, 3.2.b (page 20)

Méditerranée :

Vol. 1 : 58

Vol. 4 : 1^{ère} partie 3.2.a (page 19)

10. Education, formation

Propositions ayant particulièrement retenu notre attention :

Vol. 3 : 5, 7, 35, 39

Annexes

Recommandations du rapport *Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes* Académie des sciences (2003). Tec & Doc

1. Le constat

Observée sur la durée des cinq dernières décennies, l'évolution des pêches maritimes mondiales, communautaires et nationales met clairement en lumière quatre phénomènes découlant directement de la surpêche : une surexploitation plus ou moins grave des populations exploitées, des capacités de pêche excédentaires, une dégradation des écosystèmes exploités, enfin une récurrence des conflits entre différents types de pêche et vis-à-vis d'autres usages de l'océan. La résolution adoptée par les Nations unies pour parvenir à des pêches durables, lors de la convention de Johannesburg qui propose de maintenir ou de restaurer les stocks à des niveaux correspondant à une production maximale durable, et ceci si possible avant 2013, en apporte le témoignage indiscutable.

L'effondrement des stocks surexploités est un symptôme non contesté. En revanche, le mécanisme économique à l'origine de la surpêche, lequel découle directement du double caractère des ressources halieutiques, à la fois communes et renouvelables, est plus rarement analysé. Pourtant, le libre accès ou l'accès insuffisamment régulé à des ressources communes et renouvelables, joint dans certains cas à une insuffisance de contrôle, conduit à leur dégradation au détriment des intérêts de la collectivité et des professionnels.

Face à la rareté croissante des ressources et animées de la volonté de parvenir à une exploitation durable, les autorités de nombreux pays entreprennent de réguler effectivement l'accès aux ressources halieutiques, selon deux approches : (1) des mesures de taxation des capacités de pêche ou des captures réalisées, et (2) des méthodes fondées sur les droits individuels d'accès qui, s'ils sont négociables sur un marché, acquièrent de ce fait une valeur patrimoniale.

Au sein de l'Union européenne, la Politique commune de la pêche n'a pas permis d'enrayer le processus de surexploitation, échec qui a conduit l'Union à opter pour un rationnement administratif de la puissance motrice des flottilles, instrument de régulation insuffisant et qui présente de graves inconvénients (répartition arbitraire des retraits, maintien en activité d'unités anciennes, etc.). Le libre accès à la ressource reste en vigueur au sein de l'Union européenne, où le régime qui prévaut consiste au contraire à subventionner l'effort de pêche, contribuant ainsi à la surcapitalisation et à l'épuisement des stocks. Quant aux droits individuels d'accès, la France, contrairement à d'autres pays de l'Union, fait de leur non-transférabilité un principe légal.

Le compromis adopté par le Conseil des ministres de l'Union européenne, le 21 décembre 2002, maintient en vigueur le système de plafond de capture par espèce et par zone et la répartition de ces captures entre les pays membres (principe de stabilité). S'il supprime totalement les subventions fin 2004, il n'introduit pas de nouveaux mécanisme de régulation de l'accès, pas plus qu'il ne rapproche les responsabilités de décision des responsabilités d'application.

2. Quelques recommandations

Constatant que la surexploitation des stocks des pêcheries mondiales, communautaires et nationales est devenue chronique, et que, pour certains stocks, cette surexploitation atteint des niveaux graves, proches de l'épuisement des populations, il est recommandé que des mesures soient prises à l'échelle nationale, européenne et mondiale afin de mettre en place des stratégies qui permettent une pérennisation de la productivité des stocks halieutiques en rationalisant leur exploitation et sauvegardant l'intégrité de la biodiversité marine. Ces mesures devront fondamentalement s'attacher à obtenir une meilleure participation de l'ensemble des acteurs en présence (professionnels, scientifiques, administratifs, politiques, représentants de la société civile) à la prise de décisions, ce qui, considéré à l'échelle de l'Union européenne, passe nécessairement par une décentralisation des instances de débat à plusieurs niveaux. Parallèlement, le contrôle de l'activité des pêcheries doit être accru, ce qui ne se fera pas sans une pleine participation des professionnels. La recherche halieutique doit être maintenue et son efficacité augmentée par une stratégie qui idéalement peut encore être améliorée au niveau européen. La recherche halieutique apparaît en effet indissociable des objectifs de gestion, ce qui conduit à évaluer à la même aune l'excellence et la pertinence des projets de recherche. Les attentes et les incompréhensions qui ont été relevées entre scientifiques, professionnels et gestionnaires au cours de la préparation de ce rapport témoignent de l'importance extrême d'une excellente communication entre les diverses parties prenantes.

2.1. Des institutions différentes selon les métiers

Face à la diversité des métiers de la pêche, certains pays européens sont en faveur de dispositions différentes pour la pêche côtière et pour la pêche hauturière. La gestion des ressources de la bande côtière (12 milles) pourrait reposer sur des instances publiques locales intégrant la diversité des usages et reconnaissant les privilèges historiques d'accès aux pêcheries littorales. En revanche, la pêche hauturière pourrait être gérée par des instances publiques régionales dans lesquelles plusieurs pays seraient représentés, instances autorisées à recourir, le cas échéant, à des licences individuelles basées ou non sur des mécanismes économiques pour l'attribution de droits de pêche. Il serait ainsi possible de limiter la contradiction entre le principe de libre circulation des personnes, des biens et des services et la stabilité relative des parts nationales des captures autorisées.

2.2. Une large décentralisation des instances décisionnelles

Au sein de l'Union européenne, les difficultés rencontrées pour l'application de la Politique commune de la pêche tiennent notamment à la distance qui sépare l'instance décisionnelle des milieux professionnels et au caractère centralisé des prises de décisions vis-à-vis des États membres qui sont seuls compétents en matière d'application. La création d'instances locales (nationales pour la plupart) et régionales (le plus souvent multilatérales) pour la gestion des pêches côtières et des pêches hauturières, partiellement proposée par l'Union, constituerait une amélioration significative.

2.3. Des actions d'information et de formation

Ces instances locales et régionales devraient également permettre le développement des échanges réguliers entre professionnels, scientifiques chargés du suivi de l'exploitation et de l'état des stocks, administratifs et représentants des autres usages et des collectivités. Dans ces forums, l'interface entre professionnels de la mer et scientifiques devrait permettre, tout en améliorant le dialogue, d'apporter des progrès significatifs dans la qualité des données nécessaires à un bon diagnostic de l'état de l'exploitation.

2.4. Des mesures sociales d'accompagnement

La proposition initiale de la Commission européenne se serait traduite par une perte d'emplois en Europe chiffrée à 28 000 emplois sur quatre ans, et impliquait des mesures d'accompagnement pour financer des plans sociaux permettant la reconversion des professionnels qui accepteraient de se reconvertir dans d'autres secteurs d'activité. Cette question doit être traitée sur le moyen terme. Le changement des modalités de l'accès à la ressource, leur mise en place et leur contrôle doivent se faire progressivement. Des expériences transitoires sont à recommander pour que cette période de redistribution de la ressource puisse se faire sans provoquer de tensions sociales et économiques, afin d'atteindre le but d'un développement durable de la pêche et des écosystèmes marins exploités.

2.5. Un développement de la recherche halieutique

Les progrès indéniables réalisés par les halieutes depuis une trentaine d'années ne doivent pas occulter l'importance des pans entiers restant à explorer et la nécessité d'accroître les compétences et les moyens nouveaux indispensables pour répondre aux enjeux actuels :

- évaluer le rôle joué, à côté de l'exploitation et de sa dérive vers la surexploitation pour bon nombre d'espèces, par les variations climatiques et par les pollutions d'origine continentale, naturelles ou anthropiques ;
- améliorer la connaissance des interactions entre les espèces exploitées et les écosystèmes dont elles font partie, ce qui implique de nouvelles collaborations en écologie et biologie marines et océanographie ;
- développer les modèles biomathématiques ;
- mieux évaluer l'influence de l'évolution des techniques de pêche et de gestion des flottilles sur les prélèvements en milieux marins ;
- en ce qui concerne l'aquaculture : rechercher de nouvelles espèces à élever, améliorer leurs modes de nutrition, traiter les pollutions induites et améliorer la traçabilité des produits commercialisés.

Au plan des institutions et dans le cadre de l'Union européenne, des progrès doivent être recherchés dans deux directions principales :

- promouvoir des collaborations régionales transfrontières entre les équipes de chercheurs des États membres, ce qui implique une mobilité accrue des personnels concernés et des synergies entre instituts de recherche ;
- rechercher les conditions d'une distinction claire, reconnue par les personnes et institutions concernées, entre l'activité de recherche et l'expertise.

Extrait du rapport
Etudes sur l'environnement
De l'échelle du territoire à celle du continent
Académie des sciences (2003). Tec & Doc

Chapitre 4
Gestion des zones côtières
Lucien Laubier
(Extrait

(...)

5. Les grands objectifs de la recherche dans les zones côtières

La revue qui précède a été délibérément présentée de manière détaillée, afin de mettre en évidence les questions auxquelles la recherche scientifique a tenté de répondre. Ces questions pourraient être classées selon leur fréquence d'apparition dans les différents programmes, mais il n'est pas nécessaire de faire cet exercice pour reconnaître l'importance accordée à deux grands objectifs complémentaires :

1. déterminer l'état de contamination du milieu marin côtier et ses conséquences sur les communautés végétales et animales, d'une part ;
2. évaluer l'état des populations d'espèces exploitées par la pêche (coquilles Saint-Jacques en rade de Brest) ou par l'aquaculture et la conchyliculture (ostréiculture dans le bassin d'Arcachon) vis-à-vis de la qualité du milieu marin, d'autre part ;

Au fur et à mesure des progrès de la recherche, les questions abordées s'affinent progressivement, et de nouvelles préoccupations apparaissent :

3. connaître précisément l'influence d'un polluant ou d'une nuisance majeure sur la flore et la faune, par observation sur le terrain et par expérimentation écophysiologique (cas des rejets d'eau de mer échauffée des centrales électronucléaires littorales ou des organo-étains dans le bassin d'Arcachon) en vue d'anticiper les évolutions ultérieures ;
4. élucider les mécanismes de transfert, d'accumulation et de transformation

chimique des polluants d'origine continentale parvenant au milieu marin (dans le cadre des études couplant bassin versant et zone marine réceptrice), avec les applications qui en résultent du point de vue du traitement des eaux usées ; une difficulté provient de la non-complémentarité des observations faites en eau douce avec celles pratiquées dans les marines ;

5. modéliser les processus physico-chimiques et biologiques, et coupler les modèles hydrodynamique et biologique ;

6. reconnaître aussi clairement que possible le rôle respectif des facteurs d'origine anthropique et d'origine climatique (cf. événement de mortalité massive en Méditerranée nord occidentale de la fin de l'été 1999). À long terme, vis-à-vis du changement climatique et du réchauffement des eaux marines, cette orientation de recherche est appelée à se développer ;

7. développer des techniques appropriées de restauration des écosystèmes marins après suppression de la ou des sources de contaminants. Des recherches en ce sens ont été entreprises dès 1980 à l'occasion de l'échouement de l'*Amoco Cadiz* ; elles ont été étendues en Méditerranée (replantation des herbiers de Posidonies) et dans certains DOM-TOM pour la reconstitution de récifs coralliens dégradés.

Ainsi, la recherche prend en compte successivement l'observation, la prédiction, la mitigation et la remédiation.

On doit souligner les manques de connaissance en ce qui concerne l'écophysiologie expérimentale, notamment sous l'angle de la prévision des conséquences des changements climatiques. En Méditerranée par exemple, où nombre d'espèces sont en limite supérieure de leur zone de tolérance thermique, il n'existe pratiquement pas de données expérimentales *in situ* sur les effets combinés de la durée d'exposition et de la température, en particulier pour les espèces dont le mode de vie fixé à l'état adulte supprime toute possibilité de déplacement en profondeur.

Une seconde lacune concerne évidemment les sciences humaines et sociales. À l'exception d'une enquête sur le Consentement à payer (WTP) réalisée dans le cadre du contrat de baie ECORADE de Brest, et d'une thèse d'économétrie sur l'ostréiculture dans l'étang de Thau, on ne dispose d'aucun résultat dans ce domaine pourtant appelé à prendre de l'importance avec le développement de la notion de gouvernance. Pourtant, les progrès dans ce domaine des zones côtières passent par une appréhension des problèmes de pollution et une modification corrélative des pratiques au niveau de l'individu. En ce sens, il est indispensable de prendre en considération dans ces anthroposystèmes au sens du Programme environnement, ville et sociétés du CNRS l'homme et la place qu'il occupe dans l'ensemble de l'écosystème.

6. L'organisation de la recherche

La recherche dans le domaine marin côtier est aujourd'hui le fait de deux ensembles :

- d'une part, un organisme spécialisé, l'Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (l'IFREMER), ayant statut d'EPIC et résultant de la fusion, décidée en 1984, du CNEXO avec l'ISTPM, implanté sur différents points du littoral français, y compris dans les DOM-TOM (principaux centres Brest, Nantes, Toulon, Boulogne-sur-Mer, Tahiti) ;
- d'autre part, l'ensemble des laboratoires universitaires associés au CNRS en océanographie, dont les quatre grands observatoires océanologiques de Roscoff, Banyuls-sur-Mer, Marseille et Villefranche-sur-Mer de l'Institut national des Sciences de l'Univers, et les laboratoires marins de Wimereux, Concarneau, L'Houmeau, Arcachon, Sète, pour ne citer que les principaux.

Pour sa part, l'Institut de recherches pour le développement (IRD) poursuit des recherches d'océanographie côtière, notamment dans le grand lagon de Nouvelle-Calédonie, l'institut disposant à Nouméa d'un centre de recherche pluridisciplinaire bien équipé (ne sont pas évoqués dans le cadre du présent Rapport les activités, nombreuses, conduites par l'IRD en coopération avec et dans divers pays étrangers).

Entre ces deux communautés, les liens sont nombreux et efficaces. Ainsi, le Programme national environnement côtier (PNEC) fait l'objet d'un financement multiple, et les différents chantiers voient intervenir des équipes appartenant à l'ensemble des organismes concernés. La situation est moins satisfaisante dans le domaine de l'observation, en particulier dans leurs zones de recouvrement : les observations faites par l'IFREMER dans le cadre du RNO et les observations effectuées par les

Observatoires océanologiques et les laboratoires maritimes dans le cadre du réseau SOMLIT de l'INSU sont partiellement redondants. Il faut espérer que la réflexion engagée au niveau national sur les observatoires de recherche en environnement (ORE) et les observatoires opérationnels en environnement (OOE) aboutisse, à travers l'appel d'offre lancé fin 2001, à une harmonisation gage d'une plus grande efficacité globale.

Une évolution nouvelle est en préparation à l'heure actuelle. Il s'agit, au sein du CNRS, de l'avenir du programme interdisciplinaire Environnement, vie, sociétés (PEVS) dont le mandat actuel vient à échéance en octobre 2002. Doit-on prolonger pour une nouvelle période de quatre ans ce programme, dont la création, sous le nom de Programme interdisciplinaire de recherche en environnement (PIREN) remonte à la fin de l'année 1978, ou convient-il d'envisager une autre formule consistant à rattacher tout ou partie de l'activité du PEVS à l'Institut national des sciences de l'univers, dans lequel une nouvelle direction scientifique adjointe pourrait être créée ? Dans ce dernier cas, l'INSU ainsi élargi aurait-il vocation d'agence nationale pour la recherche en environnement, ou se limiterait-il à la tutelle des formations de recherche propres du CNRS ou associées aux universités ? D'autre part, quelle serait la relation entre l'agence de programme et les différents départements scientifiques du CNRS dont les chercheurs concourent aux programmes de recherche en environnement ? S'agissant plus particulièrement du littoral, la place accordée aux diverses communautés scientifiques demeure à préciser. Une question récurrente concerne la position des écologistes marins côtiers travaillant à l'échelle des populations et des peuplements, par rapport avec les approches biogéochimiques privilégiées par la communauté des chercheurs en sciences de l'univers. Le débat est d'autant moins anodin qu'il recouvre en fait les deux grands objectifs identifiés ci-dessus, qui s'expriment tous deux en termes de biologie de populations et d'écosystèmes.

7. La politique européenne pour la protection des eaux

Au cours des trente dernières années, la politique européenne sur l'eau a profondément évolué. Une première série de dispositions réglementaires débute en 1975 avec la directive sur les eaux de surface et s'achève en 1980 avec la directive sur l'eau potable. Entre ces deux dates, plusieurs directives concernent les standards de qualité vis-à-vis des usages de l'eau : qualité des eaux de baignade (1976), qualité des eaux douces de pêche sportive (1978), qualité des eaux conchylicoles (1979) et qualité des eaux souterraines (1980). Dans le domaine de la réglementation sur les valeurs limites de rejet, la directive sur les substances dangereuses (1976) et ses directives secondaires sur une série de substances prises individuellement (1982-1986).

Dans un second temps, l'Union européenne s'est attachée à améliorer les législations existantes. C'est le cas des directives sur le traitement des eaux usées urbaines (1991) et sur les nitrates (1991). Certaines directives antérieures ont fait l'objet de mises à jour. Dès 1994, une proposition de directive sur la qualité écologique des eaux était présentée par la Commission. Enfin, pour les grands complexes industriels, une directive sur la prévention et le contrôle des pollutions intégrées était adoptée en 1996.

Au niveau des États membres, deux positions se sont affirmées :

- l'approche par l'objectif de qualité de l'eau, qui définit les caractéristiques minimales de qualité afin de limiter l'aspect cumulatif de l'impact des émissions, pour les sources ponctuelles et pour les sources diffuses ;
- l'approche par la valeur limite à l'émission, qui définit les quantités maximales autorisées de polluants pouvant être déversés dans le milieu naturel à partir d'une source déterminée. Cette approche concerne aussi bien le produit final d'un procédé industriel comme le traitement des eaux usées que la quantité de polluants pouvant être rejetés dans le milieu.

Schématiquement, il s'agit de savoir s'il faut établir des critères de qualité de l'eau ou imposer des normes à l'émission pour les polluants ? Il est clair que ces deux orientations sont complémentaires. Leur combinaison a conduit à une nouvelle politique de l'eau, manifestée dans la directive cadre sur l'eau d'octobre 2000. Cette directive, qui s'appuie sur le principe de précaution, le principe selon lequel tout dommage à l'environnement doit en priorité être réparé à sa source et le principe selon lequel les conditions environnementales propres à chaque région doivent être prises en

considération, concerne le milieu marin côtier : en effet, elle s'applique aux eaux situées en deçà d'une ligne tracée à un mille de la ligne de base, (frontière virtuelle séparant les eaux intérieures de la mer territoriale ; elle correspond à la laisse de basse mer ou zéro hydrographique pour les côtes linéaires ; pour les régions découpées ou échanquées, on trace une ligne entre les points les plus saillants de la côte, y compris les îles, tout en suivant l'orientation générale de la côte). La qualité des écosystèmes est appréciée selon trois catégories, très bon état, bon état et état moyen.

Conclusion et recommandations

Ainsi, la recherche française sur les zones côtières, depuis une quarantaine d'années, a développé les techniques et les concepts adaptés à la plupart des problèmes qui se posent en matière d'ingénierie de ces territoires. Après les pollutions accidentelles venues de la mer, la recherche s'est intéressée aux pollutions industrielles et urbaines chroniques venues de la terre, pour lesquelles la zone côtière constitue le récepteur naturel. En même temps, les apports des grands fleuves au milieu marin ont été étudiés. La mutation la plus profonde s'est produite durant les années 1980, avec la prise de conscience de la nécessité de considérer l'ensemble des composants d'un système, c'est-à-dire un bassin versant et son milieu récepteur marin plus ou moins confiné, et cela à des échelles spatiales croissantes. Dès lors, il devient indispensable d'associer d'une manière de plus en plus étroite l'ensemble des usagers, simples riverains ou professionnels, aux décisions d'aménagement et de gestion. Cet aspect est loin d'être acquis, ici comme dans d'autres domaines.

Plusieurs recommandations de nature différente et complémentaire peuvent être exprimées. Les unes concernent la communauté scientifique, les autres s'adressent au pouvoir politique, au niveau régional et national :

- étudier simultanément les peuplements littoraux et les populations d'espèces exploitées par les professionnels de la pêche et des cultures marines. Ces deux composantes interviennent de manière intimement et nécessairement liée dans le fonctionnement des écosystèmes littoraux, et leur disjonction ne reposerait sur aucune justification scientifique ;
- encourager les recherches visant à préciser les échelles spatio-temporelles d'occurrence des grands processus biogéochimiques, en vue d'anticiper les conséquences des activités anthropiques dans ce type d'écosystème dynamique, productif et fortement anthropisé que constitue le littoral ;
- développer les couplages entre modèles hydrodynamiques et biologiques, en accordant une grande importance aux phénomènes extrêmes de courte durée, susceptibles d'influer de manière durable sur le fonctionnement de l'écosystème ;
- imaginer et mettre en œuvre des mécanismes incitatifs forts pour parvenir à une véritable interpénétration des recherches entre le domaine des sciences de l'univers y compris l'écologie et le domaine des sciences humaines et sociales, dans une véritable transdisciplinarité, comme y parviennent déjà certains pays européens (par exemple les Pays-Bas) ;
- harmoniser les activités d'observation opérationnelle de la zone littorale actuellement pratiquées par des opérateurs différents dans des cadres institutionnels variés, en vue notamment de constituer une base de données commune publique ;
- inciter les Régions à s'engager dans des projets de recherche à moyen terme sur l'environnement littoral et à promouvoir dans un second temps des actions inter-régionales de recherche sur le même type d'écorégions littorales (il existe déjà des grands programmes de recherche couvrant des aires marines telles que le golfe du Lion ou le golfe de Gascogne, qui ne font pas l'objet de soutien de la part des Régions riveraines) ;
- tirer toutes les conséquences du fait que, pour l'essentiel, les pollutions en zone côtière proviennent du continent et doivent être traitées ou contrôlées à la source.

Extraits du rapport
La recherche spatiale française
Académie des sciences (2006). EDP Sciences

Partie A

La recherche spatiale par discipline

1. Terre : les sciences de l'environnement et du climat

Contributions au rapport détaillé de Frédéric Baret, Pascale Delecluse, Laurence Eymard, Jean-Louis Fellous (coordinateur) et Jean-François Minster

1.1. Contexte scientifique et programmatique

(...)

Les progrès techniques se sont systématiquement traduits en progrès de la qualité des observations, et en progrès de la compréhension des phénomènes affectant les enveloppes superficielles de la Terre, qu'il s'agisse d'avancées en matière d'instrumentation (observation active par radars¹ ou lidars² – qui n'en sont qu'à leur début ; interférométrie³ ; etc.), de technologie satellite (vol en formation, comme le *A-Train* – avec Aura, Calipso, Cloudsat et Parasol, ou la roue interférométrique ; constellations de microsattellites, comme le projet international GPM – *Global Precipitation Mission*), complémentaire des observations *in situ* et des moyens de calcul, permettant la simulation numérique fine de la dynamique du système Terre et la prévision de son évolution à des échéances plus éloignées. L'Europe domine la plupart des technologies requises, tout en restant dépendante des États-Unis ou du Japon pour certains composants ou pour les supercalculateurs.

Le progrès des sciences de l'environnement revêt une importance sociale évidente, alors que des incertitudes persistantes pèsent sur l'évolution du climat à l'échelle des prochaines décennies, que la pression humaine sur les ressources (eau, nourriture, bois, sols) et les milieux naturels (milieu côtier, forêts) s'accroît de manière continue, que la production d'effluents et de déchets ne fait qu'augmenter à l'échelle globale.

(...)

Les deux aspects de l'évolution du système Terre et du besoin d'information pour la gestion durable de notre planète impliquent l'acquisition de séries temporelles et le relevé systématique de nombreux paramètres environnementaux, en même temps que la conception d'expériences destinées à l'élucidation ou à la quantification de processus spécifiques. À l'heure actuelle, en dehors des satellites météorologiques opérationnels, de quelques « miracles » (altimétrie océanique) sans certitude sur leur répétition, et de l'émergence de systèmes à vocation commerciale (imagerie à haute résolution) plus ou moins réussie, force est de constater que l'observation spatiale de la Terre reste dominée par le volet expérimental, sans que la transition vers des « systèmes opérationnels », garantissant la continuité des données, ait trouvé les voies de sa réalisation.

(...)

Partie B

¹ Radars altimètres (Topex/Poséidon, Jason, ERS, Envisat, Cryosat), diffusiomètres (ERS, Metop), radars à synthèse d'ouverture (ERS, Envisat, Alos), radars de mesure des précipitations (TRMM), des nuages (Cloudsat).

² Lidars altimètres (Alissa), sondeur (Calipso), Doppler (Aeolus).

³ Interféromètre Doppler (Windii), sondeur infrarouge de température et d'humidité (Iasi), de CO₂ (Oco), imagerie de l'humidité des sols et de la salinité superficielle des océans (Smos).

Questions stratégiques pour la recherche spatiale française et européenne

1. Sciences de la Terre, de l'environnement et du climat : nécessité des systèmes opérationnels d'observation de la Terre

L'observation de la planète Terre doit être assurée dans la durée afin d'étudier ses variations dynamiques lentes, et en particulier celles induites par l'action de l'homme, qu'elles affectent le climat global, les ressources naturelles ou la biodiversité. En parallèle, un grand nombre de politiques publiques et d'activités économiques ont besoin d'informations et de prévisions issues de systèmes où l'observation depuis l'espace est associée à des observations *in situ* et à des outils de transformations des observations en information. C'est l'enjeu du GMES (Global Monitoring for Environment and Security) de l'Europe, inscrit dans le processus mondial du GEO (Global Earth Observation).

Il est donc critique de mettre en place des satellites dits « opérationnels », récurrents et fonctionnant selon un cahier des charges adapté aux besoins des utilisateurs. Ces satellites doivent être conçus à partir des satellites scientifiques expérimentaux ayant permis les développements technologiques et l'amélioration de la connaissance de la planète. Ils doivent compléter le dispositif des satellites météorologiques opérationnels existant, en étendant aux autres compartiments du système Terre (océan, surfaces, solide terrestre) les capacités d'observation de l'atmosphère et de prévision de son évolution dont disposent aujourd'hui les services météorologiques nationaux, et les bénéfices qui en découlent pour l'ensemble des activités humaines.

Ce transfert des satellites scientifiques vers les satellites opérationnels nécessite dans un premier temps la mobilisation des utilisateurs et des institutions, afin qu'ils contribuent à la spécification du besoin face à l'offre technologique, et prennent progressivement la charge de la maîtrise d'ouvrage du dispositif. C'est à cette étape que se situe aujourd'hui le GMES.

Dans un deuxième temps, les institutions et agences opérationnelles doivent prendre en charge le financement et la gestion des satellites opérationnels.

(...)

Extraits du rapport Cycles biogéochimiques et écosystèmes continentaux Académie des sciences (2007). EDP Sciences

Chapitre 5.2 Écosystèmes océaniques

Patrick Raimbault

(Extraits)

La complexité de l'écosystème marin et la pluralité des mécanismes qui les gouvernent sont un *défi* qui ne peut être relevé que par une approche résolument pluridisciplinaire. Les phénomènes chimiques et biologiques sont tellement imbriqués, les rétroactions entre les différents compartiments biologiques tellement fortes et modulées par les processus hydrodynamiques et les interactions avec l'atmosphère, que leur étude a conduit à l'émergence d'une nouvelle branche de l'océanographie, la *biogéochimie marine*, dont le développement passe par la collaboration entre biologistes, chimistes, géochimistes et physiciens. Mais les observations, dépendantes des capacités d'échantillonnage sur le terrain, apparaissent souvent insuffisantes pour correctement décrire et expliquer les différents processus. Le développement de modèles numériques est nécessaire pour faire le lien entre la description et la quantification, mais également pour la compréhension complète des phénomènes souvent « sous-observés ».

La biogéochimie, l'écologie et la biodiversité marine sont trois disciplines qui ont évolué de façon parallèle, avec, jusqu'à récemment, très peu d'interactions. Toutefois, les trois disciplines

convergent actuellement, de façon très rapide. À titre d'exemple, la plupart des modèles biogéochimiques modernes incluent de nombreux processus écologiques, représentés ou non de façon explicite (par exemple : production, broutage, respiration, excrétion), ainsi que des types planctoniques fonctionnels, lesquels relèvent de la biodiversité. Depuis une dizaine d'années, la biologie moléculaire est incontournable en océanographie et certaines des contributions les plus importantes faites au cours de la décennie passée ont utilisé les nombreux outils qu'elle a mis à notre disposition. Très récemment, l'application de la génomique a également ouvert un champ nouveau d'applications.

C'est dans le cadre des études de processus, des mécanismes et des flux que s'est nouée l'articulation entre ces disciplines. Le principe de la *pompe biologique* (moteur du flux de carbone dans la colonne d'eau) en est sans doute « la clé de voûte », mais plusieurs autres aspects sont apparus.

La pluridisciplinarité a semble-t-il été en faveur de certains « outils » disciplines au détriment de certaines disciplines fondamentales (biologie, chimie, optique) qui n'ont pas été assez encouragées. Enfin, l'effort de rationalisation des méthodes d'études (*Core parameters*) s'est avéré particulièrement néfaste pour l'étude du rôle des producteurs secondaires et tertiaires en raison de l'inadéquation des méthodologies des années 1980 aux problèmes de description *in situ*. De plus, la perte progressive de l'expertise taxonomique (départs à la retraite non remplacés) et l'absence d'une politique suivie d'équipements et de remise à niveau des équipes actives sont des handicaps majeurs à l'étude des communautés planctoniques et benthiques.

(...)

Il est primordial d'élargir les approches de biogéochimie organique à l'ensemble du système océanique et à ses diverses *interfaces* (par exemple : eau-sédiment, continent-milieu côtier, etc.). Il convient notamment d'améliorer la caractérisation (au niveau moléculaire) de la matière organique particulaire, et d'intégrer les processus de diagenèse précoce qui contrôlent l'enregistrement sédimentaire de l'activité biologique sous-jacente.

(...)

La génomique, c'est-à-dire l'analyse soit de génomes complets, soit de grands fragments génomiques, est de loin l'approche la plus complète et la plus riche pour nous permettre d'avoir une vue d'ensemble du potentiel métabolique des organismes du milieu océanique, qu'elle soit appliquée à des organismes isolés en culture (bactéries hétérotrophes, cyanobactéries, phytoplancton eucaryote) ou bien directement à des échantillons naturels (écogénomique, métagénomique). Cependant, la mise en oeuvre des approches génomiques est lourde et coûteuse et encore réservée aux centres de séquençage.

Les avancées récentes liées au développement des méthodes moléculaires nous ont donc permis d'améliorer très nettement notre vision de la diversité des micro-organismes présents et ont contribué à changer notre vision de la structure et du fonctionnement de certains systèmes océaniques. Mais ces découvertes et ces concepts restent essentiellement qualitatifs. Des progrès importants restent à faire dans la connaissance de ces micro-organismes, tant au niveau de leur biodiversité que de leur fonction. Il est indispensable d'inventer de nouvelles approches culturelles pour permettre l'isolement des microorganismes inconnus et permettre ainsi leur caractérisation physiologique, métabolique et génétique. Cette étape est essentielle pour définir le potentiel biotechnologique d'un micro-organisme. pides d'origine biogène (lipides phytoplanctoniques ou bactériens, ...) ou anthropique (hydrocarbures pétroliers) comme « empreintes moléculaires » spécifiques d'une origine ou d'un processus d'évolution (physique, chimique ou biologique). Ces composés, ou leurs produits de dégradation, peuvent permettre de définir l'origine (végétale/animale, marine/terrestre, anthropique/naturelle) et le devenir (voies, mécanismes et vitesses de transformation/minéralisation, transfert) de la matière organique particulaire dans les écosystèmes modernes et anciens.

(...)

Le domaine abyssal a longtemps été considéré comme un environnement pauvre, exempt de variations spatiales ou temporelles, caractérisé par des énergies cinétiques basses. Au cours des deux dernières décennies, le développement technologique des engins de prélèvements et de mesures (pièges à particules, carottiers multitubes, landers, ...) a totalement modifié cette image, révélant l'existence d'un couplage très net entre l'océan superficiel et les fonds abyssaux. La dynamique des transformations dans ce réservoir (à des échelles de temps de l'ordre du millénaire) est donc de première importance pour comprendre et quantifier le rôle de l'océan lors des changements survenus au cours des cycles climatiques et des temps géologiques. Dans le contexte du changement climatique, il faut donc considérer non seulement l'exportation (de la zone euphotique) mais la séquestration (sous la pycnocline permanente), ce qui requiert (a) un effort expérimental de quantification des flux verticaux (vers le bas et vers le haut) et des processus dans la couche mésopélagique, en vue de leur intégration dans les modèles, et (b) une approche numérique de simulation intégrée de l'océan.

3. Les apports continentaux et l'interface côte-large

L'étude du lien continent-océan depuis les bassins versants jusqu'au milieu marin côtier et hauturier est nécessaire en particulier afin de définir le devenir des apports de matière des grands fleuves dans l'océan côtier et plus largement vers l'océan global. Tous les composés qui entrent dans les cycles biologiques (C, N, P, S, O₂, Si, éléments traces, ...) ou qui sont liés à la matière organique (argiles, ballasts minéraux) doivent être étudiés, tant leur importance est cruciale dans le devenir des apports fluviaux sur la marge. On sait que *plus de 80 % des éléments en phase particulaire sont transportés pendant les crues* et il y a une différence importante entre la montée et la décrue. La perspective du changement climatique en cours risque de modifier substantiellement le devenir des apports fluviaux dans l'océan côtier : modification du régime hydrologique des fleuves, érosion accrue, phénomènes météorologiques extrêmes (tempêtes, canicules), hausse des températures hivernales aux latitudes tempérées peuvent changer le mode de transfert des éléments depuis les fleuves vers l'océan côtier. À titre d'exemple (cf. encadré), l'augmentation de la fréquence des tempêtes, en influant sur la resuspension des sédiments, peut concourir au transport des sédiments superficiels vers le plateau continental et la pente ou accroître la minéralisation du matériel organique dans la colonne d'eau oxygénée. De même, le changement des régimes d'apport d'eau douce couplé à un accroissement des charges en nutriments peut engendrer des désoxygénations de l'eau de fond consécutives à un accroissement du métabolisme benthique et des flux à l'interface eau-sédiment.

La zone côtière, de la bordure littorale des continents à l'océan ouvert, comprenant le plateau continental et la pente continentale jusqu'à la plaine abyssale, aussi définie sous le terme de marge continentale, représente une zone clé pour la compréhension des cycles biogéochimiques globaux. Elle est le siège d'une production marine importante, pélagique et benthique, liée aux caractéristiques océanographiques propres à ces zones mais aussi très dépendantes des échanges avec le continent, l'océan ouvert, l'atmosphère et le substrat.

Les *marges* ont aussi une capacité d'accumulation et d'enfouissement de matière au niveau du substrat, et, en ce qui concerne le vivant, une capacité de rétention des organismes par la structuration d'habitats favorables. Elles se comportent donc suivant les cas comme des *zones de puits ou de source*, que ce soit pour la matière inerte sous toutes ses formes ou pour les organismes vivants. Ces zones jouent donc des rôles essentiels pour la chimie, la biogéochimie et la production marine globale des océans.

Les *plateaux continentaux* sont l'objet d'études scientifiques intensives du fait de leur importance économique et écologique, notamment pour estimer et gérer l'impact de la pression anthropique sur ces zones. Les programmes nationaux du PNOG, puis du PNEC ont notamment focalisé les études sur l'interface continent-côtier pour estimer l'impact des principaux fleuves français sur les plateaux continentaux par leurs apports de matière, et, dans certaines zones, pour fournir des descriptions fiables de la production primaire. Cependant de façon générale, les bilans de matière des zones de marges continentales, notamment sous l'égide du programme international LOICZ (*Land Ocean Interaction Zone*) restent encore incomplets, du fait de la complexité des processus physiques et biogéochimiques intervenant à différentes échelles, et de l'importance des échanges aux différentes interfaces. La diversité et la complexité des processus hydrodynamiques en zone de marge

(marées, courant de bordure, intrusions à méso-échelle, *up/down-wellings*, panache d'eau douce, plongée d'eau dense...), l'influence de la bathymétrie et les caractéristiques de l'océan ouvert adjacent à chaque marge rendent chaque système côtier complexe et souvent unique.

Il est pourtant fondamental de comprendre l'impact de ces mécanismes sur les échanges des éléments dissous et particulaires (flux de carbone, flux de micronutriments, marqueurs terrigènes, etc.) et des organismes vivants (essentiellement les populations planctoniques) entre la zone côtière et le large. Cela passe par l'identification des relations entre les échelles spatiotemporelles caractéristiques du transport et les échelles de temps des processus chimiques, biogéochimiques ou métaboliques suivant l'espèce considérée et qui peuvent conduire à des problèmes dans les stratégies d'acquisition de données.

(...)

5. Rôle de l'évolution des outils d'observation ou de modélisation

Les séries de mesures *in situ* ont été exceptionnellement complétées par les observations spatiales. Celles-ci doivent être poursuivies. Pour la télédétection couleur, on est passé d'une phase expérimentale (CZCS : Coastal Zone Color Scanner) à une phase exploratoire avec un grand nombre d'instruments (Seawifs, Meris, Modis...). Grâce aux techniques satellitaires, aux moyens de calcul et aux modèles simplificateurs, les bilans à l'échelle globale ont vu le jour et aident à comprendre le fonctionnement des océans et les cycles globaux des éléments. Il reste toutefois à comprendre la sensibilité des résultats de ces modèles, qui utilisent souvent des relations statistiques, aux perturbations régionales et aux perturbations éventuellement introduites par l'activité de l'homme et de la société.

Pour une meilleure paramétrisation du modèle, il faudra aussi disposer de données expérimentales obtenues en cultures, mésocosmes ou milieu naturel, les paramètres de croissance, de mortalité, d'assimilation et d'excrétion des divers éléments, pour chacun des types fonctionnels. Cette première tâche comporte des difficultés, tant pour le prélèvement en mer que pour l'isolement et l'élevage en conditions contrôlées (et sans stress) pour certains types. Pour les organismes de petite taille, ces mesures de processus peuvent être réalisées en mésocosmes au laboratoire. Par contre, pour le macroplancton, fragile, ces approches devront être principalement réalisées à l'aide de submersibles, ce qui rend indispensable des développements instrumentaux.

La mise en place de sites ateliers avec des réseaux d'observation et des campagnes océanographiques favorisant le couplage avec la modélisation doit être favorisée. Cela passe par la capacité à concentrer les efforts d'une communauté pluridisciplinaire (biologistes, géochimistes et physiciens marins, biogéochimistes des eaux continentales...) autour de sites ateliers, reconnus comme étant les plus sensibles aux changements climatiques (comme l'Arctique, l'Océan austral, la Méditerranée, les zones côtières européennes, par exemple).

Chapitre 10.1

Observatoires océaniques

Les services d'observation du milieu marin

Patrick Raimbault

(Extrait)

(...)

Les objectifs de l'observation sont triples : connaître le passé, observer le présent et prévoir le futur.

Connaître le passé, c'est savoir comment ont évolué certaines caractéristiques de l'océan dans un passé proche et en particulier depuis le début de l'ère industrielle. Cela implique la recherche d'archives et la mise en perspective des données qu'elles contiennent.

Observer le présent, c'est mener une action volontaire, répétitive d'observation de l'évolution des caractéristiques du milieu marin par des mesures systématiques à des emplacements fixes considérés comme représentatifs.

Prévoir l'avenir est le but *in fine*. Discerner les différentes échelles de temps des phénomènes, dégager le local du général, les petites variations qui s'accumulent peuvent modifier les milieux naturels sur le long terme.

Une meilleure compréhension du cycle du carbone océanique et une meilleure connaissance de l'impact de l'océan vis-à-vis d'une probable augmentation de l'effet de serre nécessitent que l'on observe et que l'on comprenne les variations saisonnières à moyenne échelle de la pression partielle de dioxyde de carbone ($p\text{CO}_2$) dans les eaux de surface de l'océan mondial. Les programmes nord-américains HOT (Hawai Ocean Time-Series dans le Pacifique Nord subtropical) et BATS (Bermuda Atlantic Time-series Study dans la mer des Sargasses) ont permis l'implantation et le maintien de longue date de stations échantillonnées régulièrement pour le suivi de paramètres physiques et chimiques.

En France également, la nécessité de tels dispositifs s'est imposée très tôt aux océanographes biogéochimistes et certains systèmes d'observation sont fonctionnels depuis plusieurs années. Dès le début des années 1980, un effort a été effectué en ce sens avec le soutien de l'Insu-CNRS pour acquérir de séries de données notamment dans l'océan austral – opération Minerve, et la composante française de JGOFS (Proof) a permis la création de la station Kerfix au large des îles Kerguelen, du suivi Oiso et récemment de l'Ore Caraus dans l'océan Indien austral. Ces services d'observation ont bénéficié du développement de mesures automatisées et peuvent être réalisés grâce aux transits récurrents des navires assurant la logistique pour les îles australes et l'antarctique). Un site équivalent aux stations HOT et BATS existe depuis 1980 en Méditerranée Nord occidentale (Dyfamed). Ces stations ont pour but d'améliorer la compréhension du cycle global du carbone et des éléments associés, et d'étudier la variabilité océanique sur des échelles de temps allant du jour à la décennie.

Il est à noter que ces sites d'observations à long terme, essentiellement de type océanique, sont fréquemment le support d'opérations scientifiques plus ponctuelles auxquelles ils apportent la composante variabilité interannuelle.

Ces services d'observation fonctionnent correctement, bien que le problème de leur inscription dans la durée se pose à tous leurs responsables ; la difficulté étant de pouvoir disposer de personnel à plein temps pour en assurer la régularité du suivi. Il est impératif que les services d'observation soient dotés de moyens humains nécessaires pour pérenniser la continuité des observations acquises sur plus de dix ans.

Dans le domaine côtier la situation est sans doute moins claire. L'interférence entre une fluctuation naturelle élevée et l'effet des facteurs anthropiques complique notablement l'interprétation de la variabilité basse fréquence. La déconvolution des variations climatiques à méso-échelle et des changements globaux, en partie dus aux activités humaines, est un préalable à l'interprétation des réseaux d'observation côtiers. La zone côtière constitue une étape dans le devenir de la matière entre le domaine continental et le domaine océanique. Les variations spatiales et temporelles peuvent être importantes et très dépendantes des processus physiques et hydrodynamiques locaux. Des mesures océanographiques très fréquentes sont donc impératives en milieu côtier pour quantifier les processus côtiers et de paramétrer leurs forçages.

Un dispositif d'observation du milieu littoral (Somlit) a été mis en place en 1996 par l'Insu au sein du Réseau national des stations marines (RNSM) qui peut répondre en partie à ces besoins. Une mobilisation plus large des organismes a été engagée par la mise en place des Ore (observatoires régionaux de l'environnement) mais qui n'a pas pour le moment évolué vers la mise en place de systèmes pérennes.

Actuellement, les contraintes sur les moyens humains et logistiques font qu'il est impossible de procéder à un suivi à très haute fréquence. En effet, ces sites d'observation côtiers ne sont pas équipés de systèmes de mesures autonomes, et la plupart du temps ces études reposent sur des prélèvements hebdomadaires et sont très coûteuses en temps et personnels.

De plus, la mise en place de la surveillance induite par la directive cadre sur l'eau (DCE) nécessite une redéfinition des réseaux de surveillance existant dans le domaine côtier. La classification des états écologiques repose sur l'état de qualité, notamment biologique et physicochimique. La qualité biologique est ainsi caractérisée par la composition, l'abondance et la biomasse du phytoplancton. La qualité physicochimique est évaluée par la transparence, la température, la salinité la concentration en oxygène dissous et en nutriments. La stratégie de surveillance des réseaux hydrologiques doit donc évoluer à la fois en termes de fréquence de mesures, de nombre de points de prélèvements et de type de paramètres à analyser. Et il est certainement indispensable de disposer de séries de mesures fines, notamment dans une problématique d'alarme.

Ces séries ne peuvent être obtenues qu'avec l'aide d'instrumentations *in situ* adaptées au milieu côtier. La mise en place de stations autonomes multi-instrumentées doit être intensifiée ainsi que le développement de capteurs autonomes *in situ* pour des paramètres chimiques (analyseur de sels nutritifs) et biologiques (cytomètre en flux, spectrofluorimètre par exemple).

En complément aux mesures *in situ*, les informations fournies par les satellites représentent des données océaniques d'un très grand intérêt. Elles permettent d'établir des séries temporelles synoptiques à un rythme serré et renferment une information très précise sur les déplacements des masses d'eau, les remontées d'eau profonde, et associées aux données d'altimétrie et de température de surface de l'océan, elles procurent une vision assez détaillée de l'océan à méso-échelle.

Il est important de soutenir les travaux qui sont en cours afin de combiner les données de satellites différents (infrarouge, altimétrie, couleur de l'eau) pour constituer des séries longues, sur lesquelles un signal anthropogénique pourrait être détecté.

Il est important que les services d'observation continuent à être situés près d'un laboratoire de recherche afin d'en maintenir le dynamisme, d'en assurer la qualité des données, et favoriser l'utilisation des observations pour répondre à des questions de recherche. Il est urgent que les services d'observation soient dotés de moyens humains nécessaires pour pérenniser la continuité des observations qui doivent être acquises sur le long terme et que les mesures en continu autonomes viennent rapidement améliorer la stratégie des suivis à long terme, notamment dans les domaines côtier et littoral.

Chapitre 6.3

Comportement des contaminants chimiques dans les estuaires

Daniel Cossa

(Extrait)

Conclusion et recommandations

Les estuaires sont des zones de conflits d'usage où doivent s'exercer prioritairement des techniques de gestion pour un développement durable prenant en compte l'ensemble du bassin versant du fleuve et de la zone côtière adjacente. Cette gestion passe par la connaissance approfondie des processus biogéochimiques qui gouvernent les écosystèmes et permet le développement d'outils de modélisation. Les processus biogéochimiques estuariens sont encore mal connus et mal intégrés tant leurs inhérentes complexités et variabilité sont grandes (variabilités spatiotemporelles hydrodynamiques, chimiques et biologiques). Cette méconnaissance est aussi le résultat de la priorisation en France, pendant de trop nombreuses années, de la recherche océanographique vers les provinces océaniques, marginalisant la recherche en zone côtière à des études de cas. Des efforts récents émergent pour renverser cette tendance (programmes européens sur les marges type Metromed, Pnoc-Pnec, PNRH, etc.). Mais ces efforts ne sont pas à la hauteur du défi et les laboratoires spécialisés (ou à activité principale) sur l'interface océan-continent sont trop rares.

Les informations parcellaires disponibles sur les cycles des contaminants chimiques sont à réunir pour faire émerger des nouveaux concepts, de nouvelles propriétés et modèles généralisables à tous les estuaires. Les avancées conceptuelles reposeront sur des recherches fondées sur un bon équilibre entre l'observation de longue durée, l'expérimentation et la modélisation dans un processus itératif. Une formalisation englobant les mécanismes biogéochimiques majeurs, en particulier des réactions hétérogènes, et des processus hydrosédimentaires côtiers est souhaitable. L'enjeu principal est la compréhension des interactions des facteurs physiques, sédimentologiques, chimiques et biologiques et leur intégration. L'intégration concerne aussi bien celle des processus biogéochimiques dans la dynamique hydrosédimentaire, que celle de la productivité primaire dans les cycles biogéochimiques et celle des prédateurs dans les réseaux trophiques. La capacité d'intégration et de résolution des modèles prédictifs génériques dépendra de l'obtention de séries spatiotemporelles. Cette démarche passe par le rapprochement des communautés se partageant les champs de connaissances pour réaliser une approche systémique intégrée du fonctionnement du bassin versant et de la zone côtière ; dans cette optique la division thématique traditionnelle « eaux douces-eaux marines » est handicapante. Si les volontés intégratives n'ont pas donné jusqu'à présent les résultats escomptés, ce n'est pas uniquement par manque de moyens financiers : des mécanismes de structuration des équipes de recherche sont à rechercher pour qu'à moyen terme se fédèrent des compétences sur la biogéochimie fluviale, estuarienne et côtière, dans une sorte d'« **Institut de biogéochimie de l'interface océan-continent** », multi-sites, éventuellement rattaché à un grand organisme et/ou à « un pôle de compétence » *. Cette structuration devrait permettre de réunir sur la base d'objectifs finalisés les équipes de recherche à caractère fondamental et appliqué intégrant la démarche « observation-suivi, processus-expérimentation, modélisation ». Dans ce cadre, il est indispensable que les études sur le comportement et la dynamique des contaminants soient intégrées dans des approches géochimiques structurées autour des grands cycles biogéochimiques (carbone, azote, phosphore, silicium, soufre, fer, etc.) qui les pilotent. Ceci permettrait aussi de s'affranchir définitivement des

* Une telle fédération à l'échelle nationale doit se concevoir en liaison avec la stratégie européenne (cf. « directive-cadre sur l'eau » et « stratégie marine côtière »).

approches non géochimiques en matière d'études environnementales, qui n'apportent des informations que dans un cadre empirique. De plus, les changements climatiques globaux qui conditionnent les grands cycles gouvernent indirectement les comportements des contaminants ; les études sur les changements anthropogéniques sont intrinsèquement liées à celles des changements climatiques. La question spécifique des contaminants organiques, en particulier les xénobiotiques en zone côtière, est sous-étudiée en France ; un effort d'effectif-chercheurs est nécessaire dans ce domaine afin de se hisser au niveau de nos partenaires européens et nord-américains.