

L'aménagement des zones côtières: problèmes et perspectives

Jean-Paul Troadec

IFREMER
66, avenue d'Iéna
75116 Paris, France

Claude Alzieu

IFREMER, Centre de Nantes
B.P. n° 1049
44037 Nantes Cedex, France

La conservation des environnements côtiers revêt une importance croissante compte tenu:

- des niveaux généralement élevés atteints par la production biologique,
- du rôle que jouent les milieux littoraux dans le cycle biologique de nombreux stocks halieutiques,
- de la qualité des milieux que requiert le développement de la mariculture,
- de l'intensification et de la diversification des utilisations dont ces milieux font l'objet, notamment dans les pays technologiquement avancés.

Pourtant la complexité de la structure et de la dynamique des écosystèmes marins ne facilite pas la mise au point de modèles décrivant leurs réactions aux différentes modalités et intensités de leur utilisation. L'analyse objective des conséquences économiques et sociales des divers régimes d'utilisation envisageables demeure donc insuffisante. L'incertitude qui résulte de cette carence au niveau des concepts et des méthodes d'analyse, nuit à la clarification des objectifs d'aménagement, au choix des mesures de régulation appropriées et à leur adoption rapide, ainsi qu'à l'évaluation des performances des schémas d'aménagement.

En tant que ressource, l'environnement, particulièrement marin, présente un ensemble de caractéristiques que l'on retrouve chez les stocks halieutiques: ressources naturellement limitées, mais renouvelables, mobiles, variables... Ces caractéristiques sont à l'origine d'une propension à la surexploitation, d'abord économique puis biologique, qui entraîne une exacerbation des conflits parmi les divers groupes d'utilisateurs. L'expérience issue de l'aménagement des pêches permet de tirer des conclusions sur l'orientation à donner aux recherches, à l'organisation de la fonction d'aménagement, ainsi que sur l'adéquation des mesures de régulation à la conservation et à la bonne utilisation des milieux côtiers.

Conservation of coastal environments is assuming growing importance owing to:

- the high levels often reached by biological productivity in littoral areas,
- the role played by those environments in the biological cycles of many fish stocks,
- the water quality required for the development of mariculture,
- the increasingly intensified and diversified uses of such environments, notably in technologically advanced countries.

The complexity of the structure and dynamics of marine ecosystems does not facilitate the development of models needed for simulating environmental reactions to various modes and intensities of use. This limits the objective analysis of economic and social effects of various utilization patterns and, thus, the clarification of management objectives, the selection of suitable regulatory measures, timeliness in the decision-making, and the evaluation of adopted management schemes.

In common with fishery resources, the environment (notably marine) possesses a set of basic features that are limited, although renewable, mobile, variable, etc., which makes their utilization susceptible to over-exploitation (economic and biological) and leads to conflicts of acute intensity, both within and among the various users. Conclusions regarding the orientation of investigations, the organization of the management function, and the suitability of regulatory measures are drawn from the experience acquired in fisheries management.

1. Introduction

Même s'il faut pour cela rappeler quelques lieux communs, le thème de cette présentation peut se définir par référence aux deux termes principaux – zones côtières et aménagement – du titre qui nous a été imparti.

Les zones côtières se caractérisent par:

- la richesse de leurs ressources naturelles, tant sur le plan quantitatif (en termes de productivité biologique) que qualitatif (rôle clé des marais, des estuaires, des nourriceries dans le cycle de production des ressources notamment), comme par
- la diversité et l'interdépendance des ressources au sein des écosystèmes.

La diversité d'utilisations auxquelles donnent lieu ces ressources est également bien connue:

- utilisation des capacités d'acceptation des écosystèmes pour l'élimination directe ou indirecte des résidus des diverses activités humaines (industrielles, urbaines, agricoles, etc.),
- extraction des sédiments et aménagements physiques du littoral (ports, etc.),
- pêches commerciales et récréatives,
- aquaculture en milieu ouvert, libre (conchyliculture, «sea-ranching») ou avec apport de nourriture (poissons en cage),
- navigation et occupation des plans d'eau,
- urbanisation et tourisme.

La concentration des activités humaines dans les zones côtières (tourisme et résidences, ports et industries au bord de l'eau, apports fluviaux, aquaculture en milieu ouvert) fait que, dans les régions du monde où les populations humaines sont denses et l'industrialisation avancée, les impacts sur l'environnement et les ressources vivantes peuvent excéder leurs potentialités ou devenir mutuellement incompatibles. Ainsi en France métropolitaine, 22 % de la bande littorale (sur une largeur de 500 m) est urbanisée ou industrialisée et 32 % sont voués à l'agriculture.

Les problèmes que pose la conservation de l'environnement seront analysés ici dans la perspective des effets que peuvent avoir les altérations de ce milieu sur la productivité des ressources vivantes et la qualité (salubrité notamment) de leurs produits. Une référence particulière sera ainsi faite à la pêche et à l'aquaculture extensive.

Avec l'intensification et la diversification de l'utilisation des écosystèmes côtiers, il apparaît nécessaire d'étudier les répercussions entre ces activités au sein de secteurs géographiques donnés. Par exemple, commence à se poser la question de la distinction des effets sur les stocks côtiers (ou passant en zones côtières leur phase juvénile) de la pêche, d'une part, des modifications anthropiques de l'environnement susceptibles d'affecter leur recrutement, d'autre part, ainsi que des fluctuations naturelles à long terme de l'hydroclimat. La

distinction, dans le suivi de l'environnement, des fluctuations d'origine climatique et des modifications d'origine humaine présente le même intérêt et la même difficulté. La dépendance des élevages extensifs (conchyliculture) de la qualité du milieu est, à cet égard, reconnue depuis longtemps. Un rapprochement de la science de l'environnement, de l'halieutique et des études sur l'aquaculture en milieu ouvert apparaît donc nécessaire pour une meilleure compréhension de la dynamique et de la résistance des écosystèmes côtiers aux divers impacts d'origine humaine.

Un tel rapprochement paraît opportun car, si l'intérêt pour l'environnement marin et sa résistance aux altérations est relativement récent, les méthodes sur lesquelles reposent les investigations font appel, en partie, à la connaissance des populations et des écosystèmes, fondement de la science halieutique et de l'aquaculture extensive. En outre, la conservation de l'environnement présente, en matière de besoins et de possibilités d'intervention, beaucoup de points communs avec l'aménagement des pêches. L'acquis dans ce dernier domaine est donc a priori susceptible de donner lieu à des transferts de concepts et de démarches au profit de la préservation de l'environnement.

Comme dans les pêcheries, les problèmes de conservation de l'environnement se manifestent schématiquement sous trois formes:

- 1) une répartition sous-optimale de l'impact dans l'espace ou dans le temps conduisant par exemple à une dystrophie localisée ou temporaire de l'écosystème (eutrophisation, phénomènes d'eaux colorées, etc.),
- 2) une élévation excessive du taux global d'altération ou d'utilisation de l'écosystème pris dans son ensemble, par exemple, une modification de la dynamique sédimentaire ou hydrologique réduisant l'habitat des larves et entraînant une baisse chronique du recrutement naturel: envasement des bouchots à l'embouchure de la Vilaine et des collecteurs d'huîtres en Gironde, France; déclin du recrutement des stocks de crevettes pénaeides consécutif à la baisse des apports fluviaux et à la construction de barrages dans le golfe Persique (NOAA, 1982) ou à la réduction de leurs nourriceries par extension de la riziculture en zones marécageuses; effet similaire de la construction du barrage d'Assouan sur le stock de sardinelle de l'embouchure du Nil (Shaheen, 1976); dystrophie des côtes de Bretagne nord et prolifération d'ulves mises au compte de rejets organiques d'origine agricole; rejets chroniques de substances toxiques et persistantes dépassant le seuil d'absorption du milieu: peintures «antifouling» à base d'organostanniques entraînant un défaut de formation et de croissance des coquilles d'huître (Alzieu *et al.*, 1981); etc.
- 3) la répercussion de certaines activités humaines sur d'autres par l'intermédiaire des interrelations existant au sein des écosystèmes littoraux (par exemple,

la probabilité d'apparition d'eaux colorées toxiques pourrait être accrue avec l'enrichissement du milieu marin par les effluents agricoles et urbains comme, peut-être, par les excédents de nourriture et l'excrétion dans les élevages marins en cages; les espèces planctoniques responsables peuvent être toxiques pour les espèces cultivées et pêchées (*Gymnodinium*) ou provoquer des intoxications alimentaires chez les consommateurs humains (*Dinophysis*), (Alzieu *et al.*, 1983).

A cet égard, il convient de souligner que les conflits entre les divers modes d'utilisation ou d'altération des écosystèmes ne sont pas symétriques: navigation, aménagements physiques du littoral, prélèvements de sédiments, rejets de dragage, pollutions de toutes sortes ne dépendent pas de la qualité de l'environnement et ne sont donc pas directement concernés par sa conservation. Par contre, la santé publique, l'aquaculture extensive (conchyliculture, élevages de poissons en cage) et la pêche (recrutement des stocks dont les nourriceries sont littorales) sont en position de faiblesse vis-à-vis des altérations amont. Leurs besoins seront donc déterminants pour la définition des seuils acceptables de rejet et d'impact.

Malgré son évidence, le fait que les conflits entre les divers modes d'exploitation des ressources marines se posent avec une acuité particulière dans les zones côtières a souvent été relativement négligé. Une majorité d'océanographes, de biologistes et d'économistes des pêches se sont surtout préoccupés de la haute mer ou de la compétition au sein des pêcheries hauturières internationales. Comparativement, l'océanographie côtière, l'évaluation des stocks littoraux ou l'aménagement des pêches côtières, des cultures marines et de l'environnement littoral ont été relativement négligés des spécialistes de l'évaluation des ressources et de l'aménagement de leurs utilisations. La plus grande simplicité du monde hauturier n'est pas la seule raison de ce relatif désintérêt. Le poids de l'exploration hauturière dans un contexte de compétition pour l'accès et la mise en valeur des ressources halieutiques lointaines vierges et une vision courte des perspectives d'expansion de la pêche compte tenu du potentiel halieutique mondial (Troade, 1983) ont, sans doute, aussi fait négliger la richesse des zones côtières et le besoin de réguler les utilisations dont leurs ressources naturelles font l'objet.

On rappellera, dernier lieu commun, que seules les utilisations créent des problèmes d'aménagement. Il n'y a donc pas lieu de parler d'aménagement des ressources. Par contre, il est illusoire de vouloir aménager sans considérer, en même temps que les effets sur les ressources et leur productivité, les activités humaines entrant en jeu comme les avantages (gains) et les inconvénients (coûts) – quelle qu'en soit la définition – que l'homme en retire. L'aménagement doit corrélérer les effets et les causes des déséquilibres, comparer les objectifs et établir des critères économiques et sociaux

d'optimisation des utilisations des écosystèmes, enfin déterminer les méthodes et les mesures susceptibles d'amener et de maintenir les utilisations et les écosystèmes au voisinage des équilibres recherchés.

2. Complexité du problème

Des difficultés de nature différente (écologiques, biologiques, économiques, sociales et politiques) convergent pour rendre la conservation des écosystèmes côtiers et l'optimisation de l'utilisation de leurs potentialités éminemment complexes: les échecs ou les carences de leur aménagement sont là pour en témoigner. Si, pour certains types de problèmes (courantologie et sédimentologie côtières, détermination des sources et des flux de polluants, déterminisme d'apparition des eaux colorées, par exemple), un progrès des connaissances peut être attendu d'une intensification des observations, force est de reconnaître que, pour d'autres, la maîtrise des variables et de leurs interrelations qu'implique leur compréhension paraît hors de portée des méthodes et moyens d'analyse disponibles actuellement.

A ces complexités, ce type de ressource ajoute certaines propriétés propices à leur surutilisation. La dynamique de cette surexploitation demande à être convenablement appréciée si l'on veut pouvoir élaborer et mettre en oeuvre des méthodes de régulation appropriées. De ce point de vue, les analogies entre aménagement des pêches et conservation de l'environnement marin paraissent telles que l'on peut escompter tirer profit pour la seconde des concepts et de l'expérience déjà acquis en matière de régulation de la pêche.

2.1. Complexité de la ressource

La difficulté qu'il y a à gérer convenablement l'utilisation des écosystèmes côtiers tient d'abord à leur complexité. Leurs diverses composantes physiques et biologiques sont liées par des relations à la fois complexes et changeantes. La grande variabilité des options ouvertes aux transferts d'énergie à travers les chaînes trophiques selon les modifications, naturelles comme artificielles, survenant dans la structure des écosystèmes a, jusqu'ici, le plus souvent empêché le développement de modèles déterministes de leur dynamique (May, 1984). Ceux qui ont été proposés n'ont guère dépassé le stade des hypothèses et résisté au test des applications pratiques (Sainsbury, 1982).

Des modèles appliqués existent seulement pour décrire des aspects particuliers de la dynamique des écosystèmes. A ce titre, les modèles décrivant le devenir d'une cohorte de poissons après son recrutement et les captures auxquelles elle donnera lieu selon le schéma d'exploitation qui lui est appliqué constituent certainement l'outil le plus pratique en matière d'aménagement des écosystèmes. Malheureusement, il s'agit encore

Tableau 1. Quelques exemples, classés par ordre approximatif de complexité croissante, de modèles susceptibles de contribuer à un aménagement objectif des écosystèmes côtiers.

Complexité	Modèle	Applications (1)
1	Courantologie et sédimentologie côtières	Localisation spatio-temporelle optimale des rejets, estimation et optimisation (de l'utilisation) de la capacité biotique des bassins conchylicoles.
2 (variable suivant la nature des rejets)	Capacité d'acceptation du milieu vis-à-vis des rejets et des contaminations	Définition de normes et de seuils de rejets, préservation des usages, réglementation des rejets, meilleure adéquation des objectifs de qualité par polluant, prise en compte des effets synergiques des rejets et des polluants.
3	Déterminisme d'apparition des eaux colorées toxiques et des phénomènes dystrophiques	Identification et hiérarchisation des facteurs anthropiques et naturels susceptibles de favoriser le déclenchement des phénomènes, définition de critères de qualité du milieu, prévision et prévention de l'apparition des phénomènes.
3	Besoins trophiques des coquillages, productivité des bassins conchylicoles, modèles de production conchylicole	Ajustement des cheptels à la productivité naturelle des bassins (1), conservation de la productivité des bassins.
3	Déterminisme du recrutement des populations pêchées et cultivées en milieu ouvert	Optimisation de la taille du stock parental (1), identification des espèces dont le recrutement peut être forcé (développement de l'aquaculture extensive) (1), conservation de la qualité des milieux littoraux (habitats critiques pour le succès du recrutement, processus indépendants de la densité), évaluation de l'intérêt des aménagements physiques de l'habitat (par exemple récifs artificiels).
4	Structure et dynamique des stocks multispécifiques	Probabilité de changements dans la composition des écosystèmes exploités (1), possibilités de manipulation par la pêche de la structure de ces écosystèmes (1).
4	Evolution à basse fréquence (décennies, centaines de km) de l'hydroclimat	Régulation des capacités de production (capacité de capture pour la pêche, biomasses conchylicoles, etc.) à la productivité moyenne des écosystèmes exploités (pêche et aquaculture extensive) (1).
5	Influence respective des schémas d'exploitation (pêche) et d'utilisation du milieu (rejets, dégradations, etc.) sur la productivité des écosystèmes (modèle généralisé)	Harmonisation des différentes formes d'utilisation des écosystèmes naturels côtiers.

Certaines applications (1) ne concernent pas directement la conservation du milieu; elles sont néanmoins citées car elles peuvent indirectement y contribuer par la meilleure compréhension de l'écologie des écosystèmes que l'on peut en attendre.

d'un progrès isolé dont le succès tient à la relative indépendance des cohortes, une fois entrées dans la phase recrutée, vis-à-vis de leurs environnements physique et vivant.

Parmi les développements conceptuels et méthodologiques dont on souhaiterait disposer pour représenter le fonctionnement des écosystèmes et les effets des actions humaines sur leur état et leur production (ou leur capacité d'acceptation), il y a lieu de distinguer ceux que l'on peut escompter tirer d'un plus grand effort d'observation et d'analyse de ceux qui paraissent, pour l'instant, hors de portée des moyens de traitement et d'analyse disponibles actuellement compte tenu de la diversité des variables en jeu et de la complexité des interrelations qui les lient. Le Tableau 1 présente, par ordre de complexité croissante, quelques exemples de modèles dont le développement permettrait une utilisation plus cohérente des écosystèmes côtiers.

2.2. Ressources naturelles renouvelables

Qu'il s'agisse de l'absorption des rejets par l'environnement, de l'utilisation par les cheptels (conchyliculture, «sea-ranching») de la capacité biotique des milieux ou de l'exploitation directe du potentiel des stocks halieutiques, on a affaire, dans tous les cas, à des ressources renouvelables dont le potentiel d'acceptation ou de production est limité. Bien que les modèles manquent pour décrire les divers modes d'utilisation des écosystèmes marins, la réponse paraît être assez semblable à celle décrite pour l'exploitation des stocks halieutiques.

A l'image des modèles de production halieutique (Schaefer, 1954 et 1957; Beverton et Holt, 1957; Ricker, 1958), le gain net total que la collectivité peut tirer des capacités d'absorption d'un écosystème doit, en fonction de l'élévation du taux de rejet ou d'impact, avoir la forme d'une courbe convexe dont le maximum

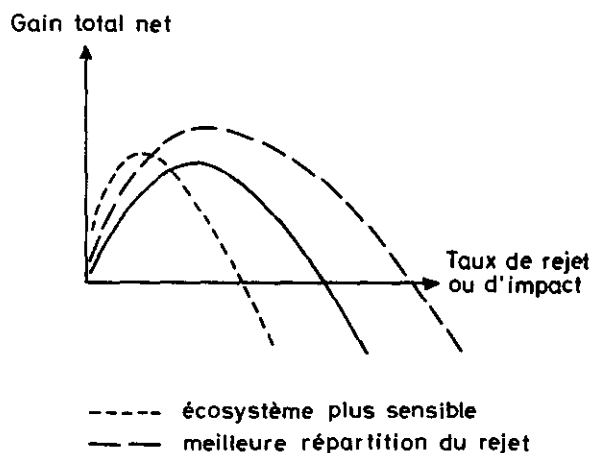


Figure 1. Courbes du gain total net en fonction du taux de rejet ou d'impact.

serait atteint plus ou moins tôt avec l'augmentation du taux de rejet ou d'impact (selon la sensibilité de l'écosystème vis-à-vis de l'agent perturbateur). Au-delà de ce maximum, le gain net décline plus ou moins rapidement pour devenir négatif; les conséquences néfastes de la dégradation de l'écosystème, en particulier sur les exploitations (ressources vivantes) et utilisations (santé publique) aval, croissant alors plus vite que le gain tiré du rejet des déchets et résidus des activités amont (surexploitation écologique).

Il est a priori possible de rehausser quelque peu cette courbe en améliorant la répartition de l'impact dans le temps et dans l'espace, c'est-à-dire sur l'ensemble de l'écosystème (Fig. 1). Mais cette possibilité est elle-même limitée. A la différence ce qui se passe dans les principales exploitations des écosystèmes terrestres et dulçaquicoles (agriculture, élevage, forêts, pisciculture d'eau douce) dont le potentiel peut être artificiellement poussé par d'autres modes d'intervention comme la fertilisation du milieu, l'apport de nourriture, l'ensemencement et la manipulation de la composition spécifique de l'écosystème, les contraintes naturelles qu'opposent les écosystèmes marins à leur utilisation sont beaucoup plus fortes. Il en est de même du potentiel de capture des stocks halieutiques et de la capacité trophique des bassins conchylicoles semi-fermés.

En outre, le bénéficiaire individuel des rejets n'est généralement pas concerné par les conséquences aval de ses activités sur l'écosystème (baisse du recrutement et mortalités des stocks halieutiques et cultivés, effets sur la santé publique notamment). Il n'est donc pas directement concerné par les conséquences néfastes de ses rejets. Cette ségrégation des gains et des coûts entre les utilisateurs de l'environnement explique que, sans l'intervention d'une autorité centrale, la somme des coûts tend naturellement à croître et à excéder d'abord la capacité optimale d'acceptation, et, finalement, le niveau de rentabilité globale nulle. Cette tendance à la

surexploitation écologique subsistera même si la capacité d'absorption peut être rehaussée par une meilleure distribution des résidus sur l'ensemble de l'écosystème.

Il en résulte que le succès de la conservation de l'environnement dépendra finalement de la capacité de l'autorité publique à réguler l'effet combiné du nombre d'utilisateurs et du taux individuel d'utilisation de l'écosystème.

2.3. Variabilité des écosystèmes et de leurs potentiels

A ce schéma de réponse des différents types de ressources des écosystèmes côtiers à l'intensification de leur utilisation se surimposent des variations de leurs potentiels sous l'effet de celles de l'hydroclimat. Ces variations se manifestent selon différentes échelles espace/temps.

A des échelles de temps inférieures à la saison (semaine, mois), les mécanismes déterminant le succès du recrutement des stocks naturels ou du captage de naissain offrent l'exemple sans doute le plus important et le plus intéressant d'effet de la variabilité du milieu sur le potentiel des ressources vivantes: la fécondité, la survie des oeufs, des larves et/ou des juvéniles paraissent résulter des conditions de milieu (température, lumière, circulation, dégradation artificielle des habitats naturels) régnant au cours de périodes critiques relativement brèves du cycle de développement et de reproduction du stock et de l'effet des premières sur la survie des oeufs, des larves ou des juvéniles; cet effet se manifeste par l'intermédiaire de processus tels que sous-alimentation, prédation, dispersion hors des habitats adéquats, etc.

Comme exemples de variations saisonnières de la capacité du milieu, on peut citer les apparitions estivales de dystrophies (malâigues des étangs méditerranéens, eaux colorées, par exemple). Dans la mesure où des corrélations entre les conditions de milieu et la réponse de la ressource ont été établies et où des conditions climatiques moyennes suffisent à déclencher ces phénomènes, leur apparition peut être anticipée. Lorsque leur déclenchement dépend en partie de facteurs anthropiques (rejets de sels nutritifs et eutrophisation), il est envisageable de réduire leur probabilité d'apparition. Malheureusement, la faiblesse méthodologique actuelle (modélisation des écosystèmes) réduit nettement les possibilités d'action. Dans le cas des phénomènes d'eaux colorées susceptibles d'entraîner des mortalités ou l'insalubrité des stocks halieutiques et aquacoles, celles-ci dépendent de la possibilité de distinguer les facteurs d'origine naturelle (teneur en sels nutritifs, température, stratification et agitation du milieu, etc) des éventuels facteurs anthropiques (enrichissements d'origine agricole, urbaine ou même aquacole, excès de

nourriture dans les élevages en cages, excrétion des cheptels conchylicoles), c'est-à-dire des progrès dans la compréhension de la causalité du phénomène.

Les effets des fluctuations interannuelles de l'hydroclimat sur les capacités d'acceptation et la productivité biologique des écosystèmes côtiers risquent de soulever des problèmes d'aménagement d'une autre ampleur. Lorsque ces fluctuations ne manifestent pas de tendances nettes, il est possible d'envisager un ajustement des impacts moyens (nature et volumes moyens des rejets, capacités de capture des flottilles de pêche, etc...) aux potentialités moyennes des écosystèmes. Les systèmes d'exploitation peuvent présenter alors une inertie suffisante pour tamponner les effets du bruit climatique.

Ce n'est plus le cas lorsqu'apparaissent des variations à échelle pluriannuelle. Se pose alors la question du choix du niveau de référence. La brièveté des séries historiques et les limitations actuelles dans la prévision à moyen terme de l'hydroclimat placent chercheur et aménageur dans une grande incertitude.

En périodes climatiquement favorables, le système attire de nouveaux exploitants et une intensification de l'activité des utilisateurs en place. Ceci entraîne, lorsqu'une période défavorable survient, une surexploitation susceptible de causer un déclin supplémentaire de la productivité de la ressource. De tels enchaînements sont probables chaque fois que des gains artificiels de production ne peuvent venir compenser les effets climatiques négatifs. Du fait du caractère naturellement limité de leur production, les écosystèmes marins, surtout côtiers, devraient être particulièrement sensibles à ces déséquilibres une fois atteint ou dépassé leur niveau de pleine exploitation.

Il est possible que le déséquilibre qu'a connu le bassin d'Arcachon et la crise de l'ostréiculture locale, au cours de la période 1975-1981, soient dûs à ce type d'enchaînement pervers, encore aggravé par un conflit entre différents modes d'utilisation de l'écosystème. Le scénario de la crise peut se schématiser ainsi (Bonnet, comm. pers.):

- capacité biotique limitée du bassin qui ne communique avec la mer que par un goulet,
- série de bons captages de naissain de 1973 à 1976 apparemment consécutive à de bonnes conditions climatiques et à la bonne santé du cheptel renouvelé (avec *Crassostrea gigas* après l'élimination de *Crassostrea angulata*); ce renouvellement complet du cheptel a fait suite à une maladie virale elle-même peut-être favorisée par une surcharge au niveau du cheptel,
- tendance à la surcharge du bassin favorisée par les bonnes performances obtenues avec la nouvelle espèce, par la série de bons captages et, plus fondamentalement, par la compétition pour l'utilisation - elle-même fonction de la biomasse d'huîtres sur les parcs - d'une production planctonique limitée mais librement accessible,
- ralentissement de la croissance des huîtres constaté

de 1974 à 1982 peut-être dû à une baisse de la productivité du bassin, naturelle et/ou consécutive à l'ouverture vers la mer du collecteur d'eaux usées d'origine urbaine et/ou à la toxicité sur le plancton des composés organostanniques entrant dans la composition des peintures «antifouling» utilisées pour la protection des carènes des bateaux de plaisance et professionnels,

- succession de mauvais captages de naissain de 1977 à 1981 peut-être due à la combinaison, dans des proportions inconnues, de conditions hydroclimatiques défavorables et de l'effet possible sur le plancton (nourriture) et la survie des larves d'huîtres des composés organostanniques libérés par les peintures «antifouling».

2.4. Mobilité de la ressource et liberté d'accès

La raison majeure de la tendance à la surutilisation des écosystèmes marins tient à leur mobilité. Celle-ci gêne, en effet, considérablement l'attribution temporaire ou permanente de la ressource et la responsabilisation individuelle des utilisateurs à sa conservation. A cet égard, l'exemple de la pêche et de sa propension à la surexploitation du fait de la liberté d'accès aux ressources - en partie liée à leur mobilité - est instructive (Troadec, 1982).

En l'absence de régulation de l'accès et de décision, préalable à l'exploitation, relative à la part revenant à chaque utilisateur présent et potentiel, ceux-ci se trouvent en compétition ouverte pour l'acquisition d'une portion maximale d'une capacité de production - ou d'acceptation - elle-même globalement limitée. Le taux d'utilisation individuel comme le nombre d'utilisateurs tendront à croître tant que le profit individuel restera positif (et cela, même si l'optimum d'utilisation correspondant à la ressource considérée globalement est dépassé et quels que soient les critères écologiques, économiques, sociaux, culturels ou éthiques retenus pour définir cet optimum). Cette tendance sera encore plus accusée puisque les bénéficiaires de l'utilisation de l'environnement sont distincts de ceux qui en subissent les dommages. Les conséquences de cette «tragédie des communs» (Gordon, 1954) sont bien connues:

- surexploitation économique,
- surexploitation écologique ou biologique,
- grande difficulté d'application des mesures de régulation consécutive à la divergence entre intérêts individuels et bien collectif.

Le problème est encore compliqué par les délais nécessaires à l'ajustement des modes d'utilisation des écosystèmes et des schémas de régulation aux variations d'origine climatique de la productivité naturelle des écosystèmes. Ces délais peuvent être causés par une mobilité réduite de la main d'oeuvre et du capital à changer de secteurs d'activité (quelles qu'en soient les

raisons économiques, sociales, culturelles, etc.) et par l'inertie des institutions à adopter et à mettre en oeuvre les décisions appropriées.

Des scénarii semblables à celui de la crise de l'ostréiculture dans le bassin d'Arcachon (section 2.2) ont été rarement décrits pour l'utilisation des écosystèmes côtiers. Ce type de ressources n'en possède pas moins toutes les particularités (potentiel naturellement limité, variabilité interannuelle, inertie des utilisations liées à la faible mobilité que peuvent connaître main d'oeuvre et capital, à la faiblesse actuelle des méthodes d'analyse et de prévision et à l'inertie des institutions) requises pour l'apparition de tels enchaînements. Ces dérèglements constituent les principales caractéristiques et difficultés de l'aménagement des exploitations des ressources naturelles vivantes (pastoralisme, surpâturage et désertification, Glantz, ed., 1977; «upwellings», surpêche et effondrement des pêcheries, Glantz et Thomson, ed., 1981, etc.).

La conservation de ces ressources communes et l'optimisation de leurs exploitations nécessitent l'intervention d'une autorité publique laquelle, du fait de la complexité des réponses de la ressource aux pressions d'exploitation, doit pouvoir appuyer ses décisions sur une recherche spécialisée (compréhension et suivi des phénomènes, avis scientifique).

L'exemple de la pêche démontre aussi les limites d'une régulation coercitive et l'intérêt de méthodes de régulation favorisant l'autodiscipline par la réduction des divergences entre intérêt individuel et bien public. Souvent, cette évolution, souhaitable lorsque le taux d'utilisation devient excessif, passe par la régulation et la restriction de l'accès à la jouissance de la ressource (Trodec, 1982).

3. Besoins en matière de connaissances

3.1. Problématique de l'aménagement

Les décisions en matière d'aménagement doivent se fonder sur l'appréciation de la nature et de l'importance des effets possibles des altérations. Celles-ci peuvent entraîner des perturbations du biotope par modification des substrats (rejets de dragages, extraction d'aggrégats, etc.), agir sur les variables démographiques des populations – notamment sur le succès du recrutement, entraîner des mortalités (anoxies, contaminations planctoniques) ou affecter la consommabilité des espèces commerciales dans le cas de pollutions chimiques ou d'intoxications planctoniques. Ces effets déterminent les limites qualitatives et quantitatives des perturbations que peut subir sans dommage apparent l'environnement marin. Ainsi se définit la *capacité d'acceptation* du milieu et de l'écosystème. S'agissant des rejets, le comportement des polluants (toxicité, dégradation, bioaccumulation) et l'aptitude de l'écosystème à les accepter dans les cycles biogéochimiques sont des connaissances de base pour juger de leur impact et prendre les mesures

propres à assurer une protection cohérente des ressources.

Comportement des polluants et capacité d'acceptation du milieu sont dans la majorité des cas difficiles à évaluer du fait de la complexité des effets des rejets dont les différents constituants peuvent interagir (effets synergiques ou antagonistes), mais aussi de la variabilité du milieu récepteur et de la qualité des eaux nécessaire à tel ou tel usage privilégié du littoral.

3.1.1. Un cas simple: organostanniques et conchyliculture

Les effets, récemment constatés, de certaines matières actives contenues dans les peintures marines destinées à protéger les coques des navires contre les fixations biologiques fournissent un exemple relativement simple où impact et capacité d'acceptation du milieu ont pu être facilement définis. Le bassin d'Arcachon constitue une des principales zones de production ostréicole française. La crise subie par le milieu et l'ostréiculture a été décrite à la section 2.3. Un des symptômes majeurs du dérèglement a été une mauvaise croissance des coquillages accompagnée d'une qualité médiocre de la coquille. Celle-ci présentait de nombreuses malformations calciques, sous la forme de chambres renfermant une substance gélatineuse (Fig. 2).

Certains indices laissaient penser que l'usage des matières actives, très toxiques pour les mollusques, dans les peintures «antifouling» pouvaient être à l'origine des perturbations constatées:

- importante fréquentation plaisancière (15 000 à 17 000 bateaux occupent le plan d'eau en été),
- apports importants en cuivre et étain, respectivement 1.4 et 1.3 t/an par les peintures servant à la protection des carènes,
- localisation des malformations calciques à proximité des ports de plaisance et des mouillages constatée dans le bassin voisin de Marennes-Oléron où la plaisance est plus faible mais plus concentrée qu'à Arcachon.

Les études écotoxicologiques réalisées tant en laboratoire que sur le terrain apportèrent les preuves de:

- la toxicité élevée du tributylétain, d'utilisation récente comme matière active des peintures «antifouling»; la concentration sans effet sur le développement des larves d'huîtres est inférieure à 0.1 µg/l et de
- l'existence d'une relation directe entre les anomalies de calcification et la présence d'organostanniques.

Dans ce cas particulier, le comportement du polluant et ses effets ont pu être évalués sur un biotope particulier. La capacité d'acceptation du milieu a été considérée comme nulle en pratique en raison des concentrations extrêmement faibles, très difficiles à mesurer dans le milieu, auxquelles les organostanniques ont des effets nuisibles sur les espèces sensibles. En consé-



Figure 2. Coquilles d'huître *Crassostrea gigas* présentant des anomalies de calcification dues à la présence d'organostanniques dans les eaux. En haut: huître en forme de boule, conséquence d'une croissance en épaisseur exagérée de la coquille. A droite: détail des chambres sur une coupe longitudinale de valve supérieure. A gauche: influence de la proximité d'un port de plaisance sur la croissance et la calcification des coquilles d'huître de 18 mois élevées à 1.5 km (en haut), 1 km (au centre) et 0.5 km du débouché du port.

quence, dès 1980, l'utilisation des dérivés organostanniques fut interdite en France pour la protection des carènes de bateaux fréquentant les eaux littorales.

3.1.2. Mécanismes plus complexes

Dans bien des cas, les problèmes liés à l'aménagement ne se posent pas en termes de tout ou rien comme dans l'exemple précédent. En effet, les rejets industriels et urbains et les apports des bassins drainants constituent des mélanges complexes de substances biodégradables non toxiques mais consommatrices d'oxygène, de nutriments intervenant dans la productivité primaire et susceptibles en deçà d'un certain seuil de contribuer à la productivité halieutique et aquacole des écosystèmes littoraux, de toxiques cumulatifs ou non, de microorganismes divers dont certains affectent la survie ou la salubrité des ressources vivantes. La complexité des apports, sur lesquels les responsables de l'aménagement et de la conservation de l'environnement peuvent partiellement agir, doit être mise en parallèle avec la complexité du fonctionnement des écosystèmes et des équilibres qui les régissent ainsi que les variations naturelles du milieu hydroclimatique sur lesquelles l'homme n'a pas de prise et qui peuvent amortir ou amplifier les perturbations induites par les activités humaines. Ainsi, les problèmes posés par la gestion de l'écosystème et de la qualité des eaux du bassin d'Arcachon prennent-ils une autre dimension quand on veut analyser les effets combinés:

- des mouvements sédimentaires qui modifient régulièrement l'hydrodynamisme du bassin,
 - de l'urbanisation du littoral et ses conséquences sur la productivité et la qualité des eaux vis-à-vis des deux usages principaux mais antagonistes: tourisme et conchyliculture,
- et
- de l'influence de l'arrière-pays agricole, également sur la productivité et la salubrité des eaux.

3.1.3. Connaissances scientifiques à améliorer

L'amélioration des capacités à estimer et à prévoir les effets à court et long terme des activités littorales sur l'environnement côtier et ses utilisations passe par le progrès des connaissances dans cinq domaines où une coopération directe entre physique, chimie et biologie paraît de plus en plus opportune:

- l'évaluation des impacts sur le fonctionnement des écosystèmes réclame une connaissance appropriée de sa structure et de sa dynamique en mode non perturbé ainsi que de ses variations intra- et pluriannuelles: c'est à partir de cet état de référence que pourront être estimés les effets des différentes composantes de l'aménagement (hydrologique, sédimentologique et biologique); cette évaluation doit considérer l'écosystème dans sa plus grande dimension spatiale

de manière à intégrer les effets potentiels des sources de perturbation multiples sur une ligne de côte;

- définition de la capacité d'acceptation du milieu: elle doit tenir compte des différents usages et garantir ceux qui sont les plus exigeants en matière de qualité des eaux (ressources vivantes et santé publique); les caractéristiques hydrodynamiques des zones concernées doivent être décrites;
- recherche d'indicateurs de dégradation du milieu: c'est un domaine sur lequel un effort important de recherche devrait être fait en sélectionnant par exemple des espèces «sentinelles» dont la disparition peut traduire une perturbation du milieu; appliqué à la moule pour ce qui concerne la pollution chimique, cette méthode permet un suivi à long terme de l'évolution des contaminants; dans cette optique, il y aurait lieu de voir dans quelles conditions certaines populations (évolution de leurs paramètres démographiques: croissance et recrutement moyens notamment) ne pourraient pas fournir des indicateurs plus sensibles d'altérations insidieuses de la capacité biotique du milieu; pour ces recherches une coopération avec la science halieutique paraît souhaitable;
- étude dynamique des apports et de leurs origines: en incluant les apports des bassins versants et d'origine atmosphérique dont on sait que, pour certains polluants (cas du plomb), ils constituent la voie principale de pénétration dans le domaine marin;
- différenciation des sources d'apport suivant leurs origines: faciles à établir lorsqu'il s'agit d'apports d'eau douce (barrages), d'énergie (centrales thermiques) ou de polluants de synthèse, les apports anthropiques sont difficiles à différencier lorsque des altérations d'origines différentes varient de façon synchrone, quoique fortuite, ou simultanément à des variations d'origine climatique, comme lorsque les mêmes éléments (nutriments, métaux) peuvent être imputables à la fois à l'érosion des sols et à une introduction délibérée dans le réseau hydrologique; à titre d'exemple, l'origine anthropique du mercure en Méditerranée a longtemps été discutée avant que l'on précise l'importance des apports fluviaux; de même, le rôle respectif des nitrates d'origines agricole, urbaine et naturelle sur l'enrichissement des eaux littorales et l'apparition de «blooms» phytoplanctoniques manque à l'heure actuelle d'évaluation précise.

3.2. Les voies de recherche

Le développement de l'écotoxicologie et de la modélisation du comportement des diverses composantes physiques, hydrologiques et biologiques des écosystèmes constituent des voies de recherche privilégiées à partir desquelles les observations de terrain et les expérimentations de laboratoire peuvent apporter des solutions aux cinq catégories de problèmes précédemment esquissés.

3.2.1. Observations de terrain

Pratiquées dans le cadre de programmes de suivi écologique, elles permettent de mettre en évidence les perturbations biologiques macroscopiques qui témoignent des déséquilibres du milieu ou de l'agression de ce dernier à l'égard de certaines populations. Le suivi de l'état de santé biologique des populations constitue tout d'abord un système d'alerte, puis permet d'établir les bases épidémiologiques de phénomènes dont les origines, les mécanismes de séquence de développement pourront être analysés ultérieurement par des recherches spécifiques. C'est ainsi que l'effet des organostanniques ou des peintures «antifouling» sur la calcification des huîtres a pu être démontré et que les mortalités estivales de jeunes huîtres ont pu être attribuées à des conditions physiologiques déficientes imputables, d'une part, à la gamétogénèse, d'autre part, aux conditions hydroclimatiques estivales sans que la responsabilité des substances toxiques exogènes ait pu être démontrée.

Cependant, l'approche empirique liée à l'observation ne peut contribuer à la compréhension des phénomènes que dans la mesure où le nombre de facteurs intervenant reste limité et la nature des relations peut être convenablement appréciée. Sans doute faut-il chercher l'origine de l'échec des observations de terrain pour expliquer les maladies constatées chez certaines espèces de poissons. Les conclusions contradictoires et contreversées tirées des enquêtes épidémiologiques ne permettent pas encore de déterminer avec certitude si les nécroses relevées chez les pleuronectidés sont liées à une susceptibilité particulière de l'espèce ou à une dégradation du milieu et, dans ce dernier cas, quels sont les agents en cause.

Il y a lieu de penser que, lorsque la surveillance biologique basée sur des critères biochimiques aura atteint un degré de faisabilité suffisant, une meilleure compréhension des mécanismes de dégradation insidieuse des écosystèmes pourra être atteinte.

3.2.2. Approche analytique et modélisatrice

L'approche analytique basée sur la compréhension des mécanismes d'action des substances et de leur comportement dans l'environnement est la seule voie qui, par l'intermédiaire de modèles hydrodynamiques et écologiques, soit en mesure d'apporter aux études d'impact une dimension explicative et prévisionnelle – dans la mesure où l'évolution des facteurs causaux peut être prédite – que ne peuvent fournir les suivis sur le terrain.

Mécanismes d'action:

Les études toxicologiques qui ont initialement été orientées vers la détermination des effets à court terme des polluants ont rapidement évolué vers des tests faisant intervenir les mécanismes proie/prédateur. Les chaînes alimentaires marines qui ont alors été expérimentées tendaient à démontrer les aspects cumulatifs ou non des polluants. D'une mise en oeuvre délicate et onéreuse, ces modèles qui ont été controversés quant au choix des espèces représentatives, tendent de plus en plus à être

remplacés par une évaluation des facteurs d'accumulation basée sur les caractéristiques physico-chimiques des polluants (rapport n-octanol/eau, par exemple).

Parallèlement, les données toxicologiques se sont affinées dans la voie de la détermination des effets subléthaux à l'égard de nombreuses espèces appartenant à différents niveaux trophiques. Dans la plupart des cas, on définit la concentration admissible par l'environnement à partir de la concentration nocive pour l'espèce la plus sensible à laquelle on affecte un facteur de sécurité généralement égal à 10. Ce facteur de sécurité choisi arbitrairement représente l'incertitude liée aux effets possibles et non mesurables sur les écosystèmes, c'est-à-dire la marge de sécurité liée au transfert des résultats acquis en laboratoire aux effets possibles en milieu naturel. Cette incertitude ne pourra être réduite, ou tout au moins ne pas apparaître comme excessive, que dans la mesure où les données de laboratoire pourront être appliquées à des modèles biologiques qui prendront en compte les interactions des effets entre milieu et individus et populations comme entre les différents niveaux trophiques au sein d'un écosystème.

Ces modèles biologiques actuellement à l'étude de manière conceptuelle sont d'une grande complexité de mise en oeuvre mais devraient permettre à terme une meilleure quantification des impacts que celle que l'on rapporte généralement aux phénomènes hydrodynamiques de dispersion.

4. Conséquences de l'insuffisance des connaissances sur l'aménagement

4.2. Effets sur l'optimisation des schémas d'utilisation des écosystèmes côtiers

La faiblesse actuelle des méthodes (tests et modèles) d'évaluation des réponses des écosystèmes côtiers aux variations du taux (et de la répartition de ce taux) de leur(s) utilisation(s) gêne fortement l'estimation des conséquences économiques et sociales (gains, coûts, profit, emploi, répartition par secteurs d'activité) des divers schémas envisageables pour l'utilisation et la conservation des écosystèmes (nature, intensité et distribution des rejets mais aussi harmonisation au sein d'un même écosystème des diverses utilisations concurrentes).

Cette faiblesse méthodologique nuit à la comparaison des divers objectifs correspondant à divers modes d'exploitation des écosystèmes (compte tenu des objectifs fixés pour le développement économique et social de la région ou du pays). Il en est de même pour la définition de critères permettant d'évaluer les performances des plans d'aménagement.

Une démarche empirique qui consisterait à comparer les réponses des écosystèmes à divers schémas d'utilisation qui seraient appliqués consécutivement est théoriquement concevable. Cependant, compte tenu du nom-

bre de combinaisons envisageables, du délai que demandent les écosystèmes pour se rééquilibrer après chaque changement, du bruit important causé par la variabilité naturelle (hydroclimat) et des contraintes économiques et politiques susceptibles de s'opposer à chaque modification, les perspectives offertes par un aménagement expérimental paraissent opérationnellement extrêmement réduites.

De fait, jusqu'à présent, l'aménagement de l'environnement côtier est resté pratiquement descriptif et empirique. Les schémas proposés reposent souvent sur une ségrégation des activités (zonage) basée sur la capacité des différents secteurs à permettre, notamment sur des considérations réduites aux seules caractéristiques des ressources, telle ou telle activité. Rarement est analysé, sur une base économique et sociale d'ensemble, l'intérêt respectif des différents modes d'utilisation des écosystèmes. Cette démarche conduit nécessairement à une utilisation sous-optimale des potentialités naturelles.

4.2. Carences de l'avis scientifique

La carence méthodologique peut affecter:

- le champ (par exemple vis-à-vis du spectre des conséquences de diverses modifications et altérations, fortuites ou intentionnelles, de l'environnement),
- l'exactitude,
- la précision,
- la ponctualité dans la formulation des avis scientifiques.

L'incertitude qui résulte de cette méconnaissance de la dynamique des phénomènes nécessite que l'on s'assure de marges de sécurité supérieures. C'est là une autre cause de sous-utilisation de la ressource. Ainsi, lors du phénomène d'intoxication par les moules contaminées par *Dinophysis acuminata* survenu en France pour la première fois au cours de l'été 1983, il a semblé que le test «souris» disponible pour s'assurer de la salubrité des coquillages était trop sensible comparativement aux effets supposés sur les humains. L'absence d'autres tests adéquats et le risque encouru pour la santé publique n'ont cependant pas permis de changer immédiatement de méthode et de seuil. La question s'est alors posée de savoir si cette carence méthodologique n'avait pas obligé à maintenir une interdiction de ne pas commercialiser les moules plus longtemps qu'il n'était effectivement nécessaire. Les données épidémiologiques recueillies durant le phénomène ont permis par la suite une meilleure adéquation du test aux risques toxiques pour l'homme.

Cette méconnaissance limite, en outre, la qualité de l'aménagement. Très souvent, celui-ci ne peut être que *réactif* (c'est-à-dire que les mesures sont prises après l'apparition des phénomènes). Généralement, celles-ci se réduisent à des actions parfois coûteuses visant à prévenir les effets négatifs des phénomènes par arrêt de l'activité économique (par exemple, interdiction de la

vente des coquillages contaminés par un phénomène d'eaux colorées: la prévention des conséquences les plus néfastes – intoxication des consommateurs – est obtenue au prix d'un manque à gagner non négligeable pour les producteurs). Seule une compréhension de la causalité du phénomène peut permettre un aménagement *curatif* (élimination des facteurs artificiels, s'ils existent, favorisant le déclenchement du phénomène) tandis qu'une capacité à prévoir leur apparition (dans le cas où des facteurs climatiques joueraient un rôle) conditionne un aménagement *préventif* (Brewer, 1983).

Par ailleurs, l'incertitude laisse le champ libre aux discussions subjectives et favorise les attermoissements dans les prises de décision ou l'adoption de demi-mesures.

Souvent, les décisions doivent être prises à chaud, dans des circonstances qui ne permettent pas le fonctionnement indépendant et séquentiel des différentes composantes de la fonction d'aménagement. Classiquement, on distingue deux éléments, l'analytique et l'administratif, dans cette fonction. En fait, lorsque les questions sont scientifiquement et politiquement difficiles, le processus menant à l'adoption en temps voulu de mesures adéquates est, lui aussi, plus compliqué. Il y a alors lieu de distinguer:

- a) une première étape *scientifique*: compte tenu des délais d'exécution et d'aboutissement de la recherche et des moyens qu'elle nécessite, il est rarement possible d'élucider les nouveaux problèmes d'aménagement lorsqu'ils apparaissent; pour les problèmes scientifiquement complexes, par exemple, la détermination des facteurs naturels et anthropiques susceptibles de favoriser ou d'inhiber l'apparition de phénomènes d'eaux colorées – il y a souvent intérêt à dissocier l'organisation des programmes de recherche des tâches de formulation des avis scientifiques indispensables lors de chaque apparition du phénomène.
- b) l'*analyse* en support de la formulation de l'avis scientifique (Brewer, 1984): compte tenu de l'urgence des décisions d'aménagement, il est souvent nécessaire, et préférable, pour une utilisation optimale des compétences, de fonder l'avis sur les données et les connaissances disponibles au moment où les décisions sont à prendre. Pour les questions potentiellement graves, il est alors souhaitable, pour réduire les risques liés à l'incertitude, de faire appel pour l'interprétation des évidences disponibles aux compétences scientifiques les plus éprouvées.
- c) une phase *administrative*: lorsqu'il existe un consensus, explicite ou implicite, sur le partage des avantages comme des inconvénients auxquels donnent lieu l'exploitation, l'utilisation ou la jouissance des ressources publiques que constituent les écosystèmes côtiers, l'administration est en mesure de prendre et de faire appliquer les mesures utiles à la conservation de ces ressources ainsi qu'à l'harmonisation et à l'optimisation des utilisations concurrentes,

d) une phase *politique*: cependant, lorsque des mesures sont susceptibles de modifier assez profondément l'équilibre en cours entre les intérêts en jeu, il est fréquent que les décisions ne puissent être prises sans avoir recours aux processus et aux agents politiques. Dans cette remise en cause du statu quo, les intérêts catégoriels susceptibles d'en bénéficier peuvent se trouver dans une position plus favorable que l'administration. Ainsi, dans la concurrence pour l'exploitation des potentialités du bassin d'Arcachon, les groupes de pression sont le tourisme et l'ostréiculture.

La difficulté réside souvent dans le fonctionnement des institutions. Celui-ci doit viser à assurer l'indépendance des quatre premières phases de la fonction d'aménagement précédemment décrite. La recherche doit disposer du répit et des conditions nécessaires au progrès des connaissances. La formulation des avis doit pouvoir s'effectuer librement, sans préjuger des décisions que l'on songerait à prendre; c'est là le gage, pour les décideurs, d'une information complète – y compris sur le degré d'incertitude et ses conséquences possibles – et claire. Les avis ne doivent pas, non plus, préjuger des décisions qui pourront être prises. Celles-ci pourront s'écarter des avis donnés sur la base des seules analyses écologiques pour tenir compte des implications économiques et sociales et de l'intérêt d'une bonne distribution dans le temps des inconvénients immédiats et des gains futurs ainsi que de l'acceptabilité politique immédiate des mesures souhaitées.

5. Conclusions

De ce rapide survol de l'intérêt et des problèmes que posent la conservation et l'utilisation des écosystèmes, on retiendra d'abord la très grande *complexité* de la question, tant sur le plan scientifique que sur celui de la régulation. Cette complexité ne fera que croître avec l'intensification des utilisations. Les progrès dans ce domaine dépendront de l'avancement dans la description de la structure et la compréhension de la dynamique des écosystèmes. Le progrès des connaissances devra porter sur les écosystèmes dans leur contexte naturel (état de référence) comme dans leur comportement en réaction aux pressions de différentes natures (impacts, rejets, pollutions, exploitation des ressources halieutiques et cultivées) et intensités. Les connaissances acquises sur le fonctionnement des écosystèmes devraient permettre de trouver les indicateurs (biologiques, biochimiques) apportant les preuves que la capacité d'acceptation du milieu est en voie d'être dépassée, et ceci, avant que des dommages aux ressources soient constatés. Cependant, des progrès réalisés dans la compréhension des mécanismes de fonctionnement des écosystèmes seraient insuffisants à déterminer des mesures conservatoires s'ils ne s'accompagnaient pas simultanément d'une meilleure évaluation qualitative et quantitative des apports polluants par les fleuves et des transformations

complexes qu'ils subissent (sédimentation, stockage, redissolution) en milieu estuarien. Une meilleure connaissance des flux, depuis les eaux douces jusqu'à la frange littorale où la variabilité naturelle est plus faible, permettra une meilleure appréciation de l'impact de l'enrichissement du milieu sur les écosystèmes.

On a affaire là à un niveau de complexité supérieur à celui qu'a connu jusqu'ici l'étude des stocks halieutiques comme des cheptels cultivés en milieu ouvert. Encore que, avec l'intensification des pêches et des cultures marines et des altérations de leur milieu, il est à prévoir que la science halieutique doive à son tour atteindre le même degré de complexité. En effet, il sera difficile d'étudier les stocks halieutiques et les cheptels conchylicoles sans tenir compte des variations naturelles et artificielles de leur environnement (déterminisme du recrutement, productivité des bassins conchylicoles).

Ce premier constat plaide en faveur d'une collaboration plus active entre les sciences des exploitations des écosystèmes (halieutique, aquaculture extensive, conservation de l'environnement) avec l'écologie marine. Un secteur de collaboration potentiellement fructueux est celui de la modélisation des écosystèmes (Tableau 1). Ici, le progrès ne peut être que lent et progressif. Les niveaux premiers (dynamiques hydrologique et sédimentaire) seront, sans doute, plus faciles à simuler encore que les complexités apparaissent vite (effet des marées sur la dispersion, modèles tri-dimensionnels). De la possibilité à simuler les réactions des écosystèmes aux «stressés» d'origines diverses dépend, en effet, la capacité à chiffrer les conséquences économiques (gains, pertes et leur distribution), sociales (emploi), récréatives, éthiques et politiques (partage des retombées des utilisations de l'environnement comme de leur aménagement). Aux niveaux supérieurs de la chaîne trophique, l'estimation de la productivité des bassins utilisables par les cheptels conchylicoles et les études d'accompagnement – suivi de celle-là, conservation et optimisation de son utilisation (distribution géographique des cheptels) – ainsi que la compréhension des mécanismes déterminant le succès du recrutement constituent des problèmes d'une urgence croissante.

Du même constat, se déduit l'importance du *suivi simultané*:

- de l'évolution pluriannuelle de l'hydroclimat,
- des modifications, particulièrement celles qui se manifestent de façon insidieuse et progressive dans le milieu consécutivement aux impacts, rejets et pollutions (y compris les modifications artificielles des flux naturels comme la réduction des apports fluviaux) et
- des effets de l'exploitation directe (pêche et aquaculture extensive) des niveaux supérieurs des écosystèmes.

En effet, compte tenu de l'intensification des pressions d'origines diverses que subissent les écosystèmes et de la faiblesse des méthodes disponibles pour suivre

et distinguer les effets de ces pressions, le risque de corrélations triviales et, plus prosaïquement, de biais dans l'évaluation des effets de la pêche, des pollutions, des charges dans les bassins conchylicoles par confusion des causes – y compris climatiques – ne peuvent que croître avec l'intensification des niveaux d'exploitation. Ainsi, les halieutes ont-ils pendant un temps mis au compte de la surpêche et de la réduction du stock parental la baisse de production des stocks de crevettes penaeides du golfe Persique, avant de réaliser que les apports d'eau douce avaient simultanément baissé par suite des programmes de construction de barrages et d'utilisation de l'eau pour l'irrigation: cet aménagement physique a probablement réduit l'habitat (surface des nourriceries littorales) et le succès du recrutement (NOAA, 1982).

Cela pose la question des stratégies de surveillance de l'environnement (sélection des variables, mise au point d'indicateurs, définition de la maille espace/temps, etc.) mais également des méthodologies permettant de connaître les tendances d'évolution à moyen terme (quelques années) des paramètres de qualité du milieu et des niveaux de contamination des populations. L'intérêt d'un rapprochement avec l'halieutique et l'aquaculture devrait ici être évalué compte tenu de la capacité d'observation des systèmes statistiques communément mis en place par ces sciences comme de leur intérêt propre pour un suivi de l'évolution naturelle et artificielle du milieu.

Enfin se pose le problème de l'élaboration de *techniques de régulation* capables de maintenir le taux d'utilisation de l'environnement à des niveaux et selon des répartitions adéquats.

Les deux stratégies de préservation de l'environnement basées, l'une sur des contraintes imposées aux rejets (Normes Uniformes d'Emission – N.U.E.), l'autre sur un suivi des effets sur les organismes (Objectifs de Qualité des Eaux – O.Q.E.), ne sont pas appliquées depuis suffisamment longtemps pour que l'on puisse juger de leurs mérites respectifs ailleurs qu'au voisinage des rejets.

A cet égard, l'expérience de la régulation des utilisations des ressources naturelles librement accessibles (pêche, pastoralisme, etc.), bien que souvent décevante, montre que des possibilités existent de réduire la divergence entre les intérêts des individus et ceux de la communauté. De ce point de vue, la pêche paraît être le type d'exploitation le plus proche ayant suscité le plus d'analyses théoriques et donné lieu au plus grand nombre d'expériences pratiques: la régulation des exploitations paraît, passée un certain taux, dépendre d'une restriction de l'accès.

Mais, compte tenu de la méconnaissance et de la grande variabilité du fonctionnement des écosystèmes, leurs réactions aux différents modes et intensités d'utilisation resteront longtemps difficiles à prévoir. La conservation et l'optimisation de l'utilisation des écosystèmes devront donc s'opérer avec un fort degré d'*incertitude*. Il y aura donc intérêt à développer la capacité

de décision en l'absence de certitude, tout en étant conscient que les performances de l'aménagement ne pourront pas atteindre les optima théoriques.

Références

- Alzieu, C., Héral, M., Thibaud, Y., Dardignac, M.J., et Feuillet, M. 1981. Influence des peintures antisalissures à base d'organostanniques sur la calcification de la coquille de l'huître *Crassostrea gigas*. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 45(2): 101–116.
- Alzieu, C., Lassus, P., Maggi, P., Poggi, R., et Ravoux, G. 1983. Contamination des coquillages des côtes bretonnes et normandes par une algue unicellulaire toxique (*Dinophysis acuminata*). Rapp. techn., I.S.T.P.M. n° 4.
- Beverton, R. J. H., and Holt, S. J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Invest. Lond., Ser. 2, 19: 533 pp.
- Brewer, G. D. 1983. The management challenges of world fisheries. In *Global fisheries: Perspectives for the 1980's*, pp. 195–210. Ed. by B. J. Rothschild. Springer-Verlag, New York.
- Brewer, G. D. 1984. The wider dimensions of management uncertainties in world fisheries. – In *Exploitation of marine communities*. Dahlem Workshop, Berlin, 1–6 April 1984, n° 9.
- Gordon, H. S. 1954. Economic theory of a common-property resource: the fishery. J. polit. Econ., 62: 124–142.
- Glantz, H. M., and Thomson, J. D. (Ed.). Resource management and environment uncertainty. Wiley Interscience, Advances in environmental science and technology.
- Glantz, H. M. (Ed.). 1977. Desertification. Environmental degradation in and around arid lands. West View Special Studies in Natural Resources and Energy Management. West View Press Inc., Boulder, Colorado.
- May, R. M. (Ed.). 1984. Exploitation of marine communities. Dahlem Workshop, Berlin, 1–6 April 1984.
- NOAA, 1982. Interim Report of the Workshop on the Scientific Basis for the Management of Penaeid Shrimp. Key West, Florida, Nov. 1981. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFC-98: 66 pp.
- Ricker, W. E. 1958. Handbook of computations for biological statistics of fish populations. Bull. Fish. Res. Bd Can.
- Sainsbury, K. J. 1982. The ecological basis of tropical fisheries management. In *Theory and management of tropical fisheries*, pp. 167–194. ICLARM Conference Proceedings 9, 360 pp. Ed. by D. Pauly and G. I. Murphy. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, and Division of Fisheries Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Cronulla, Australia.
- Schaefer, M. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Bull. I-ATTC, 1(2): 26–56.
- Schaefer, M. B. 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellow fin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean. Bull. I-ATTC, 2(6): 247–285.
- Shahcen, A. H. 1976. La pêcherie de sardinelles sur le littoral méditerranéen de l'Égypte. In *Groupe de travail sur l'évaluation des ressources et les statistiques de pêches du Conseil général des Pêches pour la Méditerranée (CGPM)*. Rome, 10–14 novembre 1975 (1976). Rapp. FAO Pêches, (182): 35–36.
- Troadee, J. P. 1982. Introduction à l'aménagement des pêcheries: intérêt, difficultés et principales méthodes. FAO Doc. Techn. Pêches (224): 64 pp.
- Troadee, J. P. 1983. Practices and prospects for fisheries development and management: the case of Northwest African fisheries. In *Global fisheries: Perspectives for the 1980's*, pp. 97–122. Ed. by B. J. Rothschild. Springer-Verlag, New York.