

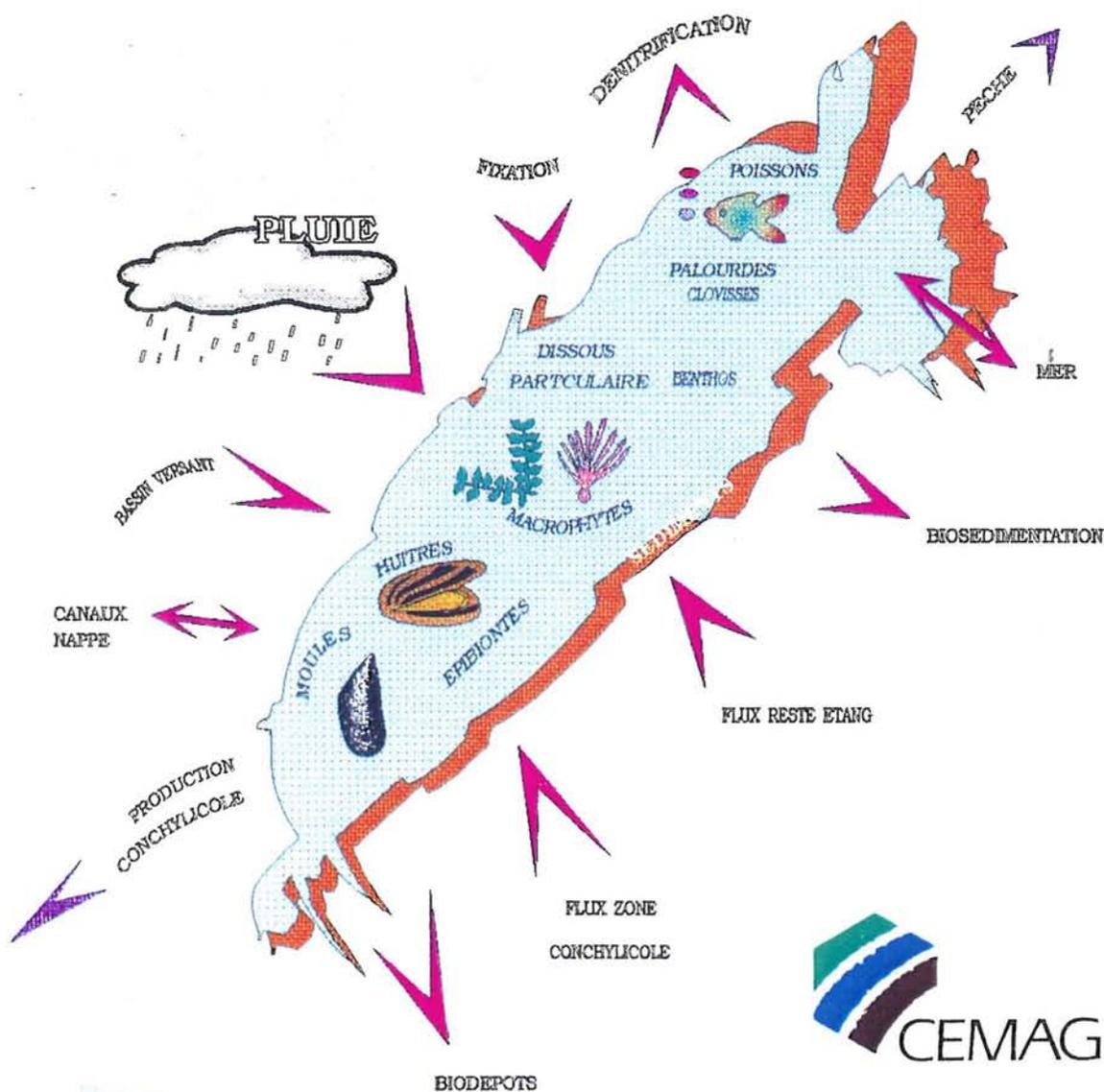
**CONTRAT DE PLAN**

**ETAT-REGION LANGUEDOC-ROUSSILLON**

Recherche et transfert technologique-Volet Aménagement régional et Environnement.  
Action 3.4.6. Thème II: Gestion intégrée des étangs littoraux.

**BILAN DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE DANS LE SYSTEME**

**LAGUNE - BASSIN VERSANT DE THAU**



**BILAN DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE DANS LE SYSTEME**

**LAGUNE-BASSIN VERSANT DE THAU**

**PICHOT P., XIMENES M.C., DESLOUS-PAOLI J-M., JUGE C.**

# INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA Mer

Adresse:

**IFREMER**  
1, rue Jean Vilar  
34200 SETE

LABORATOIRE ECOLOGIE

EQUIPE ECOLOGIE CONCHYLICOLE

<p><b>AUTEURS:</b>  <b>PICHOT P.<sup>1</sup>, XIMENES M.C.<sup>2</sup>, DESLOUS-PAOLI J.M.<sup>1</sup> et JUGE C.<sup>1</sup>.</b>                  1-IFREMER Ecologie conchylicole Sète.                  2-CEMAGREF Groupement de Montpellier                  361, rue J.F. Breton - B.P. 5095                  34 033 Montpellier Cedex 1</p>	<p><b>CODE:</b>  <b>R. INT. DEL/94.11/SETE</b></p>
<p><b>TITRE:</b>  <b>Bilan de l'azote et du phosphore dans le système bassin versant-lagune de Thau.</b></p>	<p><b>DATE: Octobre 1994</b>                  Nb tirage : 100                  Nb pages : 84                  Nb figures : 9                  Nb photos :</p>
<p><b>CONTRAT:</b>  <b>Plan Etat-Région Languedoc-Roussillon</b></p>	<p><b>DIFFUSION:</b>                  Libre <input checked="" type="checkbox"/>                  Restreinte <input type="checkbox"/>                  Confidentielle <input type="checkbox"/></p>

**RESUME:**

L'établissement de bilans est indispensable pour comprendre le fonctionnement d'une lagune. A partir des données bibliographiques disponibles, les termes du bilan en azote et phosphore ont été établis en faisant ressortir, compte tenu de l'hétérogénéité de l'information, la nature et la qualité des données. L'ensemble des grandes masses en jeu a été pris en compte : stocks dans l'eau et dans les sédiments, flux entre l'étang et l'extérieur, relations entre les divers stocks.

Dans la mesure du possible les données recueillies ont été présentées sous forme annuelle et saisonnière. Par ailleurs, on a tenté d'identifier séparément la zone conchylicole et le reste de l'étang afin de faire ressortir les spécificités de chaque zone.

Ce travail permet d'apporter un premier éclairage sur les orientations à envisager en matière de gestion de la lagune et met en évidence les études prioritaires ou complémentaires à développer.

**ABSTRACT:**

General survey is required to understand the operating conditions of a lagoon. From the available bibliographic data the terms of the balance in Nitrogen and Phosphorus have been drafted by bringing out the nature and the quality of the data, considering the information heterogeneousness. The great masses have been taken into account : stocks in water and sediments, fluxes between lagoon and exterior, exchanges between the various stocks.

As far as possible the collected data have been set out yearly and seasonally. Moreover we tried to identify the shell-fish culture area and the rest of the lagoon separately in order to bring out the specificities of each area.

This work offers a first clarification on the trends regarding the lagoon control and gives prominence to the priority or supplementary studies to be developed.

**MOTS-CLES :** Méditerranée, Etang de Thau, azote, phosphore, stocks, flux

**KEY-WORDS :** Mediterranean, Lagoon of Thau, Nitrogen, Phosphorus, stocks, fluxes



Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

Siege social: 155, rue Jean-Jacques Rousseau, 92138 Issy-les Moulineaux Cedex.

Tel. (1) 46 48 21 00 - Telex 631 912

## SOMMAIRE

AVANT PROPOS .....	1
<b>Bilan de l'azote et du phosphore dans le système lagune-bassin versant de Thau</b>	
<b>1 INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>2 LE SCHEMA, LA VENTILATION.PAR.ZONES ET PAR PERIODES .....</b>	<b>11</b>
<b>3 ECHANGES DE L'ETANG AVEC L'EXTERIEUR .....</b>	<b>12</b>
3.1 Bases bibliographiques.....	12
3.1.1 Bassin versant.....	12
3.1.2 Pluies .....	13
3.1.3 Nappes, résurgences, canaux.....	13
3.1.4 Echanges avec la mer.....	13
3.1.5 Fixation atmosphérique et dénitrification .....	13
3.2 Evaluations .....	14
3.2.1 Apports du bassin versant et des pluies.....	14
3.2.2 Nappes.....	14
3.2.3 Mer .....	14
3.2.4 Dénitrification .....	14
<b>4 LE COMPARTIMENT DISSOUS: les sels nutritifs .....</b>	<b>16</b>
4.1 Bases bibliographiques.....	16
4.2 Evaluations .....	16
4.2.1 Répartition temporelle.....	16
4.2.2 Répartition spatiale .....	18
<b>5 LE COMPARTIMENT PARTICULAIRE GLOBAL.....</b>	<b>20</b>
5.1 Bases bibliographiques.....	20
5.2 Evaluation de l'azote et du phosphore.....	21
5.3 Sédimentation générale.....	21
<b>6 LE PHYTOPLANCTON .....</b>	<b>23</b>
6.1 Biomasses.....	23
6.1.1 Bases bibliographiques.....	23
6.1.2 Evaluations.....	25
6.2 Stocks d'azote et de phosphore.....	26
6.2.1. Bases bibliographiques.....	26
6.2.2. Evaluations.....	26
6.3 Production primaire.....	27
6.3.1 Biomasse.....	27
6.3.1.1 Bases bibliographiques.....	27
6.3.1.2 Evaluation.....	27
6.3.2 Contenu en azote et en phosphore .....	28
6.3.2.1 Bases bibliographiques.....	28
6.3.2.2 Evaluation.....	28

<b>7 LE ZOOPLANCTON.....</b>	<b>30</b>
7.1 Bases bibliographiques .....	30
7.2 Evaluations .....	30
<b>8 LE COMPARTIMENT BENTHIQUE .....</b>	<b>32</b>
8.1 Stocks sédimentaires.....	32
8.1.1 Eléments bibliographiques .....	32
8.1.2 Evaluations.....	32
8.1.2.1 Concentrations .....	32
8.1.2.2 Stocks.....	33
8.2 Flux des sédiments.....	34
8.2.1 Bases bibliographiques.....	34
8.2.2 Evaluations.....	35
8.2.2.1 Extrapolation à l'étang .....	35
8.2.2.2 Ventilation par saison .....	36
8.2.2.3 Impact conchylicole .....	36
8.3 Macrofaune benthique .....	36
8.3.1 Biomasses.....	36
8.3.1.1 Bases bibliographiques.....	36
8.3.1.2 Evaluations.....	37
8.3.2 Contenu en azote et en phosphore.....	38
8.4 Macroflore benthique.....	38
8.4.1 Biomasses.....	38
8.4.1.1 Bases bibliographiques.....	38
8.4.1.2 Evaluations .....	39
8.4.2 Conteneur en azote et en phosphore.....	39
8.4.2.1 Bases bibliographiques.....	39
8.4.2.2 Evaluations .....	40
<b>9 LA PRODUCTION CONCHYLICOLE.....</b>	<b>42</b>
9.1 Biomasses en élevage et productions commerciales .....	42
9.1.1 Biomasses.....	42
9.1.1.1 Bases bibliographiques.....	42
9.1.1.2 Evaluations.....	43
9.1.2 Stocks en azote et en phosphore.....	44
9.1.2.1 Bases bibliographiques.....	44
9.1.2.2 Evaluations .....	44
9.2 Biodépôts conchylicoles .....	46
9.2.1 Bases bibliographiques.....	46
9.2.2 Evaluations.....	47
9.3 Filtration.....	47
9.3.1 Bases bibliographiques.....	47
9.3.1.1 Huîtres.....	47
9.3.1.2 Moules .....	48
9.3.2 Evaluations.....	49
9.3.2.1 Volumes.....	49
9.3.2.2 Filtration des éléments particuliers .....	50

9.4 Excrétion.....	50
9.4.1 Bases bibliographiques.....	50
9.4.1.1 Huîtres.....	50
9.4.1.2 Moules.....	51
9.4.2 Evaluations.....	52
9.5 Déchets de détroquage.....	54
9.5.1 Bases bibliographiques.....	54
9.5.2 Evaluations.....	54
<b>10 PECHE.....</b>	<b>55</b>
10.1 Poissons.....	55
10.1.1 Biomasses.....	55
10.1.1.1 Bases bibliographiques.....	55
10.1.1.2 Evaluations.....	55
10.1.2 Stocks en azote et en phosphore.....	57
10.1.2.1 Bases bibliographiques.....	57
10.1.2.2 Evaluations.....	58
10.2 Coquillages.....	58
10.2.1 Biomasses.....	58
10.2.2 Evaluations.....	58
<b>11 LES BILANS.....</b>	<b>60</b>
11.1 Nature et qualité de l'information recueillie.....	60
11.2 Bilans annuel.....	63
11.3 Bilans saisonniers.....	66
11.4 Bilans sectoriels.....	67
14.4.1 Zone conchylicole.....	67
14.4.2 Autres secteurs.....	68
<b>12 CONCLUSION.....</b>	<b>69</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>71</b>

## AVANT PROPOS

De nombreux travaux ont été réalisés depuis le début du siècle sur la lagune de Thau. Au cours des dix dernières années les recherches se sont multipliées, s'orientant dans des voies diverses, mais souvent très complémentaires.

A partir des données bibliographiques disponibles, il a paru intéressant d'établir une synthèse des données concernant l'azote et le phosphore de la lagune et de son bassin versant, ceci en prenant en compte les grandes masses en jeu : stocks dans la colonne d'eau et dans les sédiments, flux entrants et sortants. Ce travail qui a comme objectif de dresser un bilan des travaux réalisés sur la lagune, permet également la collecte d'un certain nombre de données portant sur le recyclage de la matière interne à la lagune, notamment sur les interrelations existant entre l'élevage des coquillages et les concentrations d'azote et de phosphore dans l'eau ou les sédiments. Par ailleurs, on a tenté d'identifier séparément la zone conchylicole (un cinquième de la surface du bassin) et le reste de la lagune, afin de faire ressortir les spécificités de chacune des deux zones.

La description de l'ensemble des stocks ou des flux a permis de mettre en évidence les acquis mais surtout d'identifier les éléments manquants ou les compartiments qui pourraient faire l'objet d'études plus approfondies permettant d'apporter des réponses appropriées sur la plan de la gestion de la lagune.

Les données recueillies sont synthétisées sous forme de bilan annuel et, dans la mesure où les informations sont disponibles, sous forme de bilans saisonniers.

Ce travail ne prend pas en compte les données acquises dans le cadre du programme OXYTHAU (1991-1995) dont la problématique s'articule autour des recyclages et des échanges verticaux entre les stocks de carbone, azote et phosphore de l'écosystème de la lagune Thau. Cependant, ce travail servira de base à la définition d'un bilan dynamique de la lagune de Thau, préliminaire à la modélisation qui doit être réalisée dans le cadre du programme PNOC-OXYTHAU.

## **Bilan de l'azote et du phosphore dans le système lagune-bassin versant de THAU**

### **1- INTRODUCTION**

Le milieu aquatique peut être considéré comme une solution nutritive dont la composition influence l'ensemble des organismes qui y vivent, mais qui est à son tour modifié par leurs prélèvements, excrétion et décomposition. Pratiquement tous les bio-éléments connus existent dans les eaux mais l'azote et le phosphore, qui constituent les principaux éléments nutritifs utilisés par les organismes vivants, sont souvent considérés comme des facteurs potentiellement limitants. C'est la plus ou moins grande quantité disponible de ces deux éléments ou d'un seul d'entre eux qui, en présence de lumière, favorisera ou limitera la croissance de la biomasse d'où l'intérêt qu'ils suscitent lorsque l'on s'attache à comprendre le fonctionnement d'un écosystème et en particulier celui d'une lagune.

#### **Le cycle simplifié des éléments nutritifs**

Dans les milieux aquatiques, le comportement des éléments nutritifs est schématisé par ce que l'on nomme leur cycle biogéochimique, notion théorique partant du constat que les quantités totales d'éléments chimiques, telle par exemple la quantité d'azote présente dans la nature, sont quasiment constantes et que ces éléments reviennent à leur état préexistant après avoir transité sous diverses formes chimiques au cours de leurs cycles. En l'absence de toute régénération des formes nutritives primitives la vie serait rapidement arrêtée faute de nourriture. Les échanges de ces éléments s'effectuent par deux voies principales : l'une, biologique, caractérisée par un import et un export représentés respectivement par l'assimilation et l'excrétion ; l'autre, géochimique, caractérisée également par des apports, entrées d'eau douce ou marine par exemple, et des exports, sorties d'eaux marines ou pertes sous forme gazeuse notamment.

## Le cycle biologique

Les végétaux, phanérogames, macroalgues et phytoplancton constituent l'élément de base de la vie marine. Les principaux facteurs nécessaires à leur développement sont l'énergie solaire et les sels minéraux.

Les pigments contenus dans ces végétaux permettent, en effet, l'utilisation de l'énergie lumineuse pour assurer l'assimilation du carbone.

Cependant certains autres éléments et principalement l'azote et le phosphore sont indispensables, comme nutriments, au développement des végétaux marins. Ces éléments, que l'on nomme encore sels nutritifs, sont présents dans l'eau sous diverses formes minérales, nitrate, nitrite ou ammonium dans le cas de l'azote et phosphate dans le cas du phosphore.

Cette matière organique se transfère ensuite de maillon en maillon dans la chaîne alimentaire pour assurer l'entretien et le développement des animaux qui absorberont les éléments phytoplanctoniques (zooplancton, poissons herbivores, etc.) et, indirectement, ceux des poissons ou autres animaux marins qui se nourriront d'organismes herbivores.

A chaque niveau cependant, un retour partiel de ces éléments nutritifs sous leur forme minérale, notamment ammonium et phosphate, s'effectue vers le milieu par le biais de l'excrétion. En outre, cette excrétion s'effectue également sous formes organiques particulières et dissoutes qui s'ajoutent à celles qui proviennent de la décomposition de l'ensemble des organismes marins.

Ces formes organiques ainsi qu'une grande partie du phytoplancton, qui ne sont pas consommées par les herbivores pélagiques, ou qui ne sont pas utilisées par les animaux benthiques, sont alors dégradées par l'action des bactéries. L'activité des bactéries hétérotrophes consiste, en effet, à utiliser la matière organique du milieu comme source de nourriture et d'énergie. Au cours de ce processus la matière organique est minéralisée. L'action bactérienne aboutira finalement à la régénération des formes minérales primitives notamment à la formation d'ammonium et de phosphate. La figure 1 schématise le cycle biologique simplifié de ces éléments nutritifs.

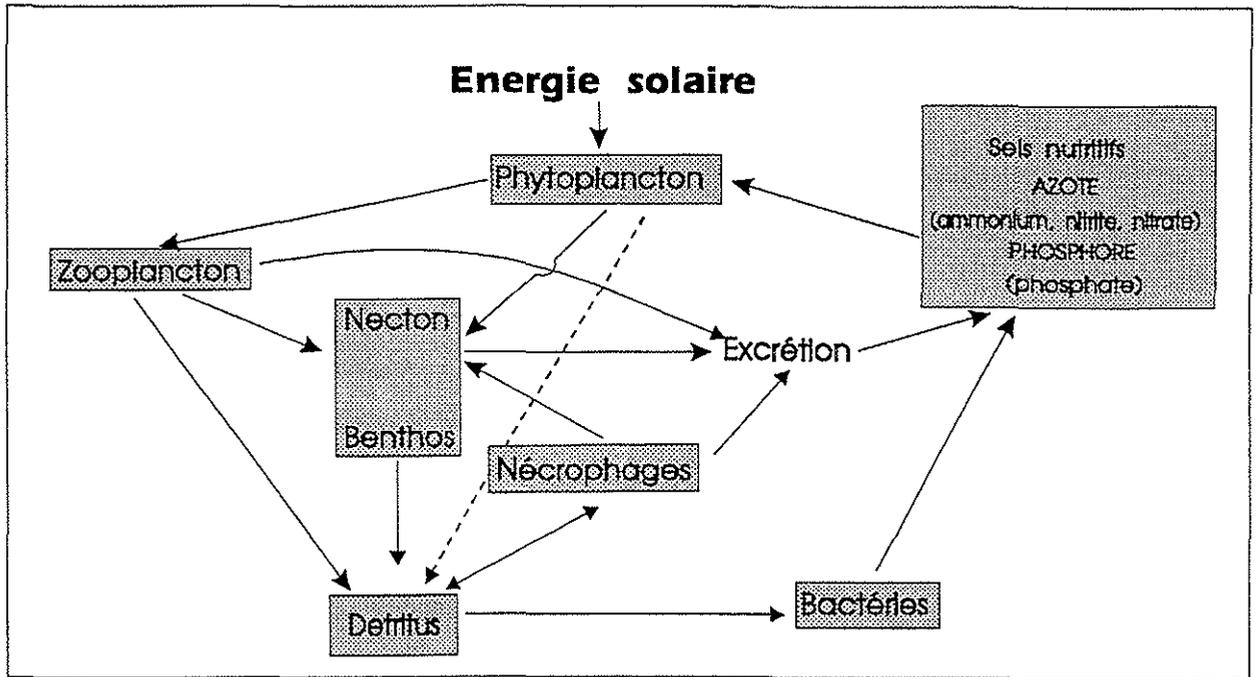


Figure 1: Cycle biologique simplifié des éléments nutritifs

### Le cycle géochimique

Le cycle géochimique est un cycle ouvert, s'exprimant sous la forme d'un flux provenant de l'extérieur et qui se branche sur le cycle précédent. Les apports sont représentés par les quantités d'éléments chimiques amenées par la fixation des éléments présents dans l'atmosphère, par les précipitations, les apports d'eau douce d'origines multiples (nappe phréatique, cours d'eau, eaux de ruissellement ...etc.), ceux d'eaux marines s'effectuant par les "graus" et enfin par les éléments provenant du sédiment. Les pertes proviennent essentiellement de l'exploitation humaine (pêche, aquaculture) mais lors des échanges avec la mer.

Des différences importantes existent entre les cycles biogéochimiques de l'azote et du phosphore.

Le cycle de l'azote comporte une phase gazeuse : l'azote de l'air se dissout dans l'eau. La capture d'azote gazeux est le fait d'algues cyanophycées et de bactéries phototrophes, les échanges de la phase minérale dissoute avec la phase gazeuse dissoute se passant, quant à eux, en milieu anaérobie sous l'effet de bactéries dénitrifiantes.

Le cycle du phosphore comporte une phase adsorbée sur le matériel particulaire et sédimentaire : les sédiments se comportent comme accumulateur de phosphore dans des conditions oxydantes normales et peuvent par contre relarguer des quantités importantes de cet élément si le milieu devient réducteur, principalement dans des conditions d'anoxies, situation que l'on rencontre assez fréquemment dans les lagunes méditerranéennes lors de crises dystrophiques estivales appelées localement "malaïgues".

La vitesse de reminéralisation du phosphore organique est plus rapide que celle de l'azote organique : la reminéralisation bactérienne de l'azote s'effectue en plusieurs étapes, catalysées par des bactéries, alors que des enzymes peuvent agir rapidement lors de la décomposition des algues phytoplanctoniques permettant la libération de phosphate dans le milieu.

## Le bassin de Thau : ses principales caractéristiques

Le bassin de Thau est principalement caractérisé par la présence de la lagune, le plus grand et le plus profond des plans d'eau littoraux du Languedoc. Thau est également l'un des premiers centres français en matière de conchyliculture et le secteur le plus important de production d'huîtres et de moules de la façade méditerranéenne française. Les 2500 "tables" sur lesquelles se pratiquent l'élevage en suspension de ces mollusques occupent un cinquième de sa superficie.

Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par une longue durée d'insolation, des températures élevées l'été, douces l'hiver (fig.2). Les précipitations, très variables d'une année sur l'autre (200 à 1000 mm par an), surviennent essentiellement en octobre-novembre et en février-mars, lors de courts épisodes pendant lesquels la pluie tombe de façon soudaine et intense.

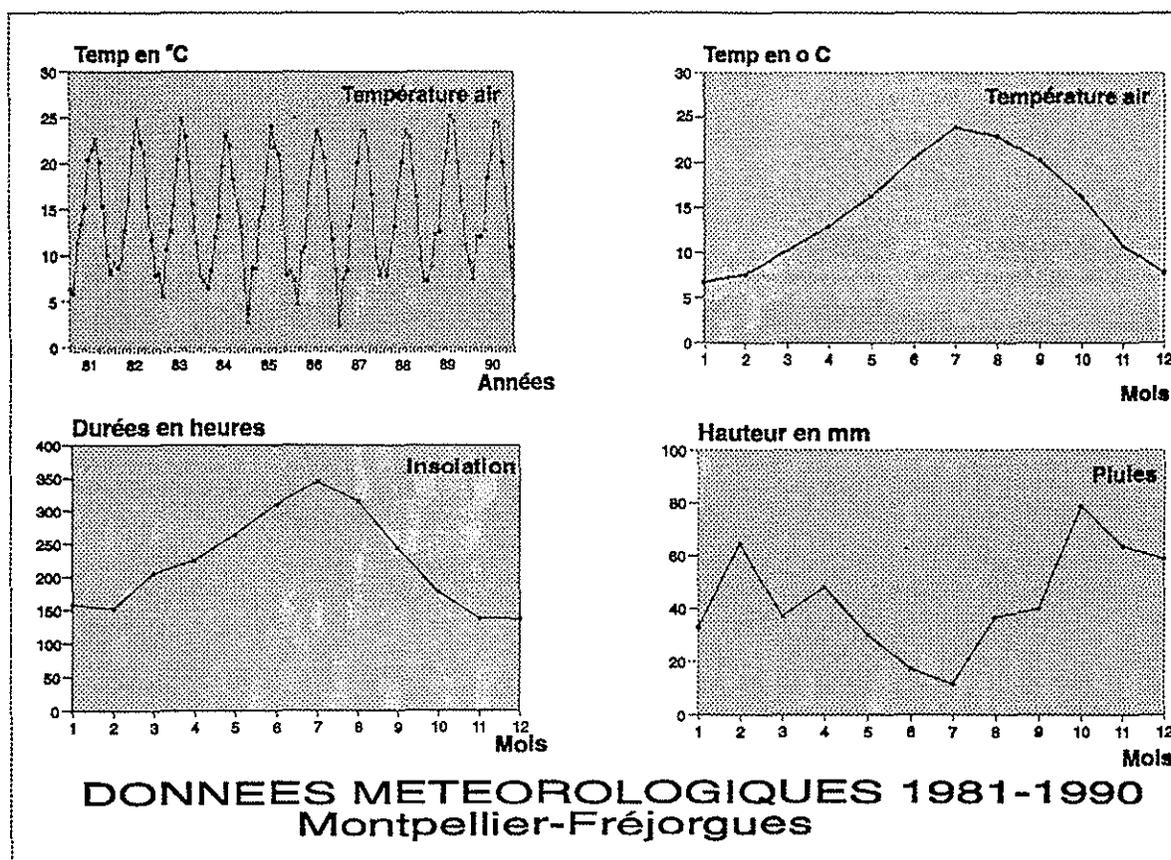


Figure 2

Le bassin versant (fig 3), qui culmine à 250-300 mètres, est drainé par des cours d'eau de taille modeste (3 à 12 km de long). Ces ruisseaux ont un régime très irrégulier voire intermittent. Seuls deux d'entre eux, le Pallas et la Vène coulent en permanence. Leurs eaux sont fortement minéralisées, en raison des terrains argileux qu'ils traversent, et sont chargées en matière organique. Relativement urbanisé, ce bassin voit sa population doubler l'été avec l'afflux touristique. Une grande partie de sa superficie est occupée par la viticulture qui constitue la principale activité agricole .

Au niveau de la lagune s'ajoutent, aux apports de ces tributaires, les eaux des canaux de navigation : le canal du Midi, au sud-est, qui communique avec l'Hérault à Agde et le canal du Rhône à Sète, au nord-est, qui met en communication Thau avec l'étang d'Ingril. Il faut également signaler l'existence d'une source sous-marine, la Vise ou Bise, qui débouche au nord de la lagune au fond d'un entonnoir situé par 30 mètres de fond et dont le débit est de l'ordre de 300 litres par seconde.

Au sud-est du bassin, un cordon littoral sableux, édifié entre le mont Saint-Clair et la colline d'Agde, sépare la lagune de la Méditerranée. Ce cordon est entaillé par des ouvertures ou "graus" : le "grau" de Pisses-Saumes à l'extrémité sud du bassin et le canal des Quilles à l'ouest de Sète. Ces "graus" mettent la lagune en liaison directe avec la mer ; l'essentiel des échanges mer-lagune se fait cependant par l'intermédiaire des canaux du port de Sète.

Le vent joue un rôle prépondérant dans ces échanges : les vents de terre, dominants, favorisent l'évacuation des eaux lagunaires vers la mer, les vents de sud et de sud-est entraînant une entrée des eaux marines.

La lagune proprement dite est subdivisée en deux bassins. L'"étang" des Eaux Blanches, le plus petit avec 560 hectares, se situe au débouché immédiat des canaux de Sète. Sa profondeur n'excède pas 6 mètres, exception faite le long du chenal maritime creusé à 8 mètres environ. Le second bassin, nommé "Grand Etang", avoisine 6440 hectares et peut être divisé en trois secteurs :

- la Crique de l'Angle au nord-est peu profonde (1 à 4 mètres) qui reçoit les eaux de la Vène et de la source sous-marine de la Vise,
- le secteur est entre les ports de Bouzigues et de Mèze est le plus profond de l'étang ; ses fonds peuvent atteindre 10 mètres. C'est dans ce secteur que se situe la première zone des parcs conchylicoles : la zone A est la plus productive.

- le secteur ouest, au delà de Mèze, dont la profondeur décroît jusqu'à Marseillan ; elle est en moyenne de 3 mètres, et ne dépasse pas 5 mètres. Deux ensembles d'établissements conchylicoles occupent une grande partie de ce secteur (800 hectares. environ) : la zone B au nord-est de la pointe de Montpénèdre, la zone C qui s'étend entre cette pointe et Marseillan.

Les caractéristiques hydrologiques permettent de distinguer deux époques principales dans le cycle annuel : une époque hivernale allant d'octobre à mars où la température de l'eau est inférieure, en moyenne, à 15 °C ; une époque estivale, d'avril à septembre, où la température est supérieure à 15 °C. En avril et octobre, périodes de transition, les températures de l'air, de l'eau de la lagune et de la mer sont identiques et voisines de 15 °C. La fiche signalétique ci-jointe fournit les principales données de cet ensemble géographique.

Pour les calculs, les surfaces sont généralement arrondies:

Surface de l'étang: 7 500 ha

Surface hors zone conchylicole: 6 200 ha

Surface zone conchylicole: 1 300 ha

Zone A: 550 ha

Zone B: 450 ha

Zone C: 300 ha

## Le bassin Versant

Superficie: 285 km<sup>2</sup>

Population permanente: 60 000 habitants

Population saisonniere : 80 000 habitants

## Donnees météorologiques

moyennes annuelles(1981-1990), relevees à Fréjorgues.

Température de l'air	: 14,68 °C (s=6-12 °C)
Insolation	: 2 664 heures
Rayonnement	: 46 941 J/cm <sup>2</sup>
Pluies	: 522 mm.
Vent	: 4,5 m/s

## L'étang

*Caractéristiques physiques.*

Longueur : 19,5 km

Largeur : 4,5 km

Superficie totale : 7 500 ha

Profondeur moyenne : 4,0 m

Volume total : 300 millions de mètre-cubes.

Longueur de rives: 63 km

*Zones conchylicoles.*

Surface hors zones conchylicoles : 6 200 ha

Surface zones conchylicoles : 1 324 ha

Surface zone A : 550 ha

zone B : 460 ha

zone C : 314 ha

Surface tables : 150 ha ( 1 table=600 m<sup>2</sup> ).

Nombre de tables utilisées: 2 500

Surface couloirs : 1 174 ha

*Données hydrologiques.*

(Moyennes lfremer 1974-1980)

Température de l'eau (moyenne)

Annuelle : 14,99 °C

Hiver (oct.-mars) : 9,78 °C

Ete (avril-septembre): 19,33 °C

Mensuelle minimale (février): 4 °C

maximale (août) : 29,5 °C

Salinité (moyenne)

Annuelle : 36 ‰

Mensuelle minimale (février): 27 ‰

maximale (août) : 40 ‰

## 2- LE SCHEMA : LA VENTILATION PAR ZONES ET PAR PERIODES

La figure 4 représente les principaux facteurs qui seront pris en compte pour établir le bilan de l'azote et du phosphore de la lagune de Thau.

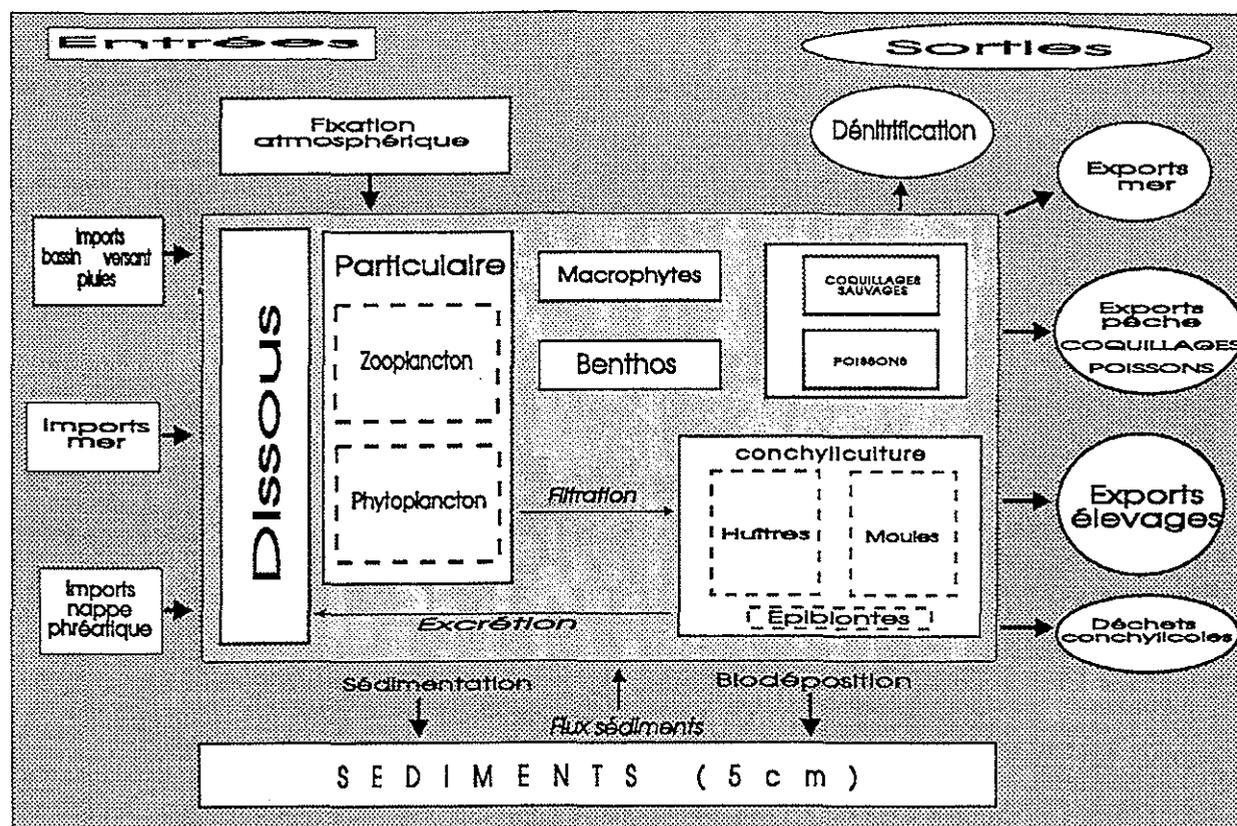


Fig 4 : les principaux compartiments étudiés.

Le bilan en azote et phosphore sera établi en tenant compte des éléments essentiels qui caractérisent la lagune. La présence des parcs conchylicoles sera prise en considération, dans la mesure où les données seront suffisantes, en faisant la distinction entre les deux ensembles : zone conchylicole et hors zone conchylicole ; les facteurs climatiques qui conditionnent les caractéristiques hydrologiques, physico-chimiques ainsi que la productivité de l'étang seront également considérés : les données seront, si cela est possible, relevées par trimestre.

### 3- LES ECHANGES DE L'ETANG AVEC L'EXTERIEUR

Les apports d'éléments nutritifs à l'étang peuvent avoir plusieurs origines : apports par le bassin versant (en surface et souterrains), apports directs par les pluies, entrée d'eaux marines, fixation atmosphérique. Les sorties se réalisent par échanges avec la mer et par la dénitrification. D'autres apports et exports sont réalisés par la production conchylicole et ses déchets (voir paragraphe 9) et par la pêche (paragraphe 10).

#### 3.1 Bases bibliographiques

##### 3.1.1 Bassin versant

Les évaluations directes des apports par mesure de flux disponibles actuellement sont très restreintes.

Il existe des informations éparses sur les rejets du lagunage de Mèze, en débits et en concentrations.

L'équipement d'une partie du bassin versant (la Vène) pour mesures de flux est tout récent et n'a pas encore produit de données.

L'inventaire général des pollutions sur le bassin versant de l'étang de Thau (Querec, 1990), conduit à une cartographie des rejets par type et selon leur importance. Ces rejets ne sont pas exprimés en terme d'azote et de phosphore.

Le CEMAGREF a réalisé en 1991 une évaluation des rejets annuels en azote et en phosphore sur le bassin versant, au point de rejet, par type de rejet (urbain, agricole, ruissellements sur terres naturelles et imperméabilisées, industriel). Les mesures disponibles (ex : bilans de stations d'épuration) ont été pris en compte ; à défaut, des rapports d'exportation, issus de la bibliographie, sont discutés et sélectionnés. Sont pris en compte les traitements éventuels et leur nature, les déversements massifs, l'exportation en dehors du bassin versant (des boues de station par exemple).

##### 3.1.2 Pluies

Les apports atmosphériques directs sur le plan d'eau peuvent être estimés d'après les mesures réalisées dans la région la plus proche du site étudié (Villefranche-sur-mer), dans une fourchette de 5 à 10 kg/ha.a d'azote et de 0,15 à 0,30 kg/ha.a de phosphore (Mignon et coll., 1989).

Des données complémentaires sur les apports atmosphériques en Méditerranée (Loye-Pilot et coll. 1990) conduisent à retenir les valeurs minimums de ces fourchettes pour notre région peu industrialisée et où l'agriculture est peu intensive (CEMAGREF, 1991).

### 3.1.3 Nappe phréatique, résurgences, canaux

Les apports par les nappes sont très peu connus et ne pourront pas être pris en considération. Seuls les rejets liés à l'émergence de la Vise ont été évalués. Son débit est estimé à 300 litres par seconde en moyenne avec une variabilité saisonnière en fonction des précipitations qui tombent sur l'arrière pays. Les concentrations en nitrate sont en moyenne de 20  $\mu\text{mol/l}$  ; les taux de phosphate sont peu importants (0,6  $\mu\text{mol/l}$  en moyenne, Pena, 1989). Les apports d'eau douce s'effectuant lors des éclusées des canaux du Midi et du Rhône à Sète, quantitativement faibles et épisodiques, sont considérés comme négligeables.

### 3.1.4 Echanges avec la mer

Les apports de nutriments par la mer sont supposés nuls en terme de bilan global. Dans l'établissement de bilans des échanges entre l'étang de Thau et la mer, on constate que, la plupart du temps, le volume de flux correspondant au mouvement de l'eau en direction de l'étang est sensiblement égal au volume de reflux correspondant au mouvement de l'eau en direction de la mer.

Il faut noter que l'influence des vents sur les masses d'eau ne peut cependant pas être négligée, principalement au niveau des canaux de Sète ; les "graus" de Pisse-Saumes et des Quilles ayant une influence moindre sur les caractéristiques physiques de l'étang (Rosello-Tournoud 1991, Vernier 1991). La plupart des travaux portant sur les échanges mer-étang ont pris en compte les volumes d'eau. Les concentrations en sels nutritifs n'ont fait l'objet que de rares analyses. Ge, 1988, note ainsi que l'essentiel du phosphore provient du bassin versant.

### 3.1.5 Fixation atmosphérique et dénitrification

Il n'y a pas de mesures de fixation atmosphérique sur l'étang de Thau, ni sur les lagunes littorales françaises.

En ce qui concerne la dénitrification, plusieurs synthèses bibliographiques sur le sujet (Barroin, 1985 et Seitzinger, 1988 et 1990) montrent la rareté des mesures effectuées dans des lagunes. Seitzinger indique que l'essentiel des valeurs se situe dans une fourchette de 5 à 250  $\mu\text{mol/m}^2\cdot\text{h}$  d'azote.

### 3.2 Evaluations

#### 3.2.1 Apports du bassin versant et des pluies (tableau 1)

Les évaluations en azote et en phosphore de l'étude CEMAGREF et celles des pluies directes ont été repris et ventilés par trimestre, à partir de certaines hypothèses : rejets urbains au prorata de la population (permanente, saisonnière), rejets liés au ruissellement au prorata des pluies (pluviométrie moyenne à Montpellier-Fréjorgues), rejets industriels selon la nature de l'activité (ex : les caves en automne).

L'hypothèse complémentaire d'un abattement selon la distance du point de rejet à l'étang pourrait être faite ultérieurement pour affiner l'évaluation.

Les rejets azotés sont évalués à 235 tonnes par an, avec un maximum en automne (octobre-décembre) et un minimum au printemps (avril-juin). Les rejets domestiques dominent, suivis de près par ceux de l'agriculture. En troisième position, les apports directs des pluies ne sont pas négligeables.

Les rejets de phosphore (32 tonnes par an) sont plus importants en été et en automne (de juillet à décembre) ; ils ont une origine urbaine dominante.

#### 3.2.2 Nappes

Les apports annuels totaux de la Vise seraient de 2,65 tonnes d'azote par an et de 0,18 tonnes de phosphore.

#### 3.2.3 Mer

Les apports ne sont pas quantifiés.

#### 3.2.4 Dénitrification

En appliquant la fourchette de Seitzinger à la superficie de l'étang de Thau, on obtient :

minimum : 0,613 g/m<sup>2</sup>.a d'azote, soit 46 tonnes d'azote par an pour l'étang  
maximum : 30,66 g/m<sup>2</sup>.a d'azote, soit 2 300 tonnes d'azote par an pour l'étang  
médiane: 15,6 g/m<sup>2</sup>.a d'azote, soit 1170 tonnes d'azote par an pour l'étang.

**TABLEAU 1**  
Estimation des tonnages d'azote et de phosphore

*THAU : apports de surface*

APPORTS D'AZOTE par saison (en tonnes)

	Janvier- Mars	Avril- Juin	Juillet- Septembre	Octobre- Décembre	Total annuel
Apports atmosphériques	9,37	9,37	9,37	9,37	37,5
Ruissellement sur sols naturels	0,57	0,41	0,38	0,73	2,10
Apports agricoles	21,54	15,6	14,5	27,56	79,20
Ruissellement urbain	4,49	3,25	3,02	5,74	16,5
Rejets domestiques	21,08	21,08	31,19	21,08	94,43
Rejets caves coopératives	0	0	0	4,68	4,68
Rejets autres industries	0,20	0,20	0,20	0,20	0,81
<b>APPORTS TOTAUX</b>	<b>57,26</b>	<b>49,92</b>	<b>58,66</b>	<b>69,37</b>	<b>235,22</b>

APPORTS DE PHOSPHORE par saison (en tonnes)

	Janvier- Mars	Avril- Juin	Juillet- Septembre	Octobre- Décembre	Total annuel
Apports atmosphériques	0,28	0,28	0,28	0,28	1,13
Ruissellement sur sols naturels	0,03	0,02	0,02	0,04	0,11
Apports agricoles	2,03	1,47	1,37	2,6	7,47
Ruissellement urbain	0,45	0,32	0,30	0,57	1,65
Rejets domestiques	4,8	4,8	6,71	4,8	21,11
Rejets caves coopératives	0	0	0	0,19	0,19
Rejets autres industries	0,07	0,07	0,07	0,07	0,28
<b>APPORTS TOTAUX</b>	<b>7,66</b>	<b>6,97</b>	<b>8,76</b>	<b>8,55</b>	<b>31,95</b>

#### 4- LE COMPARTIMENT DISSOUS : Les sels nutritifs dans la colonne d'eau

##### 4.1 Bases bibliographiques

L'extrême diversité des sources d'apports en sels nutritifs et l'existence d'un cycle annuel qui vient se superposer sont à l'origine de la grande variabilité spatio-temporelle de ces derniers dans les écosystèmes lagunaires.

Sur l'étang de Thau, cette variabilité spatio-temporelle a fait l'objet de nombreuses descriptions dans le but principal de fournir des éléments d'analyses nécessaires à l'explication de problèmes rencontrés dans le déroulement des cultures ostréicoles et mytilicoles, comme par exemple des carences dans la croissance de ces mollusques, ou dans le but de préciser les conditions d'apparition des crises dystrophiques dans la lagune.

Les études permettant de prendre en compte à la fois une répartition spatiale et les variations temporelles sur plusieurs années sont cependant limitées dans leur nombre. Par ailleurs, il est encore plus rare que tous les éléments nutritifs aient été étudiés.

Deux principales sources de données ont été retenues :

- une synthèse des observations réalisées sur les eaux et le plancton de Thau de 1974 à 1980 qui fournit les données mensuelles en nitrate, nitrite et phosphate (tableau 2) recueillies sur 11 stations; 2 d'entre elles étant situées en dehors des zones conchylicoles (Tournier et coll., 1981 (1982) ),

- une étude de la variabilité spatiale et temporelle effectuée dans le cadre du programme ECOTHAU. Plusieurs types de campagnes ont été réalisées. On a retenu les données concernant l'azote ammoniacal à partir d'observations réalisées d'avril 1988 à mars 1989 sur 7 stations, dont une à l'intérieur de la zone conchylicole (tableau 3).

##### 4.2 Evaluations

###### 4.2 1 Répartition temporelle

MOIS	TEMPERATURE	SALINITE	OXYGENE	PHOSPHATE	NITRATE	NITRITE	SILICATE
	°C	‰	%	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
JANVIER	06,87	35,63	95,55	2,05	1,92	0,23	7,15
FEVRIER	08,27	34,13	99,56	1,50	2,05	0,23	8,21
MARS	10,24	33,89	98,77	1,64	0,99	0,21	9,61
AVRIL	12,73	33,81	98,37	1,97	0,77	0,20	5,79
MAI	16,68	34,18	102,39	2,46	0,54	0,26	5,56
JUIN	20,46	34,88	95,19	3,24	0,61	0,17	9,51
JUILLET	22,41	36,17	92,57	3,99	0,56	0,18	8,23
AOÛT	22,90	37,44	93,37	4,59	0,66	0,20	13,81
SEPTEMBRE	20,81	37,78	92,53	4,05	1,04	0,28	17,51
OCTOBRE	15,15	37,62	89,29	3,52	1,14	0,37	20,09
NOVEMBRE	10,74	36,72	91,50	2,99	1,59	0,39	13,49
DECEMBRE	07,45	36,42	94,10	2,41	1,24	0,33	7,83

TABLEAU 3 : ECOTHAU-Campagne temporelle								
Azote ammoniacal $\text{NH}_4$ ( $\mu\text{mol/l}$ )								
	Avril 1988	Mai	Juin	Juillet	Octobre	Novembre	Février 89	Mars
Stations								
Hors-tables	0,86	0,37	0,3	0,29	0,52	0,25	1,5	0,82
	0,27	0,22	0,24	0,27	1,7	0,985	1,42	0,94
	2,3	1,96	0,35	1,3	4,36	1,8	1,93	2,05
	0,39	0,3	0,25	0,31	2,78	0,7	3,1	3,27
	0,41	0,74	0,44	0,35	3,8	0,43	2,09	2,71
Sous-tables	0,37	0,34	0,32	0,26	0,65	0,34	1,41	1,79
	0,47	0,63	0,33	0,3	1,85	1,82	1,89	1,59

La figure 5 décrit l'évolution annuelle des sels nutritifs. Cette évolution est généralement expliquée par la présence de deux processus dominants, l'un lié aux conditions de milieu régnant sur le bassin versant en automne et en hiver, l'autre à l'activité biologique au printemps et en été.

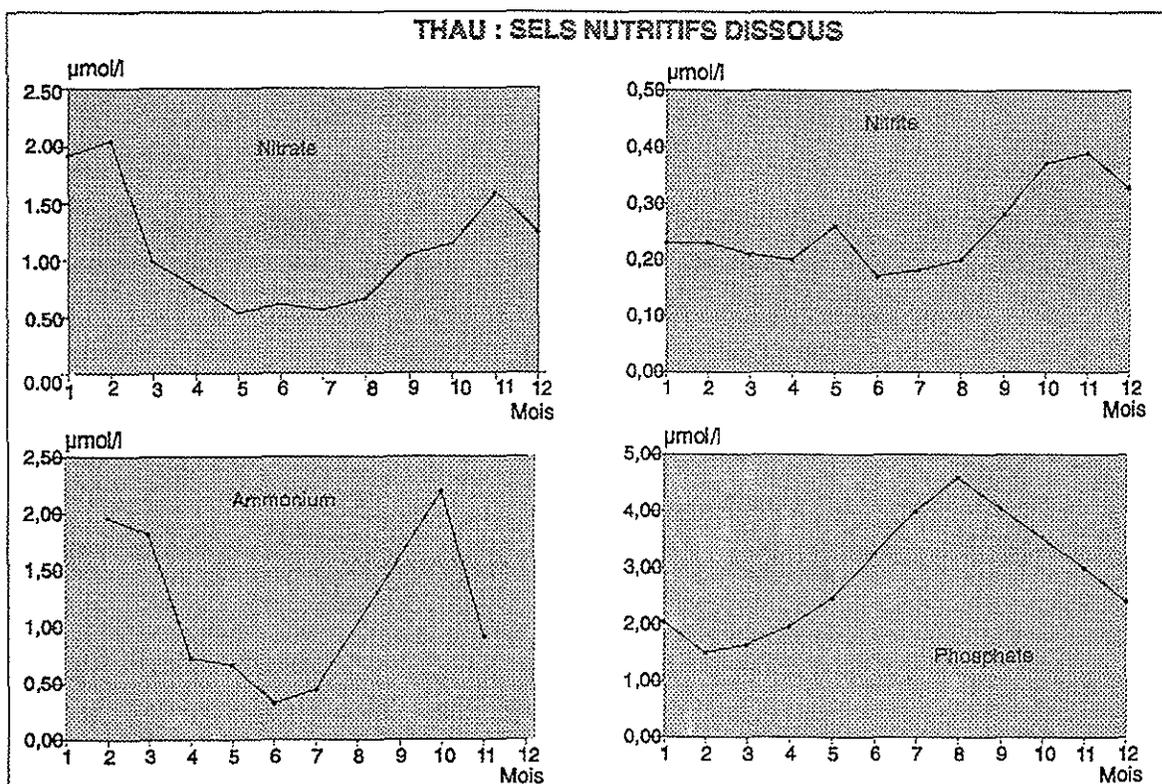


Figure 5 : Sels nutritifs dissous

Les réserves d'azote sont plus importantes en automne et en hiver ; cette répartition est généralement expliquée par l'augmentation des apports extérieurs en période automnale et hivernale (tableau 4) et par une consommation réduite (faible activité biologique).

Les précipitations et les mouvements des masses d'eau, favorisant les échanges mer-étang mais également une remise en suspension des sédiments qui entraîne notamment un relargage important d'ammonium au mois d'octobre, expliqueraient les concentrations élevées durant la période froide. Les concentrations faibles observées le printemps et l'été, peuvent s'interpréter en terme de consommation d'éléments azotés par la biomasse phytoplanctonique. L'azote serait alors considéré comme un facteur limitant pour la production phytoplanctonique.

En ce qui concerne le phosphate, il faut remarquer que l'étang de Thau possède des réserves importantes de cet élément. Les plus fortes concentrations sont observées en été. Les valeurs importantes relevées en été sont à mettre en relation avec l'augmentation des rejets d'origine urbaine (tableau 1) mais aussi avec les mortalités du phytoplancton et du zooplancton et les relargages de cet élément à partir du sédiment, processus favorisé par la température élevée (Tournier et coll. 1981 (1982))

#### 4.2.2 Répartition spatiale

Le tableau 4 montre que les concentrations annuelles moyennes en azote minéral sont peu différentes entre les deux zones ; tout au plus peut-on noter des valeurs légèrement plus élevées en dehors de la zone conchylicole pour les nitrates et l'ammonium. Les différences entre les deux zones semblent plus marquées au cours des deux premiers trimestres.

Casellas et coll. (1990), Pena (1989), Picot et coll. (1990), étudiant l'ensemble de l'étang, précisent qu'il y a en hiver un gradient de nitrate du sud-ouest vers le nord-est, avec des valeurs très élevées dans la crique de l'Angle et dans l'étang des Eaux Blanches. En été, l'activité biologique tend à structurer l'étang selon un gradient croissant est-ouest. Pour l'ammonium, la structuration spatiale est plus variable au cours de l'année car elle est fonction de processus écologiques divers : apports par les précipitations ou les mouvements des masses d'eau, consommation par le phytoplancton ou les coquillages d'élevage, régénération par excrétion ou par dégradation des fécès et pseudofécès des organismes marins, relargage par le sédiment.

Les concentrations annuelles moyennes en phosphate sont légèrement plus élevées en zone conchylicole. Cette différence se retrouve aussi saisonnièrement.

Il faut souligner qu'aucune donnée n'est actuellement disponible pour estimer la matière organique dissoute et donc le stock total d'azote et de phosphore dans la colonne d'eau.

TABLEAU 4 : THAU-REPARTITION DES SELS NUTRITIFS DISSOUS								
Sources: NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> , Tournier et coll. 1981 (1982) ; NH <sub>4</sub> , Ecothau Avril 1988-Mars 1989.								
REPARTITION ANNUELLE								
	ZONE CONCHYLICOL		HORS ZONE CONCHYLICOLE		ETANG			
	µmol/l	N tonnes	µmol/l	N tonnes	µmol/l	N tonnes		
NITRATE N-NO <sub>3</sub>	1,03	0,72	1,23	4,3	1,19	5,02		
NITRITE N-NO <sub>2</sub>	0,25	0,17	0,26	0,91	0,26	1,08		
AMMONIUM N-NH <sub>4</sub>	1,13	0,79	1,28	4,48	1,25	5,27		
Total		1,68		9,69		11,37		
PHOSPHATE P-PO <sub>4</sub>	3,02	4,68	2,77	21,47	2,81	26,15		
VALEURS TRIMESTRIELLES								
ZONE CONCHYLICOLE								
	JANV-MARS		AVRIL-JUIN		JUILL-SEPT		OCT-DEC	
	µmol/l	N tonnes	µmol/l	N tonnes	µmol/l	N tonnes	µmol/l	N tonnes
NITRATE N-NO <sub>3</sub>	1,62		0,64		0,75		1,19	
NITRITE N-NO <sub>2</sub>	0,22		0,21		0,22		0,36	
AMMONIUM N-NH <sub>4</sub>	1,75		0,54		0,30		1,85	
Total	3,59	2,51	1,39	0,97	1,27	0,89	3,40	2,38
		P tonnes		P tonnes		P tonnes		P tonnes
PHOSPHATE P-PO <sub>4</sub>	1,69	1,55	2,58	4,00	4,60	7,13	3,07	4,76
HORS ZONE CONCHYLICOLE.								
NITRATE N-NO <sub>3</sub>	2,16		1,71		0,52		0,72	
NITRITE N-NO <sub>2</sub>	0,26		0,21		0,20		0,39	
AMMONIUM N-NH <sub>4</sub>	1,91		0,63		0,46		2,05	
Total	4,33	15,5	2,55	8,92	1,18	4,13	3,16	11,06
		P tonnes		P tonnes		P tonnes		P tonnes
PHOSPHATES P-PO <sub>4</sub>	1,42	11,0	2,28	17,67	4,14	32,08	3,00	23,35

## 5- LE COMPARTIMENT PARTICULAIRE GLOBAL

### 5.1 Bases bibliographiques

Il est courant d'opposer aux substances dissoutes le matériel particulaire. La distinction est arbitraire, la limite entre les deux domaines dépendant en pratique des filtres utilisés (Aminot et coll., 1983). On admet en général que la limite de taille pour séparer le dissous du particulaire se situe aux alentours de  $0,45 \mu\text{m}$ . Ce chiffre est proche des filtres Whatman GF/C (rétention  $1,2 \mu\text{m}$ ) habituellement utilisés pour la filtration. Les filtrations effectuées par IFREMER (laboratoires Ressources Aquacoles puis DEL/ECO de Sète) et Grenz et coll. ont été faites sur ces membranes. Outin utilise des filtres Whatman GF/F (rétention  $0,7 \mu\text{m}$ ).

Sur l'étang de Thau les mesures de matériel particulaire effectuées ont essentiellement eu pour but de rechercher les rapports pouvant exister entre leurs teneurs et l'activité métabolique des huîtres et des moules en élevage. Les recherches réalisées par IFREMER ont principalement été orientées vers l'étude des relations existant entre cette matière particulaire, notamment analysée par la détermination des protides, lipides, glucides et la croissance des mollusques. Les données relevées sont cependant limitées aux zones conchylicoles.

Les teneurs moyennes des mesures réalisées de 1989 à 1991 sont de  $5,58 \text{ mg/l}$  pour les matières en suspension totales (MES),  $1,86 \text{ mg/l}$  pour la matière organique (MOP) et de  $3,46 \text{ mg/l}$  pour la matière minérale (MM).

Dans le cadre du programme Ecothau, les recherches entreprises ont essentiellement eu pour objectif de préciser les transferts entre le matériel présent dans le milieu et les bivalves (études des flux de carbone et d'azote à l'interface eau-huîtres par Outin et coll., 1990 et transfert pélagos-benthos par la quantification de la biodéposition par Grenz et coll., 1991) et de décrire la structure spatio-temporelle de l'écosystème (tableau 5).

TABLEAU 5 : ECOTHAU: MATIERES EN SUSPENSION (MES)			
Campagne de prééchantillonnage.			
		ZONE CONCHYLICOLE	HORS ZONE CONCHYLICOLE
		17 Stations	46 Stations
		mg/l	mg/l
1986	JUIN	0,88	1,34
	OCTOBRE	1,01	1,94
1987	FEVRIER	3,01	6,54
	MAI	1,02	1,69
Campagne d'échantillonnage spatial.			
		3 Stations	17 Stations
1988	MAI	1,33	2,20
	JUILLET	1,86	2,19
	OCTOBRE	0,78	1,75
	MARS	0,93	2,07
Campagne d'échantillonnage temporel			
		1 Station	6 Stations
1988-89	JANV-MARS	1,61	3,32
	AVR-JUIN	1,25	2,34
	JUILL-SEPT	1,68	2,01
	OCT-DEC	0,96	1,85

### 5.2 Evaluation de l'azote et du phosphore dans la matière organique particulaire

En ce qui concerne l'estimation de l'azote et du phosphore peu de données sont disponibles. Grenz et coll. (1991) estiment, dans le cadre de leurs travaux sur la biodéposition en 1986-1987, la teneur moyenne en azote à 40,80 µg/l pour une concentration en MES de 4,21 mg/l et en MOP de 2,11 mg/l.

Ces valeurs sont trop partielles pour être retenues.

### 5.3. Sédimentation générale

Grenz (1989) sépare la sédimentation générale de la biodéposition propre à l'activité des mollusques en élevage. Il montre qu'il existe une relation linéaire entre le taux de sédimentation (S) et la profondeur (z), dont l'équation générale est de la forme :

$$S = az + b$$

$$\text{pour } z = 2m, \text{ on a : } S_{2m} = a \cdot 2 + b$$

$$\text{d'où : } S = S_{2m} + a(z-2)$$

Les constantes du modèle calculées à partir des taux de sédimentation mesurés par Grenz dans l'étang pour trois campagnes (octobre 86, avril et juin 87), sont les suivantes :

$$S_{2m} = 5,35 \text{ g/m}^2 \cdot \text{j de matière sèche}$$
$$\text{et } a = 8,73$$

Ce qui donne une sédimentation totale dont l'équation est la suivante :

$$S = 5,35 + 8,73 (z - 2)$$

En retenant 4 m comme profondeur moyenne de l'étang, on obtient une sédimentation totale :  $S = 624\,425$  tonnes de matière sèche pour l'étang et par an.

Ces valeurs sont actuellement trop partielles et ne seront pas retenues dans la suite de ce travail.

## 6- LE PHYTOPLANCTON

### 6.1 Biomasses

#### 6.1.1 Bases bibliographiques

La détermination quantitative globale de la fraction particulaire vivante dans les milieux aquatiques est importante pour l'étude des phénomènes écologiques.

Tournier et coll. (1982) présentent la synthèse de campagnes mensuelles réalisées de 1974 à 1980, dans le secteur conchylicole (14 stations, dont deux se situent en limite extérieure de la zone conchylicole). Dans ce travail le plancton n'a été étudié que de façon simple : l'abondance est estimée, après décantation, par mesure volumétrique. Cette méthode rudimentaire ne permet pas, en particulier, d'établir la proportion relative du phytoplancton et du zooplancton. Seule une évolution globale du plancton peut être ainsi décrite à partir de ce document.

L'estimation du phytoplancton est classiquement réalisée par extraction et dosage des pigments photosynthétiques et principalement de la chlorophylle a. Deux études retenues ici ont été réalisées sur l'étang de Thau :

- la première (Tournier et coll., 1985 (1987)) avait comme objectif de préciser dans quelle mesure l'abondance en pigments phytoplanctoniques est un reflet de la richesse nutritive du milieu pour les coquillages élevés dans l'étang de Thau.

14 stations, dont 12 réparties dans les zones conchylicoles et 2 hors des zones, ont été prospectées à la fréquence de 3 campagnes par mois, entre janvier et décembre 1986. Les analyses ont été pratiquées après une préfiltration sur toile de 50 µm de vide de maille puis filtration sur membrane Whatman GF/C. La quantité totale de chlorophylle a obtenue sans dégrillage serait, selon ces auteurs, supérieure de 1/3 aux données fournies,

- la seconde (programme ECOTHAU) analyse l'organisation spatiale du phytoplancton sur l'ensemble de la lagune (Jarry, 1990).

63 stations, dont 17 en zone conchylicole, sont échantillonnées au cours de quatre campagnes (juin et octobre 86, février et mai 87). Au cours de l'année suivante, un échantillonnage sur 20 stations, dont 3 en zone conchylicole, est réalisé en mai, juillet, octobre 1988 et mars 1989. La filtration a été effectuée sur membrane Whatman GF/F.

Le programme Ecothau a montré que les fluctuations à l'échelle de l'heure, du jour ou du mois peuvent être du même ordre de grandeur, soulignant ainsi la rapidité d'évolution des peuplements phytoplanctoniques. Cette observation permet de mentionner l'incertitude qui pèse sur les valeurs de biomasse phytoplanctonique, car leur mesure est toujours instantanée.

## Evolution temporelle

Ces travaux permettent de donner un aperçu global de l'évolution mensuelle de la chlorophylle a (fig 6), schéma qu'il faut compléter, pour son interprétation, avec les données fournies par Tournier et coll. (1981 (1982)) dans la synthèse des observations effectuées de 1974 à 1980 (fig. 6). D'une façon générale, le phytoplancton est peu abondant en période froide, d'octobre à mai. Sa concentration augmente ensuite régulièrement pour atteindre un maximum en juillet-août. En fin d'hiver peut survenir une prolifération exceptionnelle et très ponctuelle de phytoplancton à tendance monospécifique (bloom à diatomée *Skeletonema costatum* observé en mars 1986 par exemple).

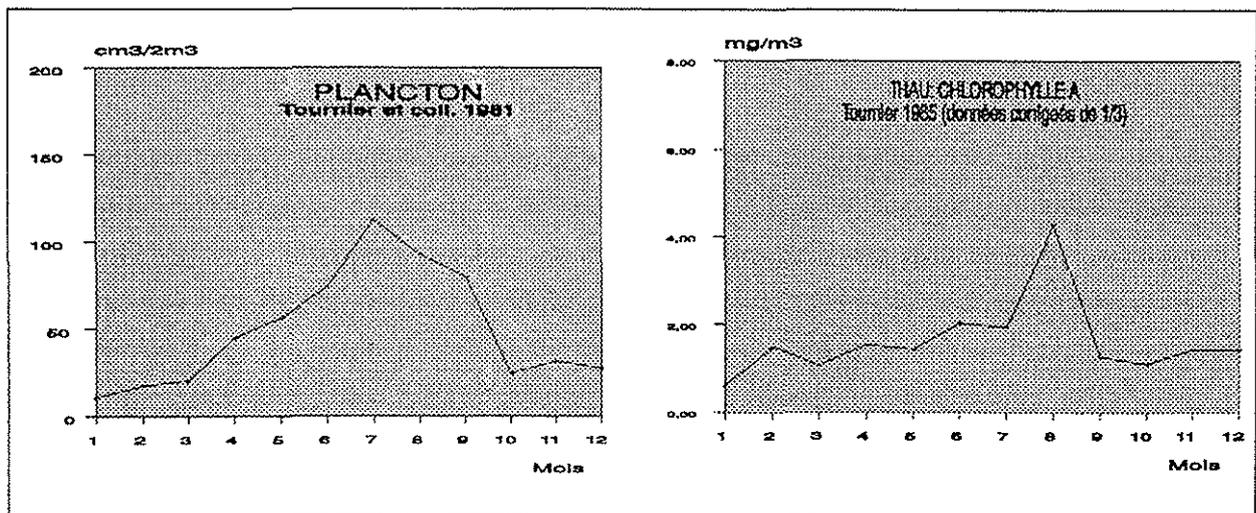


Figure 6

## Répartition spatiale

La distribution spatiale de la chlorophylle a basée sur les études précédentes mais aussi sur l'ensemble des campagnes réalisées dans le cadre du programme ECOTHAU met en évidence l'existence d'un gradient croissant le long de l'axe principal de l'étang depuis le sud-ouest vers le nord-est (fig. 7). Cette répartition géographique générale du phytoplancton n'est cependant pas uniforme : la présence des tables d'élevage des mollusques introduit une hétérogénéité, les zones conchylicoles induisant la formation de "puits" pour le phytoplancton, phénomène à mettre en relation avec l'importante filtration exercée par les mollusques pour se nourrir (Tournier et coll 1985 (1987)).

## 6.2 Stocks d'azote et de phosphore

### 6.2.1 Bases bibliographiques

Les conversions permettant de passer de la chlorophylle a à l'azote et au phosphore sont tirées de la littérature ( Harris et Riley, 1956 ; Strickland, 1960 ; Goldman et Mann, 1980) et sont indiquées ci-après.

**TABLEAU 6 : BASES DE CALCUL DES TENEURS EN AZOTE ET PHOSPHORE DU PHYTOPLANCTON**

Coefficients de conversion

Références

Carbone / chlorophylle a = 60 (en masse)	Strickland, 1960
Carbone/ azote = 5,5 (en masse)	Goldman et Mann, 1980
Azote/phosphore = 16,7 (en atomes)	Harris et Riley, 1956

$$C = 60 \times \text{chloro a en masse}$$

$$N = C / 5,5$$

$$N = 60 \times \text{chloro a} / 5,5$$

$$N = 10,9 \times \text{chloro a en masse}$$

$$P = N / 16,7 \text{ en atomes}$$

$$N \text{ atomes} = N \text{ masse} / 14$$

$$= 10,9 \times \text{chloro a} / 14$$

$$= 0,779 \text{ chloro a}$$

$$P \text{ atomes} = 0,779 \text{ chloro a} / 16,7$$

$$= 0,047 \text{ chloro a}$$

$$P \text{ atomes} = P \text{ masse} / 31$$

$$0,047 \text{ chloro a} = P \text{ masse} / 31$$

$$P = 1,457 \times \text{chloro a en masse}$$

### 6.2.2 Evaluations

Le tableau 7 fournit une estimation de l'azote et du phosphore dans les zones conchylicoles ainsi qu'à l'extérieur de celles-ci. Les moyennes annuelles et trimestrielles sont établies à partir des données fournies par Tournier et coll (1981) pour la zone conchylicole et de celles extraites de l'étude ECOTHAU pour le secteur hors zone conchylicole.

TABLEAU 7: PHYTOPLANCTON										
		ZONE CONCHYLICOLE			HORS ZONE CONCHYLICOLE			ETANG		
		Chloro a	Azote	Phosphore	Chloro a	Azote	Phosphore	Chloro a	Azote	Phosphore
		mg/m <sup>3</sup>	tonnes	tonnes	mg/m <sup>3</sup>	tonnes	tonnes	mg/m <sup>3</sup>	tonnes	tonnes
Tournier	JAN-MAR	0,68	1,72	0,23	1,43	6,46	0,86	0,79	10,69	1,43
	AVR-JUN	1,63	0,89	0,12	1,91	5,20	0,70	1,67	5,46	0,73
	JUIL-SEP	2,44	1,33	0,18	2,76	7,52	1,01	2,48	8,11	1,08
	OCT-DEC	1,17	0,64	0,09	1,39	3,79	0,51	1,31	4,28	0,57
	1985	1,15	1,15	0,15	1,63	6,05	0,81	1,22	7,16	0,96
Ecothau	JAN-MAR	0,72	0,39	0,05	1,63	4,44	0,59	1,48	4,84	0,65
	AVR-JUN	0,97	0,53	0,07	2,52	6,87	0,92	2,26	7,39	0,99
	JUIL-SEP	2,78	1,52	0,20	4,33	11,80	1,58	4,07	13,31	1,78
	OCT-DEC	1,48	0,81	0,11	5,27	14,36	1,92	4,64	15,17	2,03
	1989	1,49	0,81	0,11	3,44	9,37	1,25	3,11	10,17	1,36
DONNEES MIXTES RETENUES										
		ZONE CONCHYLICOLE			HORS ZONE CONCHYLICOLE			ETANG		
		Chloro a	Azote	Phosphore	Chloro a	Azote	Phosphore	Chloro a	Azote	Phosphore
		mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
	JAN-MAR	0,91	9,88	1,32	1,63	17,77	2,37	1,48	16,13	2,16
	AVR-JUN	1,63	17,73	2,37	2,52	27,47	3,67	2,26	24,63	3,29
	JUIL-SEP	2,44	26,59	3,55	4,33	47,20	6,31	4,07	44,36	5,93
	OCT-DEC	1,17	12,79	1,71	5,27	57,44	7,68	4,64	50,58	6,76
	ANNUEL	1,54	16,75	2,24	3,44	37,50	5,01	3,11	33,93	4,53
		Chloro a	Azote	Phosphore	Chloro a	Azote	Phosphore	Chloro a	Azote	Phosphore
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
	JAN-MAR	0,04	0,49	0,07	0,41	4,44	0,59	0,44	4,84	0,65
	AVR-JUN	0,08	0,89	0,12	0,63	6,87	0,92	0,68	7,39	0,99
	JUIL-SEP	0,12	1,33	0,18	1,08	11,80	1,58	1,22	13,31	1,78
	OCT-DEC	0,06	0,64	0,08	1,32	14,36	1,92	1,39	15,71	2,03
	ANNUEL	0,08	0,84	0,11	0,86	9,37	1,25	0,93	10,18	1,36

### 6.3 Production primaire

#### 6.3.1 Biomasse

##### 6.3.1.1 Bases bibliographique

Les études d'estimation de la production primaire des eaux de l'étang de Thau par le carbone 14 sont peu nombreuses. D'octobre 1975 à octobre 1976 Hénard (1976) réalise un suivi bimensuel en 10 stations situées en périphérie de la zone conchylicole dont 5 stations "terre" au nord-ouest des zones conchylicoles A, B et C, et 5 stations du "large" réparties au sud-est de celles-ci. Les prélèvements sont effectués en surface (0,50 m) et en profondeur (2,5 m à toutes les stations, 4 m et 7 m aux deux stations les plus profondes proches de la zone A).

##### 6.3.1.2 Evaluation

Henard estime la production annuelle moyenne de l'étang, calculée à partir des productions journalières des 22 coordonnées étudiées, à 14 000 tonnes de carbone. La production journalière atteint  $127,2 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{j}$  de C.

La productivité de l'étang de Thau est ainsi estimée comme étant 40 fois plus grande que celle de la mer (données relevées in Sournia, 1973).

Hénard note que, dans l'étang, la production journalière est nettement plus élevée au "large" qu'à "terre" (tableau 8), principalement au niveau des 3 stations situées en zone A où elle atteint  $197,3 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{j}$  de C contre 124,4 pour la moyenne des 7 autres stations. Selon lui cette différence serait due à une richesse plus grande en phytoplancton apporté par les eaux marines lors du remplissage de l'étang. Ces eaux, freinées par les parcs conchylicoles alimenteraient très mal les stations de "terre". Par ailleurs, les productions observées au niveau des stations du large montrent un gradient négatif très prononcé d'est en ouest. Les rapports de productions photosynthétiques annuelles varient d'une zone à l'autre dans des proportions importantes: A/B/C: 4,3/2,6/1. Ceci est mis en rapport avec les productions respectives de coquillages: A/B/C: 3,1/1,5/1.

### 6.3.2 Contenus en azote et en phosphore

#### 6.3.2.1 Bases bibliographiques

La composition moyenne du plancton vivant retenue par Henard (C:N:P 41:7,2:1, selon Fleming et coll. 1940; Redfield et coll., 1963) est voisine de celle présentée plus haut. Les rapports de Hénard ont été utilisés pour calculer les quantités d'azote et de phosphore de la production primaire.

#### 6.3.2.2 Evaluation

Le tableau 8 fournit la production annuelle en azote et en phosphore de l'étang, respectivement 2519 et 335 tonnes, ainsi qu'une estimation de ces éléments en zone conchylicole et à l'extérieur de celle-ci.

TABLEAU 8 : Production primaire					
	Etang	Zones conchylicoles			Hors zone
		Zone A	Zone B	Zone C	
Production annuelle de carbone en tonnes	13 994	1 309	801	308	11 576
Azote en tonnes	2519	236	144	55	2 084
Phosphore en tonnes	335	31	19	7	278
Production de carbone en mg/m <sup>3</sup>	JANV-MARS	AVR-JUIN	JUIL-SEPT	OCT-DEC	Moyenne
Stations "terre"	36,3	77,7	219,8	66,7	100,1
Stations "large"	46,6	116,3	243,2	103,3	127,3

## 7- LE ZOOPLANCTON

### 7.1 Bases bibliographiques

Les travaux anciens avaient essentiellement pour but de dresser des inventaires qualitatifs saisonniers de la faune pélagique (Mathias et Euzet, 1951-1962).

Jouffre (1989) établit des cartes à partir d'indices synthétiques de peuplements (diversité et richesse spécifique) montrant une opposition nette entre les extrémités orientales (marinisées) et occidentales (plus confinées) de la lagune.

Dans le cadre du programme Ecothau, Jouffre (1989) présente une évaluation des biomasses de zooplancton, pour quatre périodes (juin 86, octobre 86, février 87 et mai 87). L'échantillonnage porte sur 63 stations, réparties régulièrement sur l'étang (lagon et Onglous exclus). Après avoir dénombré les individus par taxons dans la fraction supérieure à 150 µm, l'auteur affecte un coefficient pondéral individuel, issu de la littérature ou recherché par lui-même.

Les contenus en azote et en phosphore ont été déterminées à partir des valeurs moyennes obtenues pour les principaux groupes zooplanctoniques: copépodes, mysidacés et chaetognathes (Bougis, 1974), soit une quantité d'azote égale à 9,14 % du poids sec pour l'azote et à 0,97 % du poids sec pour le phosphore.

### 7.2 Evaluations (tableau 9)

Le tableau 9 fournit les estimations calculées pour ces deux éléments.

		ZONE CONCHYLICOLE			HORS ZONE CONCHYLICOLE			ETANG		
		Biomasses	Azote	Phosphore	Biomasses	Azote	Phosphore	Biomasses	Azote	Phosphore
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Ecothau		poids sec			poids sec			poids sec		
1986	JUIN	937	86	9	4 469	408	43	5 406	494	52
	OCTOBRE	354	32	3	1 688	154	16	2 042	186	20
1987	FEVRIER	175	16	2	837	76	8	1 012	92	10
	MAI	548	50	9	2 616	239	25	3 165	289	31
Moyennes retenues par saison										
	JAN-MARS							1012	92	10
	AVR-JUIN							4285	392	41
	JUIL-SEPT									
	OCT-DEC							2042	187	20
Moyennes des 3 saisons								2446	224	24

L'échantillonnage réalisé par le programme Ecothau visait une bonne représentation spatiale ; on peut donc utiliser ces données pour comparer les zones conchylicoles et non conchylicoles. Par contre l'échantillonnage temporel est très restreint (4 campagnes, réparties irrégulièrement au cours de l'année : l'été n'est pas du tout représenté). Les mesures instantanées sont d'autant plus délicates à utiliser que l'on a affaire à des peuplements dont l'évolution est rapide. Les évaluations saisonnières sont indiquées ci-dessus à titre d'exemple. On peut mentionner, cependant, que Palomares et coll. (1990) fournissent un chiffre voisin (3 000 tonnes de biomasse moyenne annuelle en poids sec).

La zone conchylicole est beaucoup moins riche en zooplancton que le reste de l'étang

Les biomasses et les stocks associés d'azote et de phosphore sont plus élevés au printemps et en dehors de la zone conchylicole.

## 8- LE COMPARTIMENT BENTHIQUE

### 8.1 Les stocks sédimentaires

#### 8.1.1 Eléments bibliographiques

En 1987, Mancini, dans le cadre du programme ECOTHAU, réalise une cartographie de la couche superficielle (0-5 cm) des sédiments de 30 stations, réparties dans tout l'étang (lagon et Onglous exclus), dont 8 stations en zone conchylicole (dans les couloirs). Les résultats publiés comprennent l'azote Kjeldahl et le phosphore total en milligramme par gramme de sédiment sec pour chaque station, ainsi qu'une cartographie de la granulométrie.

Cette étude est complétée en 1990 par IFREMER qui réalise une cartographie plus précise de la zone conchylicole (50 points, situés sous les tables). Deux sous-secteurs sont identifiés: zone A et zone B+C et deux profondeurs sont étudiées (0-5 cm et 10-15 cm). Les analyses portent sur l'azote total, le phosphore échangeable (défini comme extractible à l'oxalate d'ammonium, méthode Joret-Hebert) et le phosphore total (mg/g de sédiment sec). En outre les données physiques sont relevées (teneur en eau, densité, porosité, matière sèche, % de fraction fine). L'azote ( $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_2$ ) et le phosphore ( $\text{PO}_4$ ) des eaux interstitielles sont dosés.

#### 8.1.2 Evaluations

Les données issues des deux études sont spatialement complémentaires (IFREMER sous les tables, Mancini ailleurs) ; la couche 0-5 cm est retenue car commune aux deux études.

##### 8.1.2.1 Concentrations

###### Impact conchylicole

Les teneurs en azote décroissent des secteurs sous les tables (6 mg/g, avec des teneurs équivalentes dans les zones A et B+C), aux couloirs (3,7 mg/g) et au reste de l'étang (2,71 mg/g). Le phosphore est plus abondant sous les tables (1,47 à 1,94 mg/g en zones A et B+C) et dans les couloirs de la zone A (1,03 mg/g) ; les concentrations dans les couloirs de la zone B+C (0,55 mg/g) sont proches de celles du reste de l'étang (0,68 mg/g).

###### Impact du bassin versant et autres

En dehors de la zone conchylicole, les teneurs d'azote dans les sédiments sont en général plus importantes dans les zones profondes, exception faite de la Crique de l'Angle qui est sous influence directe du bassin versant (agricole et urbaine).

Le phosphore est plus abondant dans le quart nord-est de l'étang et surtout dans l'étang des Eaux Blanches (proximité urbaine).

### 8.1.2.2 Stocks

L'évaluation des stocks (Tableau 10) nécessite de ramener les teneurs, exprimées en poids de sédiment sec, à des volumes, en utilisant des valeurs de densité et de teneur en eau, qui ne sont disponibles que pour les sédiments situés sous les tables (IFREMER, Deslous-Paoli et al., 1991). Or ces sédiments sont particuliers et on ne peut appliquer ces informations aux données de l'étude de Mancini qui porte sur les sédiments des couloirs et du reste de l'étang. A défaut, on utilisera les données issues des sédiments des étangs palavasiens où il n'y a pas d'impact conchylicole, (données sur 35 points et à 5 cm de profondeur, CEMAGREF, 1991) :

- densité réelle ( $\text{g/cm}^3$ ) : 2,5

- humidité (%) : 53,6

TABLEAU 10 : SEDIMENTS- CALCULS DES STOCKS					
	Sous les tables		Dans les couloirs		Dans le reste
1-Volume dans 5 cm de hauteur, par zone : volume en $\text{m}^3$	7,5.10 <sup>4</sup>		57,5.10 <sup>4</sup>		310.10 <sup>4</sup>
2-Densité des sédiments de la zone : $\text{g/cm}^3 = \text{t/m}^3$	1,25		2,5		2,5
3-Poids de sédiments humides (tonnes) dans la zone : 1 x 2	9,37.10 <sup>4</sup>		143,75.10 <sup>4</sup>		775.10 <sup>4</sup>
4-% de matière sèche sur poids humide	25,3		46,6		46,4
5-Poids de sédiments secs (tonnes) dans la zone : 3 x 4	2,37.10 <sup>4</sup>		66,7.10 <sup>4</sup>		359,6.10 <sup>4</sup>
6-Teneurs en N et P des sédiments secs : $\text{mg/g} = \text{kg/t}$	N= 6 P=1,7 (in IFREMER)		N=4,12 P=0,79 (in MANCINI)		N=2,71 P=0,68 (in MANCINI)
7 Stocks : tonnes/zone : 5x6	N= 142,2 P=40,3		N=2 748 P=526,9		N=9 745,3 P=2445,3
TOTAL ZONE CONCHYLICOLE (tonnes)	N=2 890 P=570				
TOTAL ETANG (tonne)	N=12 600 P=3010				
	Sous tables	Dans les couloirs	Zone conchylicole	Hors zone conchylicole	Total étang
Stock en tonne/ha	N=0,948 P=0,269	N=2,39 P=0,548	N=2,22 P=0,436	N=1,57 P=0,394	N=1,68 P=0,4

A l'échelle de l'étang, les stocks d'azote et de phosphore des 5 premiers centimètres sont évalués à 12 635 tonnes d'azote (soit 1,68 t/ha) et 3 012 tonnes de phosphore (soit 0,4 t/ha). Ceci place l'étang de Thau dans la partie basse de la fourchette des stocks des étangs de l'Hérault (de l'étang de l'Or à l'Ingril, CEMAGREF, 1991) :

- N : de 1,58 à 3,04 t/ha
- P : de 0,32 à 0,77 t/ha

La zone conchylicole, avec 2,22 t/ha d'azote et 0,44 t/ha de phosphore est plus chargée que le reste de l'étang. Dans la zone conchylicole elle-même, les sédiments sous les tables conchylicoles contiennent paradoxalement des stocks très faibles, parce que ce type de sédiment est très peu compact (densité 1,25 contre 2,5 pour les couloirs et le reste de l'étang). Le calcul des stocks sur les cinq premiers centimètres n'est pas adéquat pour comparer des sédiments aussi différents et il conviendrait de raisonner plutôt en concentrations. On remarque enfin que les stocks dans les couloirs sont élevés, probablement par enrichissement en provenance des tables et tassement ultérieur.

## 8.2 Flux à partir des sédiments

### 8.2.1. Bases bibliographiques

La mesure des flux des sédiments peut faire appel à des méthodes diverses, chacune créant des biais particuliers, et la comparaison des résultats auxquels elles conduisent, actuellement rudimentaire (Grenz et coll., 1991), ne permet pas une réelle intercalibration. Il est alors délicat de les comparer directement, et c'est ce à quoi on se heurte sur l'étang de Thau car les études disponibles actuellement ont utilisé deux techniques différentes. L'objet de ce document n'est pas de discuter dans les détails de ces biais ; on signalera simplement le sens possible des erreurs produites.

La première méthode utilisée, qui pose le plus de problèmes de biais, procède par carottage, extraction et dosage des eaux interstitielles, puis calcul, à l'aide d'une loi de diffusion, des flux. Cette méthode tendrait à sous-estimer les flux. Son intérêt est d'être rapide et de permettre ainsi l'exploration d'une grande zone ; elle prend en compte des valeurs de flux non instantanées.

L'étude par carottage (Deslous-Paoli et coll., 1991) a été réalisée en été, sur 50 points situés sous les tables conchylicoles et en deux niveaux (0-5 et 10-15 cm) ; on a dosé les formes  $\text{NH}_4$  et  $\text{PO}_4$ .

La seconde méthode utilisée est celle des cloches benthiques, qui mesure directement les flux d'une portion de sédiment isolé. Lourde à mettre en oeuvre, elle produit des estimations très limitées spatialement, mais aussi temporellement car très instantanées (quelques heures) ; elle tendrait à sur-estimer les flux.

Cette méthode a été appliquée par Grenz (1992) et porte sur les formes  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ , N organique (en mai, septembre et décembre),  $\text{PO}_4$  et P organique (en mai). L'azote organique représente moins de 4 % des flux totaux d'azote et cette forme n'a pas

été retenue ici. Pour le phosphore, le flux organique est équivalent ou supérieur au flux minéral et il ne peut donc être omis.

L'étude comporte des mesures en deux stations, situées sous les tables conchylicoles en zone B (une envasée et l'autre dévasée). La première station est laissée en l'état (notée non dévasée dans le tableau 11). A la seconde station, les vases sont enlevées avant la première mesure (mois de mai) puis évoluent ensuite sans autre intervention.

TABLEAU 11 : SEDIMENTS-FLUX D'AZOTE ET DE PHOSPHORE						
Données de base						
			IFREMER		GRENZ	
			Zone A	Zone B+C	Dévasé	Non dévasé
<b>AZOTE</b>						
Mai	N-(NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>			1494	6725
Août	N-(NH <sub>4</sub> )	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	998,2	214,2		
Septembre	N-NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>			6587	6770
Décembre	N-(NH <sub>4</sub> +NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>			3150	3537
Moyenne directe					(3744)	(5677)
Moyenne pondéré de la durée					(3531)	(5675)
<b>PHOSPHORE</b>						
Mai	P-PO <sub>4</sub>	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>			223,4	7533
Mai	P org	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>			988	5347
Août	P-PO <sub>4</sub>	µg.m <sup>-2</sup> .h <sup>-1</sup>	145,7	9,3		

## 8.2.2. Evaluations

### 8.2.2.1. Extrapolation à l'ensemble de l'étang (tableau 12)

Les données ne concernent que les sédiments conchylicoles, en l'état ou après dévasage. L'extrapolation aux couloirs et au reste de l'étang paraît délicate. Des mesures complémentaires sont indispensables.

En l'attente, pour tenter de situer l'importance des flux dans le bilan de l'étang, on appliquera :

- aux couloirs de la zone conchylicole et dans la partie non conchylicole de l'étang les mesures sous les tables dévasées (Grenz) en retenant les valeurs obtenues juste après dévasage,

- sous les tables conchylicoles, les données correspondantes de Grenz (non dévasé). Ceci permet d'éviter les biais méthodologiques entre méthodes.

On retient pour l'azote la moyenne des mesures (moyenne pondérée de la durée).

TABLEAU 12 : EVALUATIONS

		Sous table	Couloirs	Zone conchylicole	Reste étang	Total étang
Azote	$\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$	5675	1494		1494	
	Tonne.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> .	0,5	0,1		0,1	
	T.secteur.an <sup>-1</sup>	74,6	150,5	225	811	1036
Phosphore minéral	$\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$	7533	223,4		223,4	
	Tonne.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> .	0,7	0,02		0,02	
	T.secteur.an <sup>-1</sup>	99	22,5	121,5	121,3	243
Phosphore organique	$\mu\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$	5347	988		988	
	Tonne.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup> .	0,5	0,1		0,1	
	T.secteur.an <sup>-1</sup>	70,3	99,5	169,8	536,6	706

### 8.2.2.2. Ventilation par saison

La seule observation sur l'année concerne des sédiments sous des tables non dévasées où les flux semblent plus élevés en période chaude.

Nous ne ferons pas de calcul de ventilation saisonnière des flux.

### 8.2.2.3. Impact conchylicole

Les flux d'azote et de phosphore sont plus élevés en zone A qu'en zone B+C (voir tableau 11). Cette différence ne coïncide pas tout à fait avec celle des concentrations dans les sédiments : les teneurs en azote dans les sédiments sont égales dans les deux zones (0,6 mg/g) et celles de phosphore sont légèrement plus élevées en zone A (1,94 mg/kg) qu'en zone B+C (1,47 mg/kg). Par contre, cette différence va dans le même sens que les biomasses de coquillages en élevage.

La réduction des flux à la suite des dévasages est sensible après un an de remise en culture (expérience de mai, Grenz, 1992) : elle est de 77 % pour l'azote minéral et de 97 % pour le phosphore minéral. Par la suite cette réduction s'amenuise (2,7 % en septembre, 10,9 % en décembre, données limitées à l'azote minéral).

## 8.3 Macrofaune benthique

### 8.3.1 Biomasses

#### 8.3.1.1 Bases bibliographiques

Gehant et Jeanneret, 1984, précisent la composition qualitative et quantitative des peuplements. Lors de sorties mensuelles 10 stations ont été étudiées dont 2 dans les parcs conchylicoles (Zone B et C), une au large des zones, les autres étant situées dans des points particuliers (zones d'échanges avec la mer, avec des arrivées d'eau douce, à

proximité des cages d'élevage du GAEC des Poissons du Soleil). La richesse spécifique de l'étang de Thau est soulignée : 172 espèces d'invertébrés sont signalées dont 44 appartenant aux annélides, 58 aux mollusques et 57 aux crustacés. Certaines caractéristiques communes à la plupart des stations sont dégagées : lié au cycle saisonnier le peuplement benthique montre un minimum estival de la biomasse suivi d'une reprise automnale bien marquée. L'accroissement de la biomasse s'accompagne dans certaines zones du recrutement de nombreuses espèces. Les maximums de biomasse sont enregistrés en hiver et sont dûs essentiellement à la prolifération de diverses espèces d'annélides. Au printemps s'opèrent la croissance et le recrutement de la plupart des autres espèces. Une dégradation plus ou moins accentuée des peuplements est observée près des lieux d'implantation des activités aquacoles et principalement au niveau des parcs conchylicoles.

Par la suite, les mêmes auteurs réalisent une couverture de 41 stations à une fréquence trimestrielle (année 1985). Les stations ont été réparties en trois zones :

- dans la zone conchylicole, en distinguant des stations sous les tables (élevages de moules ou d'huîtres, au large ou près des rives et avec traitement des sédiments ou non) et des stations dans les couloirs,
- sous les cages de pisciculture (GAEC de Balaruc),
- à 50 - 100 m à l'extérieur des ces deux zones.

Dans le cadre du programme ECOTHAU, 20 stations, réparties dans tout l'étang (Onglous et lagon exclus) ont été prospectées. Les résultats publiés (Jouffre et coll., 1991) ne comportent pas de données de biomasses et ne sont donc pas utilisables ici.

### 8.3.1.2 Evaluations

Les stations des parcs conchylicoles ont été retenues (2 stations dont l'une en zone B, l'autre en zone C) et une station située au large dans la zone des "cadoules" (située en zone profonde, entre le secteur conchylicole A et la pointe du Barrou) a été sélectionnée pour représenter le reste de l'étang.

Les biomasses en gramme par mètre carré de poids sec, ainsi que le tonnage correspondant étendu à l'ensemble des zones respectives sont rapportés dans le tableau 13.

TABLEAU 13 : MACROFAUNE BENTHIQUE						
Source:Gehant-Jeanneret, 1984						
VALEURS ANNUELLES						
	ZONE CONCHYLICOLE		HORS ZONE CONCHYLICOLE		ETANG	
	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>Tonnes</i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>Tonnes</i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>Tonnes</i>
	4,57	59	9,33	578	6,95	521
VALEURS TRIMESTRIELLES						
	ZONE CONCHYLICOLE		HORS ZONE CONCHYLICOLE		ETANG	
	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>Tonnes</i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>Tonnes</i>	<i>g/m<sup>2</sup></i>	<i>Tonnes</i>
JAN-MAR	4,40	57	14,25	883	9,32	699
AVR-JUIN	3,92	51	14,00	868	8,96	672
JUIL-SEP	9,17	119	2,45	152	5,81	436
OCT-DEC	2,20	29	6,28	389	4,24	318

### 8.3.2 Contenu en azote et en phosphore

L'absence de données sur la composition des espèces n'a pas permis d'estimer les quantités représentées dans l'étang en ces éléments

## 8.4 Macroflore benthique

### 8.4.1. Biomasses

#### 8.4.1.1. Bases bibliographiques

Après les travaux assez anciens de Kurc (1961) portant sur une cartographie sommaire des macrophytes, deux études plus récentes comportent des relevés floristiques et de biomasses par grandes catégories : phanérogames, algues rhodophycées, algues phéophycées, algues chlorophycées (les biomasses ne prennent pas en compte les rhizomes des phanérogames).

La première étude porte sur des relevés réalisés à l'automne 1986, en 61 points, répartis régulièrement dans l'étang (Dubois et Lauret, 1991) : stations 1 à 62 du programme Ecothau (station 10 exclue) . Elle est complétée par un suivi de 16 points en hiver et au printemps. Elle ne prend pas en compte des zones de forte densité végétale du sud ouest de l'étang (les Onglous et le lagon).

La seconde étude (Lauret, 1990) a procédé par étude de transects (printemps 1990) et ne couvre pas le quart Nord-Est de l'étang (zone conchylicole A, crique de l'Angle et Eaux Blanches sont exclus) ; elle a été utilisée pour compléter l'information manquant dans la première.

Il n'y a pas d'évaluation des végétaux fixés sur les structures conchylicoles.

## 8.4.1.2. Evaluations

Les biomasses (tableau 14) sont présentées par grandes catégories végétales : phanérogames et algues (rhodophycées, phéophycées, chlorophycées).

TABLEAU 14 : MACROPHYTES : BIOMASSES							
BIOMASSES g de M.S./m <sup>2</sup> (tonnes/secteur)	Zone Conchylicole*		Hors zone conchylicole				TOTAL
	Couloirs	sous table	lagon+ Ile de Thau **	Onglous **	Reste étang *	Total	
PHANEROGAMES	3.9 (44.8)	0	386.2 (3155.2)	754.2 (580.7)	34.9 (1851.8)	90.1 (5586.2)	75.2 (5631)
RHODOPHYCEES	219.5 (2524.2)	0	?	52.2 (40.2)	55.3 (2934.2)	48 (2976)	77.7 (5500)
PHEOPHYCEES	8.3 (95.4)	0	?	0	3.8 (201.6)	3.2 (198.4)	4.1 (293.8)
CHLOROPHYCEES	2.2 (25.3)	0	?	20.8 (16)	9.9 (525.3)	8.7 (539.4)	7.6 (565)
TOTAL	234 (2690)	0	386 (3155)	827 (637)	104 (5513)	150 (9300)	165 (11990)
* Dubois et Lauret, 1991							
**Lauret, 1990							

A l'échelle de l'étang, les phanérogames et les algues rhodophycées dominent, avec des biomasses voisines. La zone conchylicole est caractérisée par l'abondance des algues rhodophycées (dans les couloirs), pendant que les herbiers se développent au maximum dans les secteurs peu profonds au Sud-Ouest de l'étang (lagon et Onglous).

Il faut signaler l'absence de macrophytes sous les tables conchylicoles elles-mêmes. La limite de la végétation se situe vers l'isobathe 3 m, excepté dans les couloirs de la zone conchylicole où la végétation se développe sur des fonds atteignant 5 m. Ceci correspond aux observations de terrain : l'eau est plus claire et la pénétration des rayons lumineux meilleure, probablement par suite du filtrage des eaux par les coquillages (Lauret, 1990).

Les densités (g / m<sup>2</sup> de poids sec ) les plus élevées sont rencontrées dans les secteurs peu profonds (Onglous, lagon) et correspondent à des herbiers bien développés.

L'évolution temporelle, étudiée à quelques stations témoins, est marquée par une certaine stabilité des biomasses : les biomasses de juin, octobre et février représentent 32 %, 30 % et 38 % de la biomasse cumulée des trois périodes. Ceci masque des évolutions diverses selon les espèces, certaines restant stables (*Zostera marina*), d'autres se développant plutôt à une saison (*Ulva rigida* à dominance printannière ; *Halopytis incurvus* à dominance hivernale).

## 8.4.2. Contenus en azote et phosphore

## 8.4.2.1. Bases bibliographiques

Le choix des teneurs internes des macrophytes se heurte à deux difficultés.

La première est celle des fluctuations au cours du cycle annuel qui semblent non négligeables. Ceci est observé pour les phanérogames, comme *Zostera marina* (fluctuations entre 1,2 et 4,6 % d'azote en poids sec dans les feuilles au Canada, selon Harisson et Mann, 1975) ; il en est de même pour l'algue chlorophycée *Ulva rigida* (teneurs internes oscillant entre 3,5 et 0,1 % d'azote en poids sec dans un étang languedocien, selon Patey, 1991). Une seconde difficulté concerne les phanérogames, pour lesquelles feuilles et rhizomes ne sont pas équivalents. Comme les données de biomasse s'appliquent aux feuilles, ce sont les teneurs en azote et phosphore des feuilles qui devraient être prises en compte.

Enfin, il faut aussi signaler que les données concernant le phosphore sont plus rares que pour l'azote.

Les éléments bibliographiques ont été recherchés pour les genres les plus représentés. Le tableau 15 ci-après rassemble les informations disponibles.

Tableau 15

Espèce	Auteur	N	P	LIEU	PARTIE DU VEGETAL
		% poids sec	% poids sec		
<i>Zostera marina</i>	Pelikaan, 1984	2.41 (mai)	2.5 (mai)	Hollande	feuilles et rhizomes
	Harisson et Mann, 1975	2.88 (moy. annuelle)		Canada	feuilles
		4.6 - 1.2 (max- min annuel)			
	Mancini, 1988	2	0,15	France, Thau	?
<i>Gracillaria</i> sp.	Mancini, 1988	2,8	0,17	France, Thau	Thalle
<i>Halopytlls</i> sp.	Mancini, 1988	2,5	0,07	France, Thau	Thalle
<i>Codium fragile</i>	Asare et Harlin, 1983	3.5 - 2 (max-min annuel)		USA	Thalle
	Wheeler et Björnsäter, 1992	2.6 - 1.64 (max-min annuel)	4.88 - 0.283 (max-min annuel)	USA	Thalle
	Mancini, 1988	2	0,138	France, Thau	Thalle
<i>Ulva rigida</i>	Lavery et Mc Comb, 1991	2.94 (maxi annuel)	0.22 (maxi annuel)	Australie	Thalle
	Mancini, 1988	2,5	0,204	France, Thau	Thalle
	Patey, 1991	3.5 - 0.1 (max-min/mars-sept)	1.32 - 0.27	France, Prévost	Thalle

#### 8.4.2.2. Evaluations (Tableau 16)

La majorité des références bibliographiques sont assez succinctes et ne permettent pas de tenir compte de variations saisonnières.

Le groupe des phanérogames est dominé par *Zostera marina*, dont les teneurs internes seront appliquées à l'ensemble de ce groupe.

Les teneurs en azote concordent entre les différents auteurs. Les valeurs les plus élevées sont rencontrées en hiver (Harrison et Mann) et la moyenne se situe vers 2,9. Ceci n'est pas incompatible avec les résultats ponctuels des autres auteurs, en particuliers ceux de Mancini sur l'étang de Thau. Les contenus en phosphore de Pelikaan (1984) sont

extraordinairement élevés. Comme la variation saisonnière de cet élément n'est pas connue, on a choisi d'appliquer les données de Mancini pour le phosphore, ainsi que pour l'azote ; une sous-estimation en azote est alors probable.

Le groupe des algues rhodophycées est constitué essentiellement d'*Halopytis incurvus* et de gracillaires. Pour l'azote aussi bien que pour le phosphore, une valeur moyenne entre ces deux espèces a été retenue (données de Mancini).

Parmi les algues phéophycées, deux espèces sont aussi abondantes (*Cystoseira barbata* et *Sargassum muticum*) ; les contenus internes des sargasses sont les seuls connus (Mancini) et seront retenus pour l'ensemble de ce groupe.

Les algues chlorophycées seront représentées par *Ulva rigida*, dont les teneurs internes fluctuent de façon importante, en fonction de la croissance et de la disponibilité en éléments nutritifs dans le milieu. Pour cette première approche, les données de Mancini seront retenues. Le tableau 16, ci-dessous, présente les évaluations résultantes.

TABLEAU 16 : MACROPHYTES, STOCKS D'AZOTE ET DE PHOSPHORE (Tonnes)						
	ZONE CONCHYLICOLE		HORS ZONE CONCHYLICOLE		ETANG	
	Azote	Phosphore	Azote	Phosphore	Azote	Phosphore
PHANEROGAMES	0.90	0.07	111.72	8.38	112.62	8.45
RHODOPHYCEES	68.15	3.03	80.35	3.57	148.50	6.60
PHEOPHYCEES	2.10	0.24	4.36	0.50	6.50	0.74
CHLOROPHYCEES	0.63	0.05	13.50	1.10	14.10	1.15
TOTAL	71.77	3.39	209.93	13.55	281.72	16.94

Les stocks d'azote dans les macrophytes sont évalués à 72 tonnes dans le secteur conchylicole (55,3 kg/ha) et 210 tonnes dans le reste de l'étang (33,8 kg/ha) ; ceux de phosphore se situeraient vers 3,4 tonnes en zone conchylicole (2,6 kg/ha) et 13 tonnes hors zone conchylicole (2,2 kg/ha).

Il convient de prendre ces résultats avec précaution car les données bibliographiques concernant l'azote et le phosphore dans les macrophytes sont peu nombreuses et ne permettent pas d'évaluer des variations au cours des saisons.

En moyenne et pour les secteurs qui ont été cartographiés, on estime que les macrophytes mobilisent un stock de 280 tonnes d'azote (37,5 kg/ha) et 17 tonnes de phosphore (2,2 kg/ha).

## 9- LA PRODUCTION CONCHYLICOLE

La conchyliculture constitue l'activité de production principale de la lagune. L'élevage des coquillages se pratique en suspension, sur des structures fixes, les "tables", qui s'étendant sur près d'un cinquième de sa superficie, donnent à l'étang son aspect si particulier. Les principales données concernant les zones conchylicoles et leur occupation par ces "tables" ont été fournies dans la fiche signalétique exposée en introduction. Les deux principales espèces élevées sont l'huître creuse japonaise (Crassostrea gigas) et la moule (Mytilus galloprovincialis).

### 9.1 Biomasses en élevage et productions commerciales

#### 9.1.1 Biomasses

##### 9.1.1.1 Bases bibliographiques

L'étude de Hamon et Tournier (1988) fait le point sur les stocks en élevage de 1981 à 1987. Les biomasses en élevage se situent entre plus de 33 600 et 25 400 tonnes de poids frais ; avec une réduction sensible de l'importance des moules au cours de la période (de près de 40 % du tonnage à moins de 20%).

L'estimation des quantités commercialisées et principalement leur ventilation au cours de l'année sont difficiles à préciser. On estime cependant que la production commercialisée représente trois cinquième de la biomasse en culture pour les huîtres, soit 15 000 tonnes environ sur l'année. La principale période de vente se situant aux alentours de Noël, on considère généralement que 70 % des huîtres sont retirées de l'étang en fin d'année de septembre à octobre. En ce qui concerne les moules, tout au long de l'année la biomasse mise en élevage serait de 3 000 tonnes (Hamon et coll., 1990). Les parqueurs mettent cependant également en élevage des moules de grande taille (de l'ordre de 4 cm). Ces dernières ne restent que quelques mois dans l'étang et sont immédiatement remplacées après la vente. Il est ainsi possible d'opérer jusqu'à trois rotations dans l'année ce qui permet d'atteindre une biomasse élevée de 9 000 tonnes. La production commerciale qui approcherait les 7 000 tonnes serait écoulée plus régulièrement avec cependant une période de pointe en septembre-octobre.

Ces remarques permettent de conduire aux évaluations ci-après qui serviront de base pour la suite.

#### **Huîtres :**

Biomasse en élevage : 25 000 tonnes, en permanence,

Commercialisation : 15 100 tonnes, dont 10 000 en fin d'année (octobre à décembre) et 1 700 les autres trimestres.

#### Moules :

Biomasse en élevage : 3 000 tonnes, en permanence, mais avec un remplacement rapide car il y a jusqu'à trois rotations dans l'année,

Commercialisation : 7 000 tonnes (1 000 tonnes pour chacun des deux premiers trimestres, 2 000 tonnes pour la période juillet-septembre et 3 000 tonnes au dernier trimestre).

La ventilation par zones est présentée par Hamon et Tournier (1988) : elle fait apparaître une répartition de la totalité des biomasses en élevage pour un peu moins de la moitié en zone A (de 46 % à 49 % selon les années).

La zone A est aussi proportionnellement plus chargée en moules, la différence tendant toutefois à se réduire actuellement : 79 % des moules en élevage se trouvent en zone A en 1984, et seulement 65 % en 1987. En zones B et C, l'évolution est inverse : 20 % de moules en élevage en 1984 et 35 % en 1987.

Les données de l'année 1987 seront retenues pour la ventilation des biomasses par secteur.

#### 9.1.1.2 Evaluations

Les biomasses actuellement en élevage sont indiquées dans le tableau 17.

Bien que la réalité soit plus complexe, ces biomasses seront considérées comme stables et les valeurs s'appliquent donc aussi bien annuellement que trimestriellement.

		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	11 000	2 000	13 000
	t/ha	20	3,6	23,6
Zone B+C	tonnes	14 000	1 000	15 000
	t/ha	18,1	1,3	19,4
TOTAL	tonnes	25 000	3 000	28 000
	t/ha	18,9	2,3	21,1

Les charges à l'hectare sont légèrement plus élevées en zone A ; la différence entre les deux zones est surtout importante pour les moules. Une colonne d'eau plus grande ainsi qu'une densité de charge plus élevée expliquent ce résultat.

En appliquant la proportion (annuelle et saisonnière) de biomasse qui est commercialisée aux biomasses en élevage, on obtient la quantité commercialisée globalement et par trimestre (tableau 18).

	Huîtres	Moules	Total
Jan-Mar	1 700	1 000	2 700
Avr-Jun	1 700	1 000	2 700
Jul-Sep	1 700	2 000	3 700
Oct-Dec	10 000	3 000	13 000
TOTAL	15 100	7 000	22 100

La commercialisation est inférieure au stock en place dans le cas des huîtres et supérieure dans celui des moules, car il y a plusieurs rotations dans l'année. Elle intervient massivement en fin d'année, avec pour les moules une augmentation sensible des ventes en été.

### 9.1.2 Stocks en azote et phosphore

#### 9.1.2.1 Bases bibliographiques

De la bibliographie sur les deux espèces concernées, on retiendra les données suivantes pour la chair :

	Huîtres	Moules
% chair humide	11	27
% chair sèche	3	5
% protides sur chair sèche	40	56
% de N sur chair sèche	6,4	8,96
% de P sur chair humide	0,155	0,165

En l'absence de données de teneur en azote et en phosphore des coquilles des espèces élevées dans l'étang de Thau, on les estimera à partir de celles d'espèces voisines (huîtres: *Crassostrea virginica*; moules: *Geukensia demissa* (= *Modiolus demissus*) Jordan et Valiela, 1982, et Kuenzler, 1961). En l'absence de données concernant le phosphore des coquilles d'huîtres, le rapport N/P trouvé pour les moules (12,82) sera appliqué.

	Huître	Moules
Azote de la coquille en % d'azote de la chair		31
% d'azote sur poids de coquille	0,14	
% de phosphore sur poids de coquille		0,015

#### 9.1.2.2 Evaluations

L'application aux biomasses en élevage et commercialisés conduit aux résultats des tableaux 19 et 20.

TABLEAU 19 : STOCKS d'AZOTE EN PLACE										
		CHAIR			COQUILLE			ENSEMBLE		
		Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total
Zone A	tonnes	21,12	8,96	30,08	13,71	2,78	16,48	34,83	11,748	46,56
	tonnes/ha	0,04	0,02	0,05	0,02	0,00	0,03	0,06	0,02	0,08
Zone B+C	tonnes	26,88	4,48	31,36	17,44	1,39	18,83	44,32	5,87	50,19
	tonnes/ha	0,03	0,01	0,04	0,02	0,00	0,02	0,06	0,01	0,06
TOTAL	tonnes	48,00	13,44	61,44	31,15	4,176	35,32	79,15	17,616	96,76
	tonnes/ha	0,04	0,01	0,05	0,02	0,00	0,03	0,06	0,01	0,07

STOCKS de PHOSPHORE EN PLACE										
		CHAIR			COQUILLES			ENSEMBLE		
		Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total
Zone A	tonnes	1,88	0,89	2,77	1,07	0,22	1,29	2,95	1,11	4,06
	tonnes/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Zone B+C	tonnes	2,39	0,45	2,83	1,36	0,11	1,47	3,75	0,55	4,30
	tonnes/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
TOTAL	tonnes	4,26	1,34	5,60	2,43	0,33	2,76	6,69	1,65	8,36
	tonnes/ha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,016

TABLEAU 20 : AZOTE EXPORTE (Tonnages)										
		CHAIR			COQUILLES			ENSEMBLE		
		Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total
Jan-Mar		3,26	4,48	7,74	2,12	1,39	3,51	5,38	5,87	11,25
Avr-Jun		3,26	4,48	7,74	2,12	1,39	3,51	5,38	5,87	11,25
Jul-Sep		3,26	8,96	12,22	2,12	2,78	4,90	5,38	11,74	17,12
Oct-Dec		19,20	13,44	32,64	12,46	4,17	16,63	31,66	17,61	49,27
TOTAL		28,99	31,36	60,35	18,81	9,72	28,544	47,81	41,08	88,89

PHOSPHORE EXPORTE (Tonnages)										
		CHAIR			COQUILLES			ENSEMBLE		
		Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total	Huitres	Moules	Total
Jan-Mar		0,29	0,45	0,73	0,16	0,11	0,27	0,45	0,55	1,00
Avr-Jun		0,29	0,45	0,73	0,16	0,11	0,27	0,45	0,55	1,00
Jul-Sep		0,29	0,89	1,18	0,17	0,22	0,39	0,46	1,11	1,57
Oct-Dec		1,70	1,34	3,04	0,97	0,33	1,39	2,67	1,66	4,34
TOTAL		2,57	3,12	5,69	1,46	0,77	2,23	4,03	3,87	7,91

Les observations sont les mêmes que pour les biomasses : l'exportation annuelle d'azote par la commercialisation des coquillages est légèrement inférieure au stock que constituent les coquillages en place ; cette exportation intervient surtout en fin d'année.

## 9.2 .Biodépôts conchylicoles

Les mollusques ont un impact considérable sur l'écosystème. Ils prélèvent en effet des matières particulaires et dissoutes, les transforment et en rejettent d'autres sous forme organique et minérale utilisables par divers organismes vivant dans la masse d'eau ou dans le sédiment recyclant ainsi les éléments nutritifs de la lagune.

La présence d'une forte biomasse concentrée en un espace restreint a également pour effet, en accentuant l'importance des échanges de matière, d'induire de profondes modifications dans le milieu considéré se traduisant, en particulier, par une augmentation importante de la sédimentation. La sédimentation totale représente la somme des dépôts de matériel inorganique et de matériel organique présent dans le milieu (déchets, cadavres) ou issu de l'activité biologique (fèces, pseudofèces). Les principales données disponibles permettant d'estimer la sédimentation générale et la biodéposition propre à l'activité des mollusques d'élevage sont fournies par Grenz, 1989.

### 9.2.1 Bases bibliographiques

Les biodépôts étant liés aux matières en suspension, nous n'avons pas voulu retenir les données bibliographiques des marais et de l'estran atlantique ; le parallèle entre ces milieux et Thau montre d'ailleurs que les biodépôts y sont beaucoup plus élevés (Grenz, 1989).

Les seules données disponibles sur l'étang de Thau sont celles de Grenz (1989) ; elles encadrent l'été (mesures en juin et octobre des années 86 et 87) ; une mesure concerne le printemps (avril 87).

La variabilité interne à chaque date est parfois très élevée (écart-type de 0,07 à 1,73 pour l'azote ), et les valeurs mensuelles moyennes peuvent différer selon les années :

<b>Biodépôts : Teneur en azote en mg/g.j. chair sèche</b>					
<b>Huîtres</b>					
		Juin 86	Juin 87	Octobre 86	Octobre 87
Azote	moyenne	0,52	0,29	0,8	4,37
	cv	0,33	0,24		0,32
<b>Moules</b>					
Azote	moyenne	0,62	0,29	0,47	0,63
	cv	0,05	0,34	1,08	0,35

Pour information, on a aussi calculé les biodépôts en matière sèche, en retenant la valeur moyenne des périodes ci-dessus, soit 264,9 et 109,4 mg/g.j (chair sèche), respectivement pour les huîtres et les moules.

## 9.2.2 Evaluations (tableau 21)

<b>Tableau 21 : Biodépôts</b>							
BIODEPOTS EN MATIERE SECHE							
		TONNES PAR AN (valeurs estivales)			TONNES PAR TRIMESTRE (valeurs estivales)		
		Huîtres	Moules	Total	Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	31 907	3 993	35 900	7 868	985	8 852
	t/ha	58,01	7,19	65,20	14,30	1,77	16,8
Zone B+C	tonnes	40 609	1 997	42 606	10 013	492	10 506
	t/ha	52,5	2,60	55,10	12,95	0,64	13,59
TOTAL	tonnes	72 516	5 990	78 506	17 881	1477	19 358
	t/ha	54,82	4,59	59,41	13,52	1,13	14,65
BIODEPOTS en AZOTE							
		TONNES PAR AN (valeurs estivales)			TONNES PAR TRIMESTRE (valeurs estivales)		
		Huîtres	Moules	Total	Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	179,5	18,3	197,7	44,3	4,5	48,8
	t/ha	0,326	0,033	0,359	0,080	0,008	0,089
Zone B+C	tonnes	228,4	9,1	237,5	56,3	2,3	58,6
	t/ha	0,295	0,012	0,307	0,073	0,003	0,076
TOTAL	tonnes	407,9	27,4	435,3	100,6	6,8	107,3
	t/ha	0,308	0,021	0,329	0,076	0,005	0,081

Nous avons choisi de représenter la période estivale par une valeur moyenne entre celles de juin et d'octobre. Les mêmes données seront aussi appliquées annuellement, et ce à titre d'exemple.

Les biodépôts en matière sèche seraient considérables : 59 t/ha.a, les huîtres produisant des biodépôts par gramme de matière sèche qui sont près de trois fois supérieurs à ceux des moules.

Ceci confirme les chiffres avancés par Arakawa (1970) et adaptées à l'étang de Thau par Raimbault, 1976. Cet auteur retient comme production journalière de déchets en poids sec : 0,17 g pour les huîtres et 0,068 g pour les moules.

Par leur biodépôts, les coquillages contribuent à un enrichissement du sédiment en azote.

### 9.3. Filtration par les coquillages

#### 9.3.1 Bases bibliographiques

La filtration est activée par la température ; elle a fait l'objet de plusieurs études, dont nous présentons la synthèse ci-après.

##### 9.3.1.1 Huîtres (*Crassostrea gigas*)

Le tableau 22 indique les valeurs brutes rencontrées dans la littérature, une seule porte sur Thau. Pour les besoins de cette étude, nous les avons regroupées par trimestre (entre parenthèses : nombre de mesures par période) :

Lieu	Thau	Marennes	Marennes	formule de Bayne
Auteurs	Outin 1990	Deslous- Paoli 1987a	Deslous- Paoli 1987b	Bayne et al. 1973
unité	l/g.h (Poids sec)	l/g.h (Poids sec)	l/g.h (Poids sec)	l/g.h (Poids frais)
année				0,13 à 0,17
jan-mar	- (0)	0,6 (1)	4,3 (3)	
avr-jun	4,17 (5)	7,52 (1)	4,5 (3)	
jul-sep	- (0)	2,53 (1)	5,4 (3)	
oct-dec	2,02 (4)	5,07 (1)	2,7 (3)	

Les valeurs mesurées par Deslous-Paoli (1987b) recourent bien celles de Outin sur Thau et seront retenues pour exprimer la filtration en fonction des saisons.

Chez l'huître, on peut considérer que la filtration est assez constante au cours de trois premiers trimestres et qu'elle chute ensuite.

### 9.3.1.2 Moules

Il n'y a pas de données sur Thau et donc sur l'espèce Mytilus galloprovincialis ; les valeurs brutes citées dans la littérature, concernent M. edulis. Elles sont indiquées au tableau 23 et récapitulées ci-dessous par trimestre (valeur moyenne, entre parenthèse: nombre de mesures par période) :

Lieu	Marennnes	Marennnes	
Auteur	Deslous-Paoli 1987a	Deslous-Paoli 1987 b	Bayne et al. 1973
unité	l/g.h (PS)	l/g.h (PS)	l/g.h (PF)
année			
jan-mar	1.75 (1)	8.2 (3)	0.24
avr-mai	5.52 (1)	9.12 (3)	
jun-sep	2.03 (1)		0.34
oct-dec	2.63		0.28

Les valeurs de Deslous-Paoli (1987b) seront appliquées.

Deux périodes d'activité des moules apparaissent : élevée en hiver et au printemps et basse en été et automne.

### 9.3.2 Evaluations

#### 9.3.2.1 Volumes (tableau 24)

	A			B+C			TOTAL		
	Huîtres	Moules	Total	Huîtres	Moules	Total	Huîtres	Moules	Total
Jan-mar	3 065,0	1 771,2	4 836,2	3 901,0	885,6	4 786,6	6 966,0	2 656,8	9 622,8
Avr-Jun	3 243,2	1 991,8	5 235,0	4 128,8	995,9	5 123,7	7 371,0	2 987,7	10 358,7
Jul-Sep	3 934,7	821,4	4 756,0	5 008,7	410,7	5 418,4	8 942,4	1 232,1	10 174,5
Oct-Dec	1 967,3	675,6	2 643,0	2 504,9	337,8	2 841,7	4 471,2	1 013,5	5 484,7
Année	12 210,3	5 260,0	17 470,3	15 540,3	2 630,0	18 170,4	27 750,6	7 890,0	35 640,6

On peut ainsi estimer que les coquillages filtrent annuellement plus de 100 fois (119) le volume de l'étang, dont 92 pour les seules huîtres soit près d'une fois tous les trois jours. Ceci rejoint les conclusions formulées par Hamon et Tournier (1986), qui estiment que l'équivalent de la capacité totale de l'étang est filtrée en 2,81 jours par une biomasse estimée à 32 152 tonnes d'huîtres et à 3 345 tonnes de moules (biomasses de l'année 1986). Outin (1990) note que 20 % du volume de l'étang est filtré en une journée par une biomasse de 32 000 tonnes d'huîtres ; l'équivalent de la masse d'eau de Thau serait filtré en 5 jours par ces organismes.

On peut rappeler que la présence en grande quantité de ces organismes filtreurs, associée au faible hydrodynamisme qui caractérise l'étang pendant la plus grande partie de l'année (Millet, 1989), est à l'origine de la forte déplétion du phytoplancton observée à l'intérieur des zones conchylicoles (Tournier et coll, 1985).

D'après les hypothèses retenues, la filtration serait à peu près constante au cours des trois premiers trimestres (30 à 35 fois le volume de l'étang) et chuterait ensuite (18 fois) ; ceci résulte de l'importance des huîtres, dont le taux de filtration se réduit au dernier trimestre.

Les zones A et B+C représentent à peu près la même activité globale de filtration, avec toutefois un écart en été, à l'avantage de la zone B+C, dans laquelle les huîtres sont plus nombreuses.

### 9.3.2.2 Filtration des éléments particuliers (phytoplancton, zooplancton)

En appliquant les volumes filtrés aux concentrations, on obtient le tableau 25, d'après lequel les coquillages filtreraient annuellement sous forme de phytoplancton près de 600 tonnes d'azote et environ 80 tonnes de phosphore.

	ZONE CONCHYLICOLE			HORS ZONE CONCHYLICOLE			ENSEMBLE		
	Chloro a mg/m <sup>3</sup>	Azote mg/m <sup>3</sup>	Phosphore mg/m <sup>3</sup>	Chloro a mg/m <sup>3</sup>	Azote mg/m <sup>3</sup>	Phosphore mg/m <sup>3</sup>	Chloro a mg/m <sup>3</sup>	Azote mg/m <sup>3</sup>	Phosphore mg/m <sup>3</sup>
Jan-Mar	0,91	9,88	1,32	1,63	17,77	2,37	1,48	16,13	2,16
Avr-Jun	1,63	17,73	2,37	2,52	27,47	3,67	2,26	24,63	3,29
Jul-Sep	2,44	26,59	3,55	4,33	47,20	6,31	4,07	44,36	5,93
Oct-Dec	1,17	12,79	1,71	5,27	57,44	7,68	4,64	50,58	6,76
Annuel	1,54	16,75	2,24	3,44	37,50	5,01	3,11	33,93	4,53

	CHLORO	AZOTE	PHOSPHORE
Jan-Mar	8,72	95,08	12,71
Avr-Jun	16,85	183,62	24,54
Jul-Sep	28,82	270,53	36,16
Oct-Dec	6,43	70,13	9,37
Annuel	54,75	596,82	79,78

Les données sur le zooplancton sont très rares et le bilan annuel de la filtration n'est pas connu.

## 9.4 Excrétion

### 9.4.1 Bases bibliographiques

L'élément concerné est l'azote ammoniacal

#### 9.4.1.1 Huîtres

L'excrétion des huîtres (*C.gigas*) de l'étang de Thau est étudiée par Outin (1990). Comme ses observations ne permettent pas de représenter les mois d'hiver et d'été, nous

avons effectué une comparaison avec les résultats obtenus en d'autres milieux et en particulier ceux de la façade atlantique ( Vincendeau, 1987).

Le tableau 26 présente les valeurs rencontrées dans la littérature, regroupées par trimestre (entre parenthèses : nombre de mesures par période) :

Tableau 26 : Excrétion des huîtres		
Lieu	THAU	ATLANTIQUE
Auteurs	OUTIN, 1990	VINCENDEAU, 1987
	$\mu\text{mol/g.h (PS)}$	$\mu\text{mol/g.h (PS)}$
JANV-MARS	(0)	0,2 (1)
AVRIL-JUIN	2,9 (6)	1,35 (2)
JUILL-SEPT	(0)	0,4 (1)
OCT-DEC	0,88 (4)	0,7 (2)

L'excrétion est plus élevée au printemps (avril à juin) qu'en automne (octobre à décembre) ; elle est minimale aux autres saisons. Par ailleurs, elle semble supérieure à Thau. Dans ces conditions, une moyenne annuelle des données de Outin produira probablement une surestimation, en outre, l'application des valeurs de l'atlantique produira une sous-estimation. En conclusion, on a retenu les valeurs saisonnières de l'étude Outin et la moyenne de ces valeurs, pour évaluer une valeur annuelle, en gardant à l'esprit qu'il y a surestimation pour cette dernière.

#### 9.4.1.2 Moules

Pour Bayne (1973, in Hamon, 1983), l'excrétion se situe entre 9.6 à 67.2  $\mu\text{g/g.j}$  de chair fraîche.

Riva et Massé (1983) indiquent que l'excrétion (E) chez Mytilus edulis est du type

:

$E = a W^b$ , avec, pour des individus de 0.08 à 1.4 gramme de chair sèche :

$$a = 0,058$$

$$b = 1,091$$

W = poids en gramme de chair sèche

E = excrétion en mg par gramme de chair sèche par heure.

Hamon (1983), combinant les effets du poids individuel, de la température et de la nourriture disponible propose, pour l'étang de Thau les valeurs d'excrétion suivantes :

Equation :  $E = a W^b$ , avec E en milligramme par gramme de chair sèche par heure

	paramètre a	paramètre b
jan	7,1	1,16
mai	91,9	1,48
jul	34,6	0,615
sep	18,5	0,720
nov	4,9	0,482

Pour une application saisonnière, on utilise :

- au premier trimestre, les valeurs de janvier
- au second trimestre, celles de mai
- au troisième trimestre la moyenne des valeurs de juillet et septembre est appliquée ( $a= 26,55$  ;  $b= 0,667$ ).
- au dernier trimestre, les valeurs de novembre.

Le poids moyen individuel retenu de 1,4 g de chair sèche (Moule de 70 mm de long, poids individuel moyen frais de 28g ).

#### 9.4.2 Evaluations

Le tableau 27 ci-contre fournit les évaluations de cette excrétion tirées des travaux suivants :

- huîtres : deuxièmes et quatrièmes trimestres, d'après les données brutes de Outin (1990) et valeur annuelle d'après la moyenne des deux valeurs trimestrielles.
- moules : quatre trimestres d'après les équations de Hamon (1983), valeur annuelle obtenue par sommation de quatre valeurs trimestrielles de Hamon. Pour comparaison, la valeur annuelle obtenue selon l'équation de Riva et Massé (1983 ) est présentée.

L'excrétion des huîtres est plus forte le deuxième trimestre que le quatrième ; les moules ont une excrétion azotée plus importante que les huîtres. La résultante sur l'ensemble penche en faveur des huîtres, qui constituent actuellement la plus forte biomasse en élevage.

TABLEAU 27 : EXCRETION AZOTEE

BIOMASSES EN PLACE (Tonnages frais annuels et trimestriels)				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	11 000	2 000	13 000
Zone B+C	tonnes	14 000	1 000	15 000
TOTAL	tonnes	25 000	3 000	28 000

Valeur du premier trimestre en tonnes (90 jours)				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes		1,62	
Zone B+C	tonnes		0,81	
TOTAL	tonnes		2,43	

Valeur du deuxième trimestre en tonnes (91 jours)				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	29,26	23,59	52,85
Zone B+C	tonnes	37,24	11,79	49,04
TOTAL	tonnes	66,50	35,38	101,89

Valeur du troisième trimestre en tonnes (92 jours)				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes		5,24	
Zone B+C	tonnes		2,62	
TOTAL	tonnes		7,86	

Valeur du quatrième trimestre en tonnes (92 jours)				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	8,98	0,91	9,89
Zone B+C	tonnes	11,43	0,45	11,89
TOTAL	tonnes	20,40	1,36	21,77

Valeur annuelle en tonnes d'azote (365 jours)				
Huîtres : excrétion moyenne des deux trimestres (2° et 4°)				
Moules : somme des valeurs trimestrielles (équations de Hamon)				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	76,49	31,36	107,85
Zone B+C	tonnes	97,35	15,68	113,03
TOTAL	tonnes	173,84	47,04	220,88

Valeur annuelle en tonnes d'azote (365 jours)				
Huîtres : excrétion moyenne des deux trimestres				
Moules : selon équation annuelle de Riva et Massé				
		Huîtres	Moules	Total
Zone A	tonnes	76,49	52,39	128,88
Zone B+C	tonnes	97,35	26,19	123,55
TOTAL	tonnes	173,84	78,58	252,42

## 9.5 Déchets de détroquage

### 9.5.1 Bases bibliographiques

Le fonctionnement des mas conchylicoles a été étudié par SIEE : assainissement, déchets de détroquage, eaux de lavages. Il n'y a pas d'information sur l'azote et le phosphore, mais sur des volumes, teneurs en matière organique et en matière minérale. Il est précisé que depuis 1990 les déchets conchylicoles, qui contiennent des coquillages, mais aussi des épibiontes (algues, ascidies..) fixés sur les cordes, sont stockés à terre (rive nord), avec souvent des retours de jus d'égouttage par temps pluvieux et plus rarement par temps sec.

### 9.5.2 Evaluations

En l'absence de données sur l'azote et le phosphore, on retiendra les informations suivantes (chiffres indicatifs d'un ordre de grandeur, car il existe une grande variabilité) :

#### Déchets de détroquage

Quantité : 12 000 à 15 000 tonnes par an  
(15 000 à 19 000 m<sup>3</sup>.a)

Matières organiques 1 200 à 2 250 tonnes par an

Matières minérales 3 000 à 5 250 tonnes par an

Les déchets de détroquage sont très hétérogènes (cordes, ciment etc.), expliquant la différence entre la quantité totale et celle des matières organiques et minérales.

Une évaluation des tonnages d'azote et de phosphore produits a été réalisée comme suit :

- matière organique de détroquage (valeur moyenne) : 1 750 tonnes. Cette matière organique sera assimilée à de la chair de coquillages, en retenant les huitres, production principale,

- on considère que les déchets de détroquage sont produits au cours des saisons dans les mêmes proportions que la production commercialisée, soit :12,2 % au cours des deux premiers trimestres, 16,7 % au troisième trimestre et 58,8 % au dernier trimestre,

- on applique les contenus en azote et phosphore des huitres (80% de chair humide, 6,4 % de N sur poids de chair sèche et N/P = 11,2).

Les valeurs résultantes sont les suivantes :

	Jan-Mar	Avr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dec
<b>N (tonnes)</b>	2,7	2,7	3,7	13
<b>P (tonnes)</b>	0,24	0,24	0,33	1,16

## 10- LA PECHE

Activité traditionnelle, la pêche exploite à la fois les coquillages et les poissons. La production de coquillages provenant de l'exploitation de gisements naturels n'a pas fait l'objet d'études.

### 10.1 Poissons

Bach (1985) note que la richesse spécifique de l'ichthyofaune de l'étang de Thau est élevée : il dénombre 53 espèces, dont 50 sont inféodées à des eaux marines ou lagunaires et 3 aux eaux continentales.

#### 10.1.1 Biomasses

##### 10.1.1.1 Bases bibliographiques

Les informations disponibles portent sur les captures et non sur les stocks en place.

L'exploitation est dominée par l'anguille (*Anguilla anguilla*), espèce la plus abondante pondéralement, pour tous les types de filets utilisés dans l'étang : capéchades, brandines et triangles (Bach, 1985).

Les statistiques de capture des Affaires Maritimes concernant l'étang de Thau ne sont pas fiables, ni en valeur annuelle, ni en ventilation saisonnière (espèces anguille, analyse CEMAGREF, 1990). On a donc utilisé des données diverses, qui se basent soit sur des pêches expérimentales, complétées par les statistiques des Affaires Maritimes (Haon, 1977, espèce concernée : anguille), soit sur des pêches professionnelles, associées à des statistiques de mareyage (Bach, 1985, toutes espèces), soit par des enquêtes auprès des pêcheurs (CEPRALMAR, 1988), soit enfin sur des statistiques de mareyage (CEMAGREF, 1990, anguille). Il existe enfin une étude traitant des relevés de débarquements dans les ports (IFREMER, 1989, toutes espèces), mais qui fournit essentiellement des résultats méthodologiques (stratégie d'échantillonnage).

##### 10.1.1.2 Evaluations (Tableau 28)

###### Captures annuelles

L'ensemble des études réalisées sur l'étang de Thau donne des résultats cohérents et on peut situer la production halieutique annuelle de l'étang de Thau à 200-210 tonnes d'anguilles et 80-90 tonnes pour les autres espèces (tableau 28). On doit cependant noter que certains auteurs avancent des chiffres de production en poissons

nettement plus élevés : 500 à plus de 1 000 tonnes selon Amanieu (1981) et Quignard (1984).

#### Ventilation par trimestre

Une répartition des captures par saison, en distinguant les deux catégories (anguilles et autres espèces) a été réalisée comme suit :

- les statistiques de capture d'une partie de l'étang (Bach, 1985) servent de base pour calculer, par trimestre, le pourcentage des captures en anguilles ou en autres espèces,

- ces pourcentages sont appliqués aux statistiques globales pour l'étang, disponibles seulement pour les anguilles (données de mareyage, valeurs moyennes sur trois années).

L'étang de Thau est caractérisé par des captures en anguille qui se maintiennent à un niveau élevé du printemps à l'automne, et qui chutent en hiver. La pêche des autres espèces est concentrée sur l'automne (avalaisons). Il en résulte globalement (tableau 28) de faibles captures au cours du premier trimestre (23 tonnes), puis une augmentation régulière le reste de l'année (passant de 70 tonnes à 88,2 tonnes pour atteindre 109.7 tonnes au dernier trimestre).

#### Répartition par secteur

Il n'y a pas d'informations permettant de ventiler quantitativement la pêche par secteurs d'étang. On peut toutefois indiquer que la pêche automnale et hivernale concerne de façon privilégiée le secteur des Eaux Blanches et des canaux de Sète, pendant qu'au printemps et en été la pêche est plutôt pratiquée au nord de l'étang (secteur conchylicole).

TABLEAU 28 : POISSON: BILAN AZOTE PHOSPHORE				
<b>BILAN ANNUEL</b>				
		ANGUILLE	AUTRES	TOTAL
Pêche étang (kg)		207 700	83 000	290 700
AZOTE g/kg		19,20	16	
kg /étang		3 988	1 328	5 316
PHOSPHORE g/kg		1,27	1,44	
kg /étang		264	119	383
<b>BILAN SAISONNIER</b>				
		ANGUILLE	AUTRES	TOTAL
JANV-MARS	Production (kg)	17 122	5 707	22 830
	Azote (kg)	328,7	91,3	420
	Phosphore (kg)	21,7	8,2	30
AVR-JUIN	Production (kg)	56 619	13 281	69 900
	Azote (kg)	1087	212	1 299
	Phosphore (kg)	72	19	91
JUILL-SEPT	Production (kg)	67 025	21 166	88190
	Azote (kg)	1 287	339	1 626
	Phosphore (kg)	85	30	115
OCT-DEC	Production (kg)	66 905	42 775	109 680
	Azote (kg)	1 284	684	1 968
	Phosphore (kg)	85	61	146

### 10.1.2 Quantités d' azote et de phosphore exportées

#### 10.1.2.1 Bases bibliographiques

Avec plusieurs documents (Koenig, 1985 ; Malla et al, 1989 ; Mc Lay, 1986 ; Morozava, 1977 ; Penso, 1953 ; Vallod, 1987 ; Borgstrom, 1961 et 1962), on reconstitue les données nécessaires aux évaluations :

- teneur en azote et en phosphore de la chair. Ces teneurs sont données directement ou sont, pour l'azote, calculées à partir de la teneur en protéines.

- pourcentage de chair.

Il existe des données bibliographiques pour 11 espèces lagunaires, dont l'anguille (19,2 g par kg frais) et les principales espèces commercialisées dont les biomasses sont regroupées dans la catégorie "autres espèces" (loup, dorade et autres sparidés, muges, soles) ; on applique à cette catégorie la teneur moyenne de ces principales espèces (soit 16 grammes par kilogramme frais).

Les teneurs en phosphore ne sont connues que pour 3 espèces lagunaires, dont l'anguille (1,27 g par kilogramme frais) ; à défaut, il est fait mention d'une catégorie "poisson", qui est utilisée pour l'ensemble des espèces regroupées dans la catégorie "autres espèces" (soit 1,44 gramme par kilogramme frais).

## 10.1.2.2 Evaluations( Tableau 29)

TABLEAU 29 PECHE (POISSONS), CAPTURES ET EXPORTS D'AZOTE ET DE PHOSPHORE			
	Pêche (tonnes)	Azote (tonnes)	Phosphore (tonnes)
JANV-MARS	22,83	0,42	0,03
AVR-JUIN	69,9	1,3	0,09
JUILL-SEPT	88,19	1,63	0,115
OCT-DEC	109,68	1,97	0,146
TOTAL	290,7	5,32	0,38

L'exportation annuelle d'azote et de phosphore par la pêche est évaluée à 5,3 tonnes (azote) et 0,38 tonnes (phosphore) ; elle est faible en hiver (0,42 tonnes d'azote et 0,03 tonnes de phosphore) et augmente régulièrement au cours des trimestres suivants, passant pour l'azote de 1,3 à 1,6 pour atteindre 1,9 tonnes (phosphore: 0,09, 0,1, 0,15 tonnes).

10.2 Coquillages de pêche

## 10.2.1 Biomasses

Selon Duclerc (IFREMER, comm. pers.) la production de coquillages atteindrait 1 000 tonnes de clovisses (Venerupis aurea), 800 tonnes de palourdes (Ruditapes philippinarum) et 300 tonnes d'huîtres plates (Ostrea edulis).

## 10.2.2 Stocks d'azote et de phosphore

Les données de composition en azote et en phosphore de ces coquillages sont très peu nombreuses. Les données utilisées pour les calculs sont les suivantes :

- pour les palourdes : pourcentage de chair sèche (4 % du poids frais total, in Daou, 1989), teneur en protéine de la chair (50 % du poids de chair sèche, in Daou, 1989), teneurs en protéines de la coquille (7,5 mg/g de coquille, in Gouletquer et al., 1989). Le poids des coquilles sera approximé par celui des moules (89 % du poids frais),
- pour les clovisses, espèce voisine des palourdes, on applique les mêmes valeurs que pour les palourdes,
- pour les huitres plates, on appliquera les données des huitres creuses (voir plus haut).

TABLEAU 30 : PECHE DE COQUILLAGES- Teneur en Azote				
	CLOISSSES	PALOURDES	HUITRES PLATES	TOTAL
tonnes frais (annuel)	1 000	800	300	2 100
% chair humide	27 (cf moule)	27 (cf moule)	11 (cf huître)	
% chair sèche sur poids frais	4 (IFREMER)	4 (IFREMER)	3 (IFREMER)	
% Proteines (chair) sur poids sec	50 (IFREMER)	50 (IFREMER)	40 (IFREMER)	
% Proteines coquilles	0,75 (cf palourde)	0,75 (Gouilletquer)		
% Azote coquille	0,12	0,12	0,14 (Jordan et Valiela)	
Chair sèche (tonnes)	40	32	9	
Protéines chair (tonnes)	20	16	3,6	
Azote chair (tonnes)	3,2	2,56	0,58	6,34
Phosphore chair (tonnes)	0,32	0,26	0,05	0,63
Coquilles (tonnes)	730	584	267	
Azote coquilles (tonnes)	0,88	0,70	0,37	1,95
Phosphore coquilles (tonnes)	0,07	0,05	0,03	0,15
Azote Ensemble	4,08	3,26	0,95	8,29
Phosphore ensemble	0,39	0,31	0,08	0,78

## 11- LES BILANS

Nous avons présenté en introduction un schéma simplifié du fonctionnement de l'étang, incluant ses échanges avec l'extérieur, puis cherché à chiffrer les différents éléments de ce schéma, en discutant et sélectionnant pour chacun les informations qui semblaient les plus pertinentes. Nous allons maintenant présenter l'ensemble des résultats obtenus.

### 11.1 Nature et qualité de l'information recueillie

Les divers éléments ont été évalués et sont regroupés ici selon les "compartiments" suivants :

- un compartiment dit d'"entrée", qui considère tout ce qui entre dans la lagune : apports du bassin versant, des résurgences et de la pluie, les échanges avec la mer, les importations de coquillages, la fixation atmosphérique,

- un compartiment dit de "sortie", prenant en compte ce qui quitte la lagune, avec les pertes d'azote par dénitrification, les sorties vers la mer, les coquillages d'élevage commercialisés et les déchets de détroquage qui y sont associés, la pêche (coquillages et poissons),

- un compartiment dit "interne", qui comprend d'une part des stocks (azote et phosphore présents sous une forme biologique ou chimique) et des flux d'échange entre ces stocks.

Le tableau 31 présente les données recueillies (quantification et commentaire sur la nature et la qualité de l'information).

Tableau 31 : Nature et qualité des évaluations utilisées pour construire les bilans de l'azote (N) et du phosphore (P).

		N	P	NATURE ET QUALITE DES EVALUATIONS
<b>ENTREE</b> tonnes/an	Bassin versant	198	31	Evaluations au point de rejet ; surestimation probable
	Pluie	37.5	1.1	Pas de mesures. Données bibliographiques (Villefranche sur mer)
	Nappe phréatique	2.6	0.2	Sous estimé (résurgence de la Vise uniquement)
	Apports par les canaux	?	?	<i>Mer et canaux de navigation</i>
	Fixation atmosphérique	?	?	<i>Naissains d'huîtres, moules de mer</i>
	Imports conchylicoles	?	?	
<b>INTERNE</b> tonnes	Stock en éléments dissous	10.9	26.6	Mesuré. Ne représente que les formes minérales
	Stock de MES	?	?	<i>Mesuré mais pas de conversion</i>
	Stock phytoplanctonique	10.2	1.4	Mesuré
	Stock zooplanctonique	224	24	Très rares mesures temporelles. cartographie en densité
	Stock macrophytique	282	17	Cartographie, pas d'observation au nord de la lagune
	Stock $\mu$ phytobenthique	?	?	
	Stock coquillage en élevage	97	8.3	Estimé sur 5 ans
	Stock d'autres filtreurs	?	?	<i>Epibiontes, coquillages sauvages</i>
	Stock macrofaune benthique	?	?	<i>Biomasses mesurées, pas de conversion</i>
	Stock poissons	?	?	
	Stock sédimentaire	12635	3012	Mesuré pour une épaisseur de 5 cm
	Production phytoplanctonique	2520	335	Mesuré en périphérie des tables conchylicoles. Donnés ancienes
	Production macrophytique	?	?	
Production $\mu$ phytobenthique	?	?		
<b>Flux</b> tonnes/an	Filtration (moules et huîtres)	597	80	Taux de filtration uniquement appliqué au phytoplancton, quelques mesures complété par biblio. extérieure à la lagune
	Excrétion (moules et huîtres)	221	?	Quelques mesures complété par biblio. extérieure à la lagune
	Biodépôts (moules et huîtres)	435	?	Très rares mesures, représentant seulement la période chaude
	Rôle des autres communautés	?	?	<i>Epibiontes, benthos, poissons</i>
	Sédimentation	?	?	<i>Résultats trop rares pour être retenus</i>
	Minéralisation	?	?	
	Nitrification	?	?	
	Flux des sédiments	1036	243	Peu de mesures en zone conchylicole
<b>SORTIE</b> tonnes/an	Dénitrification	46-2300	0	Pas de mesures, données biblio.
	Production conchylicole (moules et huîtres)	89	8	Pas d'études ; évaluations grossières
	Pêche poissons	5.3	0.4	Etudes partielles et ponctuelles, stat. officielles défailantes
	Pêche coquillage	8.3	0.8	Pas d'études ; évaluations grossières, stat. officielles défailante
	Déchets de détroquage	22	2	Estimation grossière
	Sorties par les canaux	?	?	<i>Mer et canaux de navigation</i>

### Les "entrées"

Le bassin versant constitue la source essentielle des apports, tels qu'ils ont pu être évalués à ce stade. Ces apports ne sont pas mesurés, mais évalués au point de rejet.

Les apports par pluies directes ont un poids significatif dans les apports d'azote ; les données sont celles mesurées en Méditerranée (Villefranche/Mer).

Il n'existe pas de données qui permettent de situer l'importance de la fixation atmosphérique et les apports souterrains ne sont pas connus. Il faut rappeler également que l'absence de travaux prenant en compte à la fois les volumes échangés mais aussi les concentrations des différentes masses d'eau en jeu ne permet pas d'estimer les apports du milieu marin.

Tout ceci entraîne une sous-estimation du terme "entrée", dans lequel l'absence de données sur les apports souterrains (nappes) pourrait être un point important.

### Les "sorties"

La dénitrification n'est pas mesurée, mais évaluée d'après la bibliographie extérieure à l'étang et ne peut être située que dans une fourchette très large (46 à 2 300 tonnes par an), ce qui est inacceptable, même comme "ordre de grandeur". Elle représente potentiellement un poids important dans l'équilibre du bilan azoté de la lagune.

Les commercialisations de coquillages ont été estimées comme une exportation importante (d'azote essentiellement), mais le manque de statistiques de production fiables conduit à n'en retenir qu'un "ordre de grandeur". Ce manque de statistiques touche aussi la pêche des coquillages et des poissons, qui représentent certainement des exportations plus faibles. Par ailleurs, comme pour les "entrées", les échanges avec la mer ne sont pas évalués.

### Le compartiment "interne"

Parmi les **stocks**, ceux des sédiments apparaissent comme les plus importants, mais la comparaison directe avec les autres éléments est délicate car, si les sédiments sont un lieu d'accumulation, on ne connaît pas l'épaisseur des sédiments qui correspond à une accumulation annuelle, base de calcul pour les autres éléments de ce bilan. Par ailleurs, la densité des sédiments, inconnue en dehors des sédiments conchylicoles, entre dans ce calcul et devra donc être précisée.

Les stocks les plus importants se situent au niveau (1) des macrovégétaux, dont le stock est certainement sous-évalué (cartographie incomplète), (2) de la biomasse du zooplancton, au moins temporairement importante, mais cette observation demande à

être confirmée (nombre de mesures trop faible) et (3) des stocks de coquillages en élevage. Les stocks d'animaux sauvages ne sont pas connus.

Les **flux** internes à la lagune sont en général très mal connus, production phytoplanctonique mise à part.

Parmi les flux dont on suppose l'importance, ceux des sédiments ont été extrapolés à l'ensemble de l'étang, à partir de quelques mesures sur des sédiments conchylicoles. Il y a aussi une grande différence de résultats selon la méthode utilisée et des compléments méthodologiques sont requis. Les valeurs annoncées pour les flux des sédiments ne le sont donc que pour signaler l'importance de ce processus.

Les flux liés au métabolisme des coquillages (excrétion, filtration, biodépôts) sont importants et extrapolés à partir d'un très petit nombre de mesures. Un complément d'information a été recherché dans la bibliographie extérieure à l'étang pour l'excrétion et la filtration, permettant de palier le manque d'information au cours des saisons. Ceci n'a pas pu être fait pour les biodépôts, dont l'importance dépend fortement des teneurs en matière en suspension et dont l'évaluation actuelle demanderait d'être confortée par des mesures supplémentaires.

### 11.2 Bilan annuel

#### **Bilan de l'azote (figure 8)**

A l'échelle de l'étang, la différence entre les entrées (apports du bassin versant, des pluies et des résurgences) et les sorties (productions conchylicoles et halieutiques, déchets de détroquage) est de 115 tonnes, soit environ 50% des apports annuels qui se stockeraient dans la lagune chaque année. Ce stockage potentiel doit être confirmé car beaucoup d'éléments manquent dans ce bilan, en particulier les apports souterrains, la dénitrification (perte d'azote) et les échanges avec la mer.

En l'absence d'informations suffisantes sur les apports souterrains, les apports d'azote à la lagune sont dominés par les rejets domestiques, puis ceux d'origine agricole. En troisième lieu viennent les apports directs par les pluies.

On remarque que l'azote semble être fortement mobilisé dans la lagune : l'azote apporté par le bassin versant et les pluies ne s'accumule pas dans l'eau. Il est en premier lieu utilisé par les végétaux photosynthétiques, selon deux dynamiques :

- celle des macrophytes, qui développent une biomasse importante, n'ayant pas de prédateurs importants. Les macrophytes représentent donc un stock important dans la lagune,

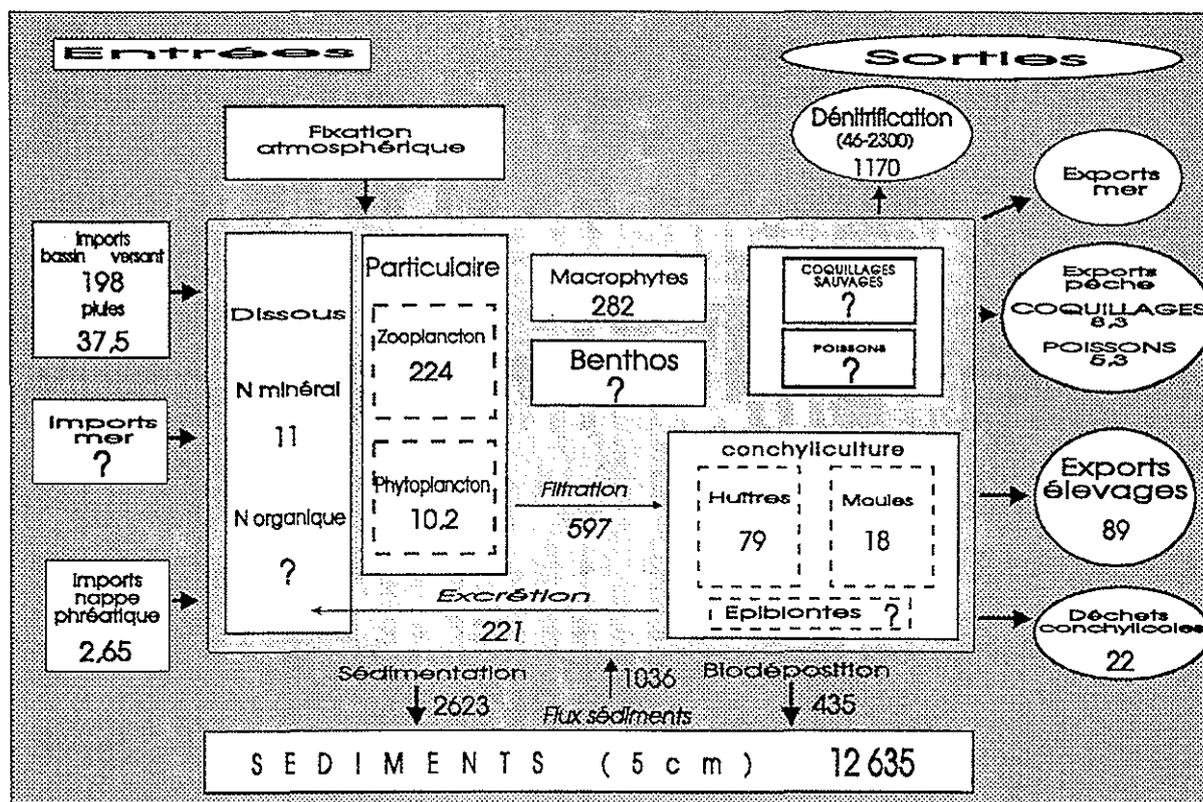
- celle du phytoplancton, qui ne s'accumule pas car il subit la pression de filtration des organismes filtreurs, sauvages ou en élevage. On a évalué que la filtration par les coquillages en élevage est de l'ordre de 600 tonnes par an. Ceci est possible grâce à une production photosynthétique importante.

De plus, la biomasse de phytoplancton produite est consommée par le zooplancton. Les particules de zooplancton, de plus grosse taille que le phytoplancton ne sont retenues par les coquillages, et les stocks peuvent, au moins temporairement, être importants.

L'impact des élevages conchylicoles sur le fonctionnement trophique de l'étang de Thau est en outre remarquable par la biodéposition, en direction des sédiments, d'une quantité très importante d'azote. Le sédiment restitue à son tour, par relargage, une partie des éléments sédimentés vers la colonne d'eau.

Enfin, on peut aussi voir que les coquillages excrètent de l'azote dans la colonne d'eau, directement disponible pour la croissance des végétaux.

Figure 8

**AZOTE**

Stocks en tonnes, flux en tonnes/an

Si on s'intéresse aux coquillages en élevage, il apparaît que la production actuelle de l'étang de Thau (équivalente à 90 tonnes d'azote par an) se réalise avec une utilisation d'azote très importante, liée au métabolisme des coquillages : 435 tonnes de biodépôts, 220 tonnes excrétés et des quantités inconnues produites pour la reproduction ou perdues lors de mortalités. Au total, la production conchylicole, et ce qui y est associé (métabolisme, reproduction, mortalités) représente plus de 745 tonnes d'azote, ce qui est très supérieur aux apports (bassin versant et pluies).

### **Bilan du phosphore (figure 9)**

Le bilan "entrée" - "sortie" de l'étang est de 23 tonnes par an, ce qui représente près de 70 % des apports, susceptibles d'être stockés. Pour le phosphore, dont le cycle est plus simple que celui de l'azote (pas de phase gazeuse), un stockage plus important est réaliste.

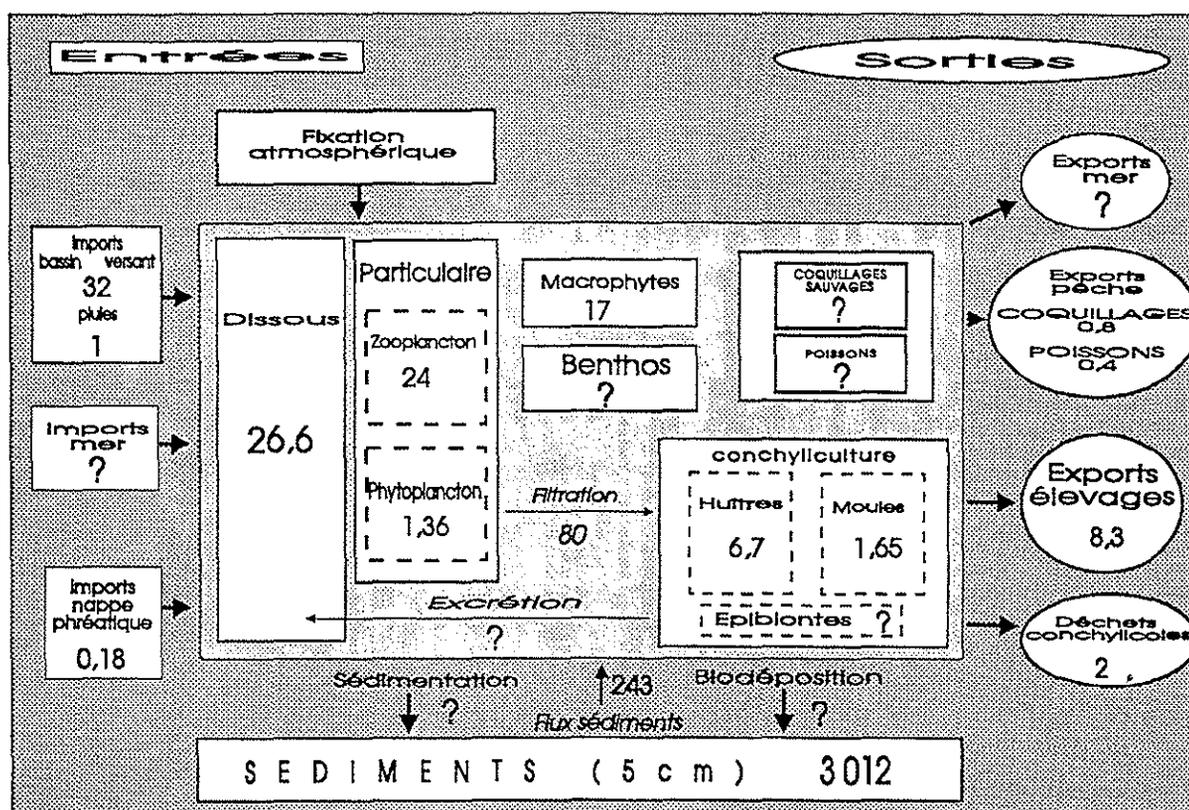
Les apports de phosphore à l'étang sont essentiellement d'origine urbaine, et sa dynamique à l'intérieur de la lagune semble différer sensiblement de celle de l'azote. En effet, contrairement à l'azote, le stockage sous forme biologique est réduit et les stocks dissous restent importants.

On retrouve à travers cet élément la dynamique induite par la filtration des coquillages : stocks sous forme phytoplanctonique déprimés et stocks zooplanctoniques et macrophytiques dominants.

Le bilan centré sur la production des coquillages et leur métabolisme est trop incomplet pour cet élément : il manque en particulier les biodépôts.

Figure 9

## PHOSPHORE



Stocks en tonnes, flux en tonnes/an

### 11.3 Bilans saisonniers (tableau 32)

Les apports d'azote à l'étang obéissent à trois dynamiques différentes :

- apports liés aux pluies, plus importants en automne et en hiver,
- rejets domestiques, qui augmentent en été,
- rejets des caves viticoles en automne.

Les apports dans leur ensemble atteignent un maximum au dernier trimestre, et des valeurs minimales au printemps.

Les sorties d'azote, essentiellement par production conchylicole, sont très réduites au cours des deux premiers trimestres, et maximales en fin d'année, période à laquelle elles égalent les apports.

Le bilan résultant "entrée" - "sortie" montre un stockage apparent d'azote qui décroît lentement du premier au troisième trimestre (passant de 70 % à 60 % des apports), puis qui devient quasiment nul en fin d'année.

Les apports en phosphore, principalement d'origine domestique sont plus élevés en été (juillet-septembre), mais des apports par pluies et les rejets des caves viticoles conduisent à des rejets globaux sensiblement égaux en fin d'année (dernier trimestre).

Les "sorties" de phosphore suivent le même rythme que celles d'azote et le bilan "entrée" - "sortie" du phosphore est marqué par un stockage potentiel important et peu variable au cours des trois premiers trimestres (82 % à 75 % des apports) pour chuter en fin d'année (35 % des apports).

Pour l'azote aussi bien que pour le phosphore, le bilan "entrée" - "sortie" est essentiellement dépendant de l'activité conchylicole, et des exportations massives de fin d'année.

Tableau 32 : Bilan des entrées et sorties de la lagune de Thau annuellement et saisonnièrement pour l'azote et le phosphore.

AZOTE		Janvier- Mars	Avril-Juin	Juillet- Septembre	Octobre - Décembre	Annuel
(1) : ENTREE	tonnes/période	57,9	50,6	59,3	70,0	237,8
(2) : SORTIE	tonnes/période	16,5	17,4	24,5	66,3	124,7
(1-2) : STOCKAGE	tonnes/période	41,4	33,2	34,8	3,7	113,1
(1-2)/1 : % STOCKE		72	66	59	5	48
PHOSPHORE		Janvier- Mars	Avril-Juin	Juillet-Aout	Septembre- Décembre	Annuel
(1) : ENTREE	tonnes/période	8,16	7,47	9,26	9,05	33,94
(2) : SORTIE	tonnes/période	1,46	1,52	2,24	5,84	11,07
(1-2) : STOCKAGE	tonnes/période	6,1	5,9	7,0	3,2	22,9
(1-2)/1 : % STOCKE		82	80	76	35	67

Entrée : Bassin versant + Pluie + Résurgence

Sortie : Production conchylicole et halieutique (poisson et coquillages) et déchets de détroquage

#### 11.4 Bilans sectoriels

##### 11.4.1 Zone conchylicole

La zone conchylicole est la plus étudiée; elle diffère du reste de l'étang par l'impact de la conchyliculture, que l'on peut observer dans les éléments suivants :

Tableau 33 : Bilan sectoriel	ZONE CONCHYLICOLE	HORS ZONE CONCHYLICOLE	
ELEMENTS PARTICULAIRES			
<i>Phytoplankton</i> biomasse chloro a (mg/m <sup>3</sup> )	1,5	3,4	
MES (mg/l)	0,97	2,4	
SEDIMENTS			
N (mg/g)	6 (tables) à 4,12 (couloirs)	2,7.	
P (mg/g)	1,7 (tables) à 0,8 (couloirs)	0,7	
MACROPHYTES (g/m <sup>2</sup> poids sec)	234	150	
MACROBENTHOS biomasse (g /m <sup>2</sup> poids sec)	4,6	9,3.	

Les coquillages filtreurs provoquent un déplacement des éléments particulaires de la colonne d'eau vers le sédiment (biodépôts enrichissant les sédiments). Les biodépôts représentent d'ailleurs une quantité énorme de matière sédimentée (59 tonnes par hectare et par an de matière sèche).

Dans la zone conchylicole, les macrophytes se développent préférentiellement entre les tables où la turbidité des eaux est réduite.

L'enrichissement des sédiments et la modification de sa texture se traduisent par une chute de la biomasse des peuplements de la macrofaune benthique.

#### 11.4.2. Autres secteurs

Dans le reste de l'étang, non soumis à l'influence directe des tables conchylicoles, on peut distinguer :

- un secteur nord-est, où les apports du bassin versant conduisent à une élévation des teneurs en nitrates lors des pluies d'automne et d'hiver, et à un stockage sédimentaire (d'azote et de phosphore) important. La distinction entre la zone orientale, sous influence marine marquée, et la zone occidentale plus confinée a, par ailleurs, été souvent soulignée que ce soit à propos des conditions hydrodynamiques ou pour des peuplements variés : phytoplancton, zooplancton, macroflore benthique, macrofaune benthique.

- les secteurs de rives où le développement des macrophytes est maximal.

- le secteur profond, important lieu de stockage de l'azote, et où la végétation est limitée.

## 12- CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif de réaliser une synthèse des données concernant l'azote et le phosphore de l'étang de Thau et de son bassin versant, afin d'apporter un premier éclairage sur les orientations à envisager en matière de gestion et de mettre en évidence les études prioritaires à développer pour aboutir à une connaissance plus complète de l'écosystème.

Les apports connus en azote dans l'étang de Thau, par le bassin versant, les résurgences ou les pluies directes (240 tonnes), sont inférieurs à ce qui est nécessaire pour assurer la production conchylicole actuelle (745 tonnes, incluant la production directe de coquillages et de leur métabolisme). Ce bilan est incomplet, en particulier pour les apports souterrains. Le bilan du phosphore, quoique moins complexe (pas de phase gazeuse et d'apports souterrains), n'est pas complet, en particulier par méconnaissance de certains éléments du métabolisme (biodépôts), qui représentent des facteurs très importants dans le bilan azoté.

Des apports complémentaires, très mal connus actuellement (évalués à 1040 tonnes d'azote et 240 tonnes de phosphore) proviennent d'une mobilisation des éléments sédimentés qui sont restitués dans la colonne d'eau par relargage.

Les sédiments et les flux qui en proviennent sont eux-mêmes marqués par l'activité des coquillages, qui par leurs biodépôts provoquent un enrichissement important : les concentrations en azote sont de 6 mg/g de sédiment sec sous les tables et de 2,7 mg/g de sédiment sec en dehors de la zone conchylicole (on passe de 1,7 à 0,7 mg/g de phosphore).

**Ces trois éléments mettent en lumière toute la difficulté de gestion de cet étang, où l'accumulation progressive dans les sédiments contribue de façon importante à la productivité conchylicole, mais produit aussi un risque important d'anoxie des fonds (lié à l'augmentation de l'activité bactérienne), allant certaines années jusqu'à une anoxie des eaux provoquant des mortalités de mollusques, crustacés ou poissons.**

Une deuxième conclusion peut être tirée de l'examen des rapports N/P (atomiques), qui permettent de préciser le comportement de l'azote et du phosphore à certains niveaux du système bassin versant - lagune.

La lagune reçoit des apports (ensemble bassin versant, pluies et résurgence) dans une proportion N/P de l'ordre de 16, mais il exporte, avec les

productions conchylicoles et halieutiques, proportionnellement beaucoup plus d'azote (N/P de 23 pour la chair des coquillages et 28 pour leurs coquilles). A l'intérieur de la lagune, phytoplancton mis à part (N/P de 16), les différents compartiments (macrophytes, zooplancton, coquillages en élevage) stockent l'azote dans des proportions plus fortes (N/P > 20). Il s'en suit logiquement une accumulation de phosphore plus importante que celle d'azote dans les sédiments (N/P du sédiment : 9,3) et un épuisement de l'azote dissous (N/P dissous : 0,9), **signalant une limitation de la production du milieu par l'azote.**

A l'issue de ce travail, on est donc amené à recommander de préciser prioritairement les termes du bilan azoté, en commençant par les points qui représentent les poids les plus forts.

La productivité de l'étang repose sur une fourniture d'éléments nutritifs par différentes sources, dont il faut pouvoir peser l'importance. En termes opérationnels, il est essentiel de mettre des "ordres de grandeur" sur les éléments du bilan "entrée" - "sortie" qui sont actuellement totalement inconnus (apports souterrains, dénitrification, échanges avec la mer) ou peu connus (gestion et production conchylicoles). De même, des mesures complémentaires doivent être entreprises pour évaluer les flux des sédiments, qui semblent quantitativement très importants. Une évaluation des flux, par type de sédiments est requise, car seuls les sédiments situés directement sous les tables, plus riches et plus fluides, ont jusqu'à présent été étudiés et rien ne permet de dire que des sédiments différents ont le même potentiel de relargage.

Des travaux de recherche complémentaires sur le fonctionnement interne de la lagune ont été réalisés dans le cadre du Contrat de Plan Etat Région et du programme PNOC (Oxythau) ; ils portent en particulier sur des éléments non pris en compte jusqu'à présent (formes organiques dissoutes, phytoplancton de petite taille). Les résultats disponibles seront intégrés ultérieurement dans ce bilan.



## BIBLIOGRAPHIE CONSULTEE.

**AQUASCOP**, 1979. Zones humides du Languedoc-Roussillon. Publication A.D.A. vol I : 167-189.

**Alias C.**, 1986. Etude d'un appareillage pour l'évaluation de la biodéposition dans l'étang de Thau. Mesures préliminaires. *D.E.A. Océanologie, Université Aix-Marseille II* : 39 pp.

**Albiges C., Pierre D., Sagliocco M.**, 1991. Evaluation des apports en azote et en phosphore des bassins versants. Annexe 1 A: 35 pp + annexes. In **Ximenes M.C.**, 1991. Efficacité de la réduction de la masse des nutriments dans la prévention des malaïgues. Application aux étangs Palavasiens. *CEMAGREF-USTL-Faculté de Pharmacie, Montpellier*.

**Amanieu M., Lasserre G.**, 1981. Niveaux de production des lagunes littorales méditerranéennes et contribution des lagunes à l'enrichissement des pêches démersales. In *CGPM : Aménagement des ressources vivantes dans la zone littorale de la Méditerranée. Etud. Rev. CGPM, 58* : 81-93.

**Amanieu M., Legendre P., Trousselier M., Frisoni G.F.**, 1989. Le programme Ecothau: théorie écologique et base de la modélisation. *Océanologica Acta*, 12 : 189-199.

**Aminot A., Chaussepied M.**, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO, BNDO/DOCUMENTATION Brest. Jouve edit., Paris* : 395 pp.

**Arakawa K.Y.**, 1970. Scatological studies of the bivalvia (Mollusca). *Adv. mar. Biol., Londres Academic Press*, 8 : 307-436.

**Audouin J.**, 1962. Hydrologie de l'étang de Thau. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 26-(1) : 126 pp.

**Bach P.**, 1982. Structure des communautés de poissons en milieu lagunaire: observations relatives au peuplement échantillonné dans l'étang de Thau. *D.E.A., USTL Montpellier* : 55 pp.

**Bach P.**, 1985. La pêche dans l'étang de Thau .Application de quelques notions d'écologie théorique aux communautés de poissons et à leur exploitation. Stratégie de quelques populations ichthyologiques capturées. *Thèse 3<sup>o</sup> cycle ,Univ. Montpellier ,U.S.T.L. : 316 pp.*

**Barroin C.**, 1985. La dénitrification en milieu lentique. *Revue Française des Sciences de l'Eau*, 4 : 79-92.

**Baudinet D** , 1991. Flux nutritifs particuliers et dissous dans un écosystème mytilicole côtier méditerranéen . *Thèse Doctorat Univ. Aix-Marseille II* : 136 pp.

**Baudinet D., Alliot E., Berland B., Grenz C., Plante-Cuny M.R., Plante R. & C., Salen-Picard**, 1990. Incidence of mussel culture on biogeochemical fluxes at the sediment-water interface *Hydrobiologia*. 207 : 187-196. D.J. Bornin, H.L. Golterman edit. Fluxes between trophic levels and through the water-sediment interface. 1990 Kluwer Academic publishers. Belgium.

**Bayne B. L., Thompson R.J., Widdows J.**, 1973. Some effects of temperature and food on the rate of oxygen consumption by *Mytilus edulis* L. In: W. Wieser edit., Effects of temperature on ectothermic organisms. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York: 181-193.

**Berland B.R., Burlakova Z.P., Georgieva L.V., Izmestieva M., Kholodov V.I., Krupatkina D.K., Maestrini S.Y., Zaika V.E.**, 1987 ; Phytoplankton estival de la mer du Levant, biomasse et facteurs limitants. Deuxième colloque franco-sovietique ,Yalta, 27 octobre-2 novembre 1984. Productions et relations trophiques dans les écosystèmes marins. *Ifremer Actes Coll.n° 5* : 61-83.

**Berlanger-Gourdain M.**, 1991. Le bassin de Thau et les élevages marins. Thèse maîtrise de géographie. Université Paul Valéry Montpellier III : 46 pp.

**Bethoux J.P.**, 1981. Le phosphore et l'azote en mer méditerranée, bilans et fertilité potentielle. *Mar Chem.*, 10 (2) : 141-158.

**Bougis P.**, 1974. Ecologie du plancton marin. I. Le phytoplancton. Collection d'écologie. Masson edit., Paris : 196 pp. II. Le zooplancton. Collection d'écologie. Masson edit., Paris : 200 pp.

**Bregeon L., Landrein S., 1977.** Etude sur les déchets conchylicoles de l'étang de Thau. *Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes*, centre de Sète, Rapport interne : 49 pp.

**Casellas C., Pena G , Picot B., Illes S., Bontoux J. ,1990.** Structure spatiale des sels nutritifs au sein d'un écosystème lagunaire :l'étang de THAU. *Wat. Res.* 24-12 : 1479-1489.

**Champalbert G., Kerambrum P., 1978.** Composition biochimique des copépodes de l'hyponeuston de méditerranée nord-occidentale. Poids sec et analyse élémentaire du carbone, de l'hydrogène et de l'azote. *Mar Biol.* , 45 (3) : 215-224.

**Chassany de Casabianca M.L., 1979.** Evolution et recyclage à court terme des féces d'huître et des dépôts de biodéposition générale (Etang d'Urbino ,Corse ). *J. Rech. Oceanogr.* ,4 (4) : 35-38.

**Chassefière B., 1971.** Contribution à l'étude écologique des "cadoules" de la lagune de Thau. *Vie et Milieu* , 22 ser B : 1-38.

**Conseil Général des Pêches pour la Méditerranée , 1988.** Rapport de la cinquième consultation technique du C.G.P.M. sur l'évaluation des stocks dans les divisions statistiques Baléares et Golfe du Lion. Fungirola , Espagne ,19-23 octobre 1987. *FAO Rapp. Pêches* , (395) :190p ..Annexe 7 : rapport IFREMER concernant l'exploitaion et la recherche dans la sous-zone 37.2 : 42-53 .

**David A., 1971.** Les relations trophiques entre le plancton ,les huîtres d'élevage et les ciones , épibiontes (étang de Thau). *Sciences et Pêche* , *Bull. Inst. Pêches marit.* ,201 : 1-13.

**Delmas D., 1980.** Mineralisation de la matière organique et échanges ioniques à l'interface eau-sédiment de l'étang de Berre , Méditerranée. *Oceanol. Acta* , 3 (3) : 347-356.

**Deslous-Paoli J.M., Héral M., Gouilletquer P., Boromtharat W., Razet D., Garnier J., Prou J., Barillet L., 1987 a.** Evolution saisonnière de la filtration de bivalves intertidaux dans les conditions naturelles. *Oceanis*, 13 (4-5) : 575-579.

**Deslous-Paoli J.M., Sornin J.M., Héral M., 1987 b.** Variations saisonnières in situ de la production et de la composition des biodépôts de trois mollusques estuariens (Mytilus edulis, Crassostrea gigas, Crepidula fornicata). *Haliotis*, 16 : 233-245.

**Deslous-Paoli J.M., Sornin J.M., Durand F., Chevalier M., Lagabrielle R., Pelissier M., Tournier H., Juge C., 1991:** Cartographie et caractéristiques des sédiments superficiels du secteur conchylicôle de l'étang de Thau. *Contrat de plan état-région Languedoc-Roussillon. Rapport IFREMER DRO/EM 91.03* : 61 pp + annexes.

**Devauchelle N., Brichon G., Lamour F., Stephan G., 1982 .** Biochemical composition of ovules and fecund eggs of sea bass (Dicentrarchus labrax) , sole (Solea vulgaris) and turbot (Scophthalmus maximus) . In *Reproductive physiology of fish; Richter C.J.J., Goos H.J.TH. .Internationl symposium on reproductive physiology of fish, Wageningen (Netherlands) , 2 Aug. 1982 , ,L, ISBN 90-220-0818-5* : 155-157.

**Dubois A., Lauret M., 1991.** Macroflore benthique; in Ecothau, Programme de recherches intégrées sur l'étang de Thau. *Synthèse des résultats, Amanieu et Jouffre Ed., USTL* : 115 - 118.

**Enell M., 1987 .** Environnement impact of cage fish farming with special reference to phosphorus and nitrogen loadings. *ICES ,Copenhagen (Denmark), L, ICES-CM-1987/f* : 44.

**Farrugio H., Le Corre G., 1986.** Etude pour une gestion optimale des pêcheries interactives dans le Golfe du Lion .*Rapport final convention C.E.E.-IFREMER 86-1210440 F* :180 pp.

**Farrugio H., Le Corre G., 1985.** Interactions entre pêcheries de lagunes , pêcheries côtières et pêche au chalut dans le Golfe du Lion. *Rapport final convention CEE XIV-B1-85/2/M10P* : 208 pp.

**Farrugio H., Le Corre G. , 1984 .**Les pêcheries de lagune en méditerranée. Définition d'une stratégie d'évaluation. *Rapport final convention CEE XIV-B1-84/2/MO3P* : 251 pp.

**Fauvel Y. 1967.** La pollution bactérienne des eaux et des coquillages de l'étang de Thau . *Rev Trav.Inst.Pêches marit. , 31 (3)* : 1-96

**Frisoni G-F.**, 1984. Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paraliq. Thèse doct. ing. option écologie aquatique. *Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Université de Montpellier II, France* : 171 pp.

**Frisoni G.F.**, 1990. Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paraliq. Thèse Ing. Doc. *Ecologie Aquatique, Univ. Montpellier* : 171 pp.

**Frisoni G.F.**, 1990. Les espaces lagunaires du Languedoc-Roussillon, connaissance et aménagement. *Inst. Aménagements Régionaux Environnement. Contrat de Plan Etat Région Languedoc-Roussillon* : 95 pp.

**Frisoni G-F, Dutrieux E.**, 1990. Etude d'impact des effluents de la station de lagunage de Mèze sur une lagune littorale: étang de Thau. *Ministère de l'Environnement (France). Service de la Recherche, des Etudes et du Traitement de l'information sur l'Environnement* : 125 pp + annexe.

**Frisoni G-F., Vulot D.**, 1981. Primary productivity and nutrients in some mediterranean lagoons: general processes and empirical relationships. *Proceedings of the international symposium on coastal lagoons, UNESCO, Bordeaux, France*, septembre 1981.

**Garrabé M., Antona M., Le Brun E., Rey H.**, 1986. Etude économique des filières d'élevage aquacole en Méditerranée française. *Centre d'Etudes de Projets, Université de Montpellier*. 191pp.

**Géhant P., Jeanneret H.**, 1984. La macrofaune benthique de l'étang de Thau : approche biocénotique. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle USTL Montpellier* : 115 pp + annexes.

**Géhant P., Jeanneret H.**, 1985. Etude sur l'impact des activités aquacoles dans l'étang de Thau. *CEPRALMAR/CNABRL*, sept. 1985.

**Ge C.B.**, 1988. Contribution à la modélisation physico-chimique de l'étang de Thau. *Thèse Doct., Univ. Montpellier II* : 195 pp.

**Gerbal M.**, 1990 Répartition du macrophytobenthos de l'étang de Thau. p. 163. In *Jouffre D.*, 1989 Ecothau, 3ième compte-rendu d'activités, 1988-1989 : pp 174.

**Goldman J.C., Mann R.**, 1980. Temperature-influenced variations in speciation and chemical composition of marine phytoplankton in outdoor mass cultures. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* , 46 : 29-39.

**Gorgeon A.**, 1993. Mobilité de l'azote et du phosphore à l'interface eau-sédiment dans deux écosystèmes lagunaires languedociens: étang de Méjean, étang de Thau. D.E.A. Hydrologie. Univ. Montpellier :78 p. + annexes

**Gorsky G., Dallot S., Sardou J., Fenaux R., Carré C., Palazzoli I.**, 1988. C and N composition of some northwestern mediterranean zooplankton and micronekton species. *J. Exp. Mar Biol. Ecol.* ,124 (2) :133-144.

**Gouilletquer P., Wolowicz M.**, 1989. The shell of Cardium edule, Cardium glaucum and Ruditapes philippinarum: organic content, composition and energy value as determined by different methods . *Shells J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 69 : 563-572.

**Grenz C.**, 1989. Quantification et destinée de la biodéposition en zones de production conchylicole intensive en Méditerranée. *Thèse Doctorat Univ. Aix-Marseille II* : 144 pp.

**Grenz C., Alliot E., Baudinet D., Helis L., Masse H.** , 1992. Influence des opérations de dévasage sur les flux de nutriments à l'interface eau-sédiment (bassin de Thau - France) . *Vie Milieu* 42 (2) : 157-164.

**Grenz C., Hermin M-N., Baudinet D., Daumas R.**, 1990. In situ biochemical and bacterial variation of sediments enriched with mussels biodeposits. *Hydrobiologia*, 207 : 153-160. D.J. Bornin, H.L. Golterman edit. Fluxes between trophic levels and through the water-sediment interface. 1990 Kluwer Academic publishers. Belgium.

**Grenz C., Moutin T., Picot B., Massé H.**, 1991. Comparaison de deux méthodes de mesure de flux de nutriments à l'interface eau-sédiment: méthode des peepers et méthode des chambres benthiques. *C.R. Acad. Sci. Paris* , 313 (ser. III) : 239-244.

**Grenz C , Massé H** ,1991 . Influence des opérations de dévasage sur la régénération de l'azote et du phosphore sous les tables conchylicoles . *Rapport Univ. Aix-Marseille II* : 22 pp.

**Grenz C., Massé H., 1991.** Biodéposition. In Jouffre D., Amanieu M., 1991. *Ecotau, synthèse des résultats*. U.S.T.L. Montpellier II : 253-269.

**Guelorget O., Perthuisot J.P., 1983.** Le domaine paraliq. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Trav. Lab. Geol. ENS*, 16 : 136 pp.

**Hamon P.Y., 1983.** Croissance de la moule Mytilus galloprovincialis dans l'étang de Thau. Estimation des stocks en élevage. *Thèse Doc. d'Etat. Université des Sciences et Techniques du Languedoc. Montpellier (France)* : 331 pp.

**Hamon P.Y., 1989.** Evolution de la biomasse en culture dans l'étang de Thau de 1984 à 1986. IFREMER. rapport interne.

**Hamon P.Y., Tournier H., 1981.** Estimation de la biomasse en culture dans l'étang de Thau (été 1980). *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches marit.* 313 : 23 pp.

**Hamon P.Y., Tournier H., 1984 (1986).** Evolution de la biomasse de mollusques en élevage dans l'étang de Thau de 1980 à 1984. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* 48 : 33-44.

**Hamon P.Y., Tournier H., Arnaud P., 1979.** Cycles annuels de quelques paramètres physico-chimiques de l'étang de Thau. *Rapp. Comm. Int. Mer médit.*, 25/26 (3) : 99-100.

**Hamon P.Y., Tournier H., 1990.** Etude des stocks de mollusques élevées dans l'étang de Thau de 1981 à 1987. *Rapport Ifremer RIDRV-90.43-RA/SETE* : 120 pp.

**Harris E., Riley G.A., 1956.** Oceanography of Long Island Sound, 1952-1954. VIII: Chemical composition of the plankton. *Bull. Bingham oceanogr. coll.* 15 : 315-323

**Hénard D., 1978.** Production primaire d'une lagune méditerranéenne, étang de Thau (Hérault) -Année 1976 *Thèse Doc, U.S.T.L. Montpellier* : 85 pp + annexe.

**Jacques G, Frisoni G.F., Neveux J., 1988:** Distribution spatiale du phytoplancton de l'étang de Thau (lagune littorale du Languedoc) en 1986-1987). *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 31, 2 : 63.

**Jarry V.**, 1990. Etude pluridisciplinaire en écologie lagunaire (étang de Thau, France): stratégie d'échantillonnage et organisation spatiale du phytoplancton. *Thèse.Doc., Univ. Montpellier II, Montpellier* : 173pp.

**Jarry V., Fiala M., Frisoni GF , Jacques G, Neveux J, Panouse M.**, 1990. A pelagic ecosystem in a Mediterranean lagoon (étang de Thau,France): the spatial repartition of phytoplankton. *Oceanologica Acta* , 13 : 503-512.

**Jeanneret H.**, 1980. Considérations préliminaires pour l'étude à long terme d'un écosystème lagunaire méditerranéen : l' étang de Thau . *DEA Univ. Montpellier* : 1-59.

**Jordan T.E., Valiela I.**, 1982. A nitrogen budget of the ribbed mussel *Geukensia demissa*, and its signifiacnce in nitrogen flow in a New England salt marsh. *Limnol Oceanogr.*, 27 (1) : 75-90.

**Jouffre D.**, 1989. Etude de l'organisation spatiale du zooplancton dans l'étang de Thau (France) et de l'influence des échanges entre la lagune et la mer . *Thèse Doc., Univ. Montpellier II, Montpellier* : 243 pp.

**Jouffre D.**, 1991. Structuration spatiale des peuplements zooplanctoniques dans l'étang de Thau. In Jouffre D., Amanieu M., 1991. Ecothau, synthèse des résultats ,Univ.Sciences et Techniques du Languedoc ,Montpellier II :97-105.

**Jouffre D.,Lam Hoai T., Millet B., Amanieu M.**, 1991. Structuration spatiale des peuplements zooplanctoniques et fonctionnement hydrodynamique en milieu lagunaire. *Oceanologica Acta*, 14 (5) : 489-504..

**Koenig J.**, 1985 . Besoins minéraux chez les poissons .*Ichthyophysiol. Acta* . 9 : 93-104 .

**Krichen Y.**, 1981. Contribution à l'étude de la conchyliculture en mer. Biologie comparée avec celle du milieu lagunaire et techniques d'élevage. *Mem.3° Cycle , Inst Nat. Agr. Tunis* : 222 pp.

**Krom M.D. , Porter C. , Gordin H. ,1985 .** Nutrient budget of a marine fish pond in Eilat ,Israel. *Aquaculture* ,51 (1) : 65-80.

- Kuenzler E.J.**, 1961. Phosphorus budget of a mussel population. *Limnol Oceanogr*, 6: 400-415.
- Laffont J.M.**, 1984. Alimentation de l'huître creuse (*Crassostrea gigas* Thunberg, 1795) en milieu naturel (Etang de Thau). *D.E.A. Ecologie. U.S.T.L. Montpellier*: 34 pp.+annexes.
- Lam Hoai T.**, 1985. Evolution saisonnière du zooplancton dans trois sites peu profonds de Thau, une lagune nord-méditerranéenne. *Hydrobiologia*, 128 : 161-174.
- Lam Hoai T.**, 1987. Contribution à l'étude du zooplancton superficiel dans deux écosystèmes lagunaires nord-méditerranéens, étang de la Sarrazine et étang de Thau. *Thèse Doc. Etat Sci. Univ. Montpellier II* :274 pp.
- Lam Hoai T., Amanieu M.**, 1989. Structures spatiales et évolution saisonnière du zooplancton superficiel dans deux écosystèmes lagunaires nord-méditerranéens. *Oceanologica Acta*,12,1: 65-77.
- Lasserre P.**, 1979. Les lagunes côtières, écosystèmes refuges, foyers de culture et cible d'expansion économique. *Nature et ressources*, vol XV n° 4 oct.déc. 1979.
- Lauret M.**, 1990. Les herbiers de zostères de l'étang de Thau. Campagne 1990 des Onglous à Mèze. Rapport Cedralmar-Région Languedoc -Roussillon :10 pp + cartes.
- Lavenu F.**, 1972. La télédétection des radiations infrarouges appliquée à l'étude hydrologique des étangs côtiers et plus particulièrement à celle de l'étang de Thau (Languedoc). *Thèse de Doctorat de spécialité Géologie appliquée , Univ. Montpellier* : 59 pp , 17 planches.
- Lavery P.S., Mc Comb A.J.**, 1991. The nutritional ecophysiology of *Chaetomorpha linum* and *Ulva rigida* in Peel Inlet, Western Australia. *Botanica Marina*, 34 : 251-260.
- Lavery P.S., Lukatelich R.J., Mc Comb A.J.**, 1991. Changes in the biomass and species composition of macroalgae in a eutrophic estuary Estuarine, coastal. Shelf Sci., U.K., 33 (1): 1-22.
- Loye-Pilot M.D., Martin J.M., Morelli J.**, 1990. Atmospheric input of organic nitrogen to the western mediterranean. *Biochemistry*, 9 : 117-134.

**Maître-Allain T.**, 1982. Influence du milieu sur la croissance de deux palourdes , Ruditapes decussatus et Ruditapes philippinarum, dans l'étang de Thau (hérault). *Vie marine* 4 :37-50.

**Malle P., Vanelle A.M., Petit A.** , 1989 . Teneur en azote volatil du tissu musculaire des poissons marins . Eléments pour une normalisation de la détermination, de l'expression et de l'exploitation de l'ABVT . *Rec. Med. Vet. , Ec. Alfort , Paris*, vol 165 (4) : 395-402.

**Mancini P.** 1988. L'azote et le phosphore dans différents compartiments de l'étang de Thau (sédiments, macrophytes, eau). Contribution au programme ECOTHAU. *D.E.A Hydrobiologie, Univ. Montpellier II*: non paginé.

**Martin J.M., Elbaz-Poulichet F., Guieu C., Loye-Pilot M.D., Han G.**, 1989. River versus atmospheric input of material to the Mediterranean Sea: an overview. *Mar. Chem.*, 28 : 159-182.

**Martin J.L., Sornin J.M., Delmas D., El Sayed M., Berthet B.**, 1989. La biodéposition dans les aires ostréicoles. Son rôle dans la concentration de la matière organique et de contaminants potentiels. Son impact sur le sédiment. IFREMER, Rapp. Inter. DRV-89.013-RA/CREMA-L'HOUMEAU : 60 p. + annexes.

**Martinetti R.**, 1991. Contribution à l'étude du stockage et du relargage de l'azote et du phosphore dans les sédiments en zone de production conchylicole. *D.E.A. Hydrologie Univ. Montpellier I Fac. Pharmacie* :31 pp + bibliographie,+ annexes.

**Masbernat M.**, 1987. Etude de l'hydrodynamisme du bassin de Thau par modélisation mathématique. Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon. Rapport 322, BCEOM, France : 211 pp.

**McLay R., Howgate P.F., Morrisson J.**, 1986. Nitrogen content of seven British commercial species of fish . *J Assoc Public Analysts.* ,24 (4) :131-139.

**Mignon C., Copin-Montregut G., Elegant L., Morelli J.**, 1989. Etude de l'apport atmosphérique en sels nutritifs au milieu côtier méditerranéen et implications biogéochimiques. *Océanologica Acta*, 12 (2) :187-191.

**Millet B.**, 1989. Fonctionnement hydrodynamique du bassin de Thau. Validation écologique d'un modèle numérique de circulation (programme Ecothau). *Oceanol. Acta*, 12 : 37-46.

**Morozava A.L.**, 1967 (1977). Total and inorganic phosphorus in the blood and muscles of some Black sea fish. in *Metabolism and Biochemistry of fishes*. Karzinkin ed. : 471-475.

**Moutin T.**, 1992. Contribution à l'étude du cycle du phosphate dans les écosystèmes lagunaires. Thèse Doctorat Université Montpellier II : 251 pp.

**Outin V.**, 1990. Ecophysiologie de l'huître Crassostrea Gigas (Thunberg) en milieu naturel. Rôle des populations d'une lagune méditerranéenne dans les transferts des matières particulaire et dissoute. *Thèse Doctorat Univ. Paris VI* : 130 pp.

**Outin V., Fiala A., Colomines J.C., Mabit J.**, 1991. Ecophysiologie de l'huître Crassostrea gigas (Thunberg) en milieu naturel. Rôle des populations d'une lagune Méditerranéenne dans les transferts des matières organiques particulaire et dissoute. In Jouffre D., Amanieu M., 1991. *Ecothau, synthèse des résultats*. U.S.T.L. Montpellier II : 237-251.

**Palomares M.L., Reyes-Marchant P., Lair N., Zainuri M., Barnabé G., Lasserre G.**, 1990. A trophic model of a mediterranean lagoon, étang de Thau, France. *Ices 1990, Poster, C.M. 1990/L: 36, sess Q* : 1-6.

**Parache A.**, 1985. Contribution à l'étude de la croissance de Mytilus edulis var. galloprovincialis LMK..Influence des conditions de milieu. *Thèse doc. océanologie, Université Aix-Marseille II, France* : 249 pp.

**Paris J., Quignard J.P.**, 1971. La faune ichthyologique des étangs languedociens de Sète à Carnon (Ecologie, Ethologie). *Vie et Milieu, suppl 22* : 301-327.

**Pellikaan G.C.**, 1984. Laboratory experiments on eelgrass (Zostera marina L.) decomposition. *Neth. J. Sea Res.*, 18 (3/4) : 360-383.

**Pena G.**, 1989. Sels nutritifs et micropolluants métalliques dans un écosystème lagunaire : l'étang de Thau. *Thèse Doct., Univ. Montpellier II* : 195 pp.

**Penso G.**, 1953. Les produits de la pêche. *Vigot frères édit. Paris* : 418 pp.

- Picot B., Pena G., Casellas C., Mancini P., Bondon D., Bontoux J.**, 1990 Interpretation of the seasonal variations of nutrients in a mediterranean lagoon: étang de Thau. *Hydrobiologia*: 207: 105-114. D.J. Bornin, H.L. Golterman edit. Fluxes between trophic levels and through the water-sediment interface. 1990 Kluwer Academic publishers. Belgium.
- Pirc H., Wollenweber B.**, 1988. Seasonal changes in nitrogen, free amino-acids, and C/N ratio in Mediterranean seagrasses. *Mar. Ecol.* 9, (2) :167-179.
- Querec C.** 1990. Les bassins-versants des étangs littoraux. Elaboration d'un classement typologique à partir de leur géomorphologie et des rejets polluants. *Université Paul Valéry Montpellier. Rapport de stage SRAE Languedoc-Roussillon* : 71 pp + annexes.
- Quignard J.P.**, 1984. Les caractéristiques biologiques et environnementales des lagunes en tant que base biologique de l'aménagement des pêcheries. In Kapetsky J.M. et Lassere G. : Aménagement des pêches dans les lagunes côtières. *Etud. Rev. CGPM*, 61 (1) : 3-38.
- Rimbault R.** , 1964. Les salinités de l'étang de Thau et leurs variations de 1963 à 1970 . *Rapp. Comm. Int. Mer médit.* , 21 (3) : 119.
- Rimbault R.** , 1976. Alimentation et verdissement des coquillages. In L. Marteil, 1976. La conchyliculture française; 2° partie: Biologie de l'huître et de la moule. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* 40 (2) : 190-231.
- Riva A., Massé H.**, 1985. Etude écophysiological de quelques mollusques bivalves. Bases biologiques de l'aquaculture. Montpellier 1983. IFREMER. Actes de colloques n. 1 : 45-62.
- Rouquet L.**, 1978. Mesure de la vitesse du courant dans le grau de Pisses-Saumes à l'aide d'un courantmètre électromagnétique, et estimation des volumes échangés entre l'étang et la mer méditerranée au niveau de ce canal. Service Maritime et de Navigation du Languedoc-Roussillon, CERGA Montpellier. rapport 7911 : 7pp = annexes.
- Roux V.**, 1991. Impact de la conchyliculture: effet sur les flux d'azote et de phosphore à l'interface eau-sédiment. Rapp. Stage Maitrise Oceanologie Appliquée, Univ. Perpignan : 32 pp + annexes.

**Rossello-Tournoud M-G.**, 1991. Analyse du comportement d'un écosystème lagunaire à diverses échelles de temps et d'espace : application à l'étang de Thau. *Thèse Doct., Univ. Montpellier II* : 210 pp.

**Segala B.**, 1980. Contribution à l'étude qualitative et quantitative des échanges d'eau entre la mer et l'étang de Thau. *Diplôme d'études approfondies, Univ Montpellier II* : 65pp.

**Segala B.**, 1985. Contribution à l'étude de la dynamique et de la qualité des eaux en milieu lagunaire et côtier par télédétection aérienne. *Thèse 3<sup>o</sup> cycle, Univ Montpellier II* : 150 pp.

**Seitzinger S.P.**, 1988. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: ecological and geochemical significance. *Limnol. Oceanogr.*, 33 (4, part 2) : 702-724.

**Seitzinger S.P.**, 1990. Denitrification in aquatic sediments. In *Denitrification in Soil and Sediment*, N.P. Revsbech and J. Sorensen, Plenum Press edit., New-York : 301-317

**SIEE**, 1992. Contrat pour l'étang de Thau. Inventaire de foyers de pollution. Dossier 91-10-01. Agence de l'Eau, (PIM), Région Languedoc-Roussillon: 111p + annexes.

**Sornin J.M., Feuillet M., Héral M., Deslous-Paoli J.M.**, 1983. Effet des biodépôts de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) sur l'accumulation des matières organiques dans les parcs du bassin de Marennes-Oléron. *J. moll. Stud.*, (Suppl. 12 A) : 185-197.

**Sretenovic L. , Milosevic M , Adamovic M. , Cobic T.**, 1987. comparative investigation of the fish meal with some major quality features and to its impact on the digestibility of calf diets, nitrogen balance and retention. *Rec. Proc. Int. Assoc Fish Meal Manuf.* , L. :164-179

**Strickland J.D.H.**, 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 122: 1-172.

**Teste-Cristofoli A., Baleux B.**, 1979 ;influence du lessivage des sols des bassins versants nord sur la pollution bactérienne des eaux de l'étang de Thau. *Bull. Ecol.* , 10 : 55-67.

**Tournier H., Hamon P.Y., Landrein S.**, 1981 (1982). Synthèse des observations réalisées par l'I.S.T.P.M. sur les eaux et le plancton de l'étang de Thau de 1974 à 1980 . *Rev. Trav Inst. Pêches marit.* , 45 (4) : 283-318.

**Tournier H., Pichot Y., 1985(1987).** Répartition de la chlorophylle a dans l'étang de Thau : richesse nutritive pour les mollusques d'élevage. *Rev. Trav Inst. Pêches marit.* 49 (1 et 2) : 13-24.

**Vernier N., 1991.** Impact du vent sur les échanges entre l'étang de Thau et la méditerranée , conséquences pour la pollution de l'étang en tributyl-étain . *Mém.D.A.A. ,Inst.Nat.Agr. Paris-Grignon* : 33 pp + annexes.

**Vincendeau M-L., 1986.** Impact des produits d'excrétion azotés des huîtres sur la fertilité des eaux des claires ostréicoles. *J. Res. Oceanogr.* , 11 : 33-35.

**Van Wambeke F., Bianchi M.A., 1985** : Bacterial biomass production and ammonium regeneration in Mediterranean sea water supplemented with amino acids . 1. Correlations between bacterial biomass, bacterial activities and environmental parameters. *Mar Ecol (Prog. ser.)*, 23 (2) : 107-115.

**Vitale-Lelong D., 1989.** Bilan azoté du loup (Dicentrarchus labrax L) en cours de prégrossissement . Influence de la ration alimentaire, de la taille des poissons et de la température d'acclimatation. *Vie marine* vol 11 Hors série : 129 pp.