

PNOOC
PROGRAMME NATIONAL
D'Océanographie Côtière

Octobre 1996

ATELIER :
Lagunes
Méditerranéennes

Programme : Mise en Valeur des Lagunes
Méditerranéennes

Deslous-Paoli Jean-Marc

Les lagunes méditerranéennes

Définition générale :

Les lagunes sont une surface d'eau côtière de faible profondeur séparée de la mer par un cordon littoral, connectée à la mer, parfois de façon intermittente, par une ou plusieurs ouvertures étroites, et habituellement orientée parallèlement à la côte (Kjerfve, 1994).

Les lagunes côtières occupent en moyenne 13 % des côtes mondiales, et subissent souvent des influences naturelles et anthropiques. De surface variable, leur profondeur varie classiquement entre 1 et 3 m avec parfois pour les lagunes les plus profondes toujours moins de 5 m (Kjerfve, 1994).

Il y a trois grands types géologiques de lagunes (Kjerfve, 1986) :

- celles en entonnoir, de formation estuarienne, allongées plus ou moins perpendiculaires à la côte,
- celles à échange restreint avec la mer,
- celles largement ouvertes sur la mer.

Celles auxquelles nous nous intéresserons sur les côtes méditerranéennes françaises sont majoritairement du deuxième type. Parmi celles-ci, Guelorget et Perthuisot (1983) déterminent deux entités, les lagunes *sensu stricto*, peu profondes, et les «bahiras» ou petite mer en langue arabe dont l'origine correspond à des formations tectoniques suite à des effondrements du quaternaire et dont la profondeur peut être relativement importante (cas de Thau en Languedoc-Roussillon, Diana et Urbino en Corse).

Formation et évolution des lagunes :

Les lagunes sont nées de l'isolement de la côte par l'accumulation de sables et galets apportés par les fleuves et rivières et remaniés par les vagues et les courants marins. Il y a environ 6000 ans, en s'accrochant sur des pitons rocheux, ou en se déposant le long de plaines basses, ces matériaux ont constitué des lidos (l'origine du mot vient du nom de la barrière isolant la lagune de Venise) plus ou moins discontinus qui délimitent des plans d'eau de surface variables et plus ou moins profonds.

La forme des lagunes varie en relation avec leurs antécédents morphologiques (fluviaux, éoliens, tectoniques, etc...), la forme de son lido et l'avancée de l'érosion et de la sédimentation depuis sa formation initiale (Bird, 1994).

Tableau 1 : caractéristiques des principales lagunes méditerranéennes, de surface > 100 ha, en communication avec la mer de façon temporaire ou permanente (sans pompage).

Lagunes	surface (ha)	prof. (m)	communication avec la mer	apports d'eau douce
Palo	110	moy : 0,7	1 grau temporaire souvent colmaté	3 petits ruisseaux et un marécage
Urbino	790	moy : 5	1 grau temporaire	3 ruisseaux et des marais
Diana	550	max : 6	1 grau régulièrement entretenu	le fil d'Arena (en face du grau) et deux ruisseaux
Bluglia	1450	moy : 1,5	1 grau temporaire au nord	3 ruisseaux dont un permanent. Communication par un canal au sud avec l'embouchure du Golo
Villepey	200	moy : 1	1 grau temporaire au sud	deux tributaires
Salins d'Hyères et étang des Pesquiers	868	max : 0.6	1 grau temporaire	1 canal de ceinture
Bolmon	620	moy : 1.5	3 passes vers l'étang de Berre	1 tributaire
Berre	15500	moy : 6	un grand chenal de navigation	apport massif d'une partie des eaux de la Durance 3 cours d'eau (Arc, Touloubre, Cadière)
Grande Palun	500	moy : 0.6 m	1 canal (embouchure Grand Rhône)	
Étangs centraux de Camargue	6680	max : 2	indirecte par les étangs inférieurs et temporaire (martelières)	un canal gravitaire de Fumemorte,
Étangs inférieurs de Camargue	4520	max : 0.5 m	1 grau contrôlé par martelières	pas d'apport sauf pluie directe
Secteur des Saintes Maries	quelques milliers	max : 0.5 m	1 grau temporaire (submersion) par submersion des cordons littoraux	introductions par pomages
Secteur d'Aigues- Mortes	3025	moy : 0,2 à 2	variables par les canaux d'Aigues- Mortes	pas d'apport sauf précipitations sur la surface des lagunes
Ponant	200	moy : 2,7	1 grau permanent (passe des Abîmes)	liaison avec le Vidourle par la passe de Montago
Maugio	3170	moy : 1	par le grau de Carnon et 3 passes sur canal Rhône à Sète	BV de 120 km ² , 5 cours d'eau principaux, liaison avec le Vidourle et le canal du Rhône à Sète
Méjean-Pérois	747	moy : 0,7	par le grau de Carnon	plusieurs ruisseaux, liaison avec le canal de Rhône à Sète
Grec	270	moy : 0,25	par canalette et embouchure du Lez	pas d'apport sauf pluies directes
Arnel	580	moy : 0,35	par canal et embouchure du Lez	déversoir de crues (Mosson)
Prévost	294	moy : 0,75	1 grau permanent creusé en 1964	pas d'apport sauf pluies directes
Pierre-Blanche	371	moy : 0,4	indirecte : canal du Rhône à Sète et temporaire : submersion du lido	pas d'apport sauf précipitations sur la surface de la lagunes
Vic	1255	moy : 1,1	indirecte : canal du Rhône à Sète	bassin versant très réduit ; pluies directes
Ingril	685	moy : 0,6	au travers du port de Frontignan	ruissellement en provenance de la Gardiole
Thau	7500	moy : 3,5 max : 11	le grau de Pisse Saumes le canal des Quilles	BV de 350 km ² , de nombreux ruisseaux temporaires, La Veyne
Bagnas	651	moy : 1,2	pas de communication directe	1 cours d'eau
Vendres	1900	moy :	communication par martelières sur l'embouchure de l'Aude	eaux de ruissellement et crues de l'Aude
Pissevache	880	moy : 0,5	temporaire : par submersion	par les ruisseaux à régime torrentiel du massif de la Clape
Grazel	230	moy : 3	par un large grau aménagé	pas d'apport sauf pluies directes
Gruissan	136	moy : 0,4	par le canal de Grazel	par un canal de drainage
Campagnol	115	moy : 0,5	communication indirecte par la lagune de l'Ayrolle	canaux de drainage (canal de la réunion)
Ayrolles	1500	moy : 0,5	1 grau naturel et permanent	apports en provenance de Campagnol
Bages-Sigean	3800	moy : 2,1	par le canal de Port la Nouvelle	BV de 455 km ² et 1 canal (canal de la Robine)
St Paul	100	max : 0,8	pas de communication directe	ruisseaux temporaires
Lapalme	1000	moy : 1	par le grau temporaire de la Franqui	ruisseaux temporaires
Salses-Leucate	5400	moy : 1,75	grau des conchyliculteurs (aménagé) grau de Port Leucate (creusé en 1969) grau St Ange (recreusé en 1965) grau contrôlé par vannes	2 ruisseaux de surface et de nombreuses résurgences dont 3 principales
Canet-Saint-Nazaire	1360	moy : 0,2		BV de 250 km ² , 3 cours d'eau principaux (le Cagarell, la Fosseille, le Réart)

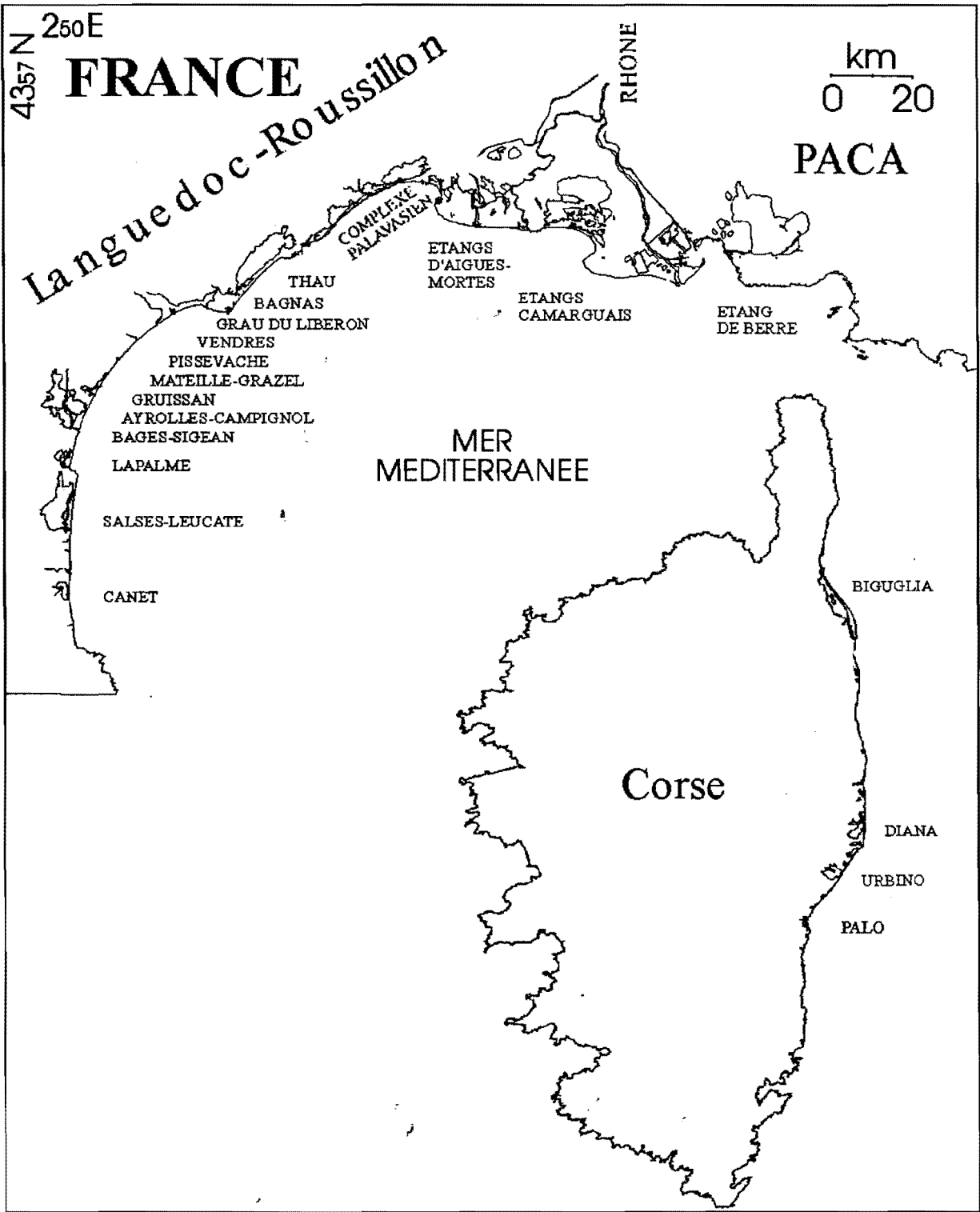


Figure 1 : distribution des lagunes méditerranéennes le long des côtes françaises.

Inéluctablement les lagunes vont vers un colmatage par les alluvions des rivières qui les alimentent, et cela plus ou moins rapidement en fonction des communications avec la mer (Martin et Landim Dominguez, 1994). Ces ouvertures ou graux (du latin *gradus* = passage, graou ou gracs en languedocien) peuvent s'ouvrir ou se fermer en fonction des tempêtes marines et des crues des fleuves, entraînant des changements dans la physionomie, l'évolution et le fonctionnement des lagunes. Ces trente dernières années, des aménagements, en matière de maîtrise des cours d'eau, de fixation et de création de canaux et de graux, de construction de routes sur berges et de comblements ont en partie contribué à figer la morphologie des lagunes et leurs communications avec la mer.

Les lagune méditerranéennes françaises :

Plus de 40 lagunes de plus de 100 ha (fig. 1 ; tableau 1) et de nombreuses plus petites se répartissent sur le littoral méditerranéen sur près de 40 000 ha (Frisoni, 1990), le long des côtes non rocheuses où elles occupent 40 % du linéaire côtier.

En général les lagunes côtières piègent les sédiments minéraux et la matière organique, et ainsi servent de filtre entre le continent et la mer. Souvent elles montrent de très fortes productions primaires et secondaires qui rendent leur utilisation propice à la pêche et à l'aquaculture. La productivité de certaines de ces lagunes est en partie exploitée par la conchyliculture (Thau et Salses-Leucate en languedoc-Roussillon, Diana et Urbino en Corse), mais la plupart supportent une pêche plus ou moins importante.

Typologie :

Typologie des lagunes : (fig. 2)

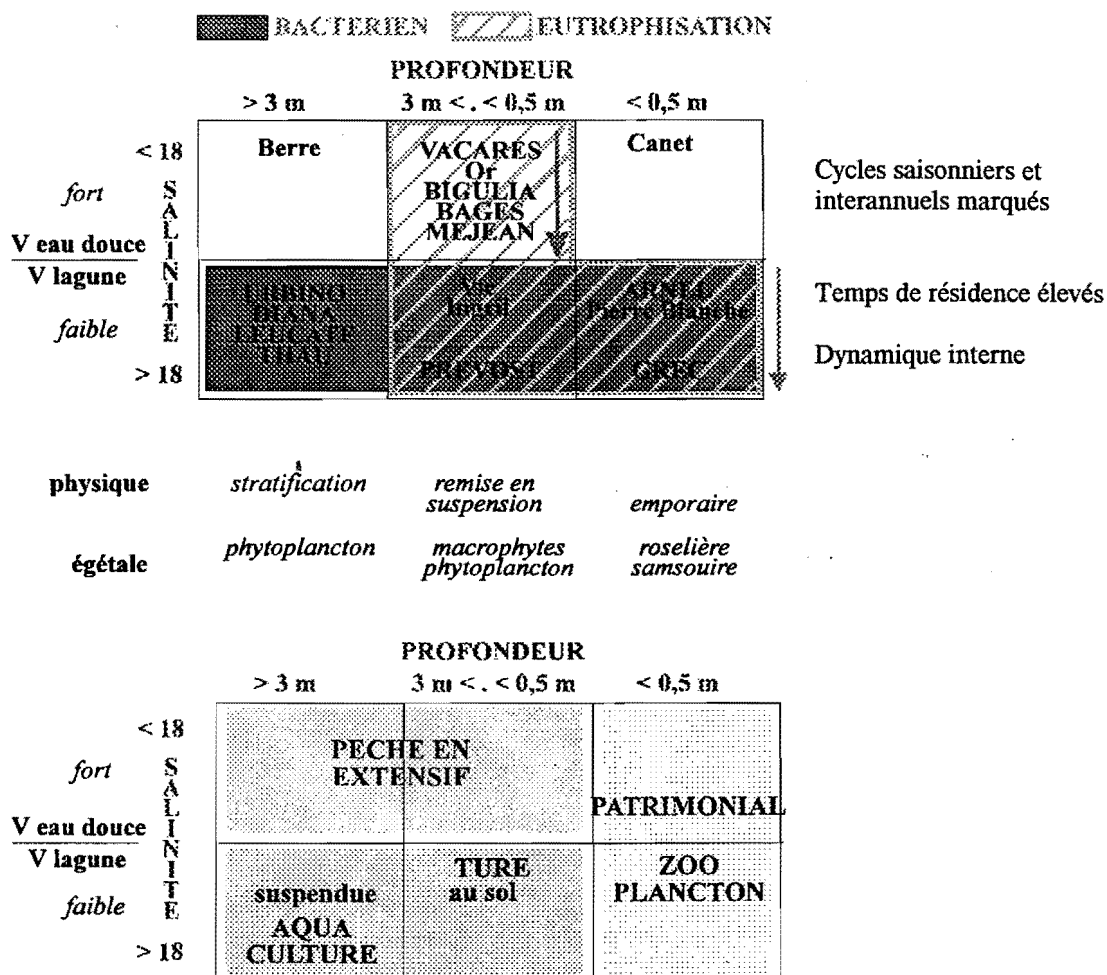
Les lagunes méditerranéennes peuvent être globalement typées en fonction d'une part de leur morphologie représentée par la profondeur ($< 0,5\text{m}$, compris entre $0,5$ et 3m et $> 3\text{m}$), et d'autre part en fonction de l'équilibre hydrologique entre mer et bassin versant représenté par leur salinité moyenne ($>$ ou < 18) et traduisant un rapport théorique entre les apports d'eau douce au système et le taux de renouvellement des eaux dans la lagune. Guélorget et Michel (1979) caractérisent plus finement ce bilan hydrique des lagunes selon leur salinité moyenne (fig. 3) et les classent en fonction de la variabilité de cette salinité en lagunes monotypique, ditypique ou polytypique selon qu'elles recouvrent une ou plusieurs catégories de salinités. Ces caractéristiques halines sont prépondérantes dans la sélection des groupes faunistiques qui peuvent se développer dans les lagunes.

Aux catégories de lagunes ainsi définies correspondent des macrotypes de fonctionnement physique qui induisent des types de peuplement plus ou moins spécifiques. Ainsi des lagunes profondes, dont la salinité présente une gamme de variation étroite, ont des caractéristiques de temps de renouvellement élevés qui sont favorables à une dynamique du recyclage des éléments nutritifs interne à la lagune. Ce type de lagune favorise le développement des populations de phytoplancton et même de picoplancton qui permettent de soutenir le développement d'exploitation de type conchylicole. De plus, en présentant des stratifications transitoires marquées qui entraînent des anoxies estivales des sédiments, c'est un accroissement du recyclage des phosphates vers la colonne d'eau qui profite à la production primaire phytoplanctonique. C'est le cas des lagunes de Thau, Leucate, Diana et Urbino. A l'inverse des lagunes de faible profondeur, qui présentent des assècs périodiques en fonction des niveaux marins et donc un fort gradient de salinité, sont propices à l'installation d'une végétation aérienne tel que la roselière ou la sansouire. Ces lagunes, tel que Canet, dont les cycles saisonniers et interannuels sont marqués, sont favorables à l'installation d'une avifaune riche et donc à des activités de chasse et d'écotourisme. Des lagunes intermédiaires en profondeur pourront ainsi voir s'orienter leur production primaire soit vers le développement de macrophyte soit vers le développement de phytoplancton en fonction de cycles saisonniers plus ou moins marqués ou de remise en suspension plus ou moins forte qui entraîne une gêne à la pénétration de la lumière.

Les impacts des bassins versants seront aussi différemment appréciés selon le type de la lagune et l'activité qui s'y développe. Ainsi dans les lagunes à faible renouvellement des

eaux les apports de bactéries pathogènes seront génératrices de conflits d'autant plus importants que l'exploitation concernera des espèces filtrant les eaux (huîtres, moules, palourdes). De même les apports eutrophisants se feront d'autant plus sentir que le volume de la lagune réceptrice sera faible par rapport aux surfaces drainées ou à la démographie du bassin versant et que les temps de résidence seront élevés.

LES ENJEUX DE GESTION



ACTIVITES ASSOCIEES .

Figure 2 : typologie des lagunes, enjeux de gestion (impact potentiel de bactéries pathogènes et d'eutrophisation) et activités.

Typologie des bassins versants : (fig. 4)

De même, les bassins versants présentent des diversités morphologiques et d'occupation qui induisent des impacts et des conflits qui sont fonction des bassins récepteurs et des activités qui s'y développent. Ainsi une première typologie en fonction de l'étendue du bassin versant et des principaux types d'occupation des sols qui y ont été développés peut être réalisée.

Il existe une gradation de la charge véhiculée en éléments nutritifs qui va en augmentant du bassin versant naturel en allant vers le bassin versant urbanisé et en passant par les bassins versants occupés par une agriculture plus ou moins intensive. Cette charge véhiculée arrivera au bassin récepteur avec d'autant plus d'impulsivité que la surface du bassin versant sera réduite. A cette charge véhiculée dont la composition varie en fonction du type d'occupation des sols s'ajoute les apports en bactéries pathogènes qui caractérisent l'impact urbain.

Fonctionnement :

Relation bassin versant-lagune

Les différents compartiments constituant les lagunes répondent différemment aux apports des bassins versants. Il existe une relation entre l'azote apporté par le bassin versant ou le rapport surface du bassin versant/volume d'eau lagunaire (Anonyme, 1987) et les concentrations en azote nitrique des eaux lagunaires (fig. 5). Le phosphore apporté par le bassin versant présente une relation avec le phosphore des sédiments (fig. 6). Ceci semble s'expliquer par le fait que les crues apportent l'azote principalement sous forme dissoute (NO_3^-) alors que le phosphore est majoritairement charrié par les crues sous forme particulaire (Tournoux M.G., com. pers., contrat de baie pour la lagune de Thau).

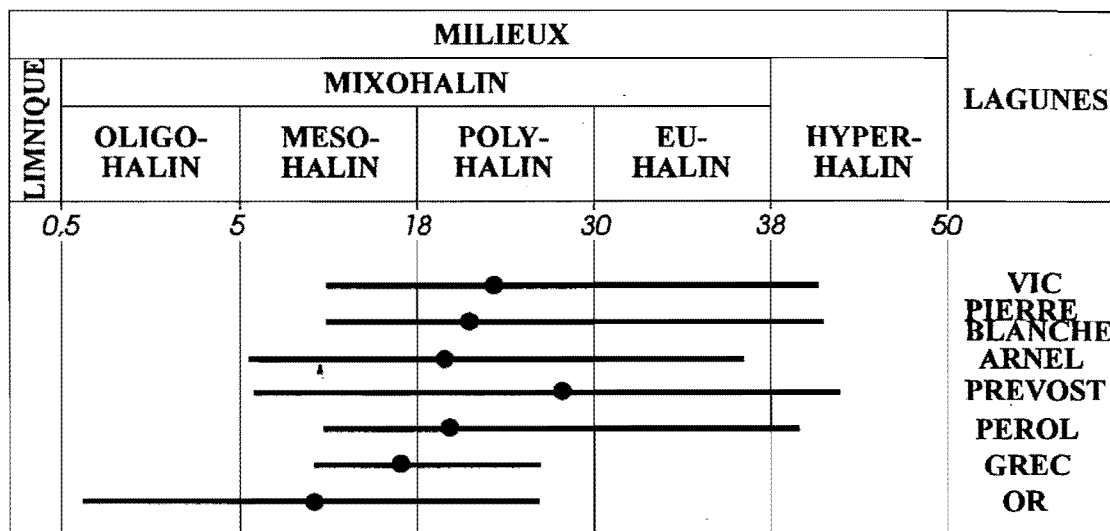


Figure 3 : classification des étangs palavasiens selon leur salinité (Guélorget et Michel, 1979)

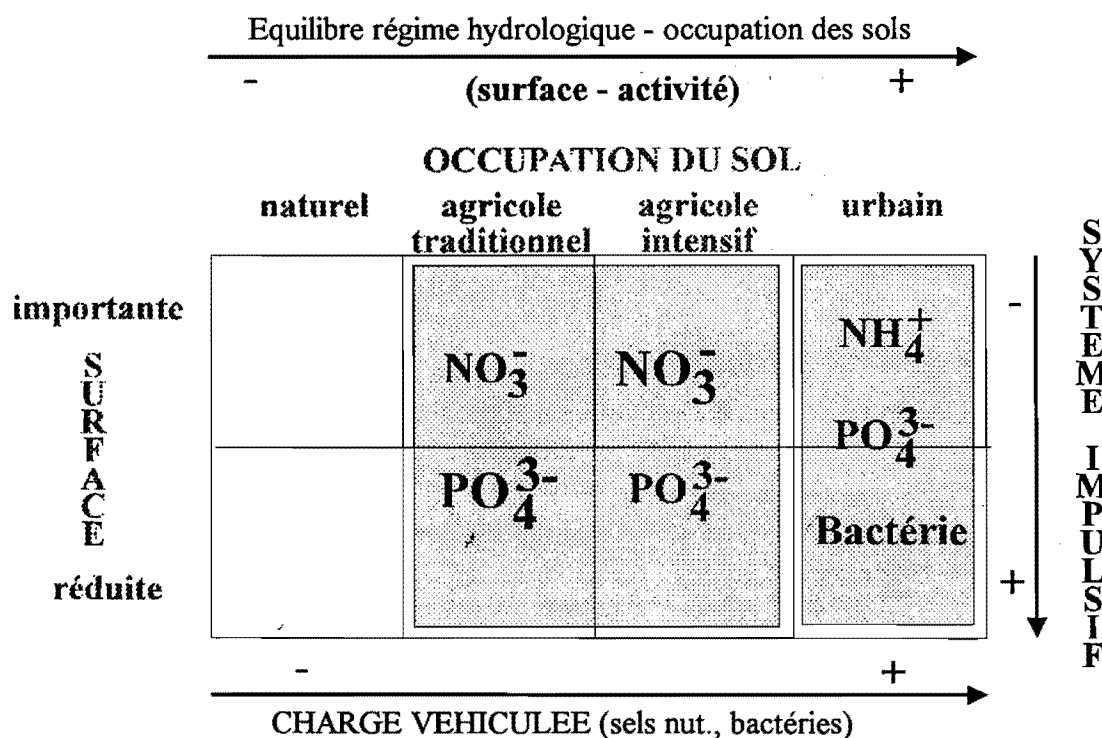


Figure 4 : typologie des bassins versants et risques induits.

Ces rejets anthropiques croissants d'azote et phosphore dans les eaux douces ont induit, dans les trente dernières années, d'énormes augmentations de la production végétale aquatique, d'abord dans les lacs puis dans les cours d'eau. Ce phénomène, appelé eutrophication a pour conséquence de déséquilibrer le fonctionnement normal des écosystèmes

jusqu'à provoquer, dans les cas extrêmes, la mort de l'écosystème par asphyxie. Depuis une quinzaine d'années, le phénomène d'eutrophication a atteint des écosystèmes côtiers soumis à des apports terrigènes croissants de nutriments (Ménèsguen, 1996). Les zones côtières les plus sensibles sont évidemment les lagunes semi-fermées, telle que celles du système palavasien sous influence des rejets du district de Montpellier, telle que la lagune de Venise, où se développent chaque année environ 500 000 tonnes d'algues vertes (Sfriso *et al.*, 1989).

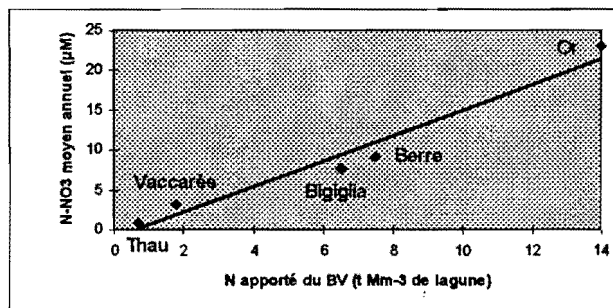


Figure 5 : relation entre apports des bassins versants et nitrate dans les eaux lagunaires. ($r^2 = 0,96$, $p < 0,01$) (Anonyme, 1994)

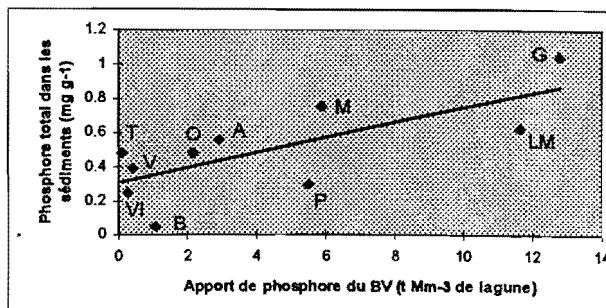


Figure 6 : relation entre les apports du bassin versant et les stocks des sédiments. ($r^2 = 0,62$, $p < 0,05$) (Anonyme, 1994)

Biguglia, Lez Mosson, Prévost, Méjean, Arnel, Grec, Or, Thau, Vic Ingril, Vaccarès

Réseau trophique

Il existe une relation entre les concentrations moyennes en nitrate et la chlorophylle des eaux lagunaires, mais celle-ci n'explique que 50 % de la variabilité (Vaulot et Frisoni, 1986). Il n'existe pas de relation avec les phosphates. Les auteurs s'accordent à évoquer, selon les lagunes, des limitations par les nitrates ou par les phosphates, voire successivement les deux. Ces analyses ont cependant été réalisées à partir d'un faible nombre de lagunes.

Récemment il est apparu que la liaison nitrate phytoplancton était épisodique en fonction des apports du bassin versant lessivé par les pluies. Et le recyclage de cette production primaire qui peut être phytoplanctonique ou macrophytique selon les lagunes peut dominer à certaines périodes dans le fonctionnement trophique.

Ainsi par rapport à la mer, les eaux des lagunes montrent une capacité exceptionnelle à produire de la matière organique. La première raison expliquant cette caractéristique lagunaire est la présence de fonds peu profonds qui assurent à la colonne d'eau un flux éléments nutritifs après reminéralisation à l'interface eau-sédiment. La seconde raison de cette grande productivité est peut être proportionnelle aux temps de résidence élevé des eaux dans les lagunes et aux conditions d'ensoleillement qui apportent des quantités de lumière rarement limitantes même en hiver. Ces systèmes, si les apports restent raisonnables, se comportent comme des pièges à sels nutritifs (Smith et Atkinson, 1994) capable de les recycler de nombreuses fois. En effet ce recyclage a lieu à l'interface eau-sédiment (Mazouni *et al.*, 1996), directement dans la colonne d'eau grâce à la matière organique dissoute ou/et au travers des organismes végétaux (macrophytes) et animaux (élevage). Il profite, en régénérant le stock d'azote inorganique particulièrement par la production d'ammonium, à une production primaire régénérée qui concerne particulièrement des cellules planctoniques de petite taille. C'est le cas pour la lagune de Thau où la dominance d'un picoeucaryote *Ostreococcus tauri* (Courties *et al.*, 1994 ; Chrétiennot-Dinet *et al.*, 1995) particulièrement pendant les périodes sans apport du bassin versant assure la productivité du système et sans doute indirectement le soutien à la production par l'intermédiaire d'un réseau trophique microbien. C'est aussi le cas des lagunes de Venise (Sfriso *et al.*, 1989) et du Méjean (Ménèsguen, 1996) où les successions macrophytes, sels nutritifs, phytoplancton montrent le rôle important des macrophytes dans le stockage des sels nutritifs d'origine exogène et leur relarguage différé en soutien à la production phytoplanctonique. Cette compétition macrophyte-phytoplancton est particulièrement importante pour les lagunes de faible profondeur.

Ainsi la juxtaposition de ces différents types de production primaire, nouvelle et régénérée (fig. 7), peut expliquer la forte productivité de ces écosystèmes. On ne connaît cependant pas la part relative à chacune de ces productions dans la productivité générale des lagunes en fonction de leur typologie d'une part et de leur exploitation d'autre part.

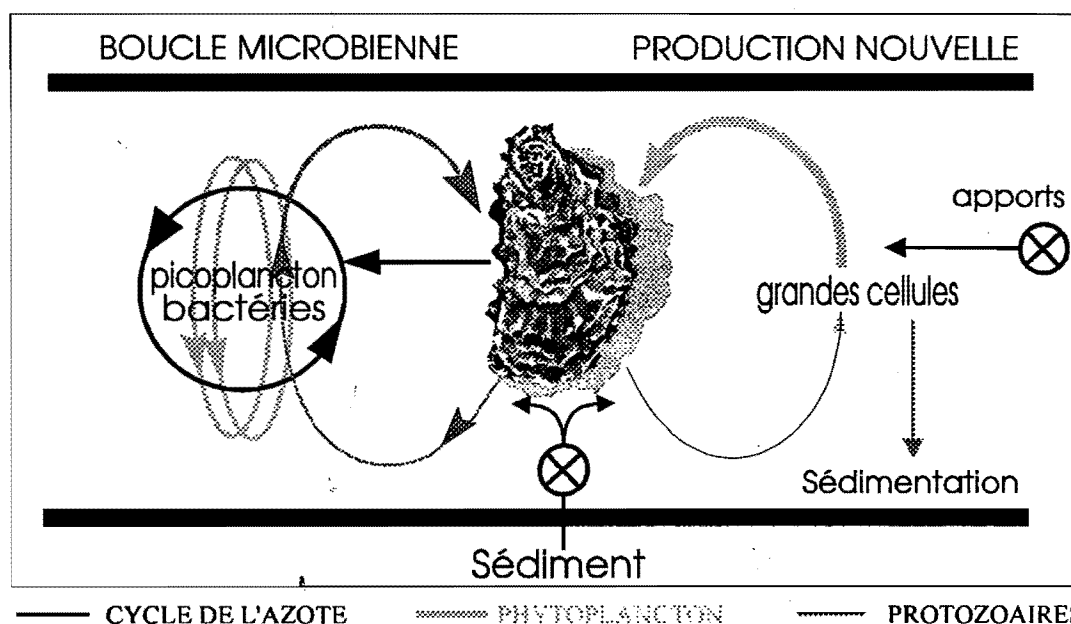


Figure 7 : schéma conceptuel de la production nouvelle et de la production régénérée en soutien de la conchyliculture dans la lagune de Thau.

Les élevages utilisent les deux sources de particules vivantes :

- l'une issue des apports de sels nutritifs du bassin versant (production nouvelle)
- l'autre issue du recyclage de la matière organique dans la colonne d'eau et à l'interface du sédiment (production régénérée)

Bien que le fonctionnement global soit similaire, chaque lagune conserve sa propre individualité et son originalité qui nécessitent des études spécifiques (Postma, 1994). Ce besoin d'études spécifiques est aussi généré en partie par le fort impact économique attaché aux zones côtières incluant les lagunes, et plus encore par les effets négatifs des interférences humaines (Postma, 1994). Ainsi Postma (1994) conclut qu'«il est probable qu'une approche globale produira des principes nouveaux sur le fonctionnement des lagunes et leur écosystème qui ne peut encore être prédit».

Perturbations écologiques et qualité microbiologique des eaux côtières

Dans un ouvrage intitulé "Global Environmental Change and Health of Human Specie" (Cambridge Univ. Press) publié en 1993, A.J. McMickael mettait l'accent sur l'attention particulière que l'on doit porter à la qualité microbiologique des eaux côtières. En effet leur utilisation - mariculture, activités récréatives - représente non seulement un risque sanitaire majeur, mais leur étude doit être liée à celle de la perturbation des écosystèmes. En effet, cet auteur montre que, par exemple, au Bengladesh, les épidémies de choléra ont été toujours précédées de blooms phytoplanctoniques dans les eaux côtières. Ces épidémies qui ont touché l'Amérique du sud, l'Asie et à moindre titre l'Afrique depuis 1990 ont montré le rôle majeur de l'écosystème côtier dans l'implantation, la prolifération et la dissémination de *Vibrio cholerae*, l'agent responsable de cette pathologie. En Amérique du sud plusieurs millions de personnes ont été contaminées et des centaines de morts dénombrées (Levins *et al.*, 1995). Des études relatives à cette région ont montré l'implication des facteurs climatiques (pluie, température) sur l'émergence d'épidémies de choléra et de typhoïde (Who, 1995).

Les coquillages apparaissent indiscutablement comme un des vecteurs de pathogènes impliquant la présence de bactéries et virus entériques pathogènes tels que le virus de l'hépatite

A, virus de Norwalk, rotavirus, le virus de l'hépatite E, dans les eaux côtières (Pontfract *et al.*, 1993 ; Xu *et al.*, 1992 ; Desenclos *et al.*, 1991).

L'émergence de nouvelles maladies, la récurrence d'anciennes pathologies, ont particulièrement attiré l'attention des scientifiques ces dernières années. Les pratiques de désinfection des eaux ont été rendues responsables de l'apparition de nouvelles maladies (cryptosporidioses par exemple). En effet, en modifiant les écosystèmes, l'implantation et la prolifération de pathogènes ont été favorisées : *Giardia*, *Cryptosporidium*, *E. coli* enterotoxinogène, mycobactéries, *Salmonella*... (Payment *et al.*, 1991).

L'utilisation massive d'antibiotiques pour l'élevage agricole et aquacole a donné lieu à l'apparition dans les eaux côtières de bactéries résistantes à de nombreux antibiotiques. L'eutrophisation des eaux côtières en apportant matière organique et osmoprotecteurs jouerait également un rôle sur la survie d'*E. coli* en zone littorale (Ghoul *et al.*, 1995).

L'augmentation de la virulence des microorganismes, de leur résistance aux antibiotiques, le développement des stratégies de résistance aux polluants, aux traitements des eaux et à la désinfection sont autant de symptômes d'un déséquilibre écologique. L'application de normes basées sur la présence d'indicateurs classiques ne protège pas des maladies car il y a développement de nouveaux agents qui n'étaient pas connus ces dernières décennies (*Cryptosporidium*, virus de l'hépatite E...).

La survie des bactéries d'origine fécale dans le milieu marin littoral dépend de leur histoire avant leur rejet et de la qualité du milieu récepteur.

En effet, les études réalisées dans la première phase du PNOC (Gourmelon, 1995 ; Dupray et Derrien, 1995 ; Munro *et al.*, 1994) mettent en évidence le rôle de l'état physiologique des bactéries sur leur comportement ultérieur en mer. Ainsi le passage préalable en station d'épuration, ou l'application de stress (oxydatifs, thermique...) améliore leur survie dans les milieux extérieurs. C'est en effet avant le rejet que se mettent en place (ou non) les mécanismes d'adaptation : activation de gènes et production de nouvelles protéines permettant de lutter contre les environnements hostiles.

Lorsque les bactéries sont ensuite transportées dans le milieu marin, elles vont, là encore, rencontrer diverses pressions suivant l'état de santé de l'écosystème. Les modifications actuelles - ou prévisibles - de la qualité des zones côtières, comme l'accroissement de l'eutrophisation ou le rejet de polluants toxiques, vont jouer sur l'éventuelle implantation et dissémination des pathogènes dans ces écosystèmes.

Objectif : Une aide à la gestion écologique des lagunes méditerranéennes.

Introduction

Eric Binet (Directeur régional de l'Environnement en Languedoc-Roussillon) déclarait lors des Assises Régionales du Développement Durable pour les zones humides littorales le 25 septembre 1996 :

« Depuis trente ans tous les discours socio-politiques se terminent par l'affirmation de la conciliation entre aménagement et environnement, entre développement et conservation.....Le caractère péremptoire ou incantatoire de cette affirmation de complémentarité,...., laisse tout de même entendre que les sociétés contemporaines ont perçu une fracture, un risque, un défi. C'est incontestablement une nouveauté historique de la conscience humaine,...., de s'interroger non seulement sur les impacts du développement généré - et toujours voulu! - mais sur la durabilité d'un tel développement..... Naturellement ce n'est pas seulement une 'mauvaise conscience' qui s'est glissée entre développement et environnement,...., c'est une conscience tout court, une conscience éclairée par de nouvelles sensibilités, mais aussi par des constats, des études d'impact, des analyses, des expertises sur les conséquences du développement..... Qu'il s'agisse de l'espace ou de l'énergie, de la qualité des sols, de l'eau ou de l'air, vitaux pour toute humanité croissante, les concepts de rareté - et donc de prix - et de réversibilité sont apparus comme décisifs, c'est à dire comme devant être intégrés dans les décisions.....

Mais aujourd'hui il y a deux dimensions nouvelles de cette crise de la décision sociale, l'une dans l'espace et l'autre dans le temps. Spatialement la conscience des limites de l'espace habitable nous interroge sur la meilleure manière de gérer l'économie des flux et la rareté de l'espace..... Mais ce qui est encore plus nouveau c'est que l'homme paraît également affecté par une accélération du temps qui raccourcit les générations....l'homme paraît projeté à plus grande vitesse dans son avenir, au point....d'engager pour la première fois sa responsabilité collective à l'égard des 'générations futures'....de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité de générations futures à satisfaire ce que seront leurs propres besoins. »

La « demande sociale » : les questions des gestionnaires

Après ces extraits d'une introduction philosophique sur le développement durable il est bon de s'interroger sur les besoins des gestionnaires en terme d'informations scientifiques et techniques. Pour cela nous nous appuyerons sur certaines des *10 orientations fondamentales* du SDAGE - RMC:

1 - Poursuivre toujours et encore la lutte contre la pollution. Dans ces polluants sont compris les nutriments qui sont aussi à la base des réseaux trophiques. Les lagunes ont été classées zones sensibles vis à vis de l'eutrophisation et donc doivent bénéficier en priorité de l'application de la Directive Européenne de mars 1991, relative au traitement des eaux résiduaires urbaines.

2 - Garantir une qualité d'eau à la hauteur des exigences des usages. Pour les lagunes les exigences doivent satisfaire à la fois aux élevages (conchyliculture) à la baignade et à la protection du patrimoine naturel, en considérant la santé publique comme une priorité.

5 - Respecter le fonctionnement naturel des milieux et 6 - Restaurer ou préserver les milieux aquatiques remarquables. Pour cela il est indispensable de les identifier, de suivre leur évolution et d'assurer leur gestion mais avant tout il est nécessaire de comprendre leur fonctionnement.

7 - Restaurer d'urgence les milieux particulièrement dégradés. C'est le cas pour les étangs littoraux eutrophisés ou en voie d'assèchement. Il faut donc mieux connaître les problèmes et suivre des sites pilotes pour expérimenter des mesures de restauration.

9 - Penser la gestion de l'eau en terme d'aménagement du territoire en la complétant d'une étude économique chiffrant les coûts environnementaux des aménagements.

Pour les lagunes littorales, parmi les mesures opérationnelles générales affichées, le développement des connaissances en matière d'impact des activités sur les plans d'eau et de

fonctionnement hydraulique et biologique des lagunes en relation avec leur bassin versant est souligné. Concrètement, pour la seule région Languedoc-Roussillon, un contrat de baie a été réalisé pour la lagune de Thau, et deux autres démarrent sur les lagunes de l'Or et Leucate. Le SAGE de la petite Camargue Gardoise est constitué depuis quelques années et celui des étangs palavasiens a commencé ses travaux en 1995.

L'Agence de l'Eau, au travers de son Réseau Littoral Méditerranéen, en s'appuyant sur la Loi sur l'Eau de 1992 et la Loi Littorale, rappelle l'impérieuse nécessité de gérer le littoral de façon globale ou intégrée, c'est à dire sans considérer séparément les usages, les ressources et le milieu naturel pour garantir un développement durable. Ses objectifs sont d'une part de compléter autant que nécessaire l'information disponible sur la production de données suffisantes sur le plan spatial, temporel et thématique, et d'autre part, coordonner, harmoniser et mettre en commun autant que possible les données produites par les gestionnaires des réseaux de mesure de la qualité des eaux pour mieux les valoriser.

Les réponses des scientifiques

Entre autre, dans les orientations spécifiques au contexte méditerranéen des mesures opérationnelles territoriales le SDAGE RMC spécifie pour le littoral méditerranéen de :

- mettre en oeuvre un réseau d'observations et de mesures de la qualité du milieu marin méditerranéen,
- améliorer l'état des connaissances sur l'hydrodynamisme côtier, les processus de déclenchement de l'eutrophisation en milieu marin, les grilles d'objectifs de qualité pour le milieu,
- poursuivre les efforts de lutte contre la pollution microbiologique en vue de la protection des activités sensibles (conchyliculture, baignade, loisirs nautiques),
- accélérer les recherches et les mesures à prendre pour lutter contre l'eutrophisation en étangs saumâtres,
- mettre en oeuvre des suivis plus systématiques de l'impact des rejets en milieu marin.

Le GIP Hydrosystème vient de retenir la « zone atelier Hydrosystème Littoraux Méditerranéens », dont l'objectif est de permettre une interaction entre établissements de recherche pour élaborer une approche intégrée à l'échelle des hydrosystèmes. Dans ce cadre général, les travaux sur les lagunes se situent à trois niveaux temporels. Les deux premiers (court et moyen terme) font effectivement l'objet d'une demande par les gestionnaires qui ont besoin d'informations immédiates pour mettre en place leur réflexion sur le développement. Le troisième, à plus long terme, est de la responsabilité de la recherche qui doit devancer les besoins futurs et tenter de concevoir des outils de plus en plus adaptés pour répondre à des demandes spécifiques par la simulation de cas probables et d'impacts d'aménagement.

- *réponses à court terme* : Au travers de réseaux de surveillance il est possible de suivre en instantané l'évolution d'un paramètre ou d'un groupe de paramètres qui, si il existe une grille de lecture ou des normes, renseigne sur un état et répond aux fonction d'alerte, de surveillance et de contrôle. La donnée ainsi recueillie permet une réaction rapide sur un point précis isolé du reste du fonctionnement de l'écosystème. Jusqu'à présent la donnée devenait obsolète dès son acquisition. Il s'agit des réseaux de surveillance des pollutions relatives aux productions conchyliques comme le REMI (bactéries pathogènes), le REPHY (phytoplancton toxique) ou intéressant l'écosystème dans son ensemble comme le RNO (pollution chimique). Il s'agit aussi de réseaux s'intéressant directement aux performances et à la qualité des produits conchyliques (REMORA). Ces réseaux n'ont pas de relation entre eux ou avec le milieu dans lequel ils sont réalisés.

- *apports à moyen terme* : la recherche d'indice et d'indicateur intégrant plusieurs variables de l'environnement peut à terme permettre d'appréhender, au travers d'une image de l'écosystème, un fonctionnement comme le fonctionnement trophique. La mise en réseau de tels indicateurs pourrait renseigner sur le niveau fonctionnel dans lequel se trouve un écosystème à un instant. Et, par analyse des informations passées, des tendances évolutives donc dynamiques pourraient être dégagées sur le fonctionnement de ces écosystèmes.

- *études à long terme* : les tentatives de modélisation des écosystèmes ne sont pas récentes, mais ne sont pas souvent devenues opérationnelles jusqu'à ce jour. La partie hydrodynamique de ces modèles d'écosystème est plus proche de l'opérationnel, malgré les difficultés qui existent en milieu méditerranéen sous dominance principale des vents, que la modélisation biogéochimique qui se heurte à la variabilité du vivant.

Mais au-delà de l'acquisition des connaissances, l'avis scientifique est pleinement opérationnel si il est compris. En effet, il faut à la fois que l'interlocuteur du scientifique (gestionnaires, utilisateurs), c'est à dire son public, soit sensibilisé pour comprendre le dire scientifique et que le langage et les modes de communication utilisés deviennent accessibles à des non spécialistes. Les compilations de textes scientifiques ne seront que connaissances vaines et objectifs ratés tant qu'elles n'auront pas été traduites et synthétisées pour fournir des informations et des messages clairs et compréhensibles par tout public. Pour cela le scientifique, qui se doit de viser avant tout la reconnaissance de ses pairs par des publications de plus en plus rigoureuses dans leur contenu et dans le vecteur de diffusion auquel elles sont soumises, doit être relayé pour présenter une approche intégrative qui est indispensable à l'élaboration d'avis efficaces.

Le développement durable doit s'appuyer sur quatre domaines (Di Castri, 1995). Ce sont l'économie, le social, l'environnement et le culturel. Il semble utopique à l'heure actuelle de vouloir intégrer formellement quatre domaines aussi éloignés que ceux-là. Nos objectifs scientifiques seront, dans le cadre du PNOC phase II, de développer **(i) l'acquisition des connaissances environnementales qui permettront de mettre en place certains des outils futurs d'aide à la décision, (ii) une réflexion sur les moyens de connecter économie et environnement, (iii) les moyens de rendre accessibles aux citoyens responsables les avancées scientifiques dans le domaine de l'environnement des lagunes.**

Objectifs généraux du programme

Sur la recommandation du PNOC, une fédération des quatre anciens thèmes (Oxythau, Eutrophisation, Microbiologie sanitaire, Socio-économie), traités indépendamment dans le précédent Programme National d'Océanographie Côtière, doit être tentés pour les écosystèmes lagunaires.

La qualité des eaux, au plan trophique et sanitaire, sera considérée comme le vecteur commun, traceur des activités de l'amont, support de la productivité des milieux et des activités économiques qui en dépendent, ou facteur de dysfonctionnement vis à vis de ces mêmes activités. C'est pourquoi l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOC II, dans le prolongement du précédent programme, se focalisera sur les études des mécanismes et processus pertinents encore mal connus et permettant de compléter la description des cycles biogéochimiques et du comportement des bactéries allochtones. De même, dans la suite du précédent programme, la démarche s'intègre immédiatement dans le cadre final de modélisation.

Le projet est construit à différents niveaux d'étude spatiale, incluant notamment des mesures géochimiques sur un grand nombre de lagunes, afin de proposer une transposition des modules de modélisation dans des contextes divers, répondant au final à des besoins de simulation propres à des sites particuliers.

L'extension de la zone d'étude, antérieurement restreinte à deux sites pilotes, vers un plus grand nombre de lagunes, est aussi conçue pour permettre une démarche de typologie trophique, basée sur une analyse de type statistique, et débouchant sur la définition de fonctionnements types et d'indicateurs.

Les activités économiques se déroulant dans les lagunes seront étudiées dans l'optique de relier ces activités au fonctionnement des milieux naturels et à leur évolution sous l'effet de la pression anthropique.

L'objectif général du projet s'énonce donc :

- développer une analyse générale du fonctionnement des milieux lagunaires, considérant les divers types de milieux, les ressources qui en sont retirées, voire la valeur économique qui leur est associé,
- mettre en place les outils de suivis et de simulation de l'évolution de ces milieux

Contenu : les axes de travail

Sur la recommandation du PNOC, nous tenterons de regrouper les anciens thèmes Oxythau, Eutrophisation, Microbiologie sanitaire, Socio-économie. Pour ce faire le programme sera subdivisé en quatre parties inégales, **le réseau trophique** qui regroupera le réseau trophique *sensu stricto*, les relations milieu-ressource et l'eutrophisation, **la microbiologie sanitaire** qui abordera le problème de la survie des bactéries et virus en milieu marin et saumâtre, **l'économie** en relation avec les filières d'exploitation du milieu lagunaire et au sein d'une réflexion sur le couplage économie-écologie, et **l'accessibilité des résultats** vers les cibles définies par le comité des Utilisateurs mis en place par le PNOC.

Thème I : intégration qualité des eaux - usages

Réponses à court terme

Dans ce domaine, l'action du PNOC pour les lagunes méditerranéennes se bornera à inciter les différents réseaux qui s'y trouvent, à se regrouper sur les mêmes stations d'étude quand cela est possible, et à se développer sur des secteurs où ils ne sont pas encore installés. Il s'agit principalement pour le réseau REMORA (croissance et qualité des huîtres en élevage) qui est le plus récent (3 ans) de se rapprocher des points où sont prélevées les eaux pour les réseaux REMI (microbiologie sanitaire) et REPHY (phytoplancton toxique) dans la lagune de Thau. De plus une extension de ce réseau aux autres lagunes conchylicoles (Leucate, Diana, Urbino), non encore suivies, permettrait de comparer, au travers des performances de la filière conchylicole, les potentialités de ces lagunes et apporterait des informations indispensables sur la dynamique des élevages permettant ainsi d'aborder une modélisation des élevages (voir programmes - Etudes à long terme).

Typologie des réseaux trophiques et pré-études à la mise en place de réseau de surveillance (Apports à moyen terme).

Un appel d'offre de l'Agence de l'Eau RMC portant sur une étude préliminaire à la mise en place de réseau de surveillance sur les indices et indicateurs de niveau trophique des lagunes, entraînera, à partir de 1997, l'acquisition bimensuelle, sur plusieurs lagunes, des paramètres de base du réseau trophique ainsi que la cartographie des sédiments et des macrophytes dominantes. Une proposition est en cours d'élaboration (tableau 1).

Tableau 1 : lagunes prises en compte dans la proposition de réponse à l'appel d'offre de l'Agence de l'Eau et paramètres acquis avec une périodicité de 15 jours.

IMPACT	LAGUNE	PARAMETRES
Fort impact des eaux douces	Or	Ammonium
	Biguglia	Nitrite, Nitrate
	Bages nord	Phosphate
Fort impact urbain	Prévoist	Silicate
	Méjean	Azote organique dissous
	Grec ou Arnel	Phosphore organique dissous
Faible variabilité	Vacarès	Chlorophylle a
	Urbino et/ou Diana	Phéopigments
	Leucate	Matière en suspension
	Thau (déjà fait)	Température et Salinité
		Oxygène

L'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOC propose, en veillant au regroupement des points étudiés dans cette étude avec ceux supportant les réseaux existants (REMI, REPHY, REMORA), de rajouter sur une partie de ces lagunes (à définir), les paramètres qui permettraient d'établir une typologie des réseaux trophiques de base et d'estimer le poids de la boucle microbienne dans le fonctionnement trophique de ces systèmes (tableau 2). En effet, suite à la mise en évidence d'un picoeucaryote *Ostreococcus tauri* dominant dans la lagune de

Thau (Courties *et al.*, 1994 ; Chretiennot-Dinet *et al.*, 1995), le rôle de la boucle microbienne dans la productivité de l'écosystème et le soutien à la conchyliculture a été abordé dans le cadre de l'URM n° 5 (Deslous-Paoli et Vaquer, 1996). Par contre, il existe peu d'indication sur l'existence et l'importance du rôle du réseau trophique microbien sur les autres lagunes et sur sa relation avec la présence massive ou non de filtreurs dans l'écosystème.

Tableau 2 : Paramètres complémentaires ajoutés par l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOG à l'étude Agence de l'Eau RMC.

PARAMETRES	METHODES
Carbone et azote particulaire	CHN
Phosphore particulaire	Méthode chimique
Bactéries	Fixation formol et comptage en cytométrie en flux Détermination des hétérotrophes au microscope
Phytoplancton	
picoplancton	Fixation formol et comptage en cytométrie en flux
nanoplancton	Détermination des espèces dominantes au microscope
Protozoaires (flagellés, ciliés)	
flagellés hétérotrophes	Fixation au glutaraldehyde et comptage au microscope
ciliés	Fixation au lugol alcalin et comptage au microscope
Zooplancton sur 3 lagunes	Fixation formol
micro et méso	Dénombrement et biomasse par analyse d'image

L'ensemble des données recueillies dans le cadre de l'étude de l'Agence de l'Eau RMC et de celles complémentaires de l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOG pourrait être regroupé au sein d'une base de données gérée par l'Université de Montpellier II. Au préalable à la mise en place de cette base de données, une charte des utilisateurs sera élaborée, régissant la mise à disposition des résultats d'analyse par les différents groupes impliqués ainsi que les accès pour les traitements spécifiques. Ces séries de données seront ainsi disponibles pour la réflexion présidant à la mise en place de réseaux, pour une réflexion thématique sur la chaîne trophique, pour élaborer des synthèses et pour la validation des modèles de fonctionnement lagunaire (voir Programme - étude à long terme) et leur application à différents sites.

Analyse thématique : filières et économie

Une approche concertée biologie - économie sur les filières conchylicole et halieutique et avec la microbiologie sanitaire devrait permettre, pour les premières, de valider les approches sur les estimations des productions et de mettre en place les bases de la conception d'outils de gestion, et, pour la dernière, de tracer l'impact économique de la contamination.

Dynamique des élevages de coquillages et des principaux épibiontes associés

L'objectif est de connaître l'évolution pondérale au cours de l'année des différentes catégories étudiées aussi bien pour les coquillages en élevage que pour les épibiontes qui leur sont associés. Pour cela, la connaissance précise de la gestion des élevages est nécessaire : cette étude doit donc être faite en relation étroite avec l'étude socio-économique mis en place par le CEPALMAR. De plus, la connaissance précise des croissances des différentes catégories d'animaux échantillonnées est indispensable. Les données issues du réseau IFREMER de suivi de la croissance de l'huître creuse (REMORA) pourront être utilisées. Des compléments d'étude de la croissance chez les professionnels sont à prévoir. Pour les principaux épibiontes, les cycles de fixation (Lamy, 1996) et la croissance seront à préciser spatialement. Ainsi l'appréciation de la dynamique des élevages permettra d'élaborer avec les résultats obtenus au thème II - étude des processus, un modèle de population plus réaliste au niveau temporel à intégrer dans le modèle général des lagunes.

Halieutique et économie

Une approche complémentaire des évaluations obtenues par l'analyse de données professionnelles (VPA) et de séries d'abondance provenant de campagnes d'échantillonnage en plongée permettra d'étudier l'organisation spatiale et la dynamique saisonnière des populations de palourdes (*Ruditapes decussatus*) dans les lagunes de Thau et de Salses-Leucate. Cette approche couplée avec un étude économique de cette activité (légal et illégal) devrait permettre d'élaborer un outil d'aide à la gestion de cette pêcherie. En effet cette production était, grâce à une valeur marchande élevée, au quatrième rang en valeur des produits débarqués dans le quartier de Sète en 1986 et au sixième actuellement. La surexploitation de cette ressource du fait de l'absence de gestion et du fort braconnage génère de nombreux conflits, aggravés par le manque de connaissance sur cette ressource. Cette approche apportera aussi des informations à inclure dans la modélisation générale des lagunes. La même approche sera à développer pour les poissons qui viennent passer leurs phases trophiques en lagune où elles font l'objet d'une pêche artisanale très intense.

Microbiologie sanitaire et économie

L'un des objectifs que nous nous fixons dans le programme mené sur les lagunes méditerranéennes (étang de Thau et étang du Prévost) est l'étude des voies de contamination : étude de la relation « épidémie d'origine virale dans la population - rejet de particules virales via les eaux usées - accumulation dans les coquillages - coquillages, aliment contaminé ». Cette approche nécessite de mieux connaître le devenir de cet aliment contaminé, source de contamination-recontamination de la population locale, donc d'obtenir les données sur les points suivants : production du secteur par espèce, commercialisation des coquillages produits en élevage, commercialisation et devenir des coquillages pêchés dans les lagunes languedociennes, filière du produit, habitudes alimentaires de la population locale vis-à-vis des coquillages.

Thème II : la modélisation trophique et sanitaire (Etudes à long terme)

Le réseau trophique

Il est posé comme hypothèse préalable que les différents processus constituant les maillons du réseau trophique (échange à l'interface eau-sédiment, production primaire phytoplanctonique et macrophytique, boucle microbienne, physiologie des coquillages, etc...) sont identiques dans tous les secteurs concernés. Ainsi la modélisation et l'étude de ces processus peut être réalisée en laboratoire et/ou sur un site atelier, puis calée et validée sur ce même site. La lagune de Thau, du fait de l'ensemble des connaissances disponibles, servira de zone atelier pour la construction du modèle. Le modèle général, qui regroupera l'ensemble des modèles de détail, devrait donc être applicable aux autres sites après une adaptation géographique (bathymétrie, morphologie, grau, apports, météorologie) et la définition des variables d'état spécifiques (cartographie des sédiments, cartographie des macrophytes, biomasse en élevage, etc...).

Modélisation

Commencée en 1993 dans le cadre du PNOC avec le programme Oxythau et le programme Eutrophisation, la modélisation a permis de mettre en place plusieurs modèles de processus (fig. 8) :

- les échanges à l'interface eau-sédiment (Chapelle *et al.*, 1994 ; Chapelle, 1995),
- la dynamique sédimentaire avec un modèle de remise en suspension des sédiments (Cugier *et al.*, en cours),
- l'impact du forçage hydrodynamique sur la production primaire et sur les zones conchylicoles (Bacher *et al.*, sous presse),
- le rôle des phanérogames (Plus, 1996),
- la modélisation de l'ensemble de l'écosystème lagunaire en liaison avec les apports du bassin versant, la production primaire nouvelle et régénérée, le recyclage de l'azote et le cycle de l'oxygène (Chapelle *et al.*, soumis).
- un modèle général de l'eutrophisation côtière (Ménésguen, en cours)

- un modèle thermique couplé à un modèle hydrodynamique 3D de la lagune de Thau (Leborgne, 1995, Lazure, comm. pers.)

Après cinq ans de travaux, il en résulte une connaissance plus approfondie des interactions au sein de la lagune mais aussi des zones d'ombre dans cette connaissance qu'il apparaît nécessaire de lever pour aboutir à une vision globale de l'écosystème Thau. Dans l'objectif d'avoir une représentation plus complète de l'écosystème lagunaire intégrant à la fois le fonctionnement des zones conchylicoles et des zones non conchylicoles, l'influence de l'hydrodynamisme et les échanges avec l'extérieur, il est indispensable de poursuivre le travail de modélisation pour réaliser une bonne intégration des modèles de détail dans un modèle général, et pour acquérir les connaissances sur des processus non encore pris en compte. Les objectifs de la modélisation durant cette phase II du PNOC sont :

- les macrophytes benthiques et le microphytobenthos : mise en place d'un modèle de zostères, ulves et algues rouges, intégration dans le modèle global. Modèle de production microphytobenthique. Impact sur le bilan en oxygène et le cycle de l'azote.

- les stocks et croissance des huîtres. Distinction des processus, huîtres/épibiontes : modélisation de la production conchylicole couplée à la modélisation de la lagune (jusqu'à présent les huîtres n'étaient pas simulées) ; étude de scénarios de modification de l'activité conchylicole..

- le forçage hydrodynamique : couplage du modèle biologique développé dans Oxythau avec un modèle hydrodynamique 3D d'IFREMER, fonctionnant sur des séries réelles de vent. Simulation de périodes types telles qu'un calme estival avec apparition de malaïgue, que la dispersion d'une crue ou encore d'années réelles. Etude des variations sur la profondeur de la colonne d'eau, application à l'étude des hypoxies de fond et au risque de crise anoxique.

- le couplage lagune, bassin versant, échanges avec la mer : à partir du modèle en boîtes développé dans Oxythau à l'aide du logiciel Elise, étude des différents types de rejets (agricoles, urbains, ruissellement, pluies, nappes) et de leur impact sur la lagune, mise en place de scénarios de réduction des rejets.

Etude des processus

Pour alimenter cette réflexion modélisation, des études sur des processus peu ou pas pris en compte dans les programmes précédents sont à mettre en place :

- le rôle des macrophytes (phanérogames et algues) et microphytes benthiques dans les transferts d'azote et de phosphore et dans la production d'oxygène. Il s'agit d'étudier la photosynthèse (Ménèsquen, 1995 ; Latala, com. pers.) et la fixation d'azote et de phosphore par les principales espèces de macrophytes (ulves, gracilaires, zostères) dans les conditions lagunaires. Ces mesures sont à réaliser expérimentalement en laboratoire et à valider *in situ* par des mesures en cloches benthiques. Très diversement étudiée, la dynamique de ces peuplements de macrophytes qui vivent à l'interface eau-sédiment présentent un intérêt majeur car elle est indicatrice de l'état de la lagune et des influences qu'elle subit. Dans le cadre de l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOC, en s'appuyant sur la synthèse des données disponibles qui devrait permettre d'identifier les différents biotopes présents et de préciser leur extension respective et leur importance, des transects permanents pour l'étude de l'évolution des populations de macrophytes seront mis en place. Cette technique (Corre, 1970 ; Meinesz *et al.*, 1981) consiste à déterminer en plongée les peuplements et types de fond sur 2,5 m de chaque côté d'un axe prédéfini et constant, matérialisé par des repères fixes. Les paramètres à prendre en compte sont salinité, température, teneur en matière organique des sédiments, densité et biomasse des macrophytes (feuille et racines pour les phanérogames), quota en azote (algues) morphométrie. Ceci permettra de mieux appréhender le rôle de la dynamique de ces populations qui en fixant l'azote à certaines périodes et en le relarguant à d'autres permettent un transfert temporel des stocks d'azote en soutien à la production primaire phytoplanctonique

- Stock et croissance des huîtres : Estimation annuelle de la biomasse des coquillages et des épibiontes qui leur sont associés : à l'aide d'un échantillonnage aléatoire stratifié et de mesures des biomasses en élevage portant sur les différentes catégories d'élevage (moule,

huître creuse, juvénile et taille marchande), une estimation à 20 % sera réalisée pour les élevages à Thau et à Salses-Leucate. Les élevages ostréicoles et aquacoles des lagunes corses seront étudiés au travers des informations fournies par les propriétaires. Le réseau REMORA sera complété pour obtenir une image de la variabilité de croissance des huîtres creuses. A partir de ces études (stocks et croissance) une estimation de la production sera comparée aux résultats des études économiques réalisées en 1986 et 1996 à la demande du CEPRALMAR.

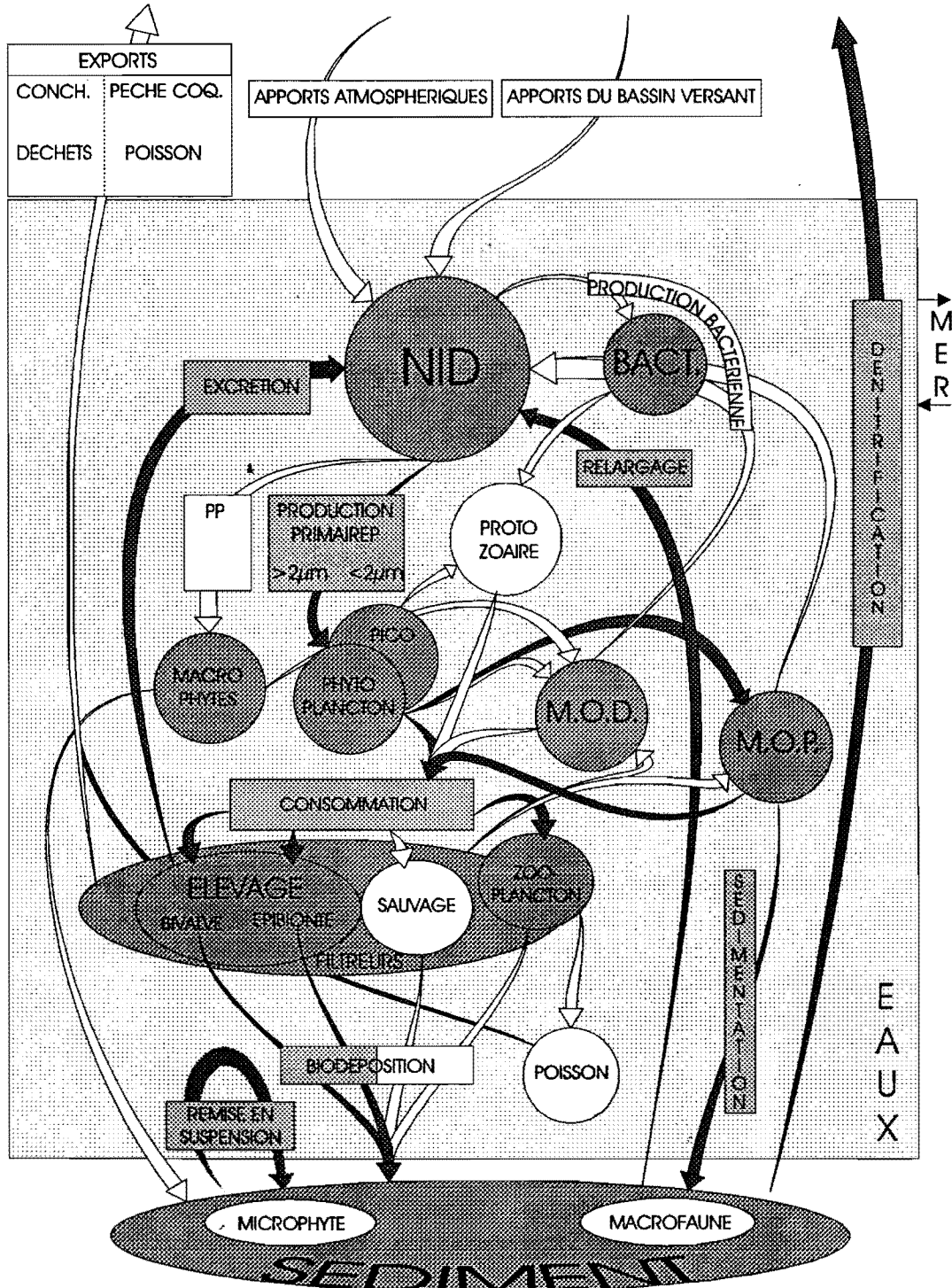


Figure 8 : Diagramme d'avancement des travaux de modélisation du fonctionnement lagunaire. Les flèches représentent les échanges entre compartiments (flux), les éllipses représentent les compartiments (stock). En grisé, compartiments et flux ayant déjà fait l'objet d'une modélisation, en blanc, compartiments et flux à modéliser.

- l'impact des élevages sur la colonne d'eau : dans le cadre du PNOC-Oxythau le rôle de l'ensemble de la population en élevage (huîtres et épibiontes) a été étudié. Cependant il reste

des questions quant aux cycles d'activité journalière et à l'importance des hétérotrophes de taille susceptible d'entrer dans l'alimentation des filtreurs (protozoaires, ciliés, microzooplancton). De plus les bilans d'azote bâtis pour l'élevage dans la lagune de Thau mettent en évidence le déséquilibre entre apport d'azote par la consommation particulière des filtreurs en élevage et l'excrétion dissoute azotée. Ce déséquilibre vient sans doute de la non prise en compte des biomasses et du rôle des détritivores au sein des populations en élevage suspendu.

- Pour mieux appréhender les échanges avec la mer, certains graux seront équipés de marégraphes. La dynamique des échanges pourra ainsi être abordée en relation avec les données météorologiques.

- L'importance des transferts verticaux d'éléments nutritifs à travers les sédiments.

- Une approche géographique des activités installées sur les bassins versants sera mise en place. La connaissance de ces activités et des coefficients de transfert de l'azote vers l'aval permettra d'approcher par calcul les apports aux lagunes.

Application à d'autres lagunes

En parallèle à l'acquisition de données et à des recherches bibliographiques, le modèle lagune, développé sur Thau et sur le Méjean pourra être appliqué à d'autres lagunes. Il sera pour cela intéressant de choisir des systèmes lagunaires présentant des caractéristiques nouvelles. Cela permettra d'aboutir à une vision synthétique des lagunes, classées par type et utilisation.

Les données nécessaires pour la modélisation d'une nouvelle lagune sont : bathymétrie, paramètres météorologiques, mesures de courant dans la lagune (profileur de courant acoustique dont l'achat est programmé sur le PNOC Atlantique) et, si les échanges avec la mer sont importants, mesure des niveaux à l'aide d'un marégraphe à l'entrée de la lagune, estimation des apports (coefficients de ruissellement de la DIREN), hydrobiologie à différentes saisons (voir base de données), cartographie des sédiments et des macrophytes (voir programme Agence de l'Eau), répartition, stocks et production des élevages.

Un modèle physique tridimensionnel sera mis en place par IFREMER. La résolution spatiale sera liée à la taille de la lagune et à la nécessité de pouvoir engager des simulations de longue durée. Le modèle sera couplé à un modèle biologique qui bénéficiera des avancées de la modélisation de la lagune de Thau et du Méjean.

- Restauration de la lagune eutrophisée du Méjean. Le modèle développé pour le PNOC Eutrophisation sur la lagune du Méjean par A. Ménesguen, à l'aide du logiciel Elise sera appliqué au suivi de la restauration de la lagune. *Il faudra alors accompagner cette simulation d'études spécifiques sur les apports à la lagune, le développement végétal, et les transformations sédimentaires. Ces travaux seront alors à mettre en place avec l'Agence de l'Eau en tant que suivi d'un site pilote pour sa réhabilitation.*

- Lagune exploitée par l'aquaculture (conchyliculture et pisciculture) ou la pêche : le développement d'un modèle d'impact de pisciculture sur le milieu pourrait être élaboré en relation avec le programme Aquaculture-Environnement. Outre la lagune de Thau, les lagunes sur lesquelles cette application serait réalisée sont Salses-Leucate dont l'importance des communications avec la mer a sans doute un impact fort, les lagunes de Corse sur lesquelles la présence conjointe de conchyliculture et de pisciculture génère une gestion spécifique.

- Lagunes eutrophes : modélisation de l'ensemble des lagunes palavasiennes en s'appuyant sur le modèle hydraulique en cours d'élaboration par le Service Technique des Ports Maritimes et Voies Navigables de Compiègne pour le Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon.

Microbiologie sanitaire

Si la première phase du PNOC a permis de développer certaines méthodologies et études sur ces thèmes, dans une seconde phase on s'attachera tout spécialement aux points suivants :

- Mécanismes d'adaptation des bactéries entériques préalables à leur survie en mer.

- Etude de l'implantation dans les écosystèmes côtiers de bactéries entériques : compétition de flore, rôle de l'état physiologique, maintien du pouvoir pathogène.

- Dissémination des virus entériques dans les différents compartiments du littoral.

Mécanismes d'adaptation

L'état physiologique des bactéries lors de leur arrivée en mer conditionne avec la qualité du milieu récepteur, leur survie dans le milieu marin : phase exponentielle de croissance ou phase stationnaire, passage préalable des bactéries en eaux usées, application d'un stress avant rejet en mer...

La phase stationnaire de croissance des bactéries entraîne des modifications métaboliques et des réorientations majeures de l'expression génétique se traduisant en particulier par la dégradation de certaines protéines préexistantes et la synthèse de nouvelles protéines indispensables pour la survie des bactéries en état de carence (Reeve *et al.*, 1984). De plus, le gène *kat F* (*rpoS*), activé après l'arrêt de la croissance, contrôle l'expression de nombreux gènes codant pour des protéines aux fonctions adaptatives à différents stress : nutritionnel, osmotique, oxydatif, ... (Mc Cann *et al.*, 1991; Loewen et Hengge-Aronis, 1994). Ces processus d'adaptation et de protection contre le stress semblent pouvoir être induits lors du transit des bactéries dans les eaux usées.

L'objectif de l'étude est de vérifier cette hypothèse et d'évaluer les conditions d'expression du gène *kat F* dans les eaux usées ainsi que la synthèse de quelques protéines de stress dépendant du facteur Kat F (σ), chez *E. coli* et *Salmonella*.

Ensuite, les mécanismes de résistance aux stress du milieu marin seront étudiés lors de la survie ultérieure en microcosmes d'eau de mer, les bactéries étant soumises à différents stress (carence nutritive, lumière solaire, température, ...).

Les principales étapes seront :

- *Vérification du rôle du facteur Kat F*, de son expression en eaux usées et de son influence sur la survie des bactéries en mer. Des bactéries porteuses du gène *kat F* et d'un gène reporter s'exprimant conjointement seront inoculées en eaux usées dans différentes conditions de température et de temps de séjour. L'expression du gène *kat F* sera mesurée, puis les bactéries seront ensemencées en eau de mer et soumises aux différents stress. Leur survie sera suivie au moyen de techniques évaluant soit leur cultivabilité, soit leur viabilité.

- *Etude de protéines de stress dépendant ou non du facteur Kat F*. L'induction de la synthèse de quelques protéines de stress déjà décrites sera évaluée chez les bactéries (exprimant ou non le gène *kat F*) pendant leur séjour en eaux usées et après leur transfert en eau de mer. La recherche de ces protéines sera réalisée par les techniques de séparation en électrophorèse bidimensionnelle et de Western blot.

Implantation des bactéries entériques dans les écosystèmes côtiers

Dans un premier stade, nous nous sommes intéressés, au delà de la perte du pouvoir de cultiver, à la caractérisation (notamment cytométrique) de la survie des entérobactéries dans le milieu marin et à l'effet de différents facteurs environnementaux pour développer un modèle conceptuel et mathématique du comportement de ces populations bactériennes allochtones au milieu marin. Les conditions expérimentales utilisées excluaient la présence de matière organique et celles de la flore autochtone.

Les études envisagées aborderont le devenir des entérobactéries en focalisant sur :

- le rôle de l'accroissement de la matière organique disponible pour les bactéries (telle que l'on peut supposer qu'elle se produise dans un contexte d'eutrophisation accrue),
- le rôle de la compétition entre bactéries allochtones et autochtones (*Vibrio spp.*, *Pseudomonas*, *Listeria*...) vis-à-vis d'apport en éléments nutritifs.

Ces travaux pourraient s'appuyer sur l'expertise expérimentale ainsi que sur le développement des méthodologies d'étude cytométrique acquis au cours du précédent PNOG. Le modèle conceptuel et mathématique actuel pourrait être alors modifié pour réaliser des simulations des conséquences des modifications environnementales sur les capacités d'implantation des entérobactéries dans le milieu marin.

L'implantation de souches pathogènes en zone littorale pose également le **problème du maintien de leur pouvoir pathogène** après séjour en mer ou dans les sédiments et de son expression lors de la consommation de coquillages. Les travaux initiés sur les salmonelles

(PNOC 1) seront reportés au cours de ce travail. Pour aborder cette question, des techniques complémentaires seront utilisées : effet cytopathologique, expression des gènes de virulence par RAP-PCR, etc.

Dissémination des microorganismes pathogènes dans l'environnement

Les premiers travaux réalisés dans le cadre du PNOC ont permis, après des mises au point méthodologiques pour l'adaptation de la PCR aux échantillons du milieu extérieur, de mettre en évidence la présence d'ARN viraux dans divers prélèvements. Des expérimentations réalisées *in vitro* ont montré la persistance de particules virales en milieu stérile ou en présence d'une flore bactérienne. Ces résultats confortent les observations réalisées *in situ*.

Il serait souhaitable de poursuivre ces études en réalisant un suivi régulier d'un site avec l'analyse concomitante de divers compartiments tels que le sédiment, les coquillages, les sources de contamination (par exemple rejets de station d'épuration)... En analysant la présence des différents virus entériques tels que enterovirus, virus de l'hépatite A, rotavirus et calicivirus (Norwalk virus et SRSVs) des informations pourraient être obtenues sur la saisonnalité des apports, les relations éventuelles entre la présence de ces différents virus, leur persistance dans l'environnement. L'étude des souches par analyse du polymorphisme de restriction (RFLP) ou par identification plus précise (séquençage) permettrait d'obtenir des données complémentaires sur la circulation des souches virales et leur diversité dans l'environnement. Enfin ce travail d'épidémiologie moléculaire pourrait, couplée avec des études épidémiologiques, donner des informations sur les relations avec les pathologies humaines observées dans la région de l'étude.

Thème III : couplage économie-écologie

Ce sujet, bien qu'à l'ordre du jour de nombreux appels d'offre (GIP Hydrosystème, Contrat de Plan Etat-Région Languedoc-Roussillon, PNOC), n'a pas encore abouti malgré quelques rencontres entre environnementalistes et économistes, et un constat de « volatilité » du potentiel mobilisable chez les économistes pour les domaines en rapport avec l'eau (CR du conseil d'administration du GIP Hydrosystème du 2 juillet 1996). Bien qu'intuitivement il semble prometteur pour l'avenir de tenter un couplage entre ces deux disciplines, il n'en reste pas moins que les divergences sont nombreuses et les points de couplage assez difficiles à identifier et que jusqu'à présent ces approches ont progressé plus en parallèle qu'en convergence. En effet les travaux de ces deux disciplines ne se font pas avec des pas de temps équivalents, ni sur des échelles spatiales correspondantes. De plus si l'écologie tente d'être quantitative et d'aboutir à une modélisation dynamique, l'économie est dans la plupart des cas qualitative et non prédictive. Il existe des tentatives de couplage comme celles dont Philomena (1994) fait la synthèse et qui utilise une unité commune créée pour la circonstance à partir de la notion d'énergie, l'émergie. Cette approche devrait permettre une modélisation mais bien évidemment ne fait pas l'unanimité car elle donne une part importante à l'énergie solaire, base de la vie sur terre. A l'inverse l'approche contingente développée dans le cadre du thème Economie du PNOC phase 1 donne une estimation très subjective de la valeur de l'environnement dans une société où la consommation prime sur les valeurs naturelles et semble difficilement intégrable avec les données écologiques. Une autre approche développée par l'Université de Versailles (C3ED) et le BRGM tente de pallier l'hétérogénéité des unités de mesure et des échelles de temps et d'espace par l'utilisation d'un modèle d'interactions causales grâce aux techniques du raisonnement qualitatif.

Ainsi la réflexion au sein du PNOC n'a pas été réellement menée jusqu'à présent et il existe sans doute d'autres méthodes pour tenter cette intégration. A la suggestion du Comité Inter Organisme du PNOC, nous proposons donc, dans un premier temps, de mettre en place un groupe de travail qui réunissent économistes et écologistes et dont il va falloir établir la composition. Ce groupe de travail aurait comme objectifs au cours de la première année :

- d'apprendre à communiquer dans un langage commun et de faire se découvrir les réalités des deux disciplines,

- de définir en relation avec le comité des Utilisateurs les questions auxquelles cette approche devra répondre.
- de sélectionner l'outil (modèle type multi-agent, modèle d'interactions causales, intelligence artificielle distribuée, etc...) qui permettrait l'élaboration du cadre de représentation des interactions écologie-économie,
- de formaliser les processus à intégrer dans cette modélisation.

Thème IV : diffusion et accessibilité des connaissances

Synthèses thématique et par site

La recherche sur les lagunes a porté sur de nombreux sujets et a souvent été initiée par des gestionnaires ou des exploitants. De plus le morcellement lagunaire, ainsi que son particularisme, n'ont pas non plus aidé à un travail intégré sur le fonctionnement lagunaire en général. De ce fait il existe beaucoup de travaux, pas souvent publiés et rarement interconnectés. Il semble donc primordial de rechercher et de regrouper l'information existante sur les lagunes, toutes disciplines confondues. Puis à partir de cette banque documentaire d'élaborer des synthèses de cette information par site (Thau, Salses-Leucate, Diana et Urbino, etc...) et si cela est possible par thème (rôle des sédiments, les macrophytes, le niveau trophique, etc...).

Diffusion aux gestionnaires et utilisateurs

Gestionnaires et utilisateurs sont demandeurs d'information sur le fonctionnement lagunaire pour asseoir leurs réflexions sur des bases cohérentes. Cependant pour la plupart d'entre eux les résultats de la recherche ou des études se traduisent par une « sédimentation non coordonnée de constats présentés par disciplines, si bien que le document en devient illisible, ou techniquement très ardu ou inutilement fastidieux » (Binet, Directeur de l'Environnement en Languedoc-Roussillon). Cette intervention met en évidence :

- l'image que laisse la recherche dans le public (utilisateurs, gestionnaires), à quoi cela sert il puisque l'on n'y comprend rien ?
- que le travail interdisciplinaire nécessite d'avoir un langage commun qui permette aux utilisateurs et à des chercheurs d'origine aussi différente que l'économie, l'éthnologie, la géographie, les mathématiques, la biologie, l'écologie, etc... de se comprendre, et qui permette au coordinateur d'un programme de les comprendre tous,
- que la recherche ne doit plus s'arrêter à la seule diffusion de connaissances par les seuls supports valorisant les chercheurs par discipline.

Il est important qu'il y ait dialogue entre utilisateurs et chercheurs pour que, par la formation, les premiers soient mieux à même de comprendre les dires des seconds, et pour que les seconds fassent les efforts de synthèse et de simplification indispensable pour être compris.

Nous tenterons donc au cours de ce programme, en accord avec le comité des Utilisateurs mis en place par le Comité Inter Organisme du PNOC, de mener une réflexion avec des professionnels de la communication en environnement et avec les gestionnaires locaux pour définir les supports attendus (papier, image, forum, web, formation) et les moyens à mettre en place pour réussir la valorisation des connaissances acquises sur les lagunes dans un but de soutien à la gestion.

Réalisation

Organigramme des thèmes

Le schéma thématique (fig. 9) permet de visualiser le rôle central de la base de donnée lagunaire qui est à l'interface entre l'acquisition de séries annuelles sur différentes lagunes et d'une part la modélisation qui l'utilisera pour valider les essais d'application sur sites, d'autre part la réflexion synthétique thématique et par site et enfin la mise en place d'indicateurs de niveau trophique pour la réalisation de réseaux de surveillance. Plus directement la modélisation s'appuiera sur les études de processus initiées par le PNOC et par l'IFREMER et le CNRS (boucle microbienne). Des études comme le couplage filières - économie ou la géographie des bassins versants viendront informer les réflexions synthétiques

Les thèmes abordés dans le cadre de l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » sont donc interconnectés avec des actions financées par d'autres programmes.

Relation avec d'autres programmes

L'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOC s'insère dans une réflexion plus large intégrant l'ensemble de l'hydrosystème (bassin versant, nappes, lagunes, mer) et dont la coordination est assurée par le GIP Hydrosystème dans le cadre de l'atelier « Hydrosystèmes Littoraux Méditerranéens » dont la responsabilité échoit à l'Université de Montpellier II.

Les apports des bassins versants : mesures et modèles d'apport des rejets dans la lagune de Thau seront réalisés par l'Université de Montpellier II. Les apports par les nappes seront étudiés par le BRGM sur Thau, Leucate, La Palme et l'Or. Ces deux actions seront réalisées dans le cadre d'autres programmes (Plan Etat-Région Languedoc-Roussillon, contrat de Baie).

- la boucle microbienne : à la demande de la Direction scientifique d'IFREMER l'étude de la boucle microbienne fera l'objet d'un programme spécifique de l'URM n°5. L'étude de ce processus essentiel dans le fonctionnement trophique de la lagune de Thau ne sera donc pas inclus dans les actions du PNOC. Nous souhaitons que les résultats obtenus puissent servir à alimenter la modélisation entreprise dans le PNOC.

Une partie des études sur les lagunes s'inscrira dans le cadre d'une réflexion appliquée financée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse et par les Régions Languedoc-Roussillon et Corse pour la mise en place de réseau de surveillance du niveau trophique des lagunes, par le programme Environnement santé pour la partie microbiologie sanitaire, et par le CEPRALMAR (Région Languedoc-Roussillon) pour l'économie des filières.

Ainsi le projet PNOC « Lagunes Méditerranéennes » s'inscrit dans la suite de la phase I du PNOC (Oxythau, Eutrophisation, Microbiologie sanitaire). Il s'axera principalement autour de la constitution d'une base de données lagunaires qui servira autant à une réflexion réseaux et synthèse qu'à la modélisation du fonctionnement trophique lagunaire avec un objectif de simulation de cas concrets d'aménagement.

Coordination :

Pour coordonner cet atelier pluridisciplinaire qu'est l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » et pour assurer un transfert permanent des informations entre les différentes disciplines (chaîne trophique, microbiologie sanitaire, modélisation biologique et physique, réseau, économie, etc...), des réunions annuelles seront organisées pour exposer l'avancement des travaux et en accord avec les propositions du GIP Hydrosystème un bureau de pilotage sera constitué, composé de :

- *le coordinateur de l'atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOC*
- *un représentant modélisation PNOC*
- *un représentant microbiologie sanitaire PNOC*
- *un représentant économie du PNOC*
- *un représentant boucle microbienne de l'URM n°5*
- *un représentant base de données*
- *un représentant du programme Agence de l'Eau*

- un représentant Bassin versant
- un représentant Nappes phréatiques

La zone atelier « Hydrosystème Littoraux Méditerranéens » met en place un comité des Utilisateurs en région Languedoc-Roussillon, coordonné par la Commission Scientifique des Etangs. Le projet PNOC, sera donc partie prenante de ces échanges.

Planification opérationnelle

	1997	1998	1999	2000
Modélisation				
Réseau trophique	construction	validation	transfert	simulation
Microbiologie sanitaire	construction	validation	couplage phy-bio	simulation
Processus				
Micobiologie sanitaire				
virus	terrain, labo	terrain rapport		
bactéries	mise en place	mesures	traitement	synthèse
Réseau trophique	mise en place	mesures	traitement	synthèse
Complément réseau				
Base de donnée	conception	constitution	traitement	synthèse
Prélèvements et analyse	mi 1997	mi 1998		
Economie	groupe de travail			
Accessibilité des résultats				
synthèse par site	mise en place	réalisation	réalisation	
diffusion aux utilisateurs ^A		groupe de travail	réalisation	synthèse

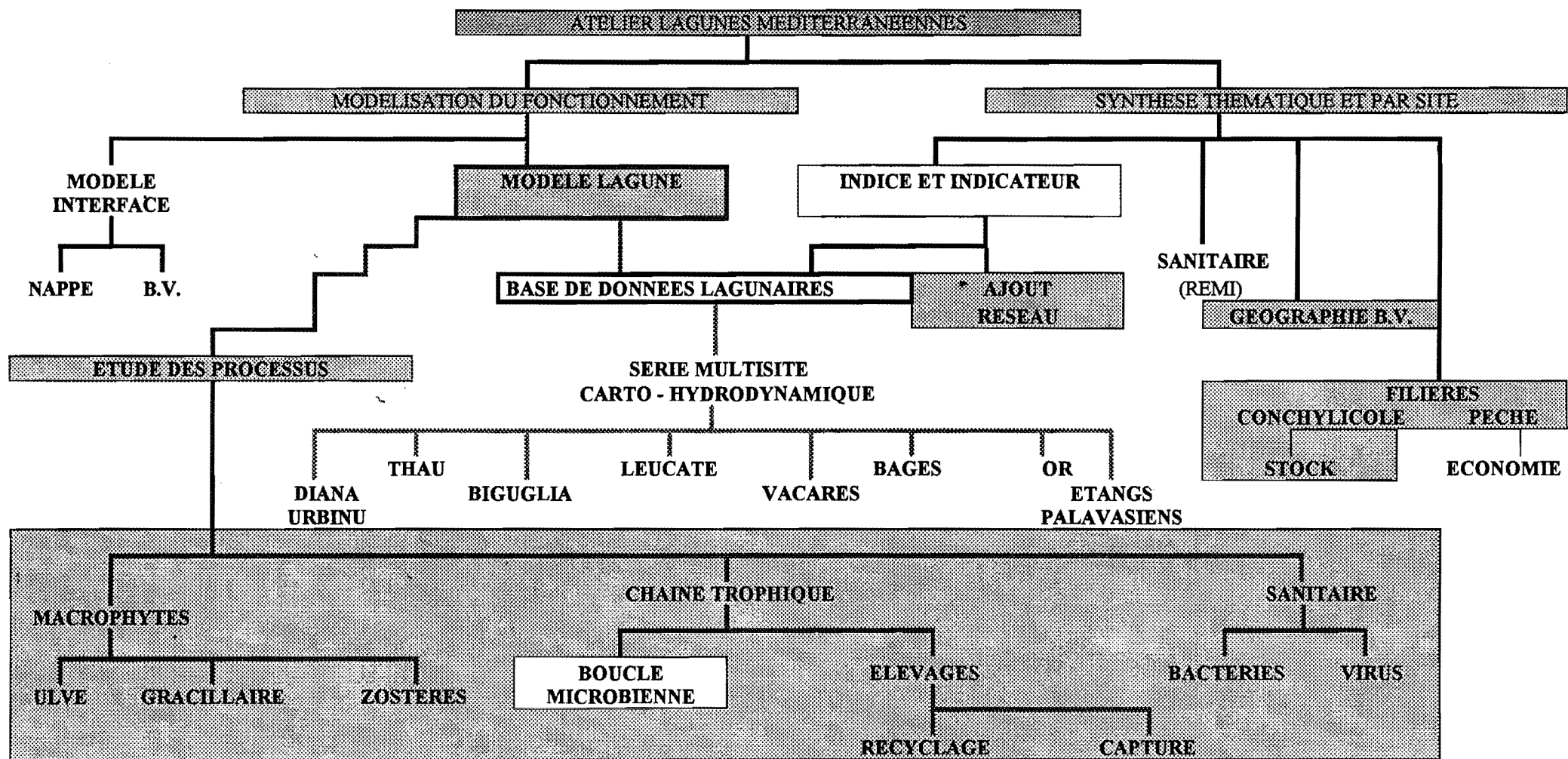


Figure 9 : organigramme du programme intégré sur les lagunes. En grisé : atelier « Lagunes Méditerranéennes » du PNOC

Les autres actions sont financées par l'Agence de l'Eau pour les indices et indicateurs, le CEPALMAR pour l'économie, IFREMER et le CNRS pour la boucle microbienne et les contrats de Plan et de Baie pour les bassins versants et les nappes phréatiques.

Bibliographie.

- Anonyme, 1987. méthodologie pour l'aménagement du domaine lagunaire méditerranéen sur des bases biologiques. Rapport CEMAGREF pour la secrétariat d'état à la mer : 109 pp
- Anonyme, 1994. Recherche et indicateurs de niveau trophiques dans les lagunes méditerranéennes. Analyse bibliographique. Rapport CEMAGREF-IARE pour l'Agence de l'Eau RMC : 113 pp
- Barranguet C., 1994. Rôle des microphytes benthiques dans l'oxygénation de l'interface eau-sédiment de deux systèmes conchylicoles méditerranéens : Golfs de Fos, Etang de Thau. Doctorat de l'Université d'Aix-Marseille 2 : 215 pp
- Barranguet C., Alliot E., Plante-Cuny M.R., 1994. Benthic microphytic activity at two mediterranean shellfish cultivation sites with reference to benthic fluxes. *Oceanol. Acta*, 17(2) : 211-221
- Bird E.C.F., 1982. Changes on barriers and spits enclosing coastal lagoons. *Oceanol. Acta*, : 45 - 53
- Bird E.C.F., 1994 ; Physical setting and geomorphology of coastal lagoon. In « Coastal Lagoon Processes », Kjerfve B. ed., Elsevier Sciences Publishers, Elsevier Oceanography Series, 60 : 9-39
- Chapelle A., 1995. A preliminary model of nutrient cycling in sediments of a Mediterranean lagoon. *Ecological Modelling*, 80 : 131-147
- Chapelle A., Mesnage V., Mazouni N., Deslous-Paoli J.M., Picot B., 1994. Modélisation des cycles de l'azote et du phosphore dans le sédiment d'une lagune soumise à une exploitation conchylicole. *Océanol. Acta*, 17(6) : 609-620
- Chrétiennot-Dinet M.J., Courties C., Vaquer A., Neveux J., Claustre H., Lautier J., Machado C., 1995. A new marine picoeucaryote : *Ostreococcus tauri* gen. et sp. nov. (Chlorophyta, Prasinophyceae). *Phycologia*, 34 : 285-292
- Corre J., 1970. La méthode des transects dans l'étude de la végétation littorale. *Bull. Acad. Soc. lorr. Sci.*, 9(1) : 59-79
- Courties C., Vaquer A., Troussellier M., Lautier J., Chrétiennot-Dinet M.J., Neveux J., Machado C., 1994. Smallest eukaryotic organism. *Nature*, 370 : 255
- Desenclos J.-C., Klontz K.C., Wilder M.H., Nainan O.V., Margolis H.S., Gunn R.A. (1991) : A multivariate outbreak of hepatitis A caused by the consumption of raw oysters, *Am. J. Public Health*, vol .81, n° 10 : 1268-1272.
- Deslous-Paoli, Vaquer A., 1996. Interaction filtreurs - microorganismes : apport à l'analyse des systèmes et à la gestion des milieux côtiers. *Compte rendu d'activité de l'URM n°5 pour 1992-1995* : 86 pp
- Di Castri F., 1995. The chair of sustainable development. *Nature et Ressources*, 31(3) : 25-26
- Dupray E., Derrien A., and R. Pichon, 1995. Osmoregulation by trehalose synthesis in *Salmonella manhattan* after exposure to waste waters. *Letters in Applied Microbiology*, 20 : 148-151.
- Frisoni G.F., 1990. Les espaces lagunaires du Languedoc-Roussillon. *Connaissance et aménagement. Rapport IARE-Contrat de Plan Etat-Région (1984-1988)* : 95 pp
- Ghoul M., Minet J., Bernard T., Dupray E., Cormier M., 1995. Marine macroalgue as a source for osmoprotection for *Escherichia coli*. *Microb. Ecol.*, 30 : 171-181.
- Gourmelon M., 1995. Etude de la lumière visible comme facteur limitant de la survie d'*Escherichia coli* en milieu marin. Thèse de doctorat (Univ. Rennes), 142 p.
- Guélorget O., Michel P., 1976. Recherches écologiques sur une lagune saumâtre méditerranéenne, l'étang de Prévost (Hérault) - I Le milieu (95 p) - II Les peuplements benthiques (122 p). Thèse de spécialité USTL Montpellier.
- Guélorget O., Perthuisot J.P., 1983. Le domaine paralique : expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Presses Ecole Nationale Supérieure* 16 : 136 pp
- Kjerfve B., 1994. Coastal lagoons. In « Coastal Lagoon Processes », Kjerfve B. ed., Elsevier Sciences Publishers, Elsevier Oceanography Series, 60 : 1-8
- Lamy N., 1996. Organisation, structure et dynamique des peuplements macrobenthiques d'une table conchylicole de l'étang de Thau (Hérault, France). Thèse de doctorat, Univ. Montpellier II : 292 pp

- Leborgne H., 1995. Modèle : étang de Thau. DEA Océans option physique et dynamique, Univ. de Brest : 20 pp
- Levins *et al* 1995, New resurgent disease : the failure of attempted eradication. *The Ecologist*. **25** : 21-26
- Loewen P.C. and Hengge-Aronis R., 1994 . The role of sigma factor σ^S (Kat f) in bacterial global regulation. *Annu. Rev. Microbiol.*, **48**: 53-80.
- Martin L., Landin Dominguez J.M., 1994. Geological history of coastal lagoon. In « Coastal Lagoon Processes », Kjerfve B. ed., Elsevier Sciences Publishers, Elsevier Oceanography Series, 60 : 41-68
- Mazouni N., Gaertnet J.C., Deslous-Poli J.M., Landrein S., Geringer d'Odenberg M., 1996. Nutrient and oxygen exchanges at the sediment water interface in shellfish farming lagoon. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 203(2) : sous presse
- Mc Cann M.P., Kidwell J.P., Matin A., 1991. The putative factor Kat F has a central role in development of starvation-mediated general resistance in *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.*, **173** : 4188-4194.
- McMichael A, J, 1993. Planetary overload : Global Environment Change and Health of human species. Cambridge Univ. Press, Cambridge
- Meinesz A., Cuvelier M., Laurent R., 1981. Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de phanérogames marines. Leurs applications sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Vie Milleu*, 31(1) : 27-34
- Ménesguen A., 1996. Eutrophisation des écosystèmes côtiers et cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore. Rapport de synthèse du PNOC 1992/1995 : 25pp
- Munro P.M., Clément R.L., Flatau G.N. and Gauthier M.J., 1994. Effect of thermal, oxidative, acidic, osmotic, or nutritional stresses on subsequent culturability of *Escherichia coli* in seawater. *Microb. Ecol.*, **27** : 57-63.
- Payment P, L Richardson, J Siemiatycki, R Dewar, M Edwards and E Franco 1991, A randomized trial to evaluate the risk of gastrointestinal disease due to consumption of drinking water meeting currently accepted microbiological standards. *Amer.J.Publi. Health*, **81** : 703-708
- Philomena A. L., 1994. Money and energy analysis of coastal lagoon resources. . In « Coastal Lagoon Processes », Kjerfve B. ed., Elsevier Sciences Publishers, Elsevier Oceanography Series, 60 : 535-551
- Plus M., 1996. Développement d'un modèle de croissance des herbiers à zostères de l'étang de Thau (Hérault, France). DEA Européen en modélisation de l'Environnement Marin, Univ. de Liège, Belgique : 28 pp
- Pontefract R. D., Bishaf F. R., Hockin J., Bergeron G., Parent R. (1993) : Norwalk- like viruses associated with a gastroenteritis outbreak following oyster consumption. *J. of Food Protect.*, **56**, n° 7 : 604-607.
- Postma H., 1994. Future of research in coastal lagoons. In « Coastal Lagoon Processes », Kjerfve B. ed., Elsevier Sciences Publishers, Elsevier Oceanography Series, 60 : 553-561
- Reeve C.A., Amy P.S. et Matin A., 1984. Role of protein synthesis in the survival of carbon-starved *Escherichia coli* K-12. *J. Bacteriol.*, **160**, 1041-1046.
- Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 1-Orientations fondamentales, mesures opérationnelles et modalités de mise en oeuvre, Imprimerie Nationale : 120pp
- Sfriso A., Pavoni B., Marcomini A., Orio A.A., 1988. Annual variations of nutrients in the lagoon of Venice. *Mar. Pollut. Bull.*, 19(2) : 54-60
- Smith V.S., Atkinson M.J., 1994. Mass balance of nutrient fluxes in coastal lagoons. In « Coastal Lagoon Processes », Kjerfve B. ed., Elsevier Sciences Publishers, Elsevier Oceanography Series, 60 : 133- 155
- Vaulot D., Frisoni G.F., 1986. Phytoplanktonic productivity and nutrients in five mediterranean lagoons. *Oceanol. Acta*, 9(1) : 57-63
- Who European Centre for Environment and Health, 1994, Environmental Health for All. ed. D Breuer. Danemark
- Xu Z.H., Li Z.H., Wang J.X., Xiao Z.P., Dong D.X. (1992) : Ecology and prevention of a shellfish-associated hepatitis A epidemic in Shangai, China. *Vaccine*, vol. 10, suppl.1, S67-S68.

PARTICIPANTS

- Centre de Recherche Ecologie Marine et Aquaculture, Laboratoire mixte IFREMER-CNRS, BP 5, 17137 L'HOUMEAU
- Ecole Nationale de la Santé Publique ENSP, Département Environnement et Santé, 2 avenue Pr Léon Bernard, 35043 RENNES CEDEX
- Fondation Océanographique Ricard, Ile des Embiez, 83140 SIX FOURS
- IFREMER - DEL Laboratoire Côtier, 1 rue Jean Vilar, BP 171, 34203 SETE CEDEX
- IFREMER - DEL Laboratoire Ecologie, 1 rue Jean Vilar, BP 171, 34203 SETE CEDEX
- IFREMER - DEL, Laboratoire Chimie et Modélisation des Cycles Naturels, B.P. 70, 29280 PLOUZANÉ
- IFREMER - DEL, Laboratoire de Microbiologie, B.P. 1105, 44311 NANTES CEDEX 03
- IFREMER - DEL, Laboratoire Hydrodynamique et Sédimentologie, B.P. 70, 29280 PLOUZANÉ
- IFREMER - DEL, Laboratoire Microbiologie, B.P. 70, 29280 PLOUZANÉ
- IFREMER - DRV, Laboratoire Ecologie Halieutique, 1 rue Jean Vilar, BP 171, 34203 SETE CEDEX
- IFREMER - DRV, Laboratoire Mathématiques appliquées à l'exploitation des ressources halieutiques et aquacoles, B.P. 1105, 44311 NANTES CEDEX 03
- IFREMER - DRV, Laboratoire Ressources Halieutiques Côtier 1 rue Jean Vilar, BP 171, 34203 SETE CEDEX
- IFREMER - DRV, Station expérimentale d'aquaculture, 34250 PALAVAS LES FLOTS
- Laboratoire de Microbiologie Pharmaceutique, UER Médicales et Pharmaceutiques, Avenue du Professeur L. Bernard, 35043 RENNES
- PERFORMANCE, le Thélème, 500 rue Léon Blum, 34000 MONTPELLIER
- SMNLR, Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon, 1 quai philippe Régy, 34000 SETE
- Station Biologique de la Tour du Valat, le Sambuc, 13200 ARLES
- Université Blaise Pascal, URA CNRS 1944, Biologie Comparée des Protistes, 63177 AUBIERE CEDEX
- Université d'Aix-Marseille II, Centre Océanologique de Marseille, rue de la Batterie des Lions, 13007 MARSEILLE
- Université d'Aix-Marseille II, Centre Océanologique de Marseille, Campus de Luminy, case 901, 13288 MARSEILLE CEDEX 9
- Université de Corté, Faculté des Sciences, Equipe Ecosystème Littoraux, BP 52, 20250 CORTE
- Université de Montpellier I, Centre d'Etude et Projet, Richter, av. de la mer, BP 9606, 34054 MONTPELLIER CEDEX 1
- Université de Montpellier II, Laboratoire d'hydrobiologie Marine et Continentale, UMR 6505, Place E. Bataillon, 34095 MONTPELLIER CEDEX 05
- Université de Montpellier II, Laboratoire de Cryptogamie, Place E. Bataillon, 34000 MONTPELLIER
- Université de Paris VI, Laboratoire Arago, 66650 BANYULS-SUR-MER
- Université Nancy I, Faculté de Pharmacie, Département de Microbiologie, 5 rue A. Lebrun, 54000 NANCY

Planification financière

THEMES	ACTEURS	1997	1998	1999	2000	TOTAL	
I - Coordination Restitution finale Accessibilité des résultats synthèse diffusion aux utilisateurs	DEL Sète	80	50	50	100	280	
	DEL Sète				150	150	
	DEL Sète	40	40	40		120	
	DEL Sète - Performance		50	100	100	250	
<i>TOTAL</i>		120	140	190	350		
II - Modélisation et Processus <i>Réseau trophique</i> Modèle Modèle biologique Modèle physique Processus interne Macrophytes (dynamique) Macrophytes (physiologie) Microphytes Consommation filtreurs Elevages conchylicoles Halieutique Palourdes Poissons Relation avec l'extérieur Sédiment (transferts verticaux) Echanges avec la mer Géographie des activités <i>Microbiologie sanitaire</i> Etude sur sites Ecosystèmes Survie Contamination virale Modélisation Mécanisme de survie Etude du stress Pouvoir pathogène Survie des virus	DEL Brest - DRV Nantes	80	150	170	180	580	
	DEL Brest - SMNLR	50	50	50	50	200	
	COM - Univ. Corté - Tour du Valat	150	180	180	40	550	
	Tour du Valat	60	80	100	50	290	
	CREMA L'Houmeau - COM		40	70	50	160	
	DRV Palavas- DEL Sète - CREMA L'Houmeau	80	50	50	50	230	
	DRV GIE Palavas - U.M.I CEP	60	40	40	40	180	
	DRV Sète - U.M.I CEP	100	80			180	
	DRV Sète - Tour du Valat	80	80	80	50	290	
	COM - DEL Sète			110	120	90	320
	DEL Brest - Univ. Montp. II en cours de définition			100	100		200
				70	90	100	260
	U. M. II - Paris VI. Arago	80	100	100	50	330	
	U. M. II - DEL Brest	80	80	50	50	260	
	DEL Nantes	100	100	100	50	350	
	Inst. Océanogr. Ricard	100	80	80	150	410	
	DEL Brest	120	120	80	80	400	
	U. M. II - UER Rennes	160	160	160	100	580	
	Univ. Nancy I	100	100	80	80	360	
	<i>TOTAL</i>		1400	1770	1700	1260	
III - Economie Réflexion couplage	?	60				60	
<i>TOTAL</i>		60					
IV - Complément aux réseaux Analyses et matériels Base de donnée	U. M. II - Univ. Clermont	630				630	
	U. M. II		50	50	50	150	
<i>TOTAL</i>		630	50	50	50		
TOTAL en KFHT		2210	1960	1940	1660	7770	

COM : Univ. Aix-Marseille II, Centre Océanologique de Marseille DEL : IFREMER Direction de l'Environnement Littoral

DRV : IFREMER Direction des Ressources Vivantes

U. M. I, CEP : Univ. de Montpellier I, Centre d'Etude et Projet

U. M II : Université de Montpellier II

Priorité attribué aux actions :

Priorité 0 : action I - Coordination

Priorité 1 : action II - Modélisation et Processus

Priorité 2 : action IV - Complément aux réseaux

Priorité 3 : action III - Economie

Nous rappelons que l'action II - modélisation et processus correspond au regroupement de deux thèmes distincts, réseaux trophiques et microbiologie sanitaire qui chacun constituait un thème du PNOC phase I.