

Direction des Ressources Vivantes

Laboratoire Environnement Ressources du Languedoc Roussillon

Hamon Pierre-Yves, Vercelli Catherine, Yves Pichot,
Franck Lagarde, Patrik Le Gall, Jocelyne Oheix

R.INT.DRV/LERLR 2003-01

Les malaïgues de l'étang de Thau.

Tome 1. Description des malaïgues. Moyens de lutte,
Recommandations.



Station de Sète

BP 171 - Boulevard Jean Monnet – 34203 Sète Cédex

Résumé :

L'étang de Thau est, certaines années, le siège de crises appelées localement « *malaïgues* ». Ce phénomène est caractérisé par une anoxie pouvant intéresser toute la tranche d'eau. Ces eaux peuvent alors prendre une couleur blanche. Cette absence d'oxygène entraîne une mortalité plus ou moins importante des coquillages en élevage. Les « *malaïgues* » recensées et décrites sont au nombre de 9. Elles se produisent toutes en été mais n'ont pas la même localisation ni la même importance. Différents moyens de lutte ont été expérimentés et sont décrits.

Abstract :

The Thau Lagoon, from time to time is the area of crisis locally called « *malaïgues* ». The characteristics of these « *malaïgues* » are the lack of oxygen interesting all the water column and the white color of the waters during the phenomena. The result of this anoxia is the death of cultivated molluscs. From 1969 to 2000 nine « *malaïgues* » have been observed. They occur during the Summer period but in different locations. The surface of the areas concerned are very different according the year. Different means of struggle have been tried and are described.

Mots-clés : Anoxie, malaïgue, description, recommandations, Thau

Keywords : Anoxia, malaïgue, description, recommendations, Thau lagoon

Commentaire :

Sommaire

Dates importantes.....	4
1 : Introduction.....	6
2 : Objectifs.....	9
3 : Matériel et méthode.....	9
4 : Informations relatives aux crises anoxiques.....	10
A : physico-chimie.....	10
B : aménagements	10
C : observations	12
5 : Description des malaïgues	13
5.1 : malaïgue 1969.....	13
5.2 : malaïgue 1971.....	15
5.3 : malaïgue 1975.....	17
5.4 : malaïgue 1982.....	23
5.5 : malaïgue 1983.....	30
5.6 : malaïgue 1987.....	38
5.7 : malaïgue 1990.....	43
5.8 : malaïgue 1992.....	46
5.9 : malaïgue 1994.....	47
5.10 : malaïgue 1997.....	48
6 : Malaïgues non répertoriées	53
7 : Moyens de lutte.....	55
7.1 : oxygénation et aération	55
7.2 : dévasement mécanique.....	55
7.3 : épandage de produits améliorants.....	57
8 : Recommandations.....	59
9 : Conclusions.....	63
Liste des références bibliographiques	64

ETANG DE THAU

DATES IMPORTANTES

1939	Début officiel de la conchyliculture (498 concessions)
1951	Mortalité importante d'huîtres plates (<i>Ostrea edulis</i>)
1952	L'huître portugaise remplace peu à peu l'huître plate
1957	Fin d'attribution des concessions (667)
1958	Malaïgues probables
1969-1972	Maladie des branchies sur l'huître Portugaise (<i>C. angulata</i>)
1969	Malaïgue de fond
1970	Début du remembrement de la zone conchylicoles
1971	Apparition de l'algue <i>Hundaria pinatifida</i>
1972	Malaïgue de fond. Ouverture du grau de Pisso Saume
1972-1973	Importation d'huîtres du Japon (<i>Crassostrea gigas</i>)
1973	Construction du port conchylicole du Mourre blanc
1974	Construction de la ZUP du Barrou
1975	Malaïgue généralisée
1975	Apparition de l'algue <i>Sargassum muticum</i>
1981	Importante mortalité hivernale de moules
1982	Malaïgue et tempête. Fin de l'allongement de l'épi DELON
1983	Malaïgue
1987	Malaïgue
1988	Fin de réorganisation de la zone conchylicole
1989	Crise des Salmonelles
1990	Malaïgue
1992	Malaïgue (Poissons du Soleil et bas des cordes)

1994	Malaïgue de fond
1997	Malaïgue de surface et de fond

1 Introduction

Les malaïgues (mauvaises eaux en occitan) sont des phénomènes naturels, qui affectent périodiquement certains étangs du Languedoc-Roussillon. Les processus impliqués dans ces phénomènes ont été décrits par Frisoni et Cejpa (1989), Tournier *et al.*, (1979), Souchu *et al.*, (1998) pour l'étang de Thau, et par Amanieu *et al.*, (1975), Caumette et Baleux (1980) pour les étangs palavasiens.

Les phénomènes chimiques sont bien connus; les conditions d'apparition des malaïgues seraient dues avant tout à une forte chaleur et à une absence de vent. Plus exactement il y aurait risque d'apparition de malaïgue lorsque les vents seraient inférieurs à 5m/s pendant deux ou trois jours (Tournier *et al.* , 1989).

Dans la plupart des cas ces phénomènes ne sont suivis qu'à partir de leurs manifestations visibles, c'est à dire lors de mortalités anormales, de coloration blanche des eaux et de fortes odeurs d'hydrogène sulfuré.

Les études effectuées *a posteriori* (Tournier *et al.*, 1989) semblent montrer que la vitesse du vent est la première variable explicative de l'apparition des anoxies dans l'étang de Thau. Il faudrait cependant prendre aussi en considération la direction de ces vents et leur répartition sur une période donnée, les pluies, les pressions atmosphériques et les marées lunaires.

L'ensoleillement, la répartition de la matière organique et la profondeur sont autant de facteurs qui entrent aussi dans les processus de malaïgue (Souchu *et al.*, 1998).

Les conditions d'apparition des anoxies ont été étudiées par Tournier *et al.*, (1990) qui ont établi une corrélation probable entre la vitesse moyenne des vents sur 36 heures et le déficit en oxygène dans les eaux de fond de la zone de Bouzigues. L'anoxie totale serait atteinte lorsque le vent moyen tombe à 1 m/s. Dans la zone de Bouzigues, Souchu *et al.*, (1998) ont trouvé une relation linéaire significative entre la vitesse du vent et la différence de température surface-fond dans la zone profonde. D'après les paramètres de la régression, il faudrait un vent de 9 m/s pendant 24 heures pour faire disparaître la thermocline dans ce secteur profond de l'étang.

Le Moelle et Millet (1987) ont utilisé comme paramètre le nombre de kilomètres de vent qui passe sur le site en une journée et estiment qu'il y a risque d'anoxie lorsque la quantité de vent est inférieure à 300 km/j pendant plusieurs jours.

Les différentes phases d'apparition et de développement des malaïgues peuvent se résumer en une planche synthétique (Fig.1)

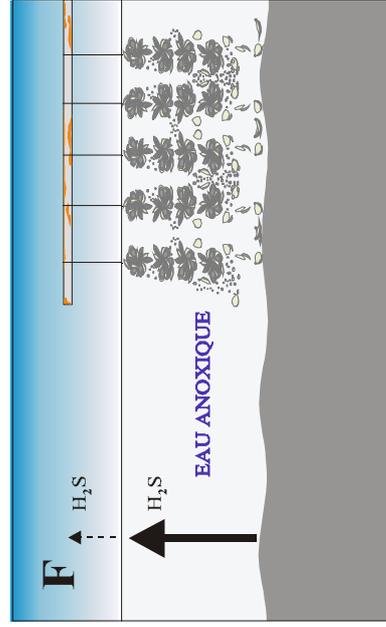
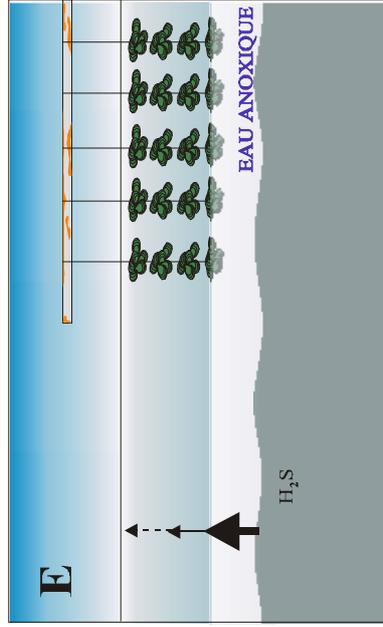
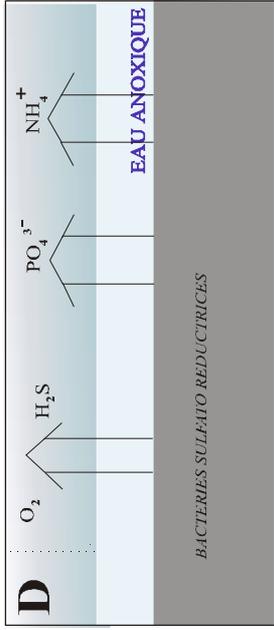
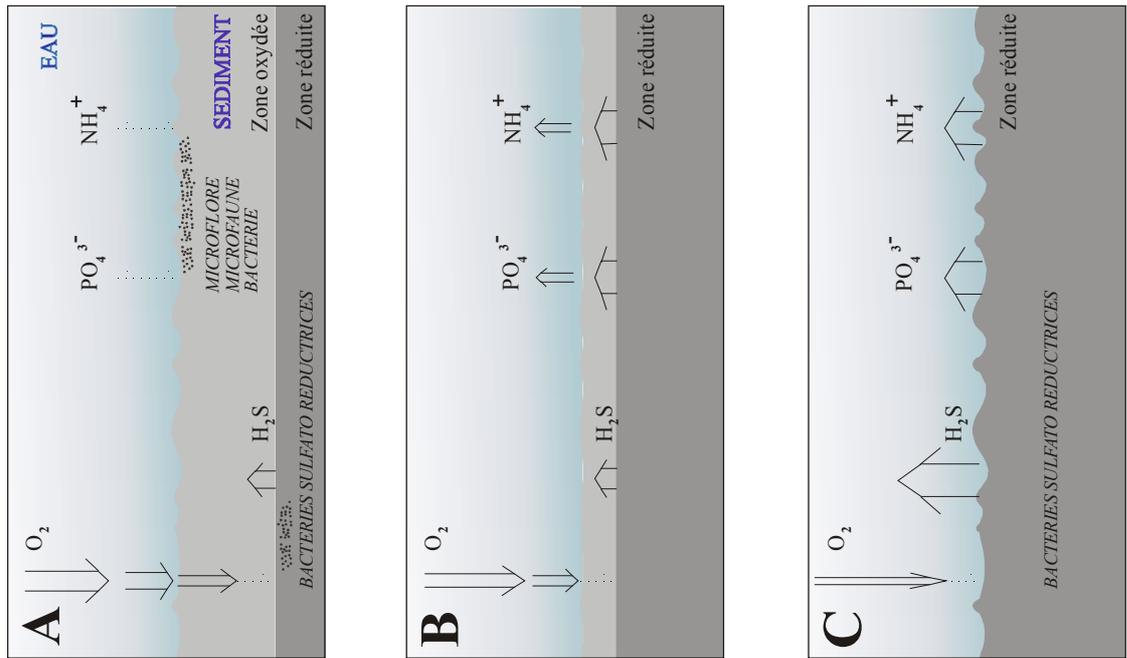


Figure 1 : Comportement des eaux de fond des lagunes profondes pendant la période estivale (d'après Souchu, non publié)

Fig. 1 A - Durant la période hivernale l'oxygénation de l'eau est favorisée par les faibles températures. Le sédiment est enrichi en matières oxydantes. Cette couche oxydée peut atteindre plusieurs centimètres dans lesquels se développe une biocénose de nombreux organismes microscopiques aérobies. La zone plus profonde anoxique est colonisée par des bactéries sulfato-réductrices qui utilisent les sulfates et libèrent des sulfures très souvent toxiques pour les autres organismes. Les flux d'ammonium et de phosphates à l'interface eau-sédiment sont faibles.

Fig. 1 B - Les températures printanières induisent une baisse physique des concentrations en oxygène dans l'eau et, parallèlement, une demande accrue par les organismes hétérotrophes. Dans les sédiments, l'épaisseur de la couche oxydée diminue entraînant la mort de certains organismes. Les flux d'ammonium et de phosphates sont alors significatifs et vont servir à l'édification du phytoplancton.

Fig. 1 C - En fonction des conditions météorologiques et de la charge en matière organique, la situation estivale peut ressembler à ce qui vient d'être décrit. Par contre, si le phénomène s'accroît, seule une micro pellicule de surface reste oxygénée. Quand cette situation persiste apparaissent alors des bactéries filamenteuses (*Beggiatoa sp.*) qui utilisent le soufre du sédiment et l'oxygène de l'eau. Il y a augmentation des phosphates et de l'ammonium dans les eaux de fond.

Fig. 1 D - La situation peut rester stable ou, en fonction des conditions météorologiques, évoluer vers l'anoxie lorsque les températures augmentent. Les biocénoses de l'interface eau sédiment sont détruites, de grandes quantités d'ammonium et de phosphates sont alors libérées dans la colonne d'eau.

Fig. 1 E - L'eau de fond anoxique riche en sulfure peut s'épaissir et atteindre les élevages d'huîtres et de moules en suspension.

Fig. 1 F - A leur mort, bivalves et épibiontes entraînent une demande biologique en oxygène suffisante pour contribuer à l'extension de la couche anoxique jusqu'à la surface.

2 Objectifs

Ce rapport a pour but :

A : d'inventorier les informations relatives à toutes les malaïgues connues et ayant fait l'objet, soit de publications, soit de rapports internes et de mettre en évidence si possible les caractères communs à toutes les crises.

B : d'examiner la chronologie des événements anoxiques dans une perspective d'aide à l'aménagement (bassin versant et zones conchylicoles).

3 Matériel et méthode

Classiquement on distingue deux types de malaïgues, celle de fond et celle de bord (Tournier *et al.*, 1979).

Bien que cette distinction soit pertinente, il faut cependant en préciser les termes. Deux types de malaïgue de bord peuvent être distinguées :

- des eaux de couleur blanche peuvent apparaître au bord de l'étang, au printemps ou en été, et se développer sur quelques mètres à partir du bord. Ce ne sont pas de réelles malaïgues, cette coloration serait due à une réaction entre les sulfures et les carbonates. On peut ensuite observer un panache qui se dirige vers les tables, mais seule la couche superficielle est atteinte et ce phénomène ne provoque généralement pas de mortalité,
- le phénomène est plus grave lorsque les eaux de fond sont anoxiques et que les eaux de bord prennent cette couleur blanche. C'est alors une véritable malaïgue qui va se développer sur toute la tranche d'eau. La couleur serait due à une prolifération de bactéries photosynthétiques (*Chlorobiaceae*) (Souchu *et al.*, 1998).

En ce qui concerne les malaïgues de fond, il faudrait plutôt dire anoxie de fond, les professionnels en effet ne parlent de malaïgue que lorsque le phénomène est visible, c'est-à-dire lorsque les eaux ont une couleur blanchâtre.

Pour cette étude nous avons utilisé d'autres critères pour distinguer quatre types de crises dystrophiques :

- I : les malaïgues visibles (eaux blanches en surface) et ayant provoqué des mortalités importantes,
- II : les malaïgues visibles, n'ayant pas provoqué de mortalités significatives (généralement ces malaïgues n'ont pas fait l'objet de publications),
- III : les malaïgues de fond, non visibles mais répertoriées,
- IV : les malaïgues de fond non répertoriées, mais diagnostiquées *a posteriori* à la lecture d'autres paramètres (phosphates).

4 Informations relatives aux crises anoxiques

D'après Souchu *et al.*, (1998) les vents ne peuvent pas expliquer d'une façon satisfaisante l'ensemble des anoxies observées depuis 1975.

A - Physico-chimie

Les données de base de 1963 à 1990 ont pu être reconstituées et sont disponibles sur support informatique. Pour les autres années, il n'y a pas eu de mesures temporelles régulières. Il est possible d'obtenir certains renseignements dans des programmes spécifiques, mais il est pratiquement impossible de rétablir des séries chronologiques satisfaisantes. Les teneurs en oxygènes ne sont disponibles qu'à partir de 1967.

Température, salinité et oxygène, ont été utilisés pour la description des malaïgues et des phénomènes résultants.

- Température et salinité ont été relevées avec une sonde KENT, les salinités vérifiées par la méthode de Knudsen
- Les concentrations en oxygène ont été analysées par la méthode de WINKLER.

Toutes ces données ont été prises chaque les semaines, à deux niveaux dans les zones peu profondes (surface et fond). Un niveau intermédiaire est ajouté dans les zones dépassant 6 m.

Selon les années les observations de routine ont varié : le nombre de stations a oscillé entre 11 et 8 ; lors des crises dystrophiques, le nombre des points observés pouvait atteindre 22. Les cartes sont données lors de la description des malaïgues (chapitre 5).

B – Aménagements

Durant la période étudiée (1969-1997), la physionomie de l'étang de Thau a évolué. Il est pour l'instant très difficile de savoir quelles sont les modifications ayant pu agir sur les réactions du milieu.

a) La première modification importante, le remembrement des tables, a débuté en 1970 et ne s'est terminée qu'en 1982. La surface octroyée à la conchyliculture était de 362 hectares en 1970, elle est alors passée à 1300 hectares en 1982, bien que la surface réellement cultivée soit presque identique. Les structures d'élevage qui étaient implantées assez anarchiquement ont été arrachées et ré-implantées suivant un cadastre strict. Il n'en demeure pas moins que l'augmentation de l'emprise sur le milieu a peut être modifié la vitesse et l'action des courants.

b) Le grau de Pisso Saume a été aménagé en 1972. Des observations faites par Raimbault et Tournier (1986) ont montré que la salinité de l'étang avait été modifiée par cette ouverture.

c) Des travaux pour la mise à franc-bord des berges de l'étang ont été réalisés de 1972 à 1982.

d) L'assainissement du bassin a débuté en 1976 par le raccordement des égouts de

Sète à une station d'épuration. A l'heure actuelle, deux quartiers de Sète ne sont pas encore raccordés.

e) Les communes avoisinantes se sont dotées de station de lagunage.

f) Les caves coopératives viticoles, nombreuses dans la région, se sont peu à peu dotées de systèmes d'épuration.

g) La collecte des déchets conchylicoles s'est mise en place en 1987.

h) En 1982, le port de Sète a agrandi un de ses épis.

i) La population du bassin versant a régulièrement augmenté de 1960 à 1995 (La Jeunesse., 1998).

Population du bassin versant en fonction des années.

1960	1972	1975	1980	1995
57982 Ha	65529 Ha	66006 Ha	78406 Ha	79796 Ha

C – Observations

a) Photos aériennes

Outre les données physico-chimiques recueillies sur le terrain et une cartographie sommaire des taches colorées, certaines crises dystrophiques ont fait l'objet d'observations aériennes et, pour deux d'entre elles (1982 et 1983), d'un suivi photographique dense, étude effectuée par le CERGA (Centre et d'Etude et de Recherche en Géologie Appliquée) de Montpellier. Il y avait au moment des crises un, et parfois même deux, survols par jour, la couverture photographique englobant tout l'étang. Ces observations aériennes ont l'avantage de donner une information globale pratiquement instantanée sur tout l'étang et de pouvoir suivre l'extension du phénomène. Les photos interprétations utilisées dans ce document sont tirées de la thèse de Segala (1985). Quelques observations aériennes ont eu lieu en 1990 et 1997, mais elles n'ont pas eu la même ampleur.

b) Mortalités

Il est bien connu que certains organismes sont capables de vivre en anaérobiose pendant une assez longue période. C'est le cas en particulier de l'huître creuse (Marteil, 1976) il en va de même pour la moule et l'huître plate.

Les mortalités lors de malaïgues apparaissent dès que l'on observe dans le milieu la présence d'hydrogène sulfuré. On remarque d'ailleurs toujours les mêmes séquences dans l'apparition des mortalités : les ascidies meurent les premières, viennent ensuite les moules, puis les huîtres creuses et, enfin, les huîtres plates. Toutes les malaïgues n'ont pas eu le même effet sur les coquillages en suspension. Certaines d'entre elles, comme celle de 1983, n'ont pratiquement pas entraîné de mortalité, et aucune demande d'indemnisation n'a été formulée auprès des autorités compétentes; il est donc *a posteriori* impossible de fournir des chiffres de pertes fiables.

D'autres malaïgues comme celles de 1975, 1982, 1990 et 1997, ont fortement atteint le cheptel conchylicole et des expertises ont été menées par les agents des Affaires Maritimes, de l'IFREMER et de la DDA. Il est alors beaucoup plus facile de connaître l'importance des pertes subies, bien que beaucoup d'archives aient disparu. La DDA par exemple ne garde que les dossiers concernant les dix dernières années. Il a donc fallu rechercher les données dans des rapports internes, et dans les archives.

c) Les témoignages

Il a parfois été nécessaire de faire appel à des témoignages de conchyliculteurs lorsque les renseignements retrouvés étaient insuffisants ou flous. Ces témoignages ont été pris avec beaucoup de prudence, sauf lorsque les professionnels possédaient des archives.

5 Description des malaïgues de l'étang de Thau

5.1 Malaïgue de 1969

C'est la première malaïgue officiellement répertoriée (Monographie de la conchyliculture des Affaires Maritimes, 1969). Rappelons qu'en 1969 la réorganisation de l'étang n'avait pas encore débuté. Tout ce qui concerne cette malaïgue est tiré de la monographie citée.

Les sorties sur l'étang de Thau se sont effectuées régulièrement toutes les semaines et ont permis de suivre les variations de la température, de la salinité, de l'oxygène et de la matière organique, ainsi que l'abondance et la nature du plancton .

Les points les plus remarquables qui se dégagent de ces données sont les suivants.

Salinités : 1969 présente un contraste frappant avec l'année précédente. L'année 1968 avait été exceptionnellement sèche. De ce fait, les salinités s'étaient maintenues à des concentrations anormalement élevées tout au long de l'année (de 36 à 39 ‰).

En 1969, les fortes pluies de mars-avril ont au contraire provoqué un abaissement exceptionnellement fort des salinités (moins de 25 ‰ en surface) ; il en est résulté que le maximum atteint à la fin de l'été est demeuré plus faible que la normale (environ 36 ‰).

Températures

Dés le mois de juin les températures sont supérieures à 20°C et dépassent les 25°C au mois de juillet.

Oxygène

Pour les facteurs suivants : oxygène et matière organique, les valeurs observées sont restées dans les limites habituelles. Néanmoins, à partir du mois de juin et jusqu'au début d'août, les teneurs en oxygène près du fond sont extrêmement faibles et même nulles sur le fond (Fig. 2). La couche intermédiaire pendant la même époque montre une légère baisse des concentrations en oxygène. La couche superficielle reste proche de la saturation (sauf en octobre).

Il n'a pas été possible pour l'instant de retrouver, dans les archives consultées, une cartographie des zones touchées .

Mortalités

Les coquillages de pêche, particulièrement les palourdes et les clovisses, ont subi une mortalité anormale ; celle-ci s'est signalée au cours du mois de juin, précisément à la période où la privation des fonds en oxygène a été enregistrée. Il est vraisemblable que la hausse des températures a alors intensifié le processus de fermentation des fonds, provoquant une minéralisation. Ces fermentations ont créé sur les fonds un état d'anaérobiose qui a été fatal aux mollusques fouisseurs les moins résistants (Monographie Affaires Maritimes, Sète).

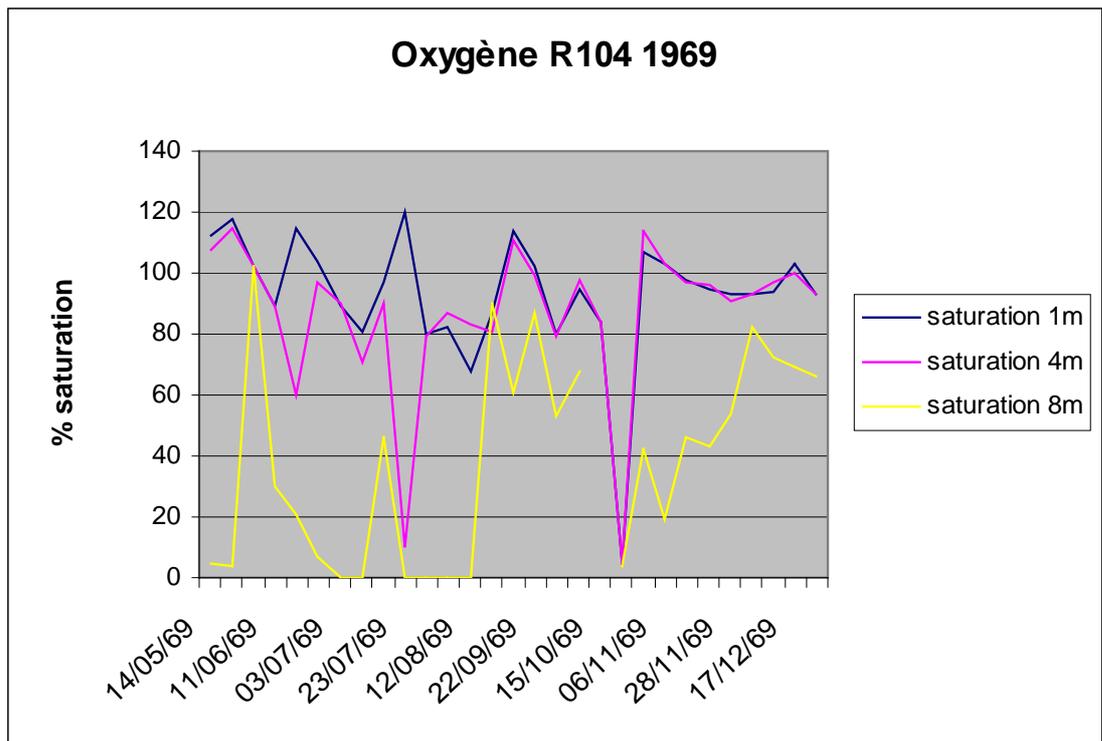
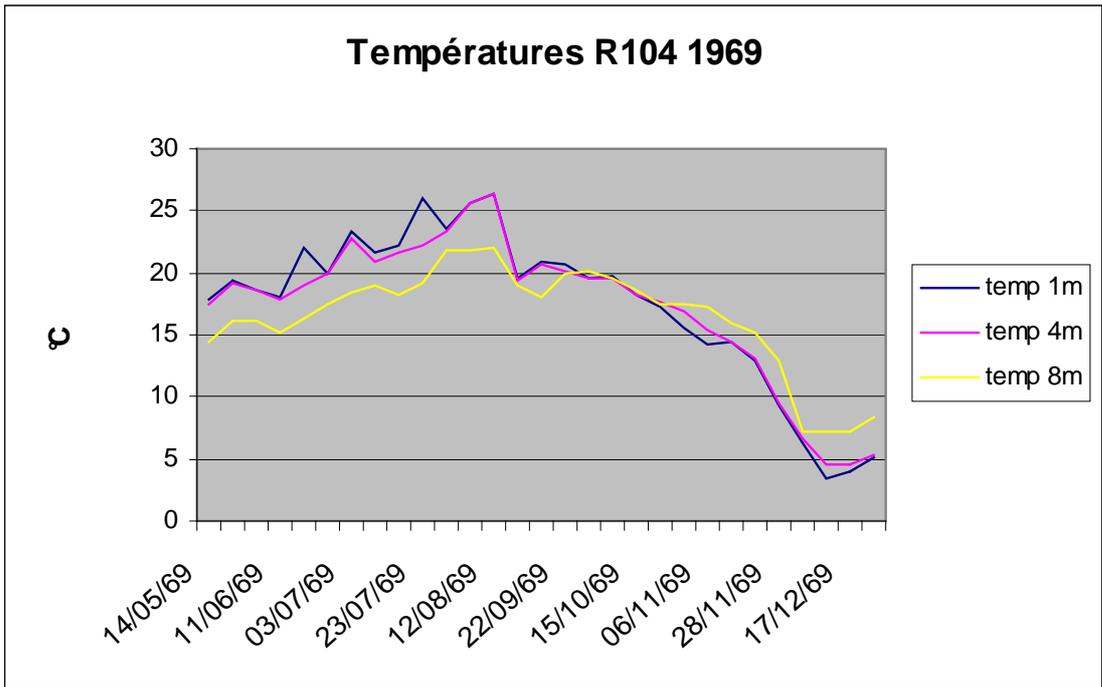


Fig. 2 : Evolution de la température et de l'oxygène dissous, 1969

5.2 Malaigue de 1971

Les renseignements sont également tirés de la Monographie 1971 des Affaires Maritimes.

La réorganisation a débuté en 1970. En septembre 1971, il y avait 280 tables nouvelles plantées (71 en zone A, 209 en zone B). 208 tables anciennes avaient été arrachées (39 en zone A et 169 en zone B).

Cette année 1971 a été caractérisée par une mortalité importante de moules en février, dans la zone proche de Marseillan. Les causes de cette mortalité n'ont pas été totalement élucidées. Elles pourraient être reliées aux fortes pluies du début de l'année.

Sur le plan climatologique l'année a présenté des caractères très particuliers sur trois points.

1°/ Les premières pluies importantes de l'automne-hiver 70-71 ne sont survenues qu'en janvier 1971, mais par la suite des précipitations abondantes ont été observées jusque dans la première quinzaine de juin. Une pluviosité aussi tardive est tout à fait exceptionnelle.

2°/ Les températures de l'été ont été sensiblement plus élevées que la moyenne de l'époque. Nous avons noté des températures de l'eau supérieures à 27°C.

3°/ Les vents forts ont été beaucoup moins fréquents que d'ordinaire pendant la belle saison.

Les effets des conditions météorologiques sur les eaux de l'étang ont été les suivants :

Salinités

Elles s'étaient maintenues à leurs valeurs estivales jusqu'au début de l'année ont subi un fort abaissement dès la fin du mois de janvier (de 37 ‰ à 31 ‰). Du fait de la prolongation des pluies, la phase de montée des salinités que l'on observe généralement en avril ou mai n'a pu s'amorcer qu'à la fin du mois de juin et ce retard explique que les valeurs maximales atteintes sont demeurées sensiblement inférieures à ce que l'on observe habituellement.

La conjonction des trois caractères météorologiques mentionnés (pluies abondantes et tardives, chaleur, rareté des vents forts) a certainement contribué à assurer une forte production de plancton et autres matières organiques dérivées, mais aussi, et par conséquent, à créer des conditions éminemment favorables à des fermentations actives avec tous les dangers que représente ce phénomène.

Températures

Dès le mois de juin les températures sont supérieures à 20°C, et dépassent les 25°C en juillet (Fig. 3).

Oxygène

De façon beaucoup plus prononcée que les années précédentes, une absence totale et quasi permanente d'oxygène a été observée dans les parties les plus profondes de l'étang à proximité des sédiments, et ceci pendant la plus grande partie de l'été ; de plus au mois de juillet et d'août les couches inférieures des zones profondes se sont révélées riches en oxygène sulfuré (Fig. 3).

Les valeurs des paramètres de base retrouvés montrent qu'il existe une anoxie de fond de la fin mai à la mi août. On peut observer une légère diminution des concentrations dans la couche intermédiaire, par contre la couche superficielle est bien oxygénée (Fig. 3).

Jusqu'en 1971 l'anoxie ne touchait que les couches profondes, à partir de 1975 tout va changer.

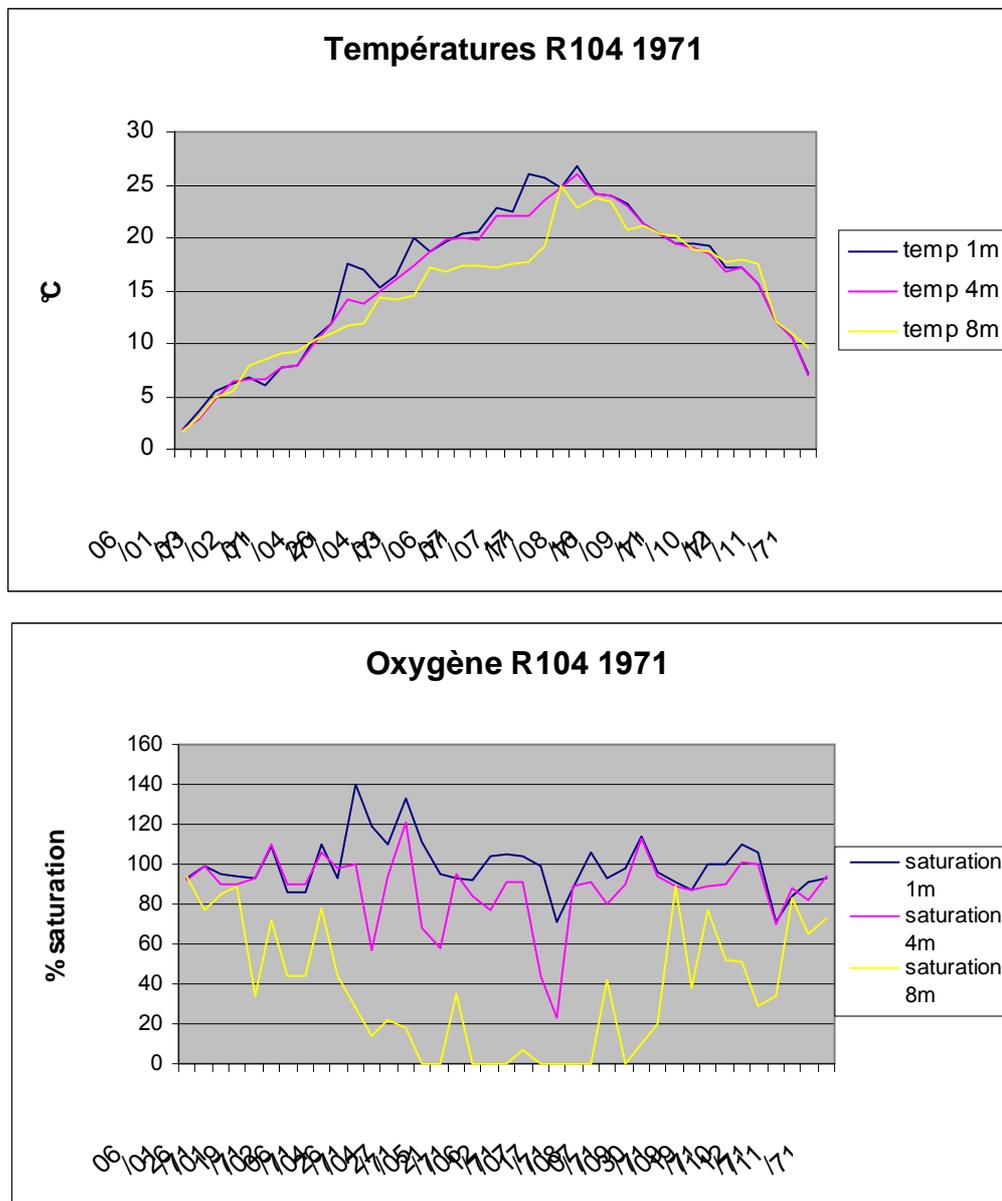


Fig. 3 : Evolution de la température et de l'oxygène dissous, 1971

5.3 Malaïgue de 1975

C'est la première malaïgue qui ait été réellement suivie et décrite (Tournier *et al.*, 1979). Mais cette description est succincte et nécessite une nouvelle rédaction plus détaillée.

Rappelons les grandes actions anthropiques effectuées jusqu'en 1975.

- Début de la réorganisation des zones conchylicoles en 1970. En juillet 1975, 1706 tables étaient plantées représentant 60,5 % du nombre de tables prévues. Le nombre de tables anciennes arrachées à la même époque n'est pas porté dans les monographies des Affaires Maritimes.
- Ouverture du grau de Pisse-Saume en 1972. Ce grau aurait modifié la physico-chimie de l'étang (Tournier *et al.*, 1986).
- Mise à franc-bord de certaines berges de l'étang à partir de 1972.

Par contre, les eaux domestiques de Sète se déversent encore dans les canaux de la ville et les usines installées sur les berges rejettent leurs déchets directement dans l'étang.

Pendant l'année 1975, 37 tournées régulières ont été faites avec des prélèvements en 11 points (Fig. 4) et à 2 ou 3 niveaux selon la profondeur (voir matériel et méthodes). En plus des tournées régulières, une vingtaine d'autres sorties ont été nécessaires pour effectuer des travaux particuliers ou pour suivre l'évolution de la malaïgue (rapport annuel d'activité 1975). Il n'a pas été possible de retrouver les données physico-chimiques relatives à la période comprise entre le 7 juillet et le 20 juillet.

Chronologie

JUIN (Fig. 5)

Dès la mi-juin, on peut observer une baisse de l'oxygène aux stations 1 et 3 dans les couches profondes (70 à 80 % de la saturation).

Fin juin, les températures de l'air sont supérieures à 20°C. Les températures moyennes de l'eau sont proches des températures atmosphériques. Il y a peu de différences entre la surface et le fond.

JUILLET (FIG. 5)

Début juillet, des couches anoxiques sont apparues dans les zones profondes de l'étang des eaux blanches (chenal de navigation), la couche supérieure demeure à saturation. Les couches désoxygénées se sont peu à peu étendues dans cet étang et l'horizon anoxique a gagné les couches intermédiaires. Les températures de surface et de fond sont de 22°C.

Dès la mi-juillet, l'anoxie est totale de 4 m jusqu'au fond dans l'étang des eaux blanches (Fig.4) et progresse régulièrement dans le grand étang vers les zones conchylicoles et au large de celles-ci, pour les couches d'eau comprises entre 6 m et le fond. Les températures de surface et de fond sont comprises entre 22 et 25°C.

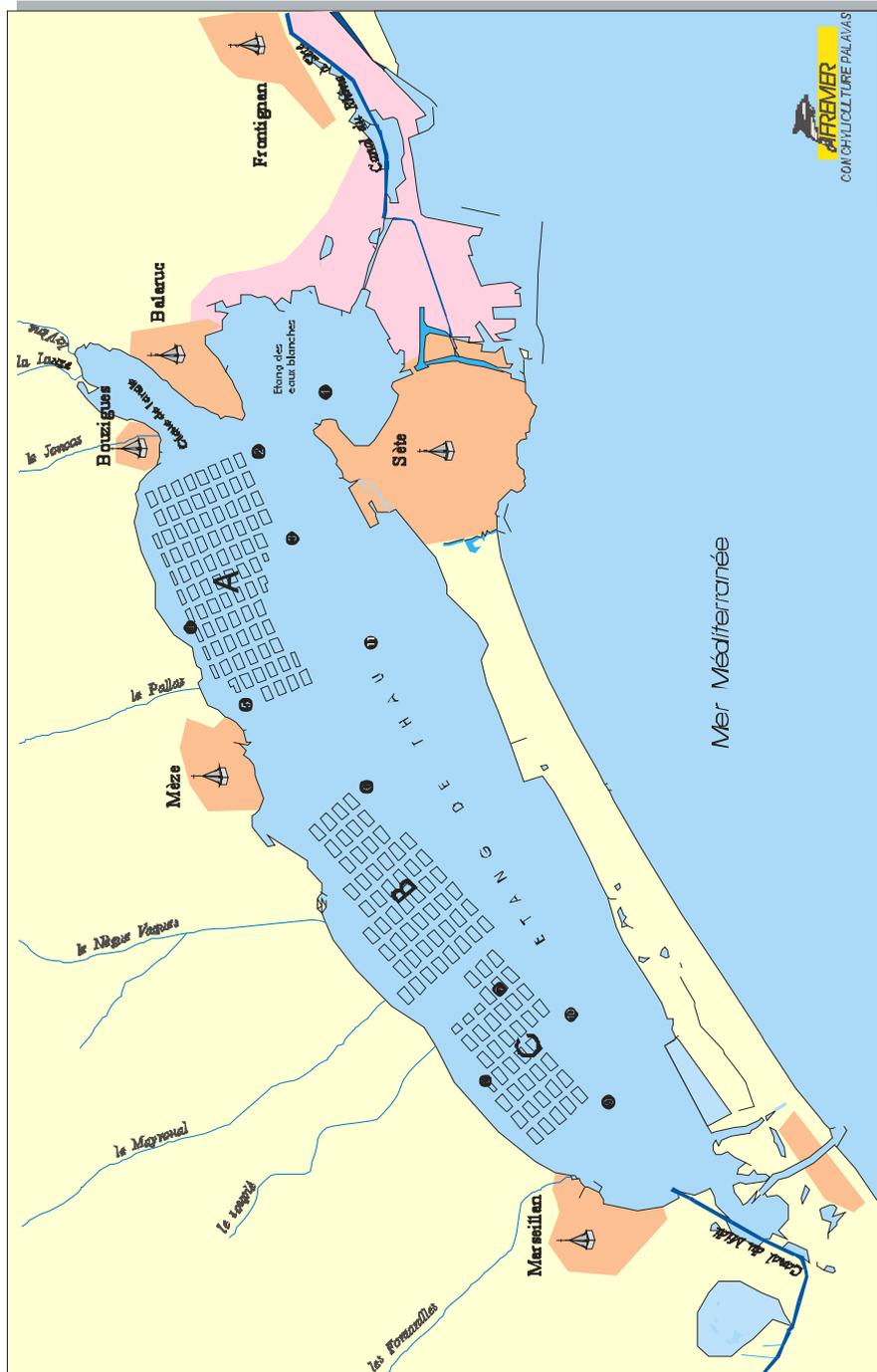


Fig. 4 : Stations suivies en 1975

les vents dépassent régulièrement 5 m/s, sauf dans la dernière semaine du mois. L'épisode de Sud du 21 aurait dû permettre une renverse des courants. On observe bien le 23 une légère baisse des températures de fond dans l'étang des eaux blanches, mais pas d'halocline. Le fond est déficitaire en oxygène.

AOUT (FIG. 5)

Du 15 juillet au 10 août, la désoxygénation totale ne s'observe que dans les couches inférieures des zones les plus profondes de l'étang et même plus spécialement dans le seul secteur conchylicole qui forme la pointe Est au large de Bouzigues, c'est à dire dans la partie de l'étang la plus proche des canaux de Sète et de Frontignan.

Dans la semaine du 3 au 10 août, la remontée de la masse anoxique dans ce secteur parvient à trois ou quatre mètres de la surface et elle a déjà entraîné la mortalité des moules situées en dessous de ce niveau.

Il faut remarquer que les autres secteurs de l'étang présentent alors une oxygénation à peu près satisfaisante (en zone B et C certains secteurs profonds n'étaient qu'à 80 % de la saturation).

Cette phase de désoxygénation a été lente et progressive, elle a duré plus d'un mois, partant de l'étang des Eaux Blanches et se dirigeant vers les zones conchylicoles les plus profondes. On assiste là à la phase de malaïgue en eaux profondes. De la mi-juillet jusqu'au 10 août, le temps est caractérisé par une absence de vent ou par des vents faibles de 5 m/s de secteur Nord avec des renverses journalières rares (tome 2 Hamon *et al.*, 2005). Les échanges mer-étang dus au simple effet des marées se traduisent dans l'étang de Thau par une variation de niveau de l'ordre de 1 à 3 cm, alors que sous l'effet des vents alternants conjugués avec les pressions atmosphériques les variations peuvent dépasser 1 m.

C'est alors qu'est apparu le deuxième phénomène, extrêmement rapide. La malaïgue qui jusqu'alors s'est cantonnée sur les fonds fait son apparition sur la rive Nord-est de l'étang, et se propage très rapidement sur toute la zone A. La zone anoxique concerne toute la tranche d'eau, qui a une couleur blanc jaunâtre et une forte odeur d'hydrogène sulfuré se dégage.

Cette coloration blanchâtre a progressé rapidement vers Mèze, puis en zone B et a atteint la zone C en quelques jours. Les mortalités de moules et d'huîtres ont été massives, les moules étant beaucoup plus sensibles. Environ 80 % du cheptel a péri. Les conditions météorologiques restaient stables et la malaïgue a continué de s'étendre colonisant tout le grand étang. Seule une bande très étroite proche du lido a été épargnée (Fig. 6)

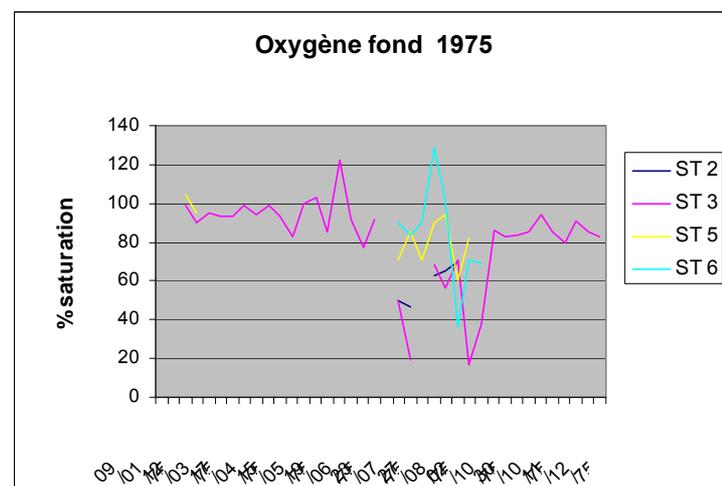
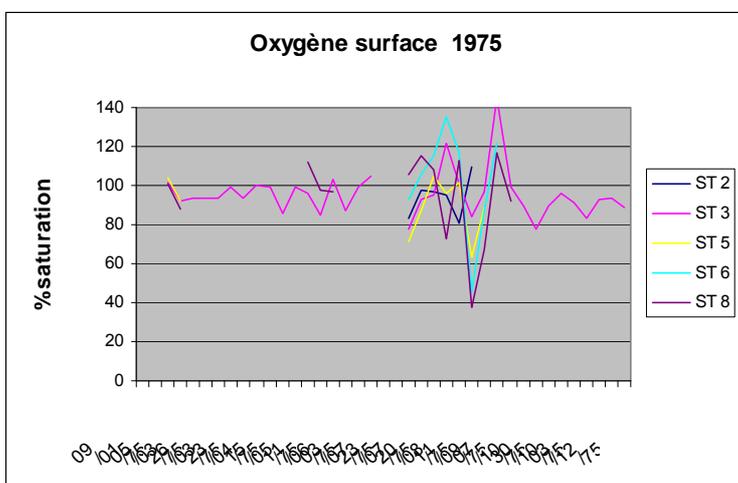
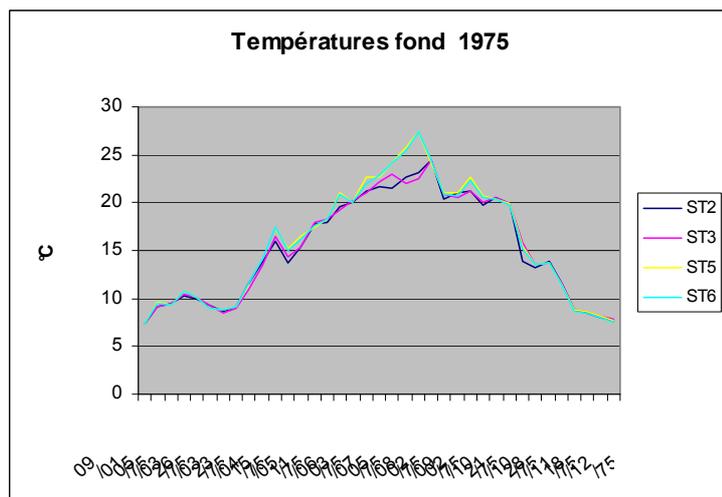
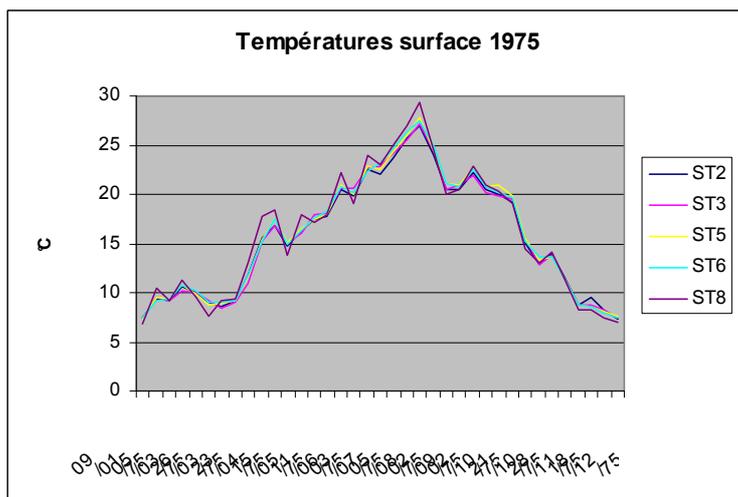


Fig. 5 : Evolution des températures et oxygène dissous (fond et surface) de l'étang de Thau, 1975

Mortalités 1975

Source : Anonyme, nov. 1975.

L'enquête effectuée du 13 au 18 août fait apparaître que les zones de Bouzigues, Loupian et Marseillan ont subi des dommages supérieurs à 25 %, ce qui a permis aux producteurs de bénéficier des prêts spéciaux en fonction de l'article 675 du code rural. C'est dans les tables les moins profondes que les pertes sont les plus élevées (50 %), alors que vers Mèze elles ne sont que de 25 %. Le plus fort pourcentage est relevé au droit du Nègues Vague (100 %). Il est à noter que ce ruisseau était à sec à l'époque de la malaïgue ; les mortalités ne sont donc pas dues à une pollution provenant de ce ruisseau.

Une enquête complémentaire est diligentée le 12 septembre et ne fait que préciser les observations antérieures. On peut ajouter que dans le secteur de Mèze Ouest et de Marseillan les mortalités sont évaluées entre 30 et 80 %.

Les évaluations des professionnels étaient les suivantes :

Catégorie de coquillages	Biomasse	Biomasse
	Huîtres	Moules
Commercialisables	60 %	50 %
Non commercialisables	35 %	40 %
Naissain	5 %	10 %

Les évaluations de l'ISTPM et des Affaires Maritimes étaient les suivantes :

Catégorie de coquillages	Huîtres	Moules
	Commercialisables	56 %
Non commercialisables	39 %	36 %
Naissain	5 %	10 %

Les estimations sont donc cohérentes entre les deux parties.

En tonnage cela représente 4000 tonnes d'huîtres et 14000 tonnes de moules touchées, ce qui équivaut à une perte estimée par la commission des calamités à l'époque (en se basant sur un prix de vente à la production de 1,5 F./kg pour les moules et de 4 F./kg. pour les huîtres) de 21 millions de F. pour les moules et de 16 millions de F. pour les huîtres.

5.4 Malaïgue de 1982

Le nombre de tables plantées est de 2306, soit 82 % du total prévu.

Physico-chimie

Cinq stations sont suivies régulièrement dans l'étang (Fig. 7). Les tournées s'effectuent tous les 15 jours environ (sauf en période de malaïgue).

Observations aériennes

Les images obtenues par le CERGA sont des photographies en couleurs naturelles réalisées avec une caméra HASSELBLAD de format 70 mm et une focale de 40 mm.

Les conditions de prises de vue n'étant pas homogènes (variabilité de l'altitude, heure, conditions d'ensoleillement), il est indispensable d'en tenir compte lors de l'exploitation ; de plus le tirage sur papier des clichés est une source supplémentaire de variation dans les teintes et les couleurs (Segala, 1985).

Les reports cartographiques ont été effectués grâce à un Zoom Transfer-Scope pour transcrire les renseignements sous la même forme et à la même échelle (1/25000).

Observations sur le terrain

Depuis la fin juin, la situation météorologique est caractérisée par une alternance de brises de mer et de brises de terre de force très modérée; les vitesses moyennes journalières sont inférieures à 9 m/s. L'insolation est très importante.

Cette situation explique que les températures de l'air soient élevées. Au mois de juin, on note déjà une température supérieure à la valeur moyenne. Deux périodes de fortes chaleurs sont à noter : une du 5 au 10 juillet et l'autre du 17 au 19 juillet. A partir du 7 juillet, la température ne descend pas au dessous de 22°C.

Dès le 17 juillet, les professionnels de l'étang de Thau signalent quelques mortalités d'huîtres et de moules dans la partie basse des cordes suspendues sur les parcs de la zone de Mèze (zone A).

Les observations, détaillées plus loin, mettent en évidence une anoxie de fond avec une température de 28 °C dans toute la tranche d'eau ; celle-ci est fortement colorée en brun mais ne contient pas d'espèces phytoplanctoniques toxiques.

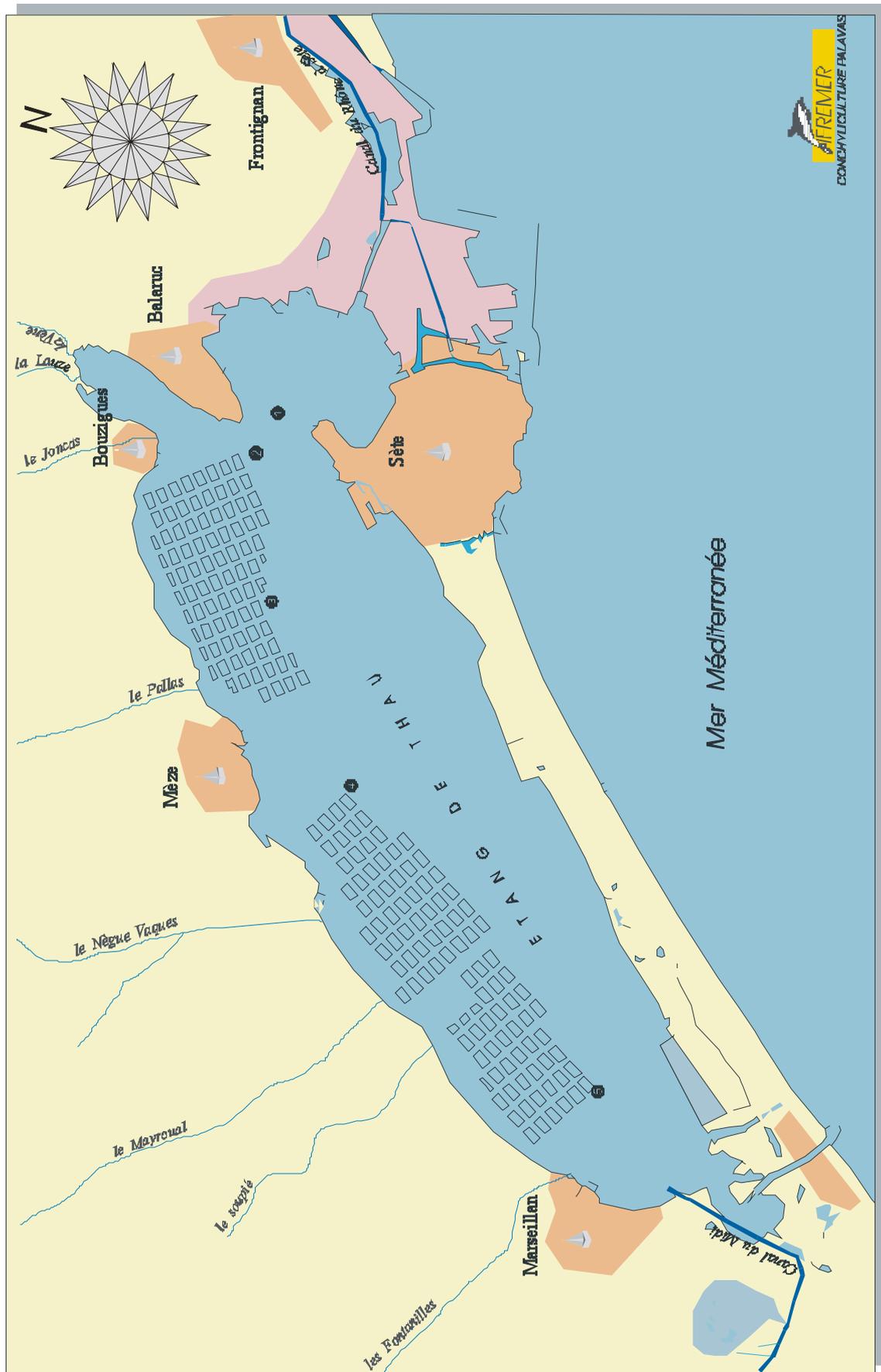


Fig. 7 : Stations 1982

Le 21 juillet, les mortalités prennent de l'importance. Les deux premières rangées des parcs les plus à terre sont touchées par une mortalité totale des coquillages et de la faune fixée sur les cordes (essentiellement des tuniciers). Dès le matin, les eaux avaient pris une coloration blanche ; la température de l'eau demeure à 28°C pour toute la tranche d'eau et les teneurs en oxygène dissous sont pratiquement nulles en profondeur et très faibles en surface.

Le 22 juillet, la Préfecture demande que tout soit mis en place pour évaluer la mortalité des coquillages en élevage et recommande de suivre de très près l'évolution de ce phénomène.

Le 23 juillet, les mortalités continuent. Le mistral s'établit dans la soirée (mais avec des vitesses assez faibles de l'ordre de 8 à 9 m/s).

Le 24 juillet, les premières observations aériennes faites par le CERGA débutent : enregistrements vidéo et prise de photos couleurs et thermiques. Celles-ci ne seront exploitées qu'à partir du 25 juillet. Deux vols par jour sont effectués qui permettront en les comparant avec les observations terrains de suivre assez complètement le phénomène.

Le 28 juillet, une reconnaissance en plongée est faite sur les gisements coquilliers naturels de l'étang. Jusqu'à l'isobathe des 4 mètres la faune ne semble pas avoir été touchée : palourdes, clovisses, coques, gobies, labrides, hippocampes, oursins, cérianthes, moules, huîtres plates,..... sont vivants.

Au delà de 6 m, la mortalité sur les clovisses et les palourdes est pratiquement totale. Les cérianthes sont encore vivants mais réagissent mollement.

Description détaillée de la malaïgue

Les observations aériennes ont débuté le 26 juillet (Fig. 8-9).

Il est possible de distinguer 4 foyers principaux :

1 – Le premier d'un blanc très dense, au sud Ouest de l'étang, hors des zones conchylicoles. Dans cette zone apparaît aussi un petit foyer au Nord des salines (ce secteur est très souvent en été le siège de malaïgues même lorsque le reste de l'étang est bien oxygéné).

2- Un autre, très dense, apparaît à l'Ouest du Mourre-blanc, se répandant dans la partie Nord-Ouest de la zone conchylicole B.

3- Un autre plus diffus au Nord-Ouest de la zone conchylicole A.

4- Le dernier concerne toute la crique de l'angle.

La situation évolue ensuite très lentement.

Le 25 juillet les foyers demeurent mais les eaux anoxiques se dispersent , celles réellement désoxygénées ne sont repérées qu'entre la côte et les premiers parcs ; le 26, les vents modifient la courantologie de l'étang et la malaïgue est repoussée vers les zones conchylicoles (Fig. 8-9), le 27 le courant de circulation favorise une dispersion des eaux anoxiques de l'intérieur des zones conchylicoles vers l'extérieur.

Les photos aériennes montrent que les eaux blanches de surface sont présentes en zone A de la terre jusqu'au quatrième grand couloir ; les eaux anoxiques touchent aussi la région de Mèze entre les zones A et B.

Entre le 28 juillet et le 10 Août les températures de l'eau baissent et le régime des vents semble favoriser une légère amélioration de la situation (Fig. 10).

A partir du 19 Août les températures augmentent et le phénomène reprend de l'importance (Fig. 11).

La fin d'Août est caractérisée par de fortes températures. Il faudra attendre le début du mois de septembre pour voir une dissipation lente mais progressive de la malaïgue.

Le 16 Septembre la teneur en oxygène des eaux de fond des zones A et B n'est que de 60%.

Mortalités.

Elles ont été évaluées à plus de 10 000 tonnes. Il n'a pas été possible de trouver plus de précisions.

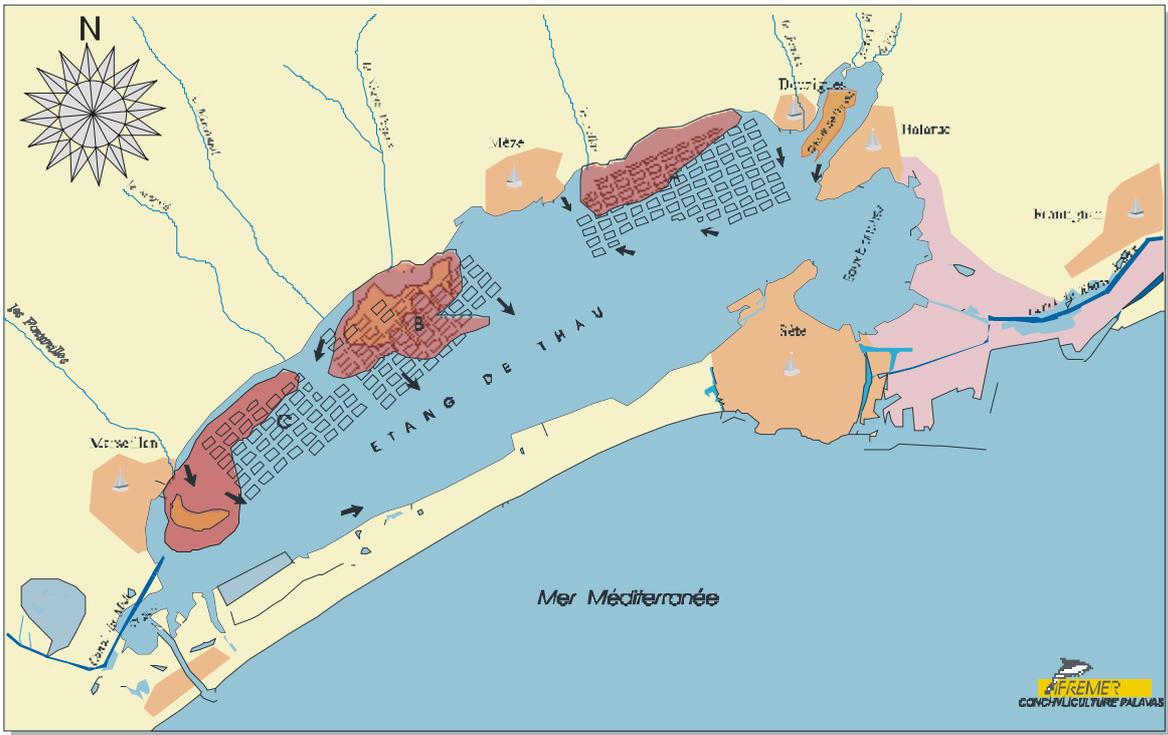


Fig. 8 : Observations aériennes et courantologie du 26 juillet 1982 à 8h35

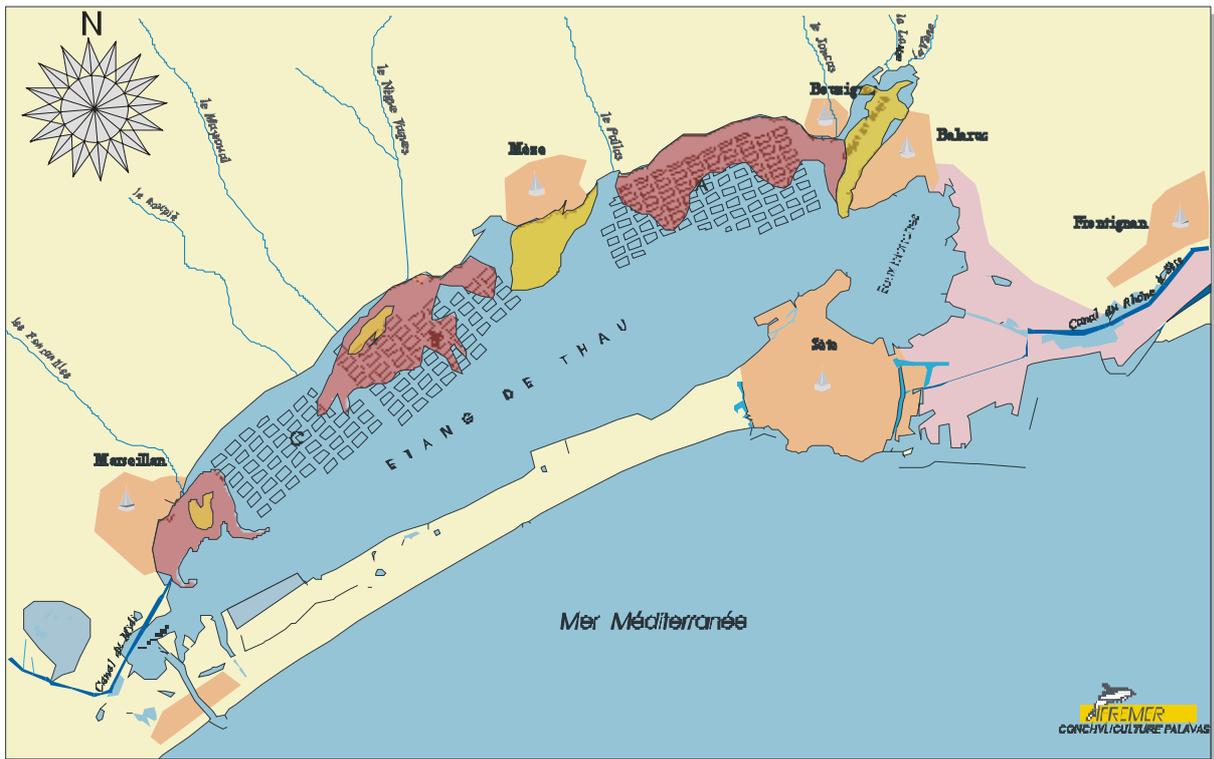


Fig. 9 : Observations aériennes du 26 juillet 1982 à 17h15

Foyer

Extension maximum

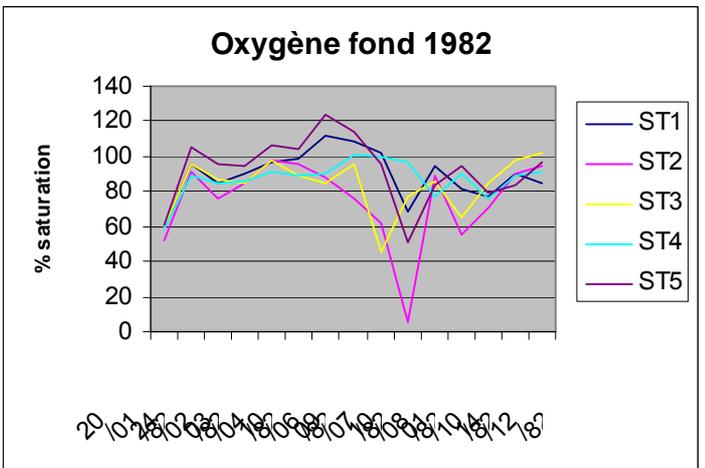
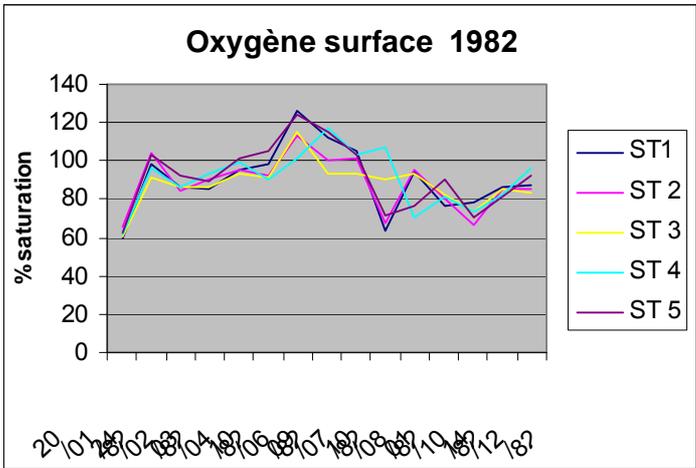
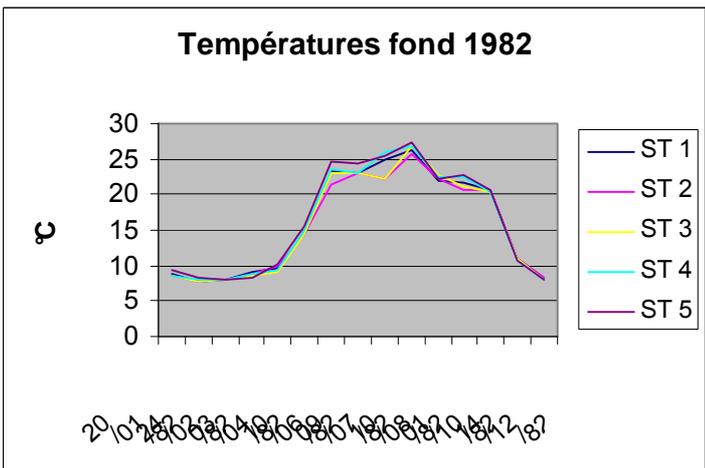
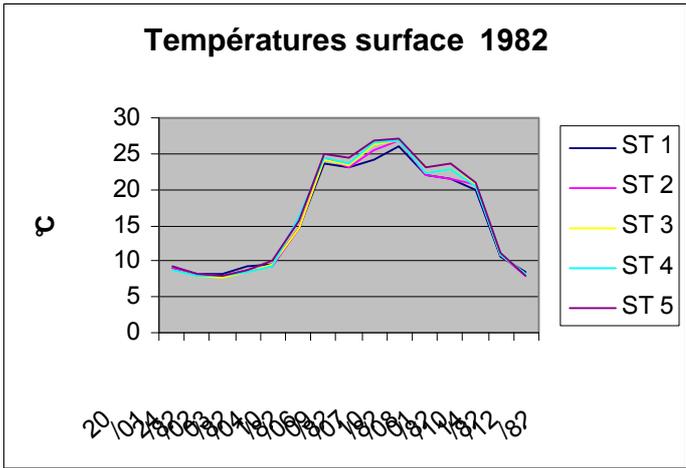


Fig. 10: Evolution de la température et de l'oxygène dissous, 1982

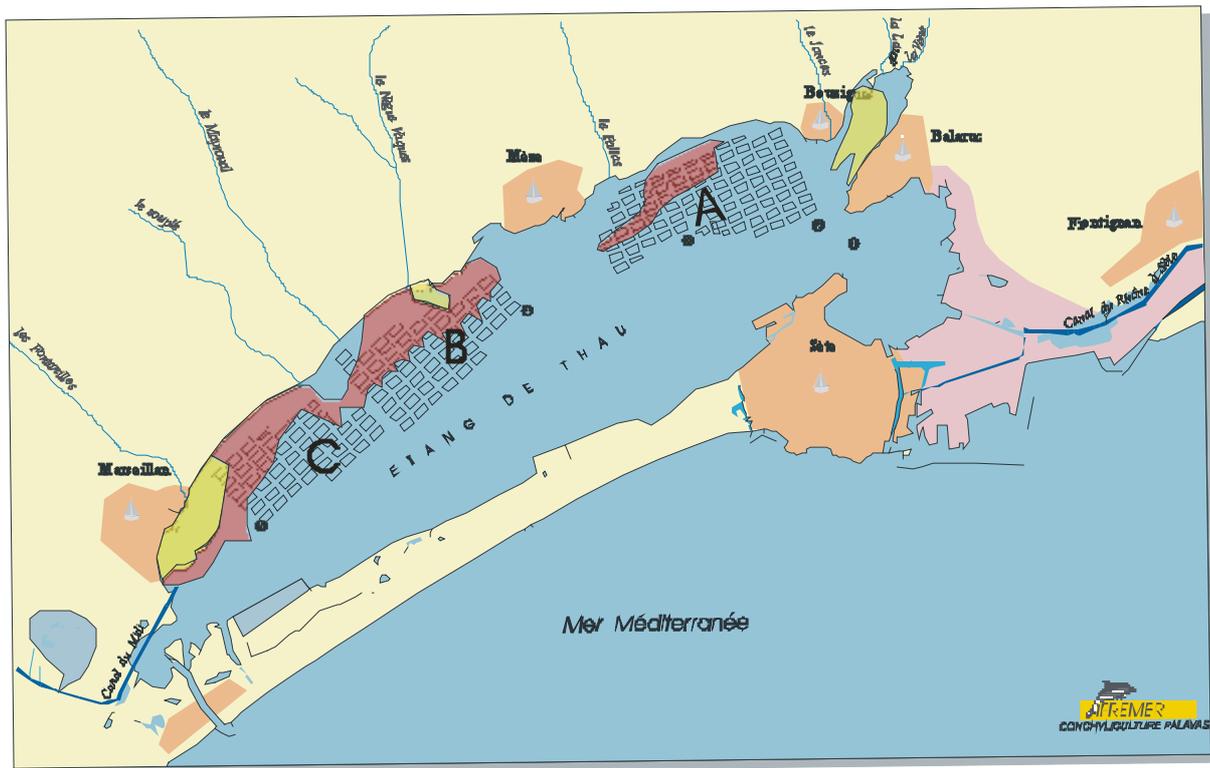


Fig. 11 : Extension maximum de la malaïgue 1982

Foyer

Extension maximum

5.5 Malaïgue de 1983

Cette malaïgue n'est citée nulle part ; elle a pourtant été décrite par Segala (1985), et a bénéficié d'une couverture aérienne importante, les observations physico-chimiques ont été multipliées pendant la période critique. Le nombre de stations suivies en routine était de 5, ce nombre a été porté à 23 pendant les mois d'août et de septembre (Fig. 13). Il est vrai qu'elle a été moins spectaculaire que celles de 1975 ou de 1982, mais elle a quand même touché une grande partie de l'étang de Thau.

Un premier survol photographique sur l'étang a eu lieu le 17 juin. Il a permis de saisir la situation au début de la saison estivale. L'eau est très claire et la végétation algale bien développée. On note une prolifération d'algues brunes (Sargasses) en plusieurs endroits de l'étang et en particulier dans de nombreuses tables des trois zones conchylicoles.

Les données recueillies par l'ISTPM au cours de cette malaïgue ont été retrouvées dans la thèse de Segala (1985).

Description détaillée de la malaïgue

Dès le début de juillet on assiste à une augmentation des températures de l'air et de l'eau (20 à 25°C) (Fig. 12).

La couverture aérienne du 2 juillet montre que l'étang est encore très clair, à l'exception de quelques masses d'eaux qui sont un peu turbides notamment dans les ports de Marseillan et du Mourre-blanc. La tournée de routine du 8 juillet montre que les températures de l'eau sont élevées pour la saison (24 à 26 °C). On note la présence d'une thermocline en zone A au large. Aucune halocline n'apparaît.

Le 8 juillet on remarque les premières désoxygénations en deux stations profondes de la zone A.

Le 13 juillet la température de l'air est de 35°C.

Le survol aérien du 26 juillet permet de se rendre compte que la turbidité dans le port de Marseillan s'est dissipée mais qu'au Sud de la zone C, au large des salines et près du ruisseau des Fontanilles, des aires de couleur blanche font leur apparition. La végétation algale a disparu d'une façon spectaculaire entre le 12 et le 26 juillet.

Les données physico-chimiques de la tournée du 27 juillet mettent en évidence une légère hausse et une homogénéisation des températures (la thermocline a disparu) (Fig. 12). La baisse d'oxygène est générale dans les eaux profonde de la zone A, ainsi qu'une baisse significative des concentrations en oxygène des eaux de fond d la zone C. La reconnaissance aérienne effectuée dans la soirée confirme les observations de terrain.

A partir de cette date les tournées de mesures physico-chimiques se multiplient pour suivre du mieux possible l'évolution de la masse d'eau. Il y aura jusqu'à 18 stations suivies régulièrement (Fig. 13).

La désoxygénation se poursuit régulièrement dans toutes les zones. Les eaux anoxiques de surface apparaissent le 2 Août. La zone la plus touchée est incontestablement la zone A. Les zones B et C quoique touchées sont encore oxygénées à 75%

La couverture aérienne du 3 août (Fig. 14 a) montre que la crise est déjà bien déclenchée.

Les zones les plus touchées sont les suivantes :

- la partie Sud de l'étang avec la zone C (Marseillan)
- l'Ouest de la zone B (Mèze)
- le Nord de la zone A (Bouzigues)
- le fond de la crique de l'Angle
- La bordure de l'étang le long de la presqu'île du Barrou
- l'étang des Eaux Blanches, le long de la presqu'île de Balaruc et l'entrée des canaux de Sète.

A cette période il existe un antagonisme entre les vents et les pressions atmosphériques. Les masses d'eaux anoxiques de la zone A sont repoussées vers l'Ouest, et celles de la crique de l'angle sont bloquées. Enfin la convergence des courants dans le Sud de l'étang avec une tendance tourbillonnaire se matérialise par une accumulation de masses d'eaux désoxygénées dans cette zone. On assiste-là à une phase d'auto-entretien de la malaïgue.

Les différentes observations aériennes montrent que le 4 août (Fig. 14 b) une tendance à la dissémination des foyers de malaïgue, les masses anoxiques sont repoussées vers les zones conchylicoles. Le 5 août (Fig.15) la malaïgue semble se reconstituer.

Le 6 août (Fig. 15) on assiste à une concentration des foyers de malaïgue. Les trois foyers observés la veille ont pris de l'ampleur. Le premier est bloqué au Sud de la zone C. Les deux autres situés sur la côte Nord sont entraînés vers le milieu de l'étang.

L'observation du 8 août (Fig. 17) permet de distinguer une amélioration importante de la couleur des eaux. Des foyers persistent le 10 août, mais de plus en plus diffus.

Les relevés physico-chimiques réalisés durant la même période confirment les observations aériennes réalisées entre le 5 et le 7 août les concentrations en oxygène baissent encore. Dès le 11 août une légère amélioration apparaît. On note cependant encore partout des déficits en oxygène assez marqués. Le 14 août ceux-ci existent encore mais très discrets même en bordure.

La fig. 16 montre l'extension maximum de la malaïgue

Cette malaïgue à épisodes multiples n'a pas eu les répercussions de celles de 1975 et de 1982; les masses anoxiques se sont en effet déplacées dans la lagune. Ne séjournant pas assez longtemps au même endroit elles n'ont pas entraîné de mortalités importantes sur les élevages (il suffit de 2 à 3 ppm d'oxygène dans l'eau pour que les mollusques survivent, à condition qu'il n'y ait pas de dégagement d'hydrogène sulfuré).

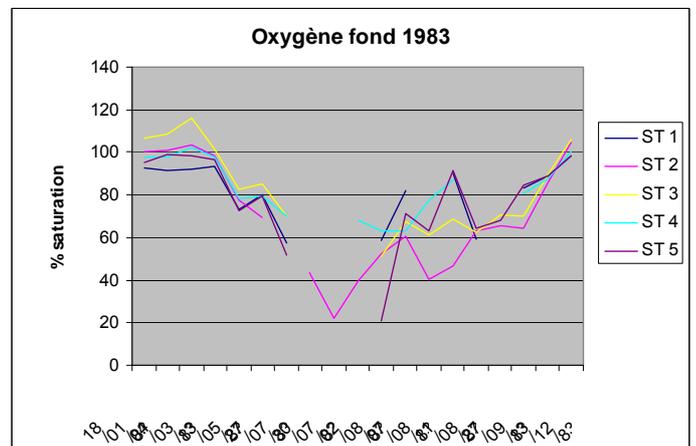
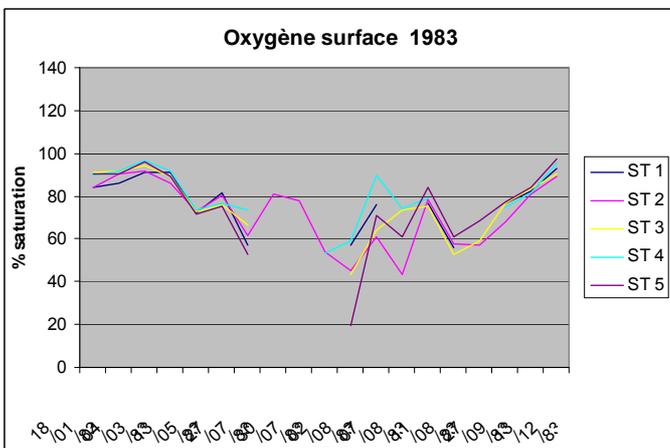
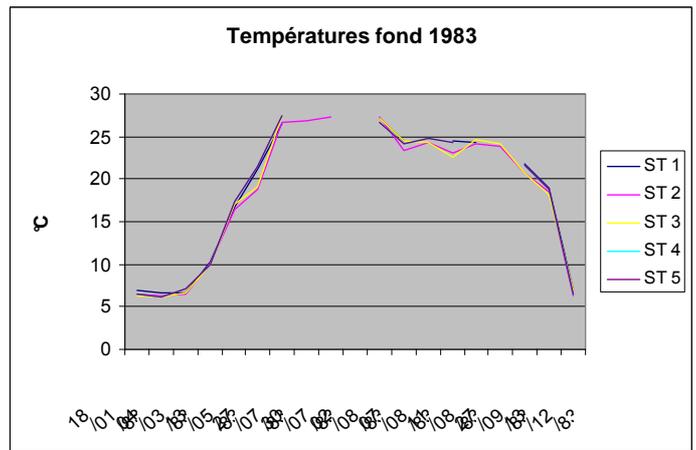
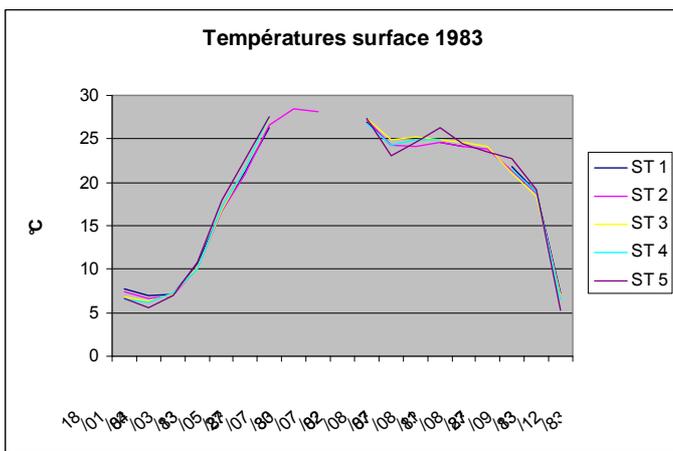


Fig. 12 : Evolution de la température et de l'oxygène dissous, 1983

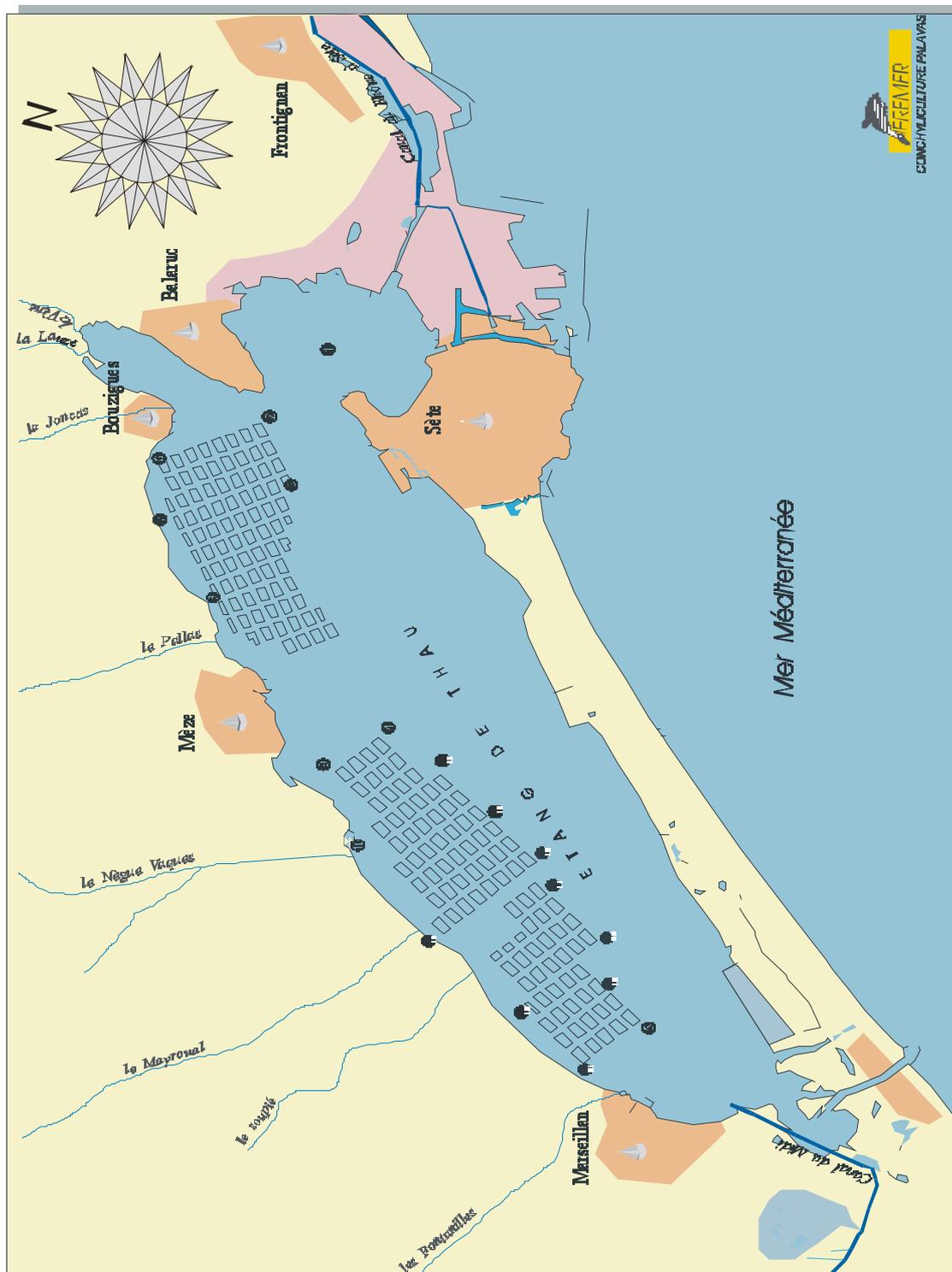
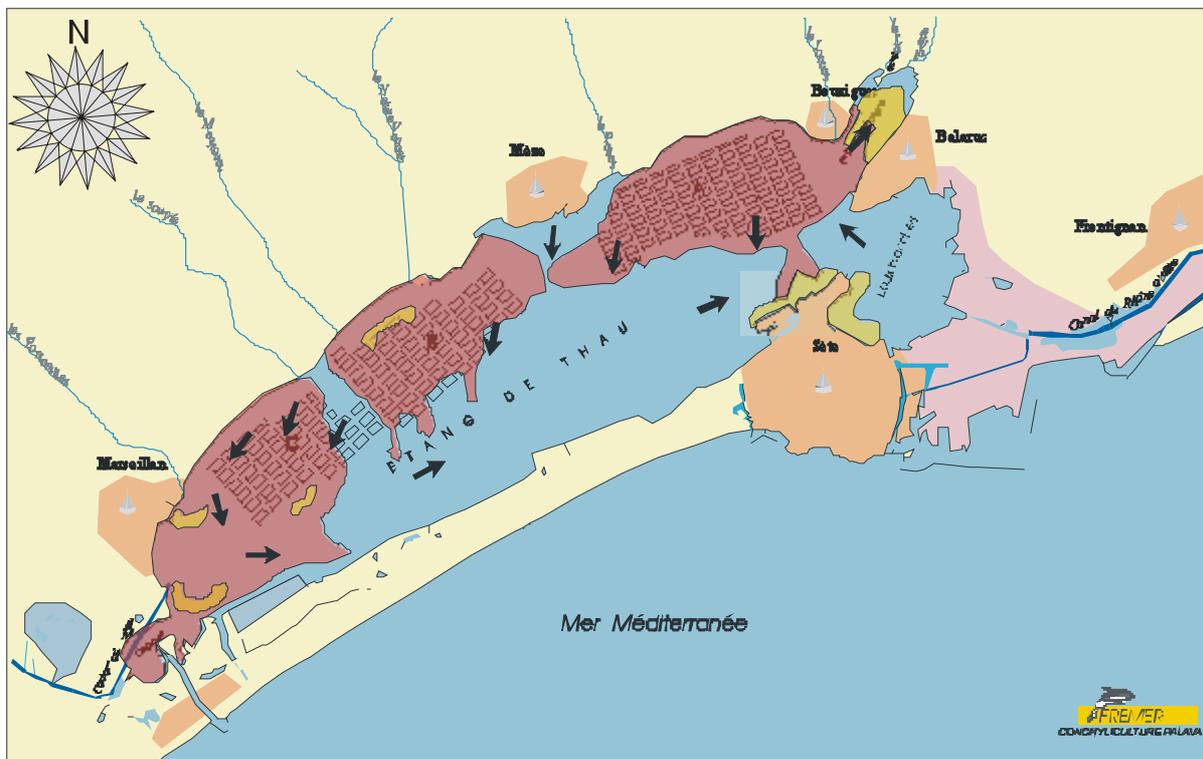
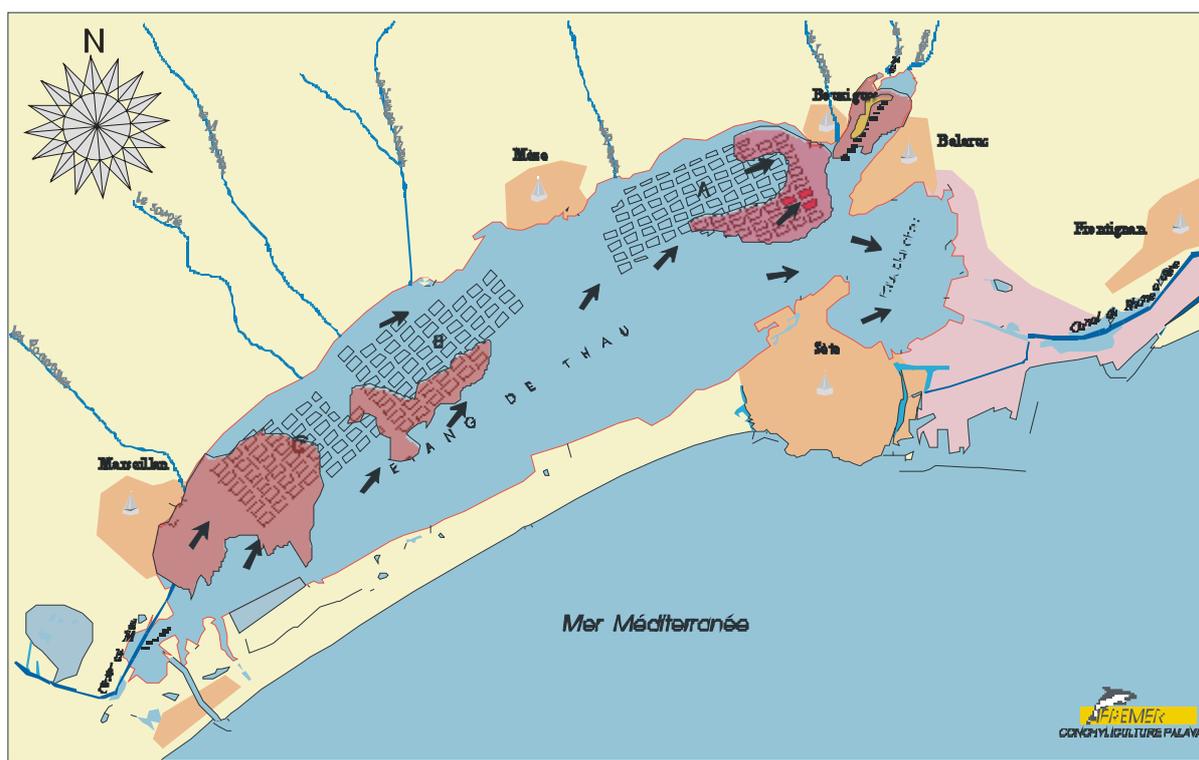


Fig. 13 : Stations 1983



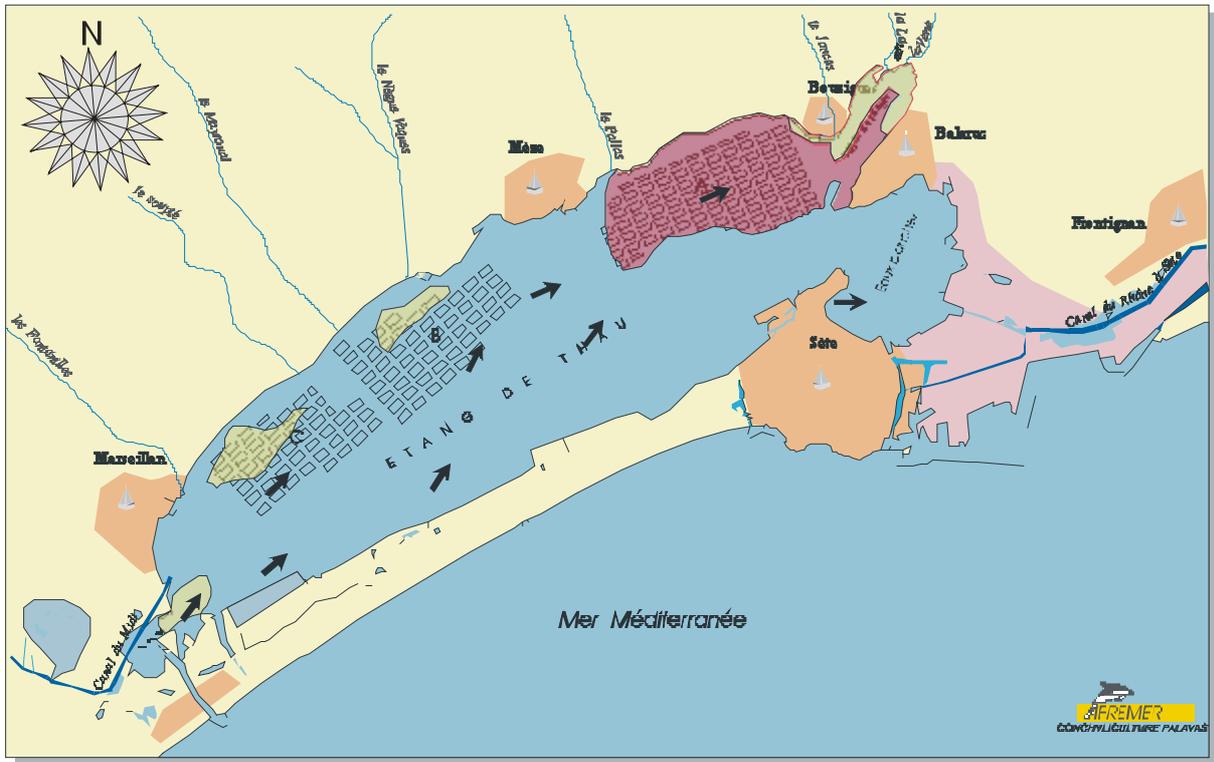
a: 3 août 1983 17h00-17h30



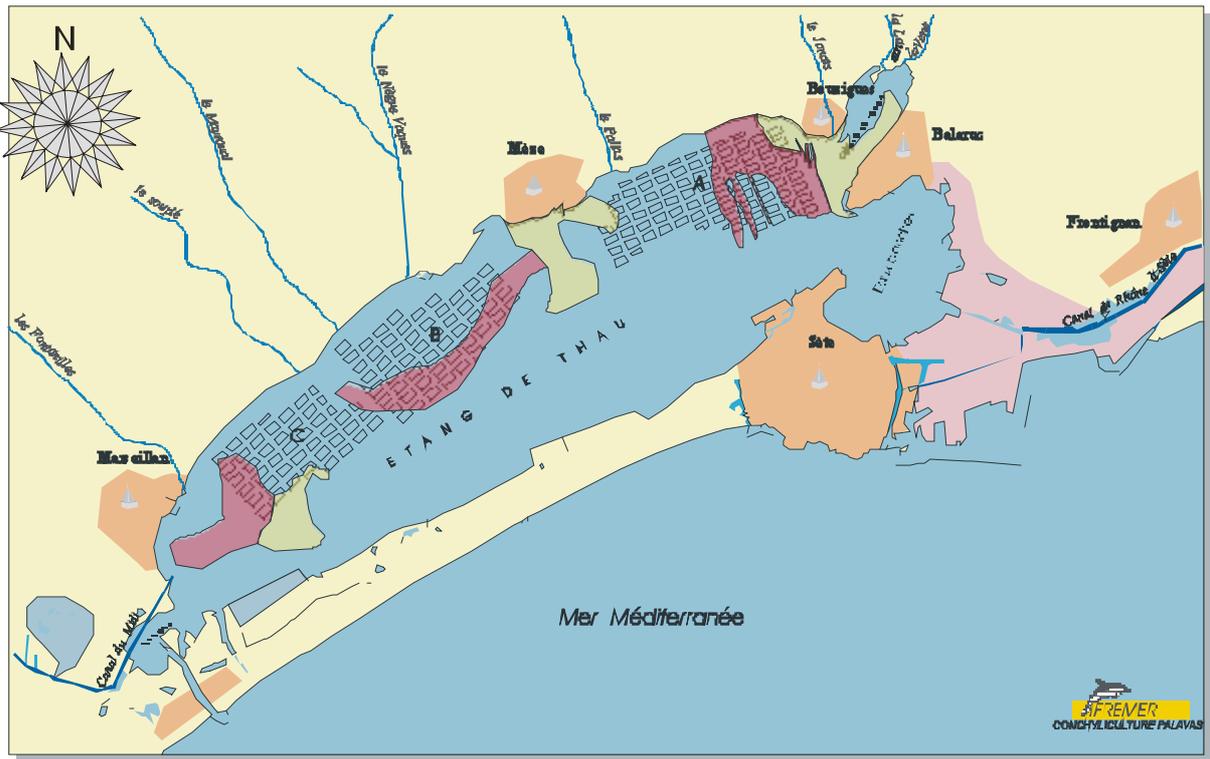
b: 4 août 1983 16h00-16h30

Fig. 14a et b : Interprétation des observations aériennes et courantologiques des 3 et 4 août, d'après Segala, 1985





5 août 1983



6 août 1983

Fig. 15 : Observations aériennes et courantologiques du 5 et 6 août 1983 (d'après Segala, 1985)

Foyer

Extension maximum

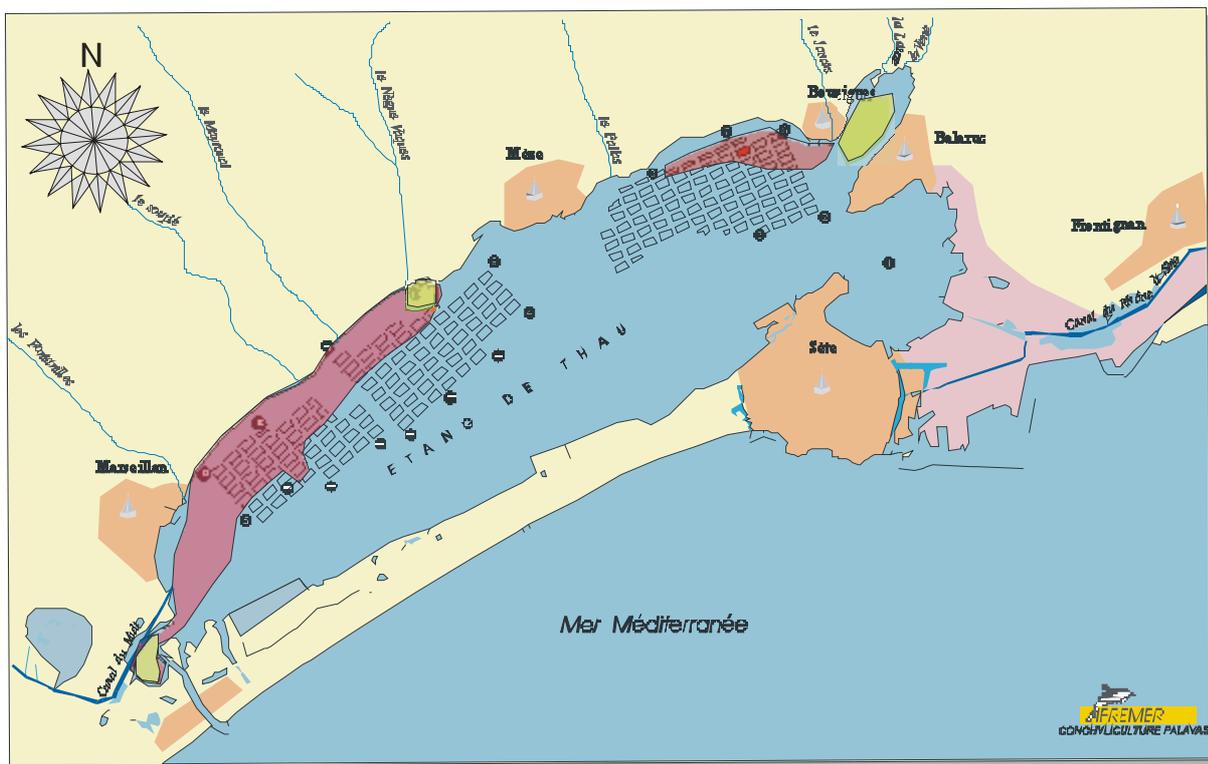


Fig. 16 : Extension maximum de la malaïgue 1983

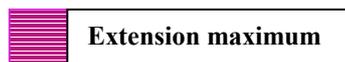
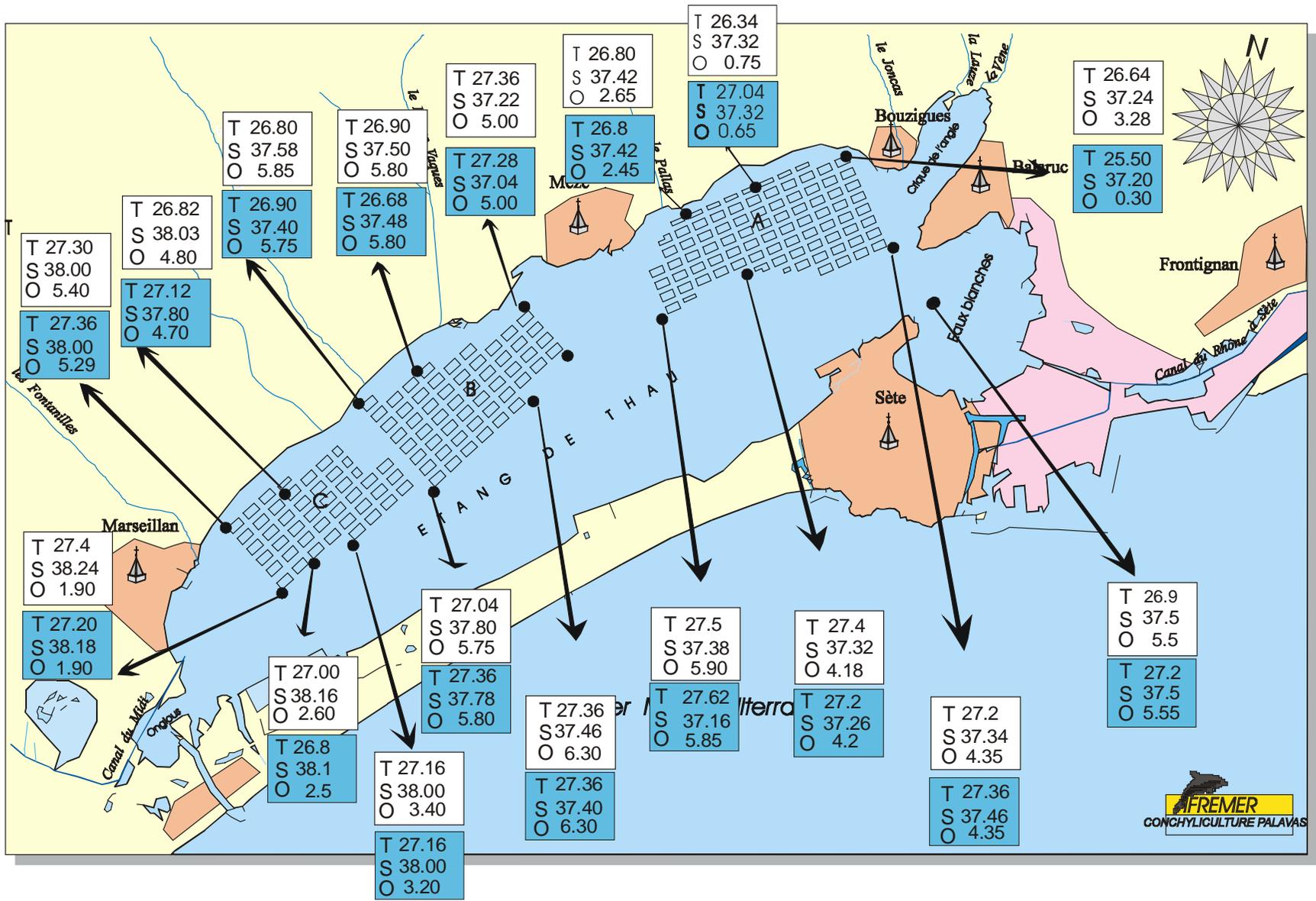


Fig 17: Physicochimie du 8 août 1983:



5.6 Malaïgue de 1987 (Fig. 18 à 20)

Cette malaïgue n'a fait l'objet d'aucune publication ni sur les paramètres physico-chimiques ni sur son déroulement. Elle n'est décrite que dans un rapport ISTPM (Anonyme) en date du 9 septembre 1987. L'évaluation des pertes à la suite de cette désoxygénation a été publiée en 1990 par Garrabe.

Description de la malaïgue:

Dès le 15 juillet les premiers signes, visibles sous la forme d'une tache blanche, apparaissent devant le site de Marseillan. Un dosage d'oxygène effectué dans cette tache indique des teneurs en oxygène pratiquement nulles. Les observations visuelles révèlent la présence d'une faune très abondante en surface (crevettes, poissons etc). Dans les zones conchylicoles les concentrations ont diminué sur le fond mais la situation n'est pas encore dramatique.

Le 20 juillet les taux d'oxygène ont légèrement remontés en zone B et C (Fig. 19). Cependant la tache blanche persiste devant le Mourre Blanc, mais un nouveau foyer apparaît, couvrant à peu près la moitié de la zone C. Le foyer ne semble pas être originaire des bords. Des mortalités importantes sont constatées en zone B et C (de 30 à 100 %).

Le 24 juillet les zones touchées par les eaux blanches restent totalement anoxiques. Il faudra attendre le retour du mistral le 4 août pour que la situation redevienne à peu près normale.

Mortalité

Les mortalités se sont produites dans les quatre premières lignes des zones B et C. Les constats ont été faits à la fin du mois de juillet, mais les chiffres n'ont pas été retrouvés. Garrabé (1990) dans son étude sur les conséquences économiques de la malaïgue, donne une estimation du nombre de tables touchées, non pas en fonction des zones géographiques, mais en fonction des zones de production (zones d'égale production définies par les Affaires Maritimes):

ZONE	100 %	50-80 %	20-50 %	TOTAL
II	0	0	4	4
III	92	108	212	412
IV	368	54	8	430
TOTAL	460	162	224	846

Le constat des Affaires Maritimes estime les pertes à 4000 tonnes de coquillages (Garrabé, 1990) et évalue à 846 le nombre de tables touchées, dont 460 sinistrées à 100 %.

Avec des prix de production de 8 F/kg pour les huîtres et de 5,5 F/kg pour les moules, la perte à la vente a été estimée en moyenne à 10,2 et 1,3 millions de francs respectivement pour les huîtres et les moules (Garrabé, 1990)

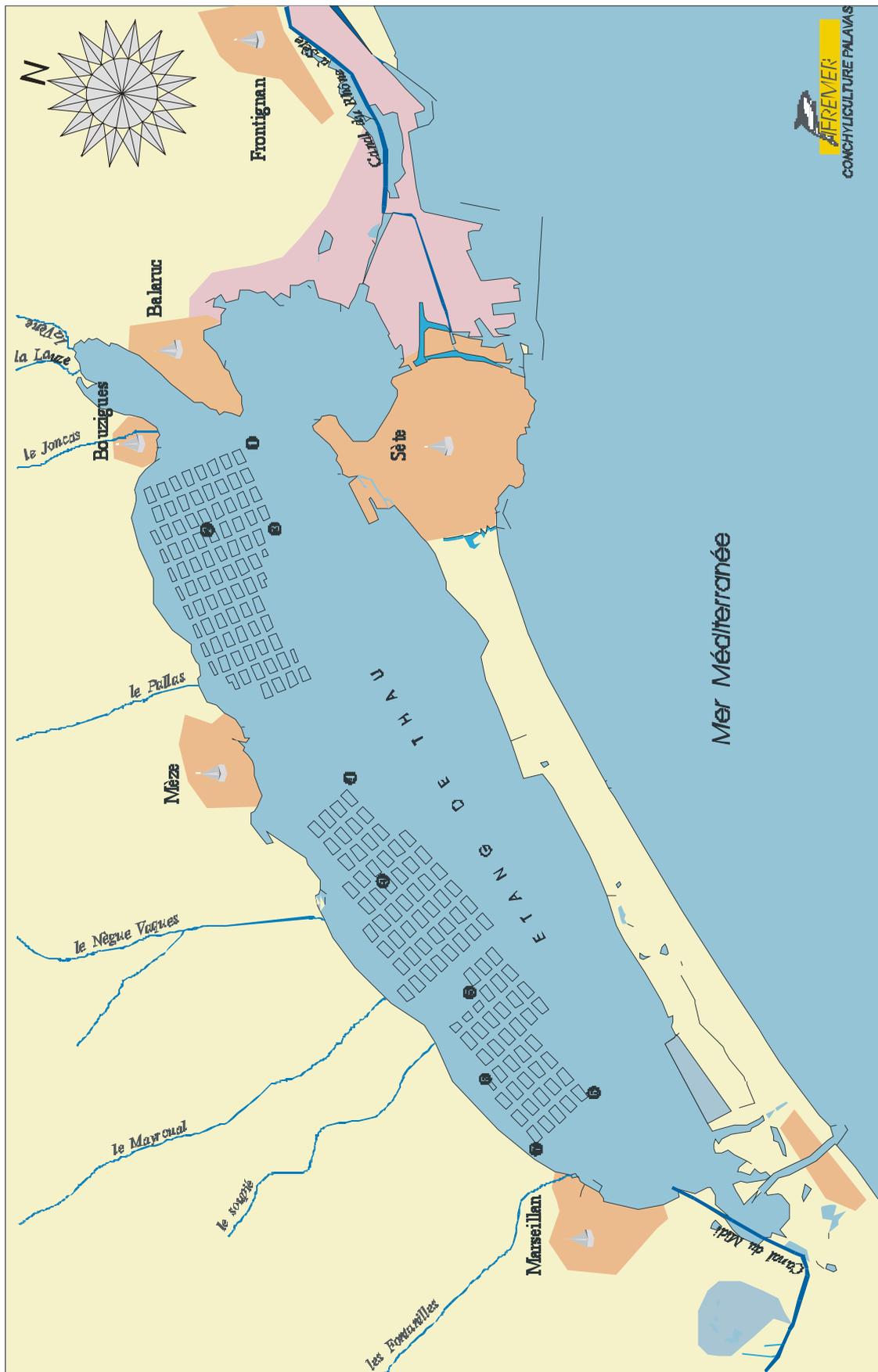


Fig.18 : Stations 1987

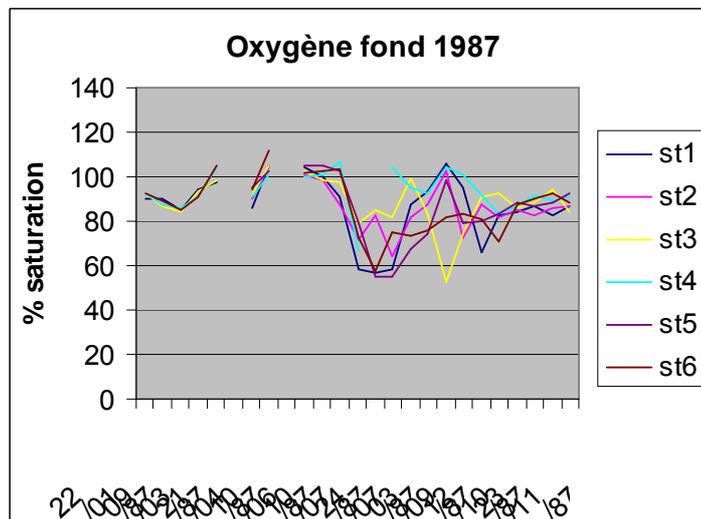
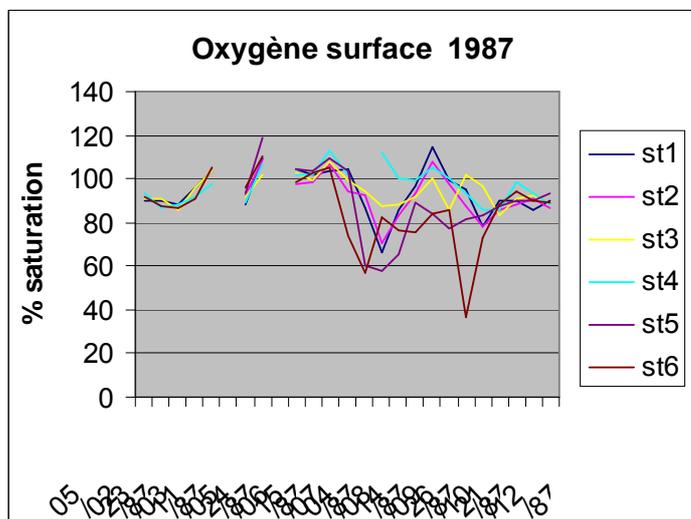
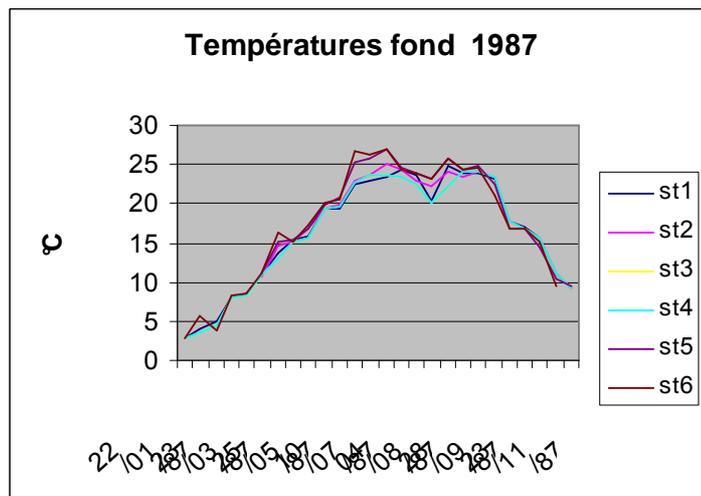
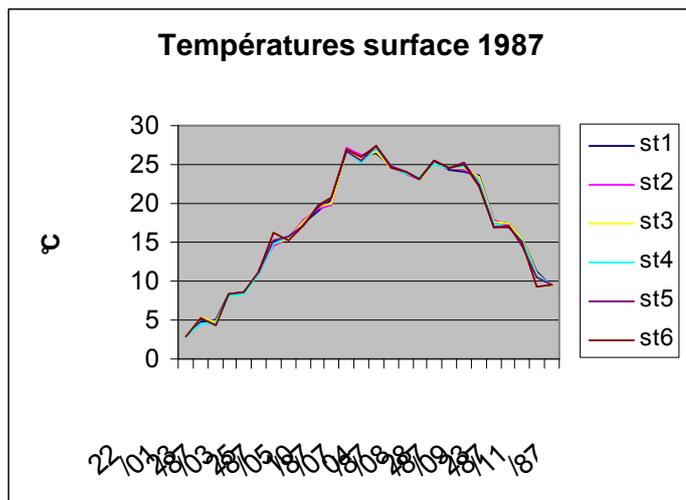


Fig. 19 : Evolution de la température et de l'oxygène, 1987

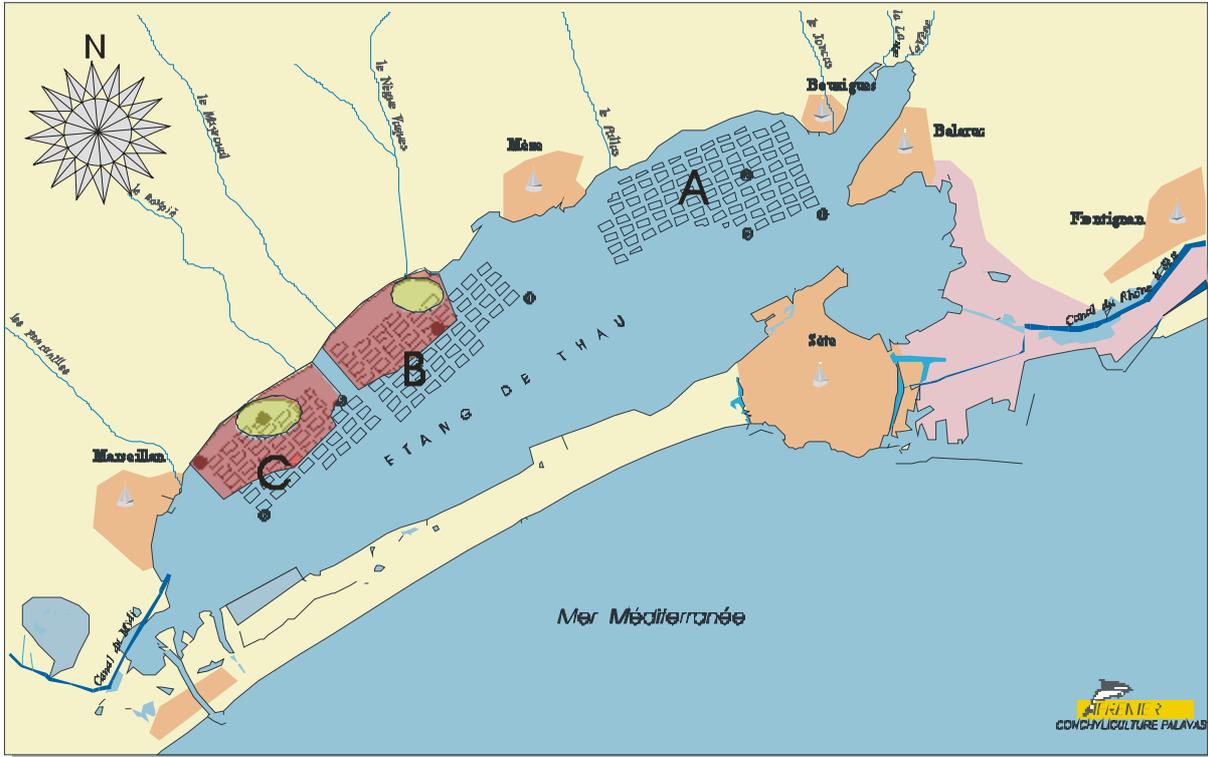


Fig. 20 : Extension de la malaïgue de 1987



5.7 Malaïgue de 1990 (Fig. 21 a-21 b)

Décrite par Pichot et *al*, 1991.

L'oxygénation des eaux est sensiblement normale jusqu'au 25 juillet. Le taux de saturation est aux environs de 100% dans tous les secteurs.

Ce taux diminue dans les jours qui suivent pour être de 70 à 75% le 30 juillet.

La baisse s'accroît, on ne trouve que 10 à 15% en zones de Bouzigues et Mèze le 1^{er} août.

Le premier vol de reconnaissance a lieu le 1^{er} août. Les eaux blanches sont présentes à l'Est de Balaruc les Bains, et dans la crique de l'angle où elles forment deux taches, la plus importante se trouvant au débouché de la Vène.

Au Sud-Ouest de Bouzigues et le long de la Côte Bleue les eaux commencent à se teinter de blanc, se terminant au Sud du port de Loupian par une zone blanche très prononcée.

Au Sud-Ouest de Mèze, deux secteurs sont particulièrement touchés:

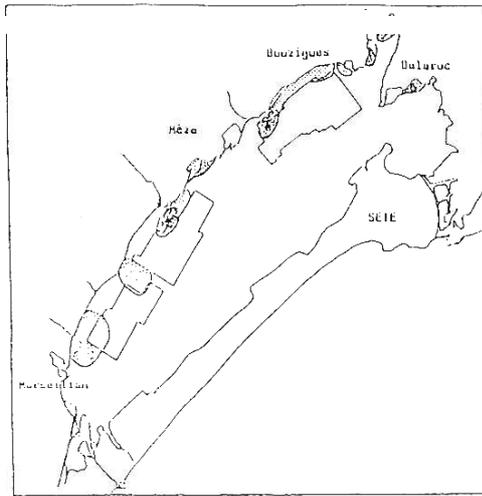
- la Conque
- le Sud du Mourre Blanc

Deux zones blanchâtres sont présentes au large de la pointe de Montpénédre et au Nord-Ouest de Marseillan, cette dernière étant très diffuse.

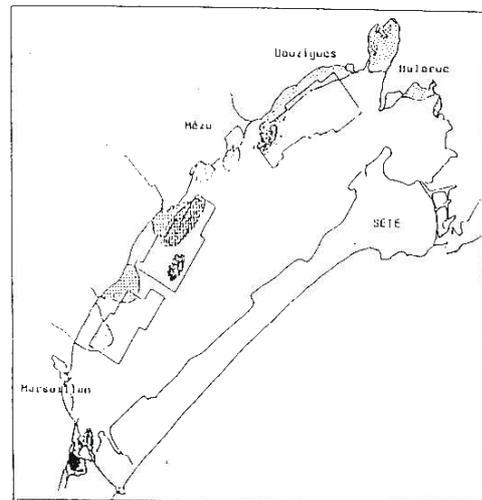
Dans les jours qui suivent la situation empire. Le 3 août les taches de tous les secteurs touchés deviennent d'un blanc laiteux et s'étendent, particulièrement dans les tables conchylicoles en zone Bouzigues, au niveau des tables du Sud de Loupian et surtout au large du Mourre Blanc où deux taches sont présentes : la principale, à l'Est du port de Loupian l'autre un peu plus au Sud atteignant les tables au large. L'étang des Onglous est rouge sur toute la surface.

Jusqu'au 6 août la malaïgue s'étend dans les trois zones conchylicoles. L'intensité des taches varie de la terre vers le large et de la zone Bouzigues vers la zone Marseillan. Un coup de vent déplace et concentre les taches blanches. En zone C une tache très colorée persiste entre Bouzigues et le port de Loupian. En zone B et C, les taches se sont concentrées prenant une forme allongée et ondoyante depuis la terre vers le large. Au Sud du Mourre Blanc la zone B est la plus atteinte. En zone C une tache s'étend depuis la zone de Montpénédre et touche les tables situées le plus au large. Une autre tache s'est déplacée et s'est concentrée à l'Est de Marseillan. C'est le point culminant de la malaïgue.

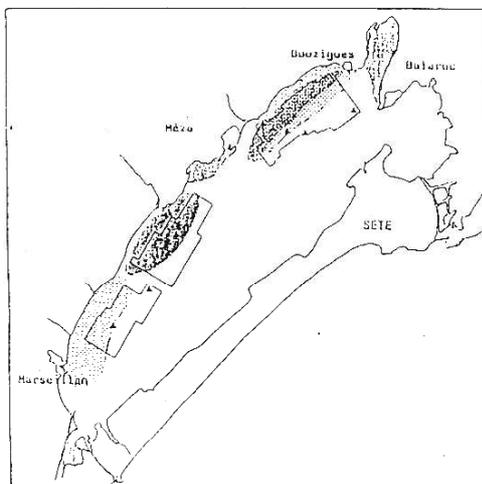
Il faudra attendre le 6 septembre pour que la situation redevienne à peu près normale.



- 1er août



- 3 août



- 6 août

Fig. 21a : Evolution de la malaïgue du 1^{er} au 6 août 1990 (d'après Pichot *et al.*, 1991)

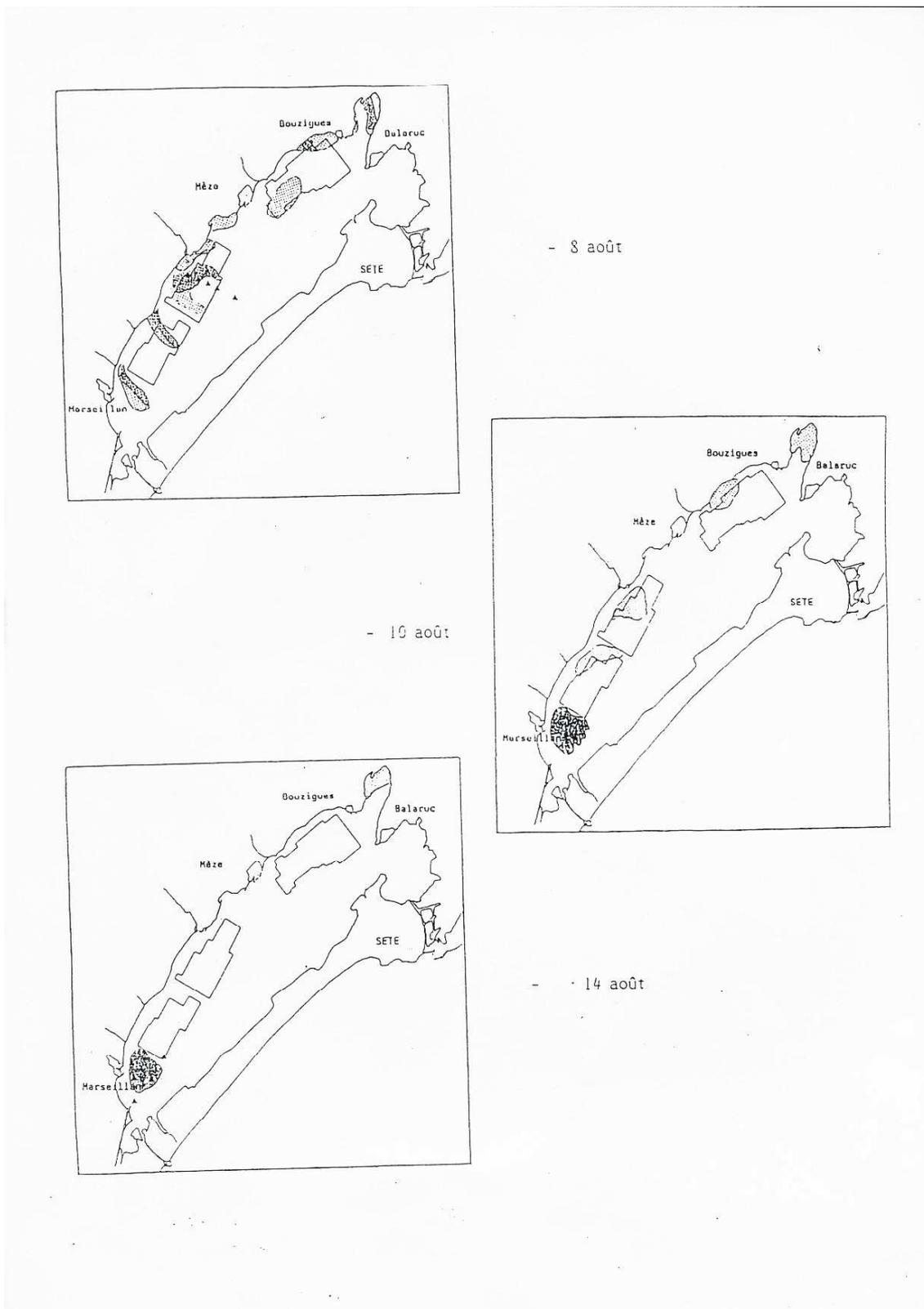


Fig. 21b : Evolution de la malaigue du 8 au 14 août 1990 (d'après Pichot *et al.*, 1991)

5.8 Malaïgue de 1992

Cette crise n'est décrite nulle part et pourtant elle a bien eu lieu puisque des indemnités ont été demandées, pour la ferme piscicole des « Poissons du Soleil » qui a subi de grosses mortalités sur les loups et les daurades. Quelques indications existent dans une publication de Mazouni *et al.*, (1996). Les données disponibles ne concernent qu'une table en zone de Marseillan, soit à l'opposé de la ferme piscicole.

5.9 Malaïgue de 1994

Description de la malaïgue

Cette malaïgue n'a touché que les zones profondes de l'étang. Elle a été décrite par Souchu *et al.*, (1998 a).

En juin, le pourcentage de saturation en oxygène était proche de 100 %, aussi bien en surface qu'au fond, mais il descendait fin juillet à 0 % dans les profondeurs de 6-8 m. En août, la désoxygénation des deux derniers mètres créait un fort gradient de quelques centimètres entre ces couches profondes et les couches oxygénées, où le pourcentage de saturation restait toujours aux alentours de 60 %. La désoxygénation de fond pouvait être aussi observée hors des zones conchylicoles dans les profondeurs supérieures à 6 m.

L'anoxie de fond a cessé vers le 20 août.

Aucune manifestation de surface n'a été signalée, or les températures étaient assez élevées et les vents modérés, surtout fin juillet et début août. Toutes les conditions étaient donc favorables pour qu'une malaïgue généralisée se déclare. Ce qui n'a pas été le cas.

5.10 Malaïgue de 1997

Evolution de l'anoxie

L'alerte a été donnée par la Mairie de Mèze, puis par les Affaires Maritimes le 22 août. Des campagnes d'observations et de mesures d'oxygène dissous ont été effectuées par l'IFREMER à partir du 23 août. Des informations ont également été récoltées auprès des exploitants.

Observations réalisées par l'ifremer

La description de l'anoxie de l'été 1997 présentée figure 22 montre l'évolution des eaux blanches à partir des observations réalisées sur le terrain par l'IFREMER et les Affaires Maritimes.

Samedi 23 août (Fig. 22A). L'anoxie de toute la colonne d'eau s'étend dans une partie de la zone conchylicole de Mèze en partant de la terre, représentée par une tache de couleur blanchâtre. D'autres taches de moindre importance sont dispersées sur le côté Ouest de cette zone. Une tache est signalée en bordure de la zone conchylicole de Marseillan et rien n'est signalé dans celle de Bouzigues.

Lundi 25 août (Fig. 22B). Dans la zone de Mèze, la tache blanche s'est étendue à l'extérieur, côté Est à terre et côté large à l'Ouest. De même, l'extension en direction de la zone de Marseillan s'est poursuivie.

Mardi 26 août (figure 22 C) : Un survol en hélicoptère a permis d'observer le phénomène en divers points du bassin. Le petit port de plaisance situé à l'Est de Balaruc présente une tache blanche. Devant Bouzigues une petite tache est localisée sur quelques tables côté terre. Une partie du lagunage de Mèze est également en anoxie et on peut noter que son effluent présente un panache de faible extension.

Au large de Mèze, le développement se fait principalement vers l'Est. Par contre à l'Ouest il n'y a que des taches éparses. La principale tache anoxique paraît légèrement séparée du rivage.

Des taches de faible extension sont réparties sur la zone de Marseillan. A l'Est de cette zone, la jonction avec l'anoxie de la zone de Mèze semble en régression par rapport aux observations de la veille.

Vendredi 29 août 1997 (figure 22 D) : En fin de matinée on constate que l'action du vent de Nord-Ouest soufflant depuis la veille au soir a fait régresser l'anoxie de la zone de Mèze vers l'intérieur et que les premières lignes de tables sont dégagées.

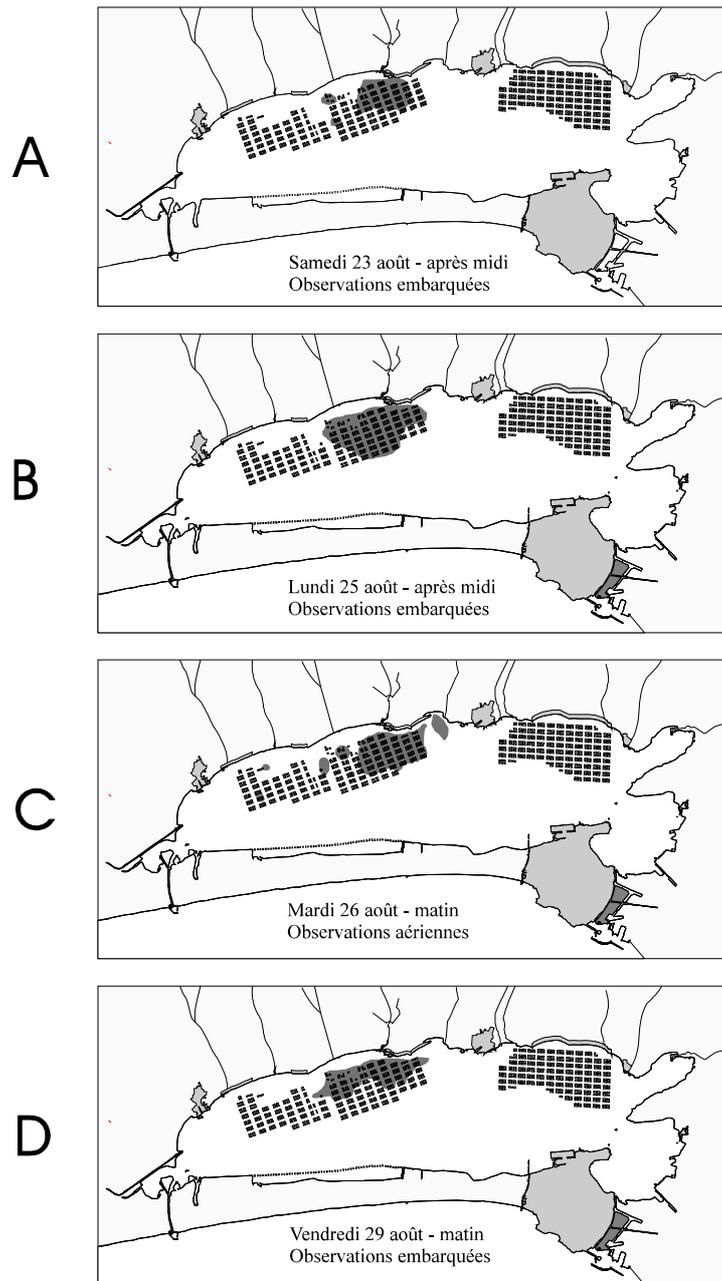


Fig. 22 : Evolution des eaux anoxiques en 1997 (Souchu *et al.*, 1998 b).

Etude de l'oxygène dissous

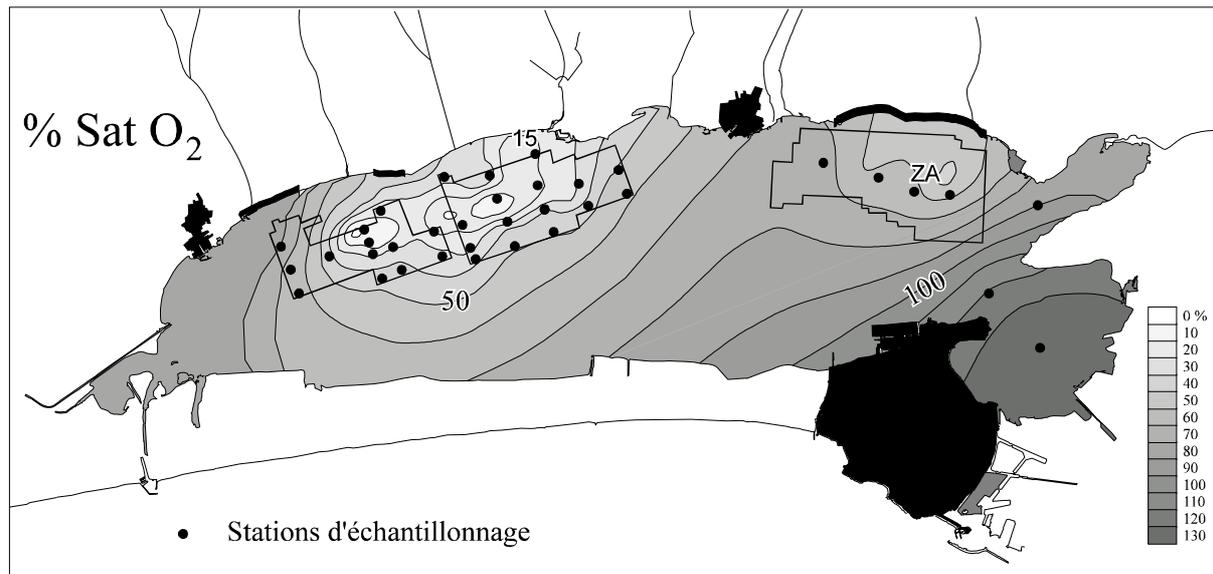


Fig. 23 : Répartition des pourcentages d'oxygène par rapport à la saturation (% SatO₂) dans les eaux de fond du bassin de Thau le 5 septembre 1997 (Souchu *et al.*, 1998 b).

Le suivi des concentrations en oxygène dissous a été réalisé sur 36 stations du bassin de Thau, à un mètre de la surface et à un mètre du fond. Les mesures étaient effectuées à l'aide d'une sonde (Oxymètre WTW OXI 196). Afin de calibrer la sonde, des échantillons d'eau ont été prélevés à plusieurs dates pour des mesures chimiques de l'oxygène dissous selon la méthode de Winkler (Aminot, 1983). Des cartes de répartition des saturations en oxygène ont ainsi été réalisées du 28 août au 20 octobre (Fig. 23). L'exemple du 5 septembre montre que si l'observation de « taches blanches » se limite presque strictement aux zones conchylicoles de Mèze et Marseillan, la déplétion en oxygène se fait ressentir au-delà de ces secteurs conchylicoles.

La figure 23 montre aussi que le foyer de l'anoxie décroît du bord (au niveau de la station 15), vers la zone conchylicole de Mèze. Les pourcentages d'oxygène par rapport à la saturation ne sont pas descendus en dessous de 50 % dans la zone de Bouzigues (Fig. 24). Des sous-saturations sont observées dans les eaux de fond de la fin août jusqu'au 10 septembre, date à laquelle les vents ont soufflé du Sud jusqu'à un maximum de 13 m s⁻¹. Cette brève période venteuse a entraîné une homogénéisation des eaux du secteur Est, mais n'a pas permis l'oxygénation des eaux touchées par l'anoxie (Fig. 24). Il faut attendre les vents plus soutenus du 13 septembre pour retrouver des valeurs significatives au large de Mèze. Mais les sous-saturations demeurent cependant en dessous du seuil de 80 % recommandé par la Directive CEE (79/923) relative à la qualité des eaux conchylicoles. Ce lent retour à la normale est dû à la prolongation des processus de reminéralisation en raison du développement massif de phytoplancton succédant à l'anoxie. Le retour à des valeurs proches de la saturation coïncide avec la reprise du vent en octobre.

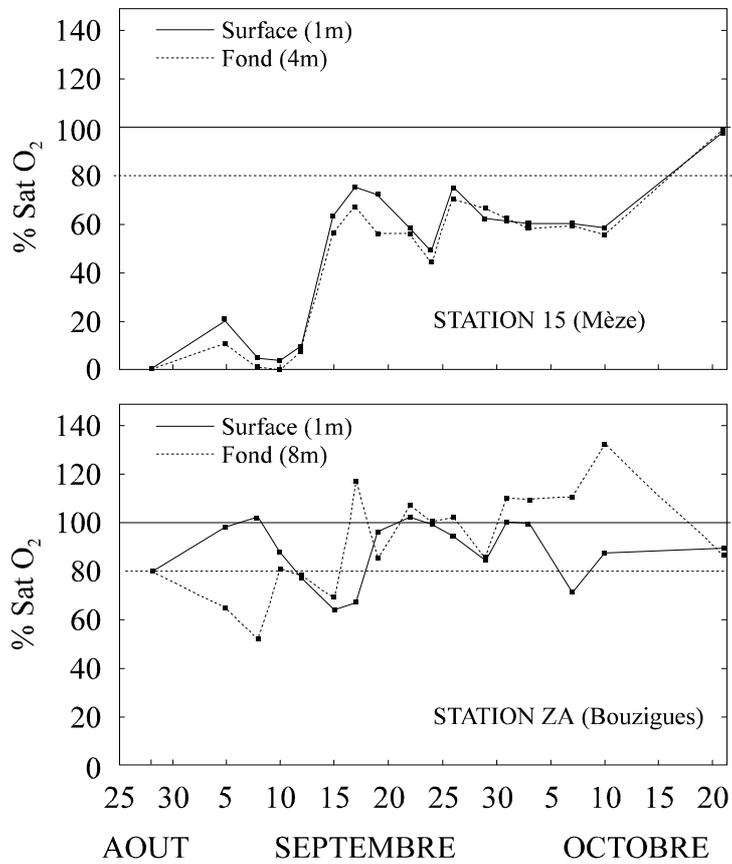


Fig. 24 : Répartition schématique des pourcentages d'oxygène dissous par rapport à la saturation aux stations 15 (zone Mèze : touchée par l'anoxie) et 5 (zone Bouzigues : non touchée) (Souchu *et al.*, 1998 b).

Pertes de cheptel

L'expertise des pertes a été faite table par table conjointement par les Affaires Maritimes et l'IFREMER (Fig. 25). Elle fait état de 489 tables touchées par la mortalité sur les 692 tables exploitées à cette date, dont 472 subissent une perte de 100 % essentiellement en huîtres creuses. Le tonnage perdu s'élève à environ 3 500 tonnes soit près du tiers de la production annuelle du bassin de Thau estimée à 12 000 tonnes.

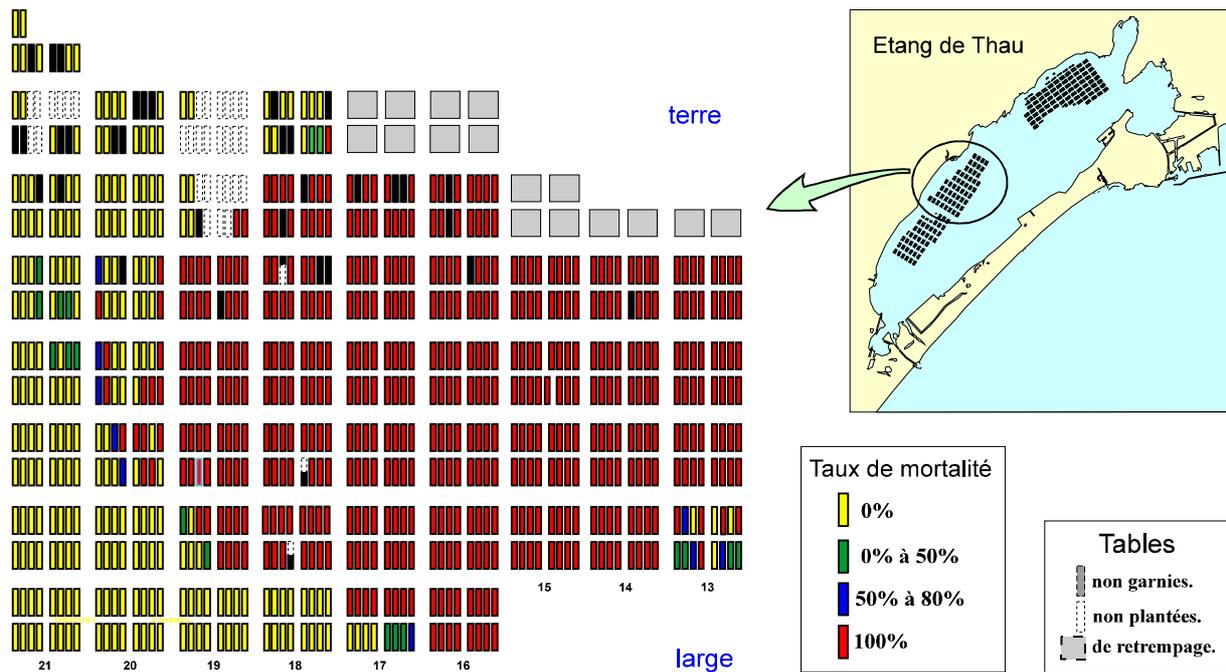


Figure 25 : Inventaire des mortalités sur la zone touchée par l'anoxie de l'été 1997. Chaque petit rectangle représente une table d'élevage (50 m x 12 m) (Souchu *et al.*, 1998 b).

6 Malaïgues non répertoriées.

Certaines crises dystrophiques n'ont pas été recensées. Deux raisons peuvent expliquer cette absence d'observation :

- 1 : l'anoxie ne concerne que les zones les plus profondes, donc ne se manifeste pas en surface.
- 2 : les analyses physico-chimiques sont trop espacées pour mettre en évidence une réelle désoxygénation des fonds.

On sait que lors des désoxygénations on observe une augmentation des phosphates. La courbe de tendance établie par Souchu *et al.*, 1998 b (Fig. 26) montre qu'il existe des pics très nets (1972, 1974, 1975, 1976, 1977, 1979, 1982, 1983, 1986, 1987, 1988, 1990, 1992). Les malaïgues de 1972, 1975, 1982, 1983, 1990, 1992 ont bien été répertoriées. Par contre la courbe des phosphates laisse supposer que des désoxygénations auraient pu avoir lieu en 1974, 1976, 1977, 1979, 1986, 1988, 1992. Les données physico-chimiques en notre possession confirment qu'il y a bien eu désoxygénation sur le fond en 1976, 1977, 1988 (fig. 27 a-b-c). On ne peut pas être aussi affirmatif pour les autres années, les observations hydrologiques sont beaucoup trop espacées pour fournir des renseignements fiables.

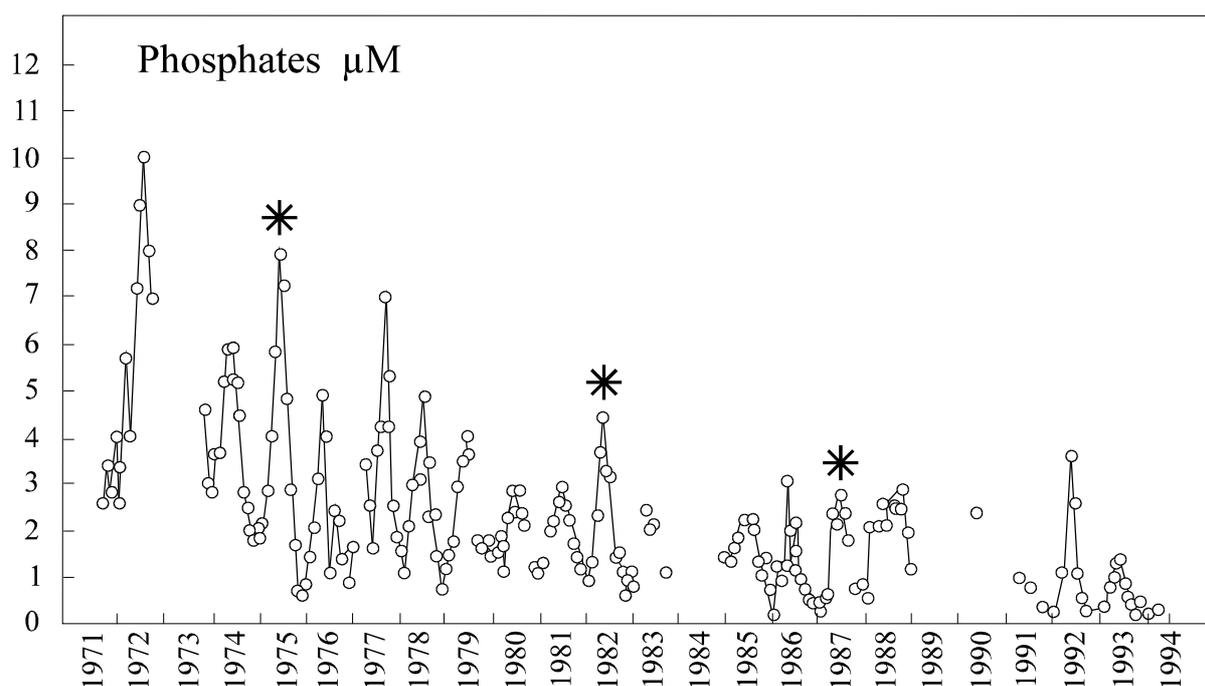
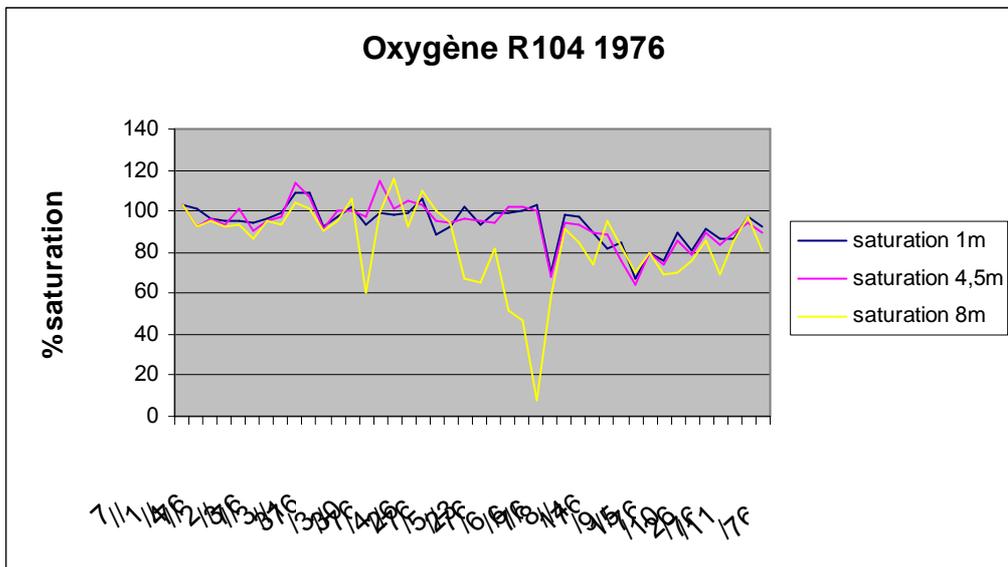
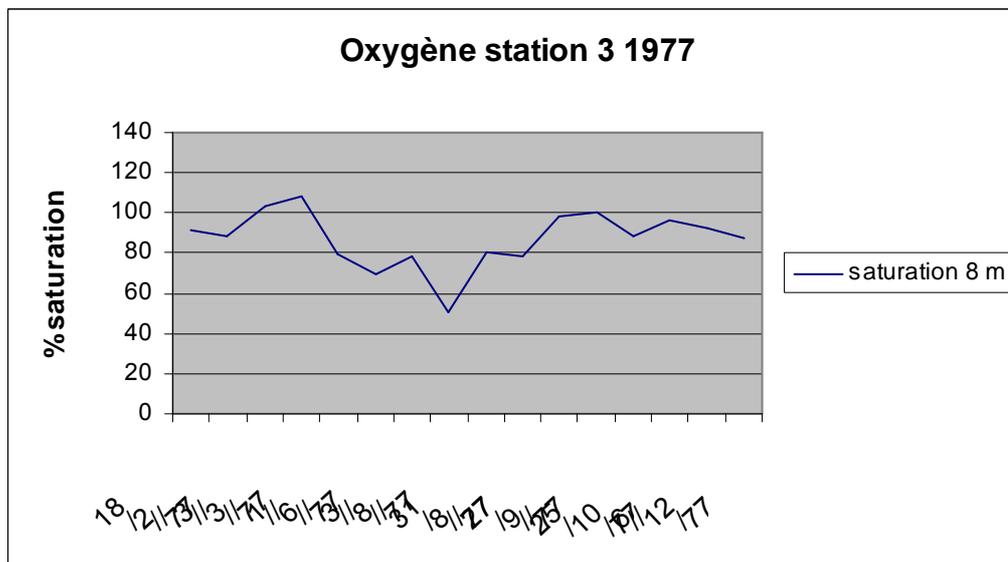


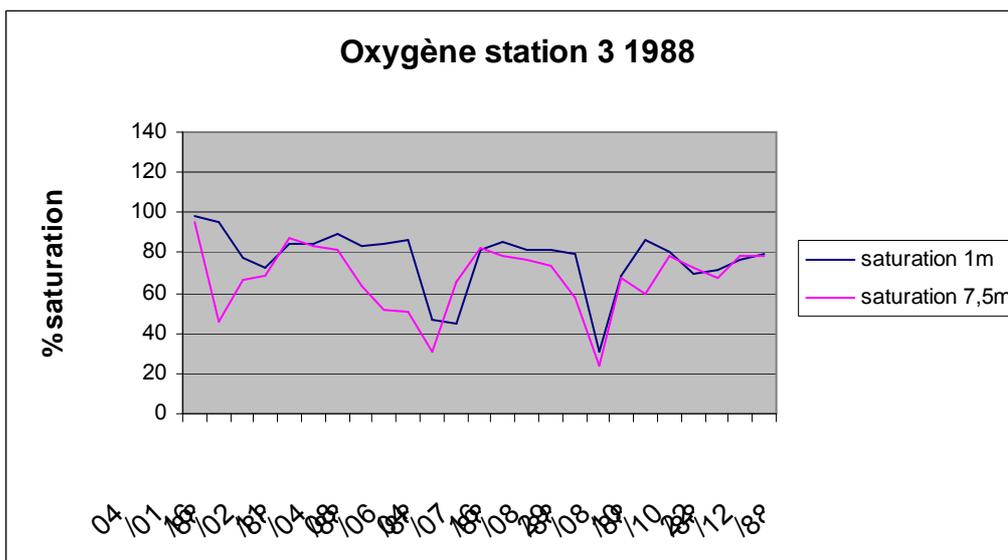
Figure 26 : Evolution mensuelle des concentrations de phosphates dans le bassin de Thau de 1975 à 1994. Les grandes crises anoxiques sont indiquées par des astérisques. (d'après SOUCHU *et al.*, 1998 b).



a



b



c

Fig. 27 : Suivi de l'oxygène a :1976 b : 1977 c : 1988

7 Moyens de lutte expérimentés

Les malaïgues constatées et qui ont eu des répercussions économiques importantes sont celles de 1975, 1982, 1987, 1990 et 1997.

Il est pour l'instant impossible de prévoir l'apparition du phénomène qui semble être lié à plusieurs paramètres météorologiques. Dès 1975, différents moyens de lutte ont été envisagés, certains ont été expérimentés d'autres ne sont restés qu'à l'état de projet.

Rappelons avant tout qu'au début de la conchyliculture, lorsque les tables étaient moins nombreuses et situées sur des petits fonds, les professionnels utilisaient une technique très simple pour entretenir les fonds. Cette technique consistait, lorsque la structure était déchargée, à traîner à partir de la surface un outil ayant un effet de hersage. Ce traitement périodique favorisait la minéralisation des matières organiques. Ce traitement a été abandonné dans les années 1960.

C'est une piste à ne pas négliger pour l'avenir.

7.1 Oxygénation et aération

Il ne s'agit pas d'atteindre la saturation, mais uniquement d'empêcher l'anoxie en maintenant des concentrations de l'ordre de 2 ou 3 ppm, concentrations compatibles avec la survie des coquillages

Après la malaïgue de 1975, deux procédés d'oxygénation différents ont été expérimentés.

1- Le système TURBOXAL proposé par la société Air Liquide : oxygénateur flottant qui pompe l'eau au fond de l'étang, l'oxygène dans une cloche de surface et réinjecte sur le fond cette eau ré oxygénée à une teneur prédéterminée. La capacité de transfert était de l'ordre de 300 à 350 kg d'oxygène par jour. Pour une injection de 10 tonnes d'oxygène le coût de l'opération avait été fixé à l'époque à 126000 francs.

Des expériences ont eu lieu en 1976 et 1977.

Malheureusement, pendant ces deux années aucune désoxygénation notable n'est apparue dans l'étang de Thau. Il a donc fallu faire des essais dans le canal du Rhône à Sète dont les eaux montraient une nette désoxygénation.

Les résultats ont montré que la méthode n'avait pas l'efficacité annoncée, la quantité d'oxygène nécessaire pour remonter d'un ou deux ppm était beaucoup plus importante que prévue. Les modifications en concentration d'oxygène n'étaient perceptibles qu'à 3 ou 4 m du lieu d'injection et ce malgré plusieurs heures de traitement. Le projet au bout de deux saisons d'expérimentation a été abandonné. Le coût de cette action devenait prohibitif et les professionnels n'auraient pas pu supporter une telle dépense.

2- Procédé de micro bullage proposé par la société Dufour et Igon. Ce procédé a été testé en 1977. Il était constitué de diffuseurs en métal fritté reliés à une bouteille d'oxygène.

Cette technique avait l'avantage d'être peu onéreuse et facile d'utilisation. Cependant, les diffuseurs étaient très rapidement colmatés (24 à 48 h) et pratiquement impossibles à nettoyer. Le rendement était de 5 à 7 %. Ce procédé a donc aussi été abandonné.

- 3- En 1989 un appareillage très simple appelé OXY II a été proposé. Il oxygène l'eau baignant l'ensemble des coquillages au moyen d'une circulation d'eau enrichie en air à l'aide de venturi. L'offre commerciale pour étudier et tester le système se montait à 96000 F. Le prix de vente du système définitif en kit pouvait être estimé à 20000 F. Il a été opposé à ce projet, qu'en période de malaïgue l'apport d'oxygène pouvait relancer localement la production primaire, augmenter la masse de matière organique et ainsi d'aggraver localement le phénomène d'anoxie. Aucun essai n'a été tenté.

7.2 Dévasement mécanique

Dans les zones exploitées depuis 20 à 40 ans, on relève des épaisseurs de vases très chargées en matière organique de l'ordre de 25 à 40 cm. Un dévasement expérimental a été réalisé en 1988 sur 3 sites en zones Mèze et Marseillan.

Trois techniques différentes ont été utilisées :

- par benne preneuse,
- par godet rétro,
- par pompage.

Un rapport établi par TOURNIER *et al.*, (1989) décrit les avantages et les inconvénients de chacune de ces méthodes.

Sur un plan strictement technique l'épaisseur des sédiments enlevés n'a pas été constante faute d'engins parfaitement adaptés. Dans le cas du pompage, le dévasement a été trop important. Lorsque la couche sédimentaire supérieure a été enlevée, un sédiment brun plus sableux et plus riche en Ca CO₃ est apparu.

Un suivi des paramètres biologiques et physico-chimiques de ces sites a été opéré pendant 5 mois.

7.2.1 Principaux résultats

- Sur le sédiment en comparant les tables dévasées et des tables témoins non dévasées, on constate :

- une diminution de la teneur en matière organique de 30 à 45 %,
- une disparition quasi totale des odeurs de H₂S,
- une texture plus compacte du sédiment dont la couleur est passée du noir au brun,
- une augmentation de la concentration en oxygène dissous de l'eau près du fond de quelques dixièmes de ppm.

D'après Tournier *et al.*, (1989) dans des conditions climatiques défavorables, un secteur dévasé suffisamment vaste ne se trouverait pas totalement à l'abri de la malaïgue, mais le risque en serait considérablement diminué.

- Sur les coquillages en élevage on observe une nette amélioration de la croissance en taille et en poids :

Les mortalités sont jusqu'à trois fois plus faibles dans les zones profondes. De même, l'indice de condition est nettement amélioré.

Au total le bénéfice obtenu en 1988 au bout de 5 mois de culture est de l'ordre de 10 % en poids sur l'ensemble du cheptel.

Le traitement du fond a donc un double effet : d'une part, diminuer le risque de malaïgue et, d'autre part, augmenter les performances du cheptel même en l'absence de crise.

7.2.2 Problème des sédiments enlevés

Lors des essais, les vases et restes de coquilles prélevés ont été déposés en décharge, mais cette solution ne peut être envisagée en cas de dévasement important car elle grève lourdement l'opération. L'évacuation en mer a aussi été envisagée, mais son coût est prohibitif.

Les tests d'épandage dans l'étang lui-même semblent être satisfaisants. Le trouble apparent de l'eau est très modéré (sans commune mesure avec la turbidité observée dans l'étang après un coup de vent) et disparaît en une demi-heure. Cette manipulation des boues productrices d'H₂S permet leur aération et favorise leur oxydation.

Cet épandage aurait aussi l'avantage de ne pas retirer du milieu les phosphates et les nitrates contenus dans ces boues, qui représentent une source essentielle pour le développement du phytoplancton.

En ce qui concerne le re-largage possible d'éléments nocifs concentrés dans les sédiments, il convient de rappeler que d'après les données du Réseau National d'Observation (Alzieu, 1980), Thau est peu pollué par les métaux lourds et les polluants industriels. Il semblerait cependant d'après le rapport RNO de 1998 que l'étang de Thau soit assez fortement contaminé par les HAP et PCB.

7.2.3 Coût d'un dévasement

Le dévasement expérimental a permis d'établir un cahier des charges précisant les caractéristiques techniques d'un engin spécifique. Le budget de l'étude et de la réalisation a été évalué en 1989 à 3 millions de francs.

Les coûts d'exploitation hors épandage seraient compris entre 3000 et 4500 F. par table dans l'hypothèse d'une utilisation à l'année.

7.3 Epannage de produits améliorants (oxydation chimique ou biologique des vases)

Trois sortes de produits ont été testés par l'IFREMER de Sète en bac tout d'abord, puis dans l'étang sous des tables conchylicoles de la zone Mèze en 1990.

Il s'agit de :

- craie sous forme de granulés délitables,
- granulés oxydants (libérant de l'oxygène sous l'action de l'eau),
- bactéries activées fixées sur un support minéral.

En bac, il a été vérifié que les granulés oxydants (OXYIII) ne présentaient apparemment pas de toxicité immédiate ou différée. A forte concentration, l'effet oxydant sur les vases a été constaté sur 1 à 2 cm d'épaisseur.

Sous les tables conchylicoles, 16 paramètres ont été étudiés sur les sédiments traités et sur des sédiments de référence, 15 jours et un mois après l'épandage. Il en résulte que ni la craie, ni l'OXYIII, ni les bactéries activées, ni l'association de ces dernières avec l'OXYIII n'ont donné de résultats significatifs .

8 Recommandations

Ces recommandations sont celles préconisées par Souchu *et al* (1998 b)

8.1 Réseau de surveillance

S'il est difficile de prévoir de façon précise où et quand peut se déclencher une crise anoxique, les périodes de l'été, caractérisées par une absence prolongée de vent, doivent entraîner la vigilance de toutes les parties concernées. Dans cet objectif, le traitement en temps réel par acquisition journalière des données météorologiques et leur compilation par un programme informatique serait possible pour faire apparaître les périodes critiques pour la lagune. Cette action n'est envisageable qu'avec les modélisateurs car elle doit prendre en compte à la fois les paramètres du milieu (profondeur, concentration en matière organique dans les sédiments), les paramètres météorologiques (ensoleillement, vent) et les paramètres hydrodynamiques. Cette veille automatique des conditions climatiques pourrait donner l'alerte, entraînant le suivi accru des concentrations d'oxygène dissous dans les secteurs à risque et une surveillance aérienne.

8.2 Actions à entreprendre au niveau des zones conchyloles

8.2.1. Modification de la répartition des tables

Les pertes massives d'huîtres dans le bassin de Thau proviennent d'une anoxie de bord qui se propage ensuite vers les zones conchyloles. Ce phénomène de propagation pourrait être réduit en élargissant la zone comprise entre les tables et les bords du bassin (zone encadrée en trait plein de la figure 28). Ce recul des zones conchyloles devrait être accompagné du retrait de toutes les structures « sauvages » non répertoriées sur le cadastre (tables de retrempage, tables antérieures au remembrement, portiques de bois, etc.) qui constituent autant de relais pour l'anoxie entre les bords et les tables conchyloles.

La portion de lagune comprise entre les tables et les bords du bassin, ainsi que celle comprenant les tables (zone encadrée en pointillés de la figure 28) devraient être considérées par les professionnels comme une zone sanctuaire où le rejet direct de tout déchet conchylicole serait proscrit. La séparation des zones de Mèze et de Marseillan par un secteur « pare feu » limiterait les risques de propagation dans les secteurs conchyloles.

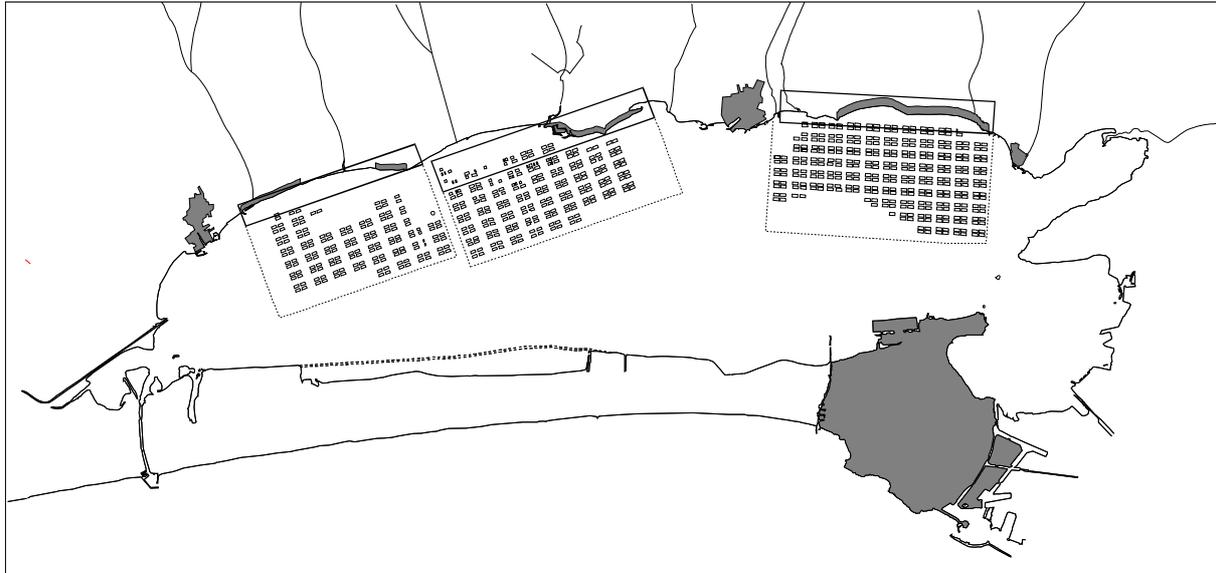


Figure 28 : Localisation des zones à réaménager dans le bassin de Thau (Souchu *et al.*, 1998., b).

8.2.2. Réduction des densités en élevage

D'une manière générale, tout confinement est un facteur favorable pour la naissance et l'extension des anoxies. Sans pouvoir le quantifier, on peut concevoir que les fortes densités d'élevage peuvent être un facteur aggravant. En effet, les cordes suspendues forment de véritables rideaux qui diminuent la circulation de l'eau au sein des tables et une charge excessive à ce niveau est certainement préjudiciable.

Buestel *et al.*, (2001) dans une étude concernant la croissance et l'engraissement des huîtres en fonction de la densité d'élevage préconisent une densité de 1000 cordes par table chargées de 30 huîtres par mètre de corde, en limitant la longueur des cordes à 3 mètres. Ces chiffres ne concernent que la zone B (Mèze).

Au regard des anoxies partant du fond, la longueur des cordes doit être limitée afin d'assurer un espace libre entre le bas de la corde et le fond, spécialement en zone de Bouzigues. Cette politique d'éloignement du fond permettrait également de lutter contre la prédation des bigorneaux perceurs.

Les propositions servant de point de départ à cette réflexion sont les suivantes :

- Limitation du nombre maximum de cordes par perche variant de 8 à 12 selon la richesse des zones concernées.
- Limitation de la hauteur des cordes pour laisser un espace libre au-dessus du fond, variable selon la bathymétrie des différentes zones, avec un minimum de 50 cm sur les petits fonds et de 3 m sur les plus grands fonds.

8.2.3 Entretien des fonds sous les tables et autour des zones conchylicoles

Comme il a été vu précédemment, les zones conchylicoles ne constituent pas en elles-mêmes des points de départ des crises anoxiques. De plus, les sédiments sous-jacents constituent une interface indispensable pour le recyclage des biodépôts. Les flux benthiques de sels nutritifs sont à leur maximum en été et peuvent supporter plus de 80% de la production primaire (Mazouni *et al.*, 1996) à une période où les apports par les pluies sont faibles (lessivage du bassin versant). Dans l'évolution actuelle de l'écosystème, le prélèvement entier ou partiel des

vases conchylicoles induirait l'abaissement de sa capacité à produire du plancton. En revanche l'étude de Tournier et *al.*, (1989) sur le dévasement des tables conchylicoles a mis en évidence la présence de matériel lourd coulé (épaves, parpaings, perches, poches, amas de coquilles reliées par une corde ou un filet tubulaire, etc...). Ces objets constituent autant de supports de fixation pour les épibiontes qui viennent accroître le stock de matières organiques brutalement reminéralisables dans les fonds.

8.3 Aménagement des apports du bassin versant

Comme vu précédemment, une partie des apports du bassin versant est nécessaire au maintien de la conchyliculture dans le bassin de Thau. Depuis les années 70, les eaux usées sont progressivement raccordées à des stations de lagunage. Les eaux épurées sont ensuite rejetées dans les ruisseaux ou directement dans le bassin de Thau. Durant les années 90, les équipements sont insuffisants et les bassins de lagunage souvent saturés (Anonyme, 1992). Il est cependant raisonnable d'espérer une amélioration de la situation dans les années à venir comme la connexion des bâtiments conchylicoles au réseau de lagunage.

Il n'en demeure pas moins que ces rejets, même lorsqu'ils proviennent de lagunages, sont mal disséminés et insuffisamment épurés. Le concept de rejeter en mer les effluents du bassin versant s'applique aux « étangs palavasiens » parce qu'ils sont destinés à une exploitation restreinte de par leur profondeur. Pour les lagunes plus profondes possédant un potentiel conchylicole, un schéma différent doit être envisagé (figure 29). Le passage des effluents anthropiques par les lagunes exploitées exige une épuration efficace (abattement maximum de la matière organique). La dissémination des effluents dans des secteurs privilégiant leur dispersion favoriserait la production planctonique au détriment de la production primaire benthique. Cet aménagement contribuerait à la diminution des développements de macroalgues sur les bords du bassin et donc au risque d'anoxie.

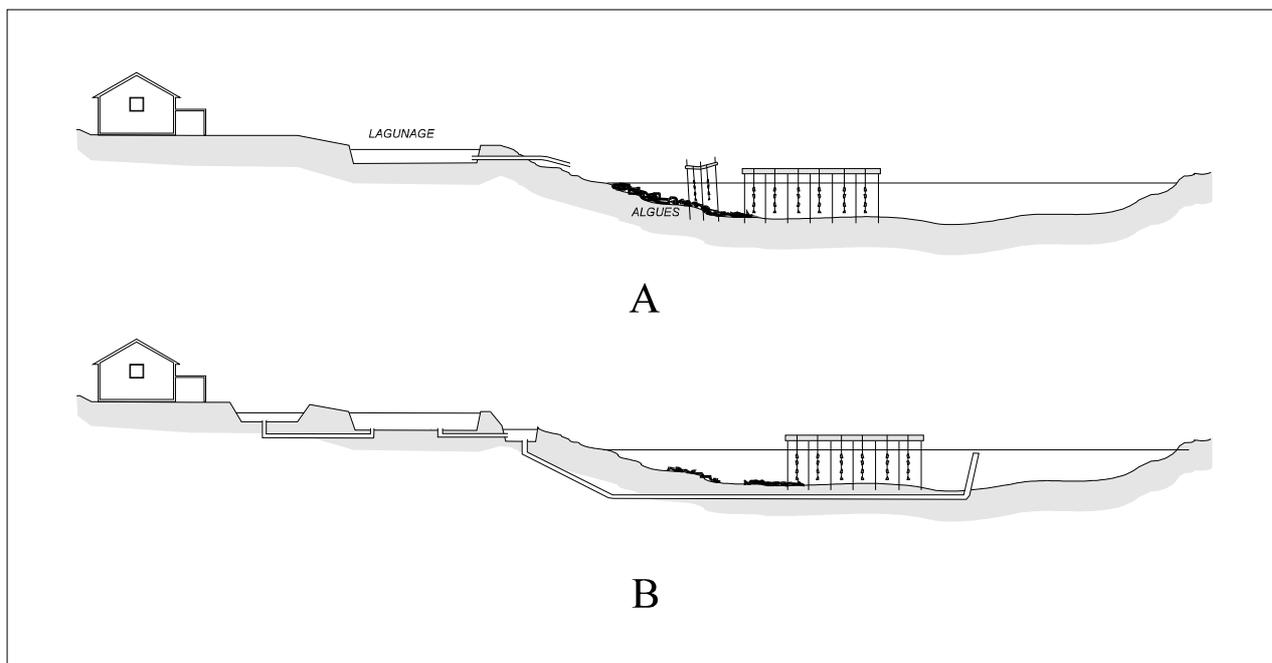


Figure 29 : Schéma de principe pour une dissémination efficace des apports issus du bassin versant. A : situation actuelle ; B : principe envisageable (Souchu *et al.*, 1998 b).

-

Conclusions

Les malaïgues ne sont observées et décrites, en dehors de celle de 1992, que lorsqu'elles se sont manifestées sur toute la tranche d'eau avec apparitions d'eaux blanches en surface et qu'elles ont été accompagnées de mortalités plus ou moins importantes de coquillages.

La simple description des malaïgues et les observations physico-chimiques associés ne permet pas de mettre en évidence un facteur commun à toutes ces dystrophies. Les foyers ne sont pas toujours au même endroit, la surface atteinte varie ainsi que la durée du phénomène. Les couches désoxygénées peuvent rester stables ou au contraire se déplacer dans l'étang.

A partir des paramètres physico-chimiques en notre possession on peut affirmer qu'il y a pratiquement tous les ans des désoxygénations de fond dans une partie ou une autre de l'étang. Ces phénomènes restent discrets et n'entraînent pas d'étude particulière.

A quoi peut on attribuer le développement plus ou moins important de ces crises dystrophiques en fonctions des années.

D'après Tournier *et al.*, (1990) l'absence de vent et la chaleur seraient les principaux facteurs déclenchants.

Selon Souchu *et al.*, (1998 b) l'absence de vent n'est pas suffisante pour expliquer les anoxies observées.

Ces phénomènes anoxiques vont donc être étudiés en les reliant aux paramètres météorologiques et aux sels nutritifs présents dans l'eau (Les malaïgues dans l'étang de Thau. Tome 2 : Relations entre les conditions physico-chimiques, la météorologie et les conditions d'apparitions des crises dystrophiques, 2004).

Références bibliographiques

- ALZIEU C., THIBAUD Y., HERAL M., BOUTIER B., 1980. Evaluation des risques dus à l'emploi des peintures antisalissures dans les zones conchylicoles. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **44**, 4, 305-348.
- AMINOT A., 1983. Dosage de l'oxygène dissous. In: AMINOT A., CHAUSSEPIED M., eds Manuel des analyses chimiques en milieu marin CNEXO, France, 5:75-92
- ANONYME., 1992. Bassin de Thau - Inventaire des foyers de pollution. *Rapport SIEE pour CEMAGREF*. 110 p.
- ANONYME., 1994. Port conchylicole du Mourre Blanc. Evaluation du traitement des effluents conchylicoles sur un installation expérimentale. *Rapport SIEE pour la Préfecture de Région Languedoc-Rousillon*, 51 p.
- ANONYME., 1995. Etude sur la collecte des déchets conchylicoles dans l'étang de Thau. *Rapport TECHNORGA Ingénierie pour CEPRALMAR*. 2 tomes : 35 et 55 p.
- AMANIEU M., BALEUX B., GUELORGET O., MICHEL P., 1975. Étude biologique et hydrologique d'une crise dystrophique (Malaïgue) dans l'étang du Prévost à Palavas (Hérault). *Vie Milieu* 25 :175-204.
- BUESTEL D., ALUNO-BRUSCIA M., CHABIRAND J.M., VERCELLI C., OHEIX J., PICHOT Y., GANGNERY A., 2001. Qualité des huîtres creuses *Crassostrea gigas* élevées dans le bassin de thau et influence de la densité d'élevage sur la qualité. Recommandations pour l'élaboration d'un schéma des structures des élevages de mollusques du bassin de Thau. *Convention de recherche IFREMER/Région Languedoc-Roussillon/ Union Européenne-PESCA/ Section Régionale Conchylicole de Méditerranée* : pp 101
- CAUMETTE P., 1978. Participation des bactéries phototrophes sulfo-oxydantes dans le métabolisme du soufre en milieu lagunaire méditerranéen (Etang du Prévost). Etude des crises dystrophiques (Malaïgues). *Thèse Univ. Montpellier*, pp. 171.
- CAUMETTE P., BALEUX B., 1980. Etude des eaux rouges dues à la prolifération des bactéries photosynthétiques sulfo-oxydantes dans l'étang du Prévost, lagune saumâtre méditerranéenne. *Mar. Biol.* 56 : 183-194.
- FRISONI GF., CEJPA AM., 1989. La malaïgue dans les étangs littoraux du Languedoc-Roussillon. *Rapport Cepralmar*, 48 p.
- GARRABE M. 1990. Evaluation des effets d'une pollution lagunaire. Le cas de la malaïgue de l'été 1987 sur l'étang de Thau en Languedoc-Roussillon. *Revue de l'Economie Méridionale*, 151:3-25.
- HAMON PY., VERCELLI C., PICHOT Y., LAGARDE F., LE GALL P., OHEIX J., 2004. Les malaïgues dans l'étang de Thau. Tome 2 : relations entre les conditions physico-chimiques, la météorologie et les conditions d'apparitions des crises dystrophiques. *Rapport Interne Ifremer DRV/LELR Sète 2004/8*, 87 p.
- LA JEUNESSE I., 2001. Etude intégrée dynamique du phosphore dans le système bassin versant-Lagune de Thau. *Thèse université d'Orléans*, 290 p., 41 annexes.
- LEMOALLE J., MILLET B., 1987. Programme Ecothau. Observations météorologiques sur l'étang (1986, 1987). *Rapport Ronéo Ecothau*.
- MARTEIL L., 1976. La conchyliculture Française. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **44**, 2, 149-346

- MAZOUNI N., GAERTNER JC., DESLOUS-PAOLI JM., LANDREIN S., GERINGER D'OEDENBERG M., 1996. Nutrient and oxygen exchanges at the water-sediment interface in a shellfish farming lagoon (Thau, France). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 205:91-113.
- MILLET B., 1989. Fonctionnement hydrodynamique du bassin de Thau. Validation écologique d'un modèle numérique de circulation (programme Ecothau). *Oceanol. Acta*, 12:37-46.
- MONOGRAPHIE DES AFFAIRES MARITIMES 1969. Quartier de Sète
- MONOGRAPHIE DES AFFAIRES MARITIMES 1971. Quartier de Sète
- PICHOT P., JUGE C., GUILLOU J.L. 1991., La « malaïgue » de l'été 1990 dans l'étang de Thau. *Rapport interne Sète 90/01 DRO-EM*. 14 pages
- SEGALA B., 1985. Contribution à l'étude de la dynamique et de la qualité des eaux en milieu lagunaire et côtier par la télédétection aérienne. *Thèse 3^o cycle, Univ. Montpellier II* : 150 p.
- SOUCHU P., GASC A., VAQUER A., COLLOS Y., TOURNIER H., BIBENT B., DESLOUS-PAOLI J.M., 1998 a. Biogeochemical aspects of bottom anoxia in a Mediterranean lagoon (Thau, France). *Mar. Ecol Prog. Ser.* 164 : 135-146.
- SOUCHU P., ABADIE E., VERCELLI C., BUESTEL D., SAUVAGNARGUES J.C., 1998 b. La crise anoxique du bassin de Thau de l'été 1997. Bilan du phénomène et perspectives. *Rapport interne Ifremer DEL/98.04/Sète*, 33 p.
- TOURNIER H., HAMON PY., ARNAUD P., 1979. Développement de la malaïgue en 1975 dans l'étang de Thau. *Rapport. Comm. Int. Mer Médit.* 25-26./03, pp. 103-104.
- TOURNIER H., HAMON PY., LANDREIN S., 1981. Synthèse des observations réalisées par l'ISTPM 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., RAIMBAULT R., 1986. Contribution à l'étude de l'influence du grau de Pisse Saume et des précipitations sur la salinité annuelle moyenne de l'étang de Thau. *Rapport interne ISTPM Sète*.
- TOURNIER H., LASRAM A., PICHOT Y., 1989. Dévasement expérimental des tables conchylicoles dans l'étang de Thau. *Rapport Int. IFREMER. DRV*, 63 p.
- TOURNIER H., AUDABRAM D., LANDREIN S., DESLOUS-PAOLI JM., 1990. L'oxygène dans l'étang de Thau. Contribution à l'étude du risque de « malaïgue ». *Rapport Interne Ifremer DRO. 90.02.LEM/Sète* 27 p.