

Dans la zone intertidale, le phénomène le plus important est lié au remplissage des havres, qui représentent des estuaires à grand volume oscillant, bien qu'ils ne soient en relation qu'avec des rivières très médiocres. Le havre de Carteret abrite plus de 9 millions de m<sup>3</sup> d'eau en pleine mer de vive eau, bien que la surface inondable ne dépasse pas 100 ha actuellement. Seul le havre de Regnéville constitue un estuaire véritablement digne de ce nom puisqu'il reçoit la Sienne et la Soulle dont les bassins versants atteignent 850 km<sup>2</sup> ; les sept autres havres ont un fonctionnement essentiellement lagunaire.

Le seuil de base de tous les havres est élevé, supérieur au niveau de mi-marée et le remplissage des bassins en fin de flot est extrêmement brutal. On enregistre des vitesses maximum instantanées de près de 3 m/s en vive eau dans un grand havre comme celui de Regnéville et encore près de 2 m/s à l'entrée du petit havre de Carteret. Ces vitesses maximums, acquises dans la quasi-totalité de la tranche d'eau, induisent une circulation de sable au voisinage du fond depuis l'embouchure du havre et la barrière littorale vers l'intérieur du système. Des transports en suspension s'ajoutent aux précédents, mais avec un bilan de colmatage des schorres nettement plus important dans les havres du Sud (La Sienne, La Vaulée) que dans ceux du Nord (Carteret, Portball, Surville).

Les courants de jusant sont plus étalés dans le temps et se marquent par des vitesses maximum plus faibles : 1,50 m/s en grande vive-eau à Carteret par exemple, ce qui réduit considérablement les possibilités de transport de sable en dehors des zones de chenaux. Dans ce cas encore, l'estuaire de la Sienne montre un comportement particulier, le débit fluvial des crues exceptionnelles venant renforcer les courants de jusant ; le colmatage de la partie amont de tous les havres se poursuit rapidement, il est souligné d'une part par la progression des zones poldérisées au cours des temps historiques et d'autre part par la nette augmentation des surfaces envahies par la végétation des schorres que l'on peut observer sur les photographies aériennes provenant des missions successives : à Carteret, le schorre ne constitue qu'une mince bordure dans la partie aval du havre en 1929, alors qu'il occupe plus de 50 % de la surface dès 1965, tandis que la zone amont, à demi-envahie en 1929, constitue maintenant une zone entièrement végétalisée en dehors des étroits chenaux de vidange.

À l'extérieur des havres, les sables renvoyés dans la zone intertidale par le jusant s'étalent en constituant un éventail deltaïque dont le développement est proportionnel au volume oscillant du havre. L'extension de ces deltas embryonnaires immergés ne dépasse la zone intertidale que dans le cas des grands havres comme Lessay et la Sienne, avec encore une fois un développement jusqu'à - 5 m (cote marine) pour ce dernier système. Au delà affleurent sur le plateau continental Roche cailloutis et graviers anciens qui ne participent pas à la dynamique sédimentaire actuelle.

## 5. LES SÉDIMENTS.

Le matériel sédimentaire rencontré sur la côte se compose de plusieurs catégories d'éléments dont le rôle est différent dans la dynamique actuelle.

Des sables moyens (d<sub>50</sub> = 0,3 à 0,5 mm) constituent le stock du haut-estran et des dunes ; ces sables sont calcaires à 30 - 40 %, comparables du Nord au Sud du secteur étudié. Ce stock moyen subit des triages locaux en fonction des aléas de la dynamique locale mais reste bien différencié par rapport aux autres catégories sédimentaires.

Sur le bas-estran et en dehors des éventails deltaïques des havres, ne se rencontrent au contraire que des placages de sables coquilliers grossiers ou parfois des sables fins blancs constitués à partir de débris d'algues rouges. Près des platiers rocheux s'individualisent des amas de cailloutis anguleux, d'autant plus grossiers que l'on se situe plus près de la source du matériel. On retrouvera cependant des cailloutis analogues, un peu mieux roulés et triés, en sommet du bourrelet de haut estran sur toutes les plages mal alimentées en sable. Ces bourrelets, souvent recouverts par les dunes, paraissent correspondre à une première mise en place ancienne du rivage à son niveau actuel.

Des sédiments plus fins du type tange se rencontrent dans les zones les plus ébritées des havres, mais leur faciès granulométrique ne montre que très exceptionnellement une évolution poussée par décantation ; il ne s'agit en général que de dépôts par excès de charge assez immatures. Dans la zone intertidale, les éléments fins sont maintenus en suspension par l'agitation régnante et seul un petit pourcentage se retrouve piégé à l'intérieur du stock de bas-estran. L'érosion progressive et le recul de la barrière littorale font cependant ressortir des dépôts de tange ancienne dont la reprise par les vagues alimente au Sud de Granville le stock mobile de la baie du Mont Saint Michel.

## 6. L'ÉVOLUTION DE LA CÔTE.

Les mouvements des masses sableuses ont été mis en évidence à l'aide de diverses méthodes combinant les mesures topographiques et l'analyse géomorphologique de la zone intertidale : la comparaison de levés successifs et de photographies aériennes permet ainsi de suivre la progression de la flèche de Barneville depuis 1815, et d'expliciter le rôle des ouvrages construits pour défendre l'entrée du havre de Carteret vers 1880. L'implantation d'une jetée insubmersible perpendiculaire au trait de côte provoque rapidement la création d'une plage du côté NW, alors que la plage SE voit s'accroître les phénomènes d'érosion, avec un recul moyen de l'ordre de 1 m par an.

L'étude fine des tendances évolutives actuelles a été réalisée sur l'ensemble du littoral de la zone centrale, de la Pointe du Rozel à la baie du Mont Saint Michel, à partir de photographies aériennes détaillées prises de 1982 à 1984. On aboutit à la construction d'une carte morphosédimentaire au 1/8000 où les différents stocks sédimentaires, ainsi que les accidents morphologiques qui les marquent, sont représentés. Un extrait significatif de cette carte centré sur le havre de Blainville près de Coutances accompagne cet article. Pour établir un tel document, l'exploitation des photographies aériennes a été complétée par de nombreuses missions sur le terrain ainsi que par des observations des conditions dynamiques, des prélèvements et des analyses d'échantillons de tous les types de sédiments, ainsi que par le levé de profils topographiques détaillés dans les zones les plus significatives.

À une échelle de temps plus fine, les mouvements du stock sableux sur l'estran ont été suivis durant certaines périodes en utilisant des traceurs fluorescents et des traceurs radioactifs. On s'aperçoit dans ces conditions que les transports de sable sur l'estran sont très irréguliers et se situent principalement dans le profil transversal de la plage. Ce n'est que lors d'événements relativement exceptionnels que s'observent les grandes migrations de sédiment qui aboutissent notamment à la construction de flèches littorales en haut estran et, sur le bas estran, à la déformation de rides. L'entrée de chacun des havres constitue un lieu d'observation privilégié en vue de l'étude de ces mouvements puisque l'on y retrouve deux flèches, l'une au Nord et construite par les houles directes, la seconde plus interne et en général située au Sud provenant de l'action des vagues diffractées autour de la première flèche. La forme des flèches varie rapidement dans le temps, avec des alternances marquées d'érosion et de constructions.

L'équilibre naturel de l'entrée des havres dépend finalement à la fois du transit sableux lié aux courants d'obliquité des houles et de celui induit sous l'action des volumes oscillants en fonction des marées : on observe un déplacement constant des embouchures et des chenaux.

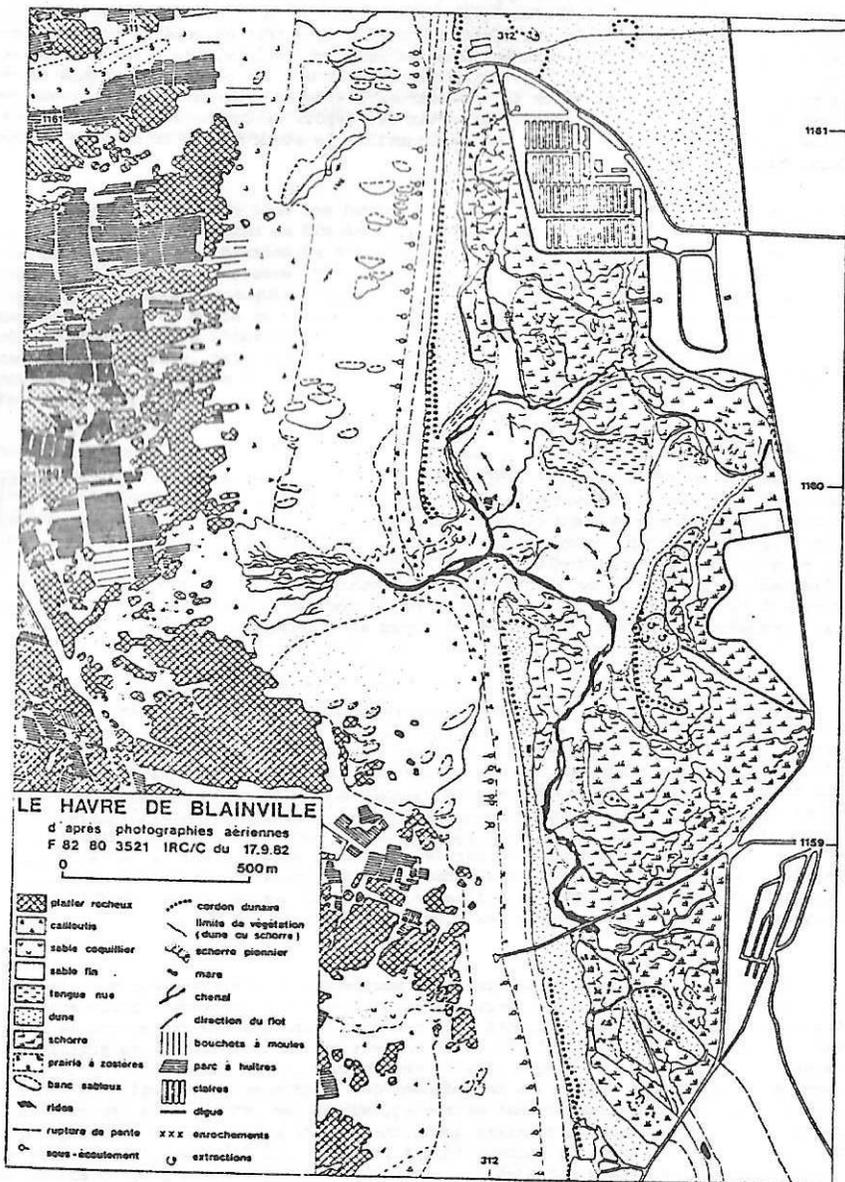


Figure n° 3 Carte géomorphologique détaillée de la zone du havre de Blainville  
Detailed geomorphological map of the Blainville lagoon area.

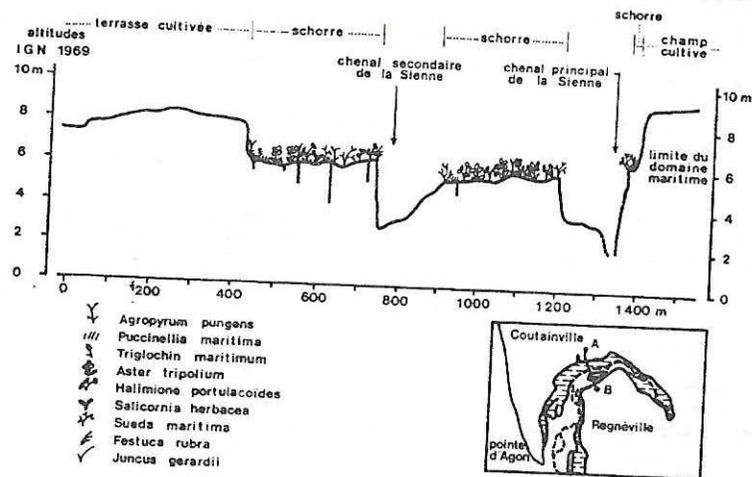


Figure n° 4 Coupe topographique transversale dans le havre de Regnéville  
Transverse topographical section in the Sienne estuary (havre de Regnéville)

### 7. L'AMENAGEMENT DU LITTORAL.

Encore relativement peu équipé, le littoral Ouest-Cotentin n'en subit pas moins les diverses conséquences des tentatives d'aménagement qui lui ont été appliquées.

Les havres représentent, de la Pointe de La Hague à Granville, les seuls abris portuaires disponibles sur la côte ; ce ne sont que des ports d'échouage inaccessibles lors des mortes eaux, mais le maintien de conditions de navigation acceptables n'a pu être obtenu qu'au prix de la construction d'épis qui bloquent une partie du transit sableux (Carteret), et surtout au prix d'extractions qui permettent le dégagement des passes (Carteret, Portbail) mais affaiblissent dangereusement le stock disponible en haut estran. Ces travaux finissent par augmenter la tendance générale au recul du haut estran, l'ordre de grandeur des volumes extraits autorisés (100 000 m<sup>3</sup> annuels à Carteret) étant voisin de celui des estimations faites pour l'ensemble du transit. La perte qui en résulte pour les plages n'est compensée que par le retour en mer du sable mis en réserve dans le système dunaire depuis la mise en place de celui-ci, au prix d'une érosion parfois dramatique de la ligne de côte (Portbail, Créances, Montmartin). Les extractions effectuées dans les dunes elles-mêmes (Pointe d'Agon, Pointe du Banc) n'ont encore qu'un impact différé sur l'évolution du littoral.

Le développement du tourisme et l'urbanisation littorale qui en découle constituent un autre sujet de préoccupation pour l'avenir de la côte, la construction de promenades et boulevards maritimes ainsi que de bâtiments proches de la mer interdisant les échanges entre dune et plage et accélérant la régression de cette dernière, surtout dans le cas où la protection des zones habitées est assurée par un mur de haute plage trop ré-

fléchissant pour les houles. Au sémaphore de Portbail, l'abaissement du niveau de la haute plage atteint 4 mètres ; à Coutainville et à Hauteville, il n'existe plus de bourrelet de haute plage devant les zones protégées et les formations argileuses lagunaires anciennes réapparaissent sur un bas estran très amaigri ; à Denneville, la protection d'une propriété isolée a créé un véritable cap qui concentre les lames, empêchant la régularisation de la côte. Les effets secondaires pervers liés aux ouvrages anciens (Coutainville, Hauteville) ont imposé un renforcement important de ceux-ci au moyen d'enrochements, la faiblesse et l'irrégularité du transit littoral par rapport aux mouvements sédimentaires enregistrés dans le profil transversal ne permettant pas l'utilisation de batteries d'épis.

Plusieurs zones côtières dépourvues de protection reculent actuellement à vive allure, en raison de la faiblesse des masses sableuses disponibles en transit. C'est le cas au Nord de Portbail où la dune a maintenant disparu et où la mer menace des zones déprimées intérieures, partiellement habitées. C'est le cas également à Créances, au Sud du havre de Lessay, où la progression de la Pointe du Banc qui ferme le havre vers le Nord repousse le chenal vers l'Est et accélère le sapement des dunes. Mais c'est probablement à Montmartin sur mer que les phénomènes atteignent leur amplitude maximum : la côte Sud du havre de Regnéville a reculé de plus de 180 m depuis 1945, la dune a disparu par endroits et les marais d'Hauteville seront envahis lors d'une prochaine grande marée. En dehors de ses conséquences immédiates sur des zones agricoles, cette évolution risque de perturber gravement l'équilibre des havres.

Il convient donc de pratiquer sur cette côte une protection sélective, adaptée à la fois à la valeur des zones à protéger et aux caractéristiques locales des facteurs dynamiques qui sont à la base de l'évolution.

### 8. CONCLUSIONS.

Toutes les observations et les mesures faites sur cette côte exposée à des agents dynamiques divers convergent pour montrer qu'en chaque point du littoral l'équilibre actuel de la côte dépend des structures géologiques préexistantes (platiers rocheux, fles et hauts fonds qui parsèment le plateau continental) et que l'action de façonnement dominante est due à la houle, en dépit de l'importance du marnage et des courants qui sont induits par la marée dans le golfe normand-breton.

La marée intervient au niveau des havres, autorisant le fonctionnement d'un système lagunaire ; elle agit bien sûr aussi par la surélévation générale du niveau marin qu'elle procure. Les vents, quoique forts, n'ont qu'une action de déflation locale. Ils ont fort heureusement mis auparavant en place le cordon dunaire à partir duquel le haut estran retrouve en la période érosive actuelle le matériel nécessaire au maintien précaire de son équilibre.

Mais toute intervention sur le littoral doit être soigneusement étudiée sous peine de voir s'aggraver la tendance actuelle et se détruire l'équilibre dynamique si difficilement obtenu.

### BIBLIOGRAPHIE

- CLET-PELLERIN M. (1985) - La couverture de dépôts meubles dans le havre de Carteret (Manche) et sur le littoral adjacent. Rapp. scient. et tech. n° 1 - Centre de Géomorphologie C.N.R.S., Caen, 58 p.
- ELHAI H. (1963) - La Normandie occidentale entre la Seine et le golfe normand-breton. Ed. Brière, Bordeaux. 624 p.
- FARNOLE P. (1985) - Etudes de dynamique sédimentaire sur la côte Ouest du Cotentin. Thèse 3<sup>e</sup> cycle Océanologie, Université Paris XI (sous presse)
- FARNOLE P., LAFOND L.R., LE RHUN J., MARTIN A. (1984) - Evolution dynamique des havres du Cotentin. C.R. 5<sup>e</sup> congr. Européen de Sédimentologie, Marseille. p. 162.
- GIRESE P. (1965) - Modalités de la sédimentation dans l'estuaire de la Sienna. Principales zones de dépôt. Cah. Océano., XX, p. 547-569.
- HOMMERIL P. (1967) - Etude de géologie marine concernant le littoral bas-normand et la zone pré-littorale de l'archipel anglo-normand. Thèse Univ. Caen 304 p.
- LAFOND L.R. (1984) - Etude régionale intégrée du golfe normand-breton, secteur Cotentin centre : Etude morphologique de la zone intertidale. Rapport contrat CNEXO n° 83/7103. E.P.H.E., Dinard. 2 vol. 70 p. 11 cartes.
- LAFOND L.R., MANOUJIAN S. (1985) - Etude en modèle physique des aménagements du port de Carteret (Manche). 1. Rapport préliminaire sur les conditions naturelles régnant au site de Carteret. Rapport L.C.H.F. multigr.
- Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF). (1981) - Catalogue sédimentologique des côtes françaises, tome 3 : de la baie de Seine au Mont Saint Michel. LCHF, Maisons Alfort - 125 p.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OcéANOGRAPHIE  
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 1 : Océanographie physique et dynamique sédimentaire  
Techniques de développement des herbiers de phanérogames  
marines (*Zostera marina*) dans les eaux littorales japonaises  
*Ecology of eelgrass (Zostera marina) and transplanting experiments*

Toyoki KAWABATA, Tsunetaka HASEGAWA, Kousou KAYATA  
TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE OF THE CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.  
4-4-32 OZU, MINAMI-KU, HIROSHIMA, JAPAN

Résumé :

Cette recherche a débuté en 1981 le long de la côte intérieure de la baie de Yanai située dans la mer intérieure du Japon. L'objectif est la mise au point de techniques de reconstitution des herbiers de phanérogames marines (*Zostera marina*) aux abords d'une centrale électrique. Outre des expériences de transplantation effectuées avec des pousses végétatives, il a été procédé à l'étude des facteurs liés à l'environnement des herbiers de phanérogames ainsi que de leur écologie. Sont présentés ici les résultats obtenus à l'heure actuelle.

La densité s'est révélée forte sur les fonds de sable à grosses particules alors que les phanérogames marines ne se développent pas sur les fonds limoneux. La biomasse de phanérogames varie en fonction des saisons, de 182 g/m<sup>2</sup> (poids sec) en été à 76 g/m<sup>2</sup> en hiver. La germination s'effectue entre novembre et février et la croissance de janvier à juillet. Le taux de croissance maximal a été observé en mai. Pendant cette période les pousses végétatives se ramifient très rapidement alors que les pousses reproductrices produisent les graines. La phase de déclin des phanérogames se situe entre l'été et l'hiver. Les graines de phanérogames restent dans les sédiments de juin jusqu'au début de la période de germination. Pendant la période de forte croissance la production nette cumulée s'est effectuée au rythme de 10,47 g de poids sec/m<sup>2</sup>/jour alors que le taux de fixation de carbone a été de 4,06 gC/m<sup>2</sup>/jour.

Les phanérogames transplantées se sont développées lentement entre l'hiver et l'été, avec croissance des pousses végétatives et apparition de

pousses reproductrices. Mais à partir de l'été les plants ont brusquement perdu de leur vitalité. Un an après la transplantation, seuls quelques pousses ont survécu. La technique de transplantation avec les feuilles intactes et les sédiments autour de la partie supérieure de la plante semble être la plus satisfaisante. De bons résultats ont été obtenus avec les plants transplantés en février dans des zones sablonneuses.

Abstract :

Research was initiated in 1981 in the inner coast of Yanai Bay located in the Inland Sea (Japan) with the objective of habitat restoration techniques for eelgrass (*Zostera marina*) beds in the vicinity of the coastal power plant. The environmental factors for the eelgrass bed and its ecology have been investigated, in addition to transplanting experiments with vegetative shoots. This paper summarizes results to date of ongoing research.

The sediment with dense stands was primarily composed of sand dominated by relatively large particles compared with silt clay without the plants. Eelgrass biomass varied seasonally from summer high of 182g dry weight/m<sup>2</sup> to winter low of 76g dry weight/m<sup>2</sup>. Eelgrass seeds germinate during the period from November to February while its growth from January to July. The highest growth rate was observed during May. During this period vegetative shoots vigorously branch out while generative shoots produce seeds. The decline phase for the eelgrass is from summer to winter. The eelgrass seeds lie dormant in the sediment from June until the germination period begins. During the period of the highest growth, net production was accumulated at a rate of 10.47g dry weight/m<sup>2</sup>/day while the rate of carbon fixation was 4.06gC/m<sup>2</sup>/day.

Transplanted eelgrass plants developed smoothly from winter to summer. Vegetative growth and flowering shoots were observed. However, since summer the plants declined precipitously. In a year after transplanting only a few living shoots remained. The transplanting technique with leaves intact and the sediment around the subsurface portion of the plant seemed to be satisfactory. The plants transplanting in February and the transplanting areas with sand sediment gave satisfactory results.

1. まえがき

内湾の浅海域にはしばしば海産顕花植物であるアマモ *Zostera marina* が広く分布しており、いわゆるアマモ場を形成している。アマモ場は魚介類の産卵、育成の場として水産上重要であることは古くから指摘されており、最近では沿岸域の水質浄化や景観の面からも注目されている。我が国の火力・原子力発電所は臨海地に立地しており、その冷却水として海水を使用している。このことより、電力各社は浅海域の環境保全に特別の配慮を図っており、とりわけ埋立てや浚渫等によって消失するアマモ場の修復、代替藻場造成技術の開発が急務となっている。

我が国におけるアマモの分類、分布、生態に関する報告は1930年代から見られ、新崎(1950, 1951)、野澤(1970)、月館・高森(1977)、相生・向井(1978, 1982)等があるが、その数は少ない。また、アマモ場の造成に関する研究は最近になって行われ、幡手ら(1974, 1975a, 1975b, 1976)、坂井(1977, 1979)、福田ら(1983)等の報告があるが、これらはいずれもアマモ種子の採取・保存および種苗生産にとどまっており、実用規模でのアマモ場造成技術の開発は未熟のまま今日にいたっている。

一方、電力中央研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry)では室内培養等の方法によりアマモの生態を明らかにし、人工種苗の移植による実用規模のアマモ場造成技術の開発を行っており、寺脇ら(1984)がその結果の一部を報告している。

本研究は、瀬戸内海に位置する山口県柳井湾を実験場所として、アマモ場の環境、天然でのアマモの生長様式、生産量を調査し、効果的、実用的なアマモ場造成方法を開発することを目的としている。なお、本研究は1981年から実施しており現在継続中であり、本報告は現在までに実施したアマモ場の底質環境、アマモの生態に関する調査結果と、天然アマモ株の移植実験結果を取りまとめたものである。

2. アマモ場の底質環境

2.1 調査場所と調査方法

山口県の瀬戸内側に位置する柳井湾は、おだやかな内湾であり、沿岸部には帯状にアマモが分布している。柳井湾奥部に分布するアマモ場周辺に17測点をもうけ、1981年8月、1982年2月に底質調査を行った(Fig.1)。

底泥は直径10cmのコアサンプラーを用い、約30cmの深さまで採取した。試料は5cm間隔でEhを測定した後、10cm間隔で上・中・下の3層に分割し、各層について粒度組成分析、化学分析(pH, COD, 強熱減量, 硫化物, T-N, T-P)を行った。柳井湾における水温の月平均値は、9月に最高で25.0℃、2月に最低で10.8℃であった。また、塩分濃度は年間を通じて27.00~32.79‰であった。

2.2 結果

(1) 粒度組成

調査海域の底質は、砂分を主体とした場所と、シルト・粘土分を主体とした場所とに大別され、礫分はほとんど含まれていなかった。また、各測点における粒度組成は、8月、2月の調査で大きな違いはなかった。

アマモが密生している場所の底質の粒度組成は、砂分が70%以上を占めており、アマモが全く分布しない場所ではシルト・粘土分を多く含む粒度組成であった。アマモの分布が密・疎および

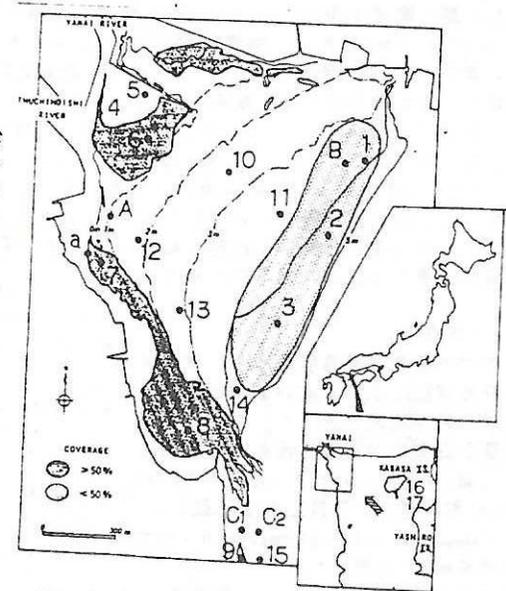


Fig.1 Locations of investigation and experiment. Shaded areas show distribution of *Zostera* beds.

分布しない場所の代表的な粒度分布を  $\phi$ -scale (Wentworth 1922) で示した (Fig. 2)。アマモが密に分布する st. 7, 8 の底質は  $\phi=1-2$  (粒径 0.25~0.5mm) にモードがみられ、特定の粒径に分布が集中していた。アマモが分布しない st. 12, 13 では  $\phi=2$  以上 (粒径 0.25mm 以下) の細かい粒径のものが多く、かつ特定の粒径に集中する傾向は見られなかった。アマモが疎に分布する st. 1, 2 の粒度分布は上記の中間的なものであった。

(2) 酸化還元電位 (Eh)

粒径の大きな砂分の多い st. 9, 15, 16, 17 では 8 月、2 月とも全層を通じておおむね酸化状態であったが、アマモの分布の有無による差は見られなかった。また、粒径の細かい砂分、シルト・粘土分が多い測点では、アマモの分布の有無、層別、季節別に一定の傾向は見られなかった。

(3) 化学分析

pH は砂分の多い測点では 8 前後であったのに対し、シルト・粘土分の多い測点では若干低く 8 以下であった。また、ほとんどの測点で 2 月の方が 8 月に比べて若干高い値を示した。

COD、全硫化物 (Total Sulfide)、強熱減量 (Ignition Loss) はいずれも 8 月に高く 2 月に低い値であった。それぞれの値の範囲は COD が 1.2~12.2mg/g 乾泥、全硫化物が <0.02~0.76mg/g 乾泥、強熱減量が 0.8~11.4% であった。また、COD と強熱減量は 8 月、2 月ともに底質の粒径が細くなるほど高くなる傾向を示した。

全窒素 (Total Nitrogen) も COD、強熱減量と同様な傾向を示し、その範囲は 0.09~1.32mg/g 乾泥であった。また、8 月には下層 (20~30cm 層) に比べて上層 (0~10cm 層) で相対的に高い値であったが、2 月にはこのような傾向は見られなかった。

全りん (Total Phosphorus) は 8 月と 2 月に大きな差はなく、その範囲は 0.10~0.72mg/g 乾泥であった。他の項目と同様に粒径が細かい測点ほど高い値を示した。また、8 月、2 月ともに上層での値が下層での値より相対的に高かった。

2.3 考察

アマモ場の底質環境のうち、アマモの分布状況によって違いが認められたのは、粒度組成であった。アマモの現存量と底質の中央粒径値の  $\phi$  値である  $\phi_{50}$  値 ( $\phi_{50} = -\log_2 d_{50}$ ,  $d_{50}$ : 中央粒径値 mm) および分級係数である  $S_o$  値 ( $S_o = d_{75}/d_{25}$ ,  $d_{75}$ : 75% 粒径値 mm,  $d_{25}$ : 25% 粒径値 mm) との関係を示した (Fig. 3)。アマモの現存量が 0.5kg/m<sup>2</sup> 以上の測点の底質は  $\phi_{50}=1-3$  (中央粒径値 0.5~0.125mm)、 $S_o=3$  以下、つまり細砂~中砂が集中しているという特性を有していた。電力中央研究所が調査を行っている小田和湾のアマモ場でも  $\phi_{50}=2-3$  (中央粒径値 0.25~0.5mm) と柳井湾と

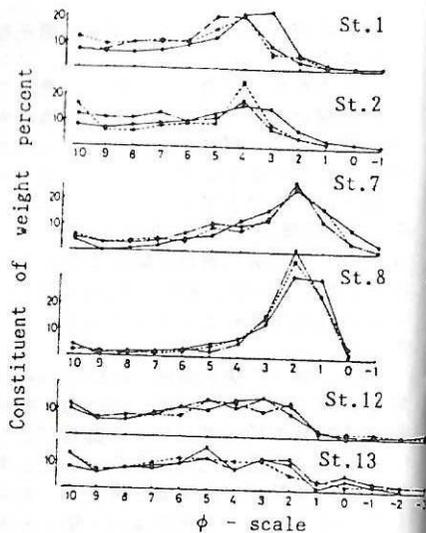


Fig. 2 Particle size distribution of sediments.  
 — Upper layer (0~10cm)  
 - - - Middle layer (10~20cm)  
 ..... lower layer (20~30cm)

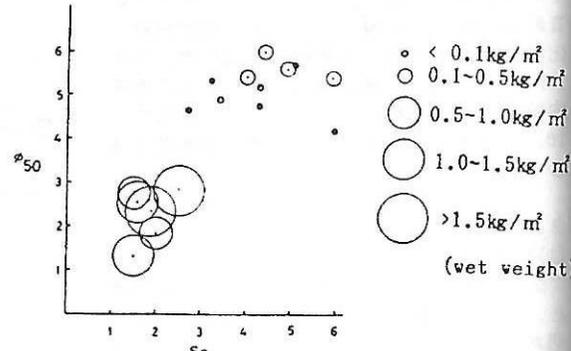


Fig. 3 Biomass of *Zostera marina* plotted in each station as regards sedimental condition.

ほぼ同様である (Terawaki et al. 1984)。しかし、我々が調査を行った瀬戸内海の他のアマモ場では  $\phi_{50}=5-6$  (中央粒径値 0.016~0.031mm) であり、他のアマモ場でもこの底質条件が適しているとは一概には言えないようである。

COD、全硫化物、強熱減量、全窒素、全りんは、いずれも 8 月に高く、2 月に低い傾向を示した。8 月はアマモの葉体等に起因する有機物生産が活発なのに対し、2 月は年間で最も有機物生産が少ない時期であるためと考えられる。COD、全窒素、全りんの分析結果と底質の  $\phi_{50}$  値には高い相関 ( $R=0.841-0.974$ ) がみられ、粒径に支配されていることがわかる。また、アマモの栄養分と考えられる全窒素、全りんはアマモの地下茎部のある上層 (0~10cm 層) で相対的に高い値であった。

3. アマモの生態

3.1 調査場所と調査方法

1981年8月から1982年6月の四季に st. 1, 2, 3, 7, 8, 16 の 6 測点 (Fig. 1) において 1m<sup>2</sup> の方形枠を連続設置し、方形枠内のアマモの追跡調査を行うとともに、測点の周辺で 1/4m<sup>2</sup> のアマモの地上部・地下部を採取し、現存量の変化を調査した。

また、干潟域のアマモ場において 1982年4月26日から7月22日の3ヶ月間、約15日間隔でマーキング法 (Ziemann 1968) によりアマモの生長様式を調査した (Fig. 1 st. a)。

なお、アマモの各部位の名称は、現段階で必ずしも統一されていないため、本報告では便宜上図に示す通り定義した (Fig. 4)。

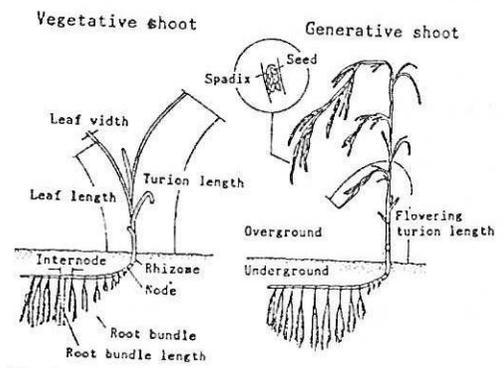


Fig. 4 Partition names of *Zostera marina* shoots.

3.2 結果

(1) アマモの現存量

もともとアマモの分布が疎であった湾中央部のアマモ場 (st. 1, 2, 3) は調査期間中に急激に衰退し、1982年1月以降、消滅状態になった。

岸沿に分布するアマモ場 (st. 7, 8) での地上部、地下部を合わせた現存量は 8 月に 182g/m<sup>2</sup> (乾重量) で最大であり 2 月に 76g/m<sup>2</sup> (乾重量) で最低であった (Fig. 5)。一方、アマモの株数は 11-1 月に最低となり、発芽体の加入や分枝が活発になる 3 月に最高であった。しかし、この時期は葉体が短いため現存量は低い。

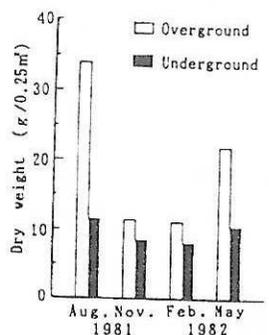


Fig. 5 Seasonal changes of *Zostera marina* biomass.

(2) 葉長および葉面積指数

アマモの平均葉長は繁殖期の 8 月に最大 (80cm) であり、新葉の加入が活発な 5 月に最小 (40cm) であった。また、葉面積指数は 1.5~2.5 の範囲で変動し、8 月に最大、2 月に最低であった。

(3) 花枝および種子

アマモの花枝は 3 月から見られ、5 月に花枝数は最大になり 6 月には徐々に流失し始め、8 月にはみられなくなった。花枝形成の盛期である 5 月の花枝密度は最大で 40 本/m<sup>2</sup>、平均 8 本/m<sup>2</sup> であり、花枝あたりの花穂数は平均 15 本、花穂あたりの種子数は 10~13 粒であった。

(4) 生長様式 (マーキング法による調査)

株数は 5 月下旬から増加し始め、6 月下旬にピークに達し、7 月に入って徐々に減少した。また、調査期間中に当初の株数の約 3 倍の株が形成された。栄養株は活発に分枝したが生殖株は分枝せ

ず花穂流失後すべて枯死した。

葉は1株あたり平均5枚であった。1枚の葉の寿命は40日前後と推定され、1枚の葉から次の葉が形成されるまでの期間である葉間期(plastochrone interval, Jacobs 1979)は10日前後と推定された。また、葉の生長は若い葉ほど活発であり、葉令10日程の生長速度は3cm/日程度と推定された。

花穂の成熟段階(De Cock 1980)を見るとステージ5(結実が確認できる)までのものは確認できたが、それ以上のステージが確認されないことから、種子は1粒ずつこぼれ落ちるというよりは花穂ごと流失しているものと考えられる。

地下茎の増加節数と流失葉数はほぼ1対1で相応していた。また、地下茎の伸長量は、5月中旬が最大であり、この間の生長速度は20mm/日と推定された。7月になると伸長量は小さくなり、5月の1/6程度と推定された。

### 3.3 考察

柳井湾ではアマモの発芽は11月下旬にはじまり、1月に盛期をむかえる。その後7月まで成長し、

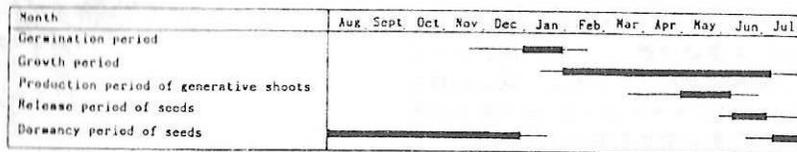


Fig. 6 Life cycle of *Zostera marina* at Yanai Bay.

5、6月はその盛期にあたる。花枝の形成は3月下旬からみられ、5月に盛期をむかえ、6月から7月にかけて種子を放出する。放出された種子は夏から秋にかけて休眠し、水温の低下とともに発芽期を迎える(Fig. 6)。

アマモの現存量は生長期の初期にあたる冬に最小であり、生長期の末期にあたる夏に最大となる。柳井湾での現存量および葉面積指数は、報告されている測定例(McRoy et al. 1977, Mukai 1982)と比べ若干低い値であった。また、地上部と地下部の現存量の比は、生長期にはほぼ3:1、衰退期にはほぼ1.5:1であった。

マーキング法による調査結果およびその結果から推定された値を基に岸沿いに分布するアマモ場の現存量から生長の活発な時期の純生産量を下式により試算した。

$$P_n = \sum_{i=1}^n \Delta PL_i + \sum_{i=1}^n \Delta Li + \sum_{i=1}^n \Delta PR_i$$

$P_n$ : 観察期間中の純生産量  $n$ : 調査回数

$\Delta PL_i$ :  $t_i$ から $t_{i+1}$ の期間における地上部の変化量

$\Delta Li$ :  $t_i$ から $t_{i+1}$ の期間における枯死流失量

$\Delta PR_i$ :  $t_i$ から $t_{i+1}$ の期間における地下部の変化量

生長の活発な時期の純生産量は、地上部7.82g乾重量/m<sup>2</sup>・日、地下部2.65g乾重量/m<sup>2</sup>・日、合計10.47g乾重量/m<sup>2</sup>・日と推定された。また炭素含有量が地上部で乾重量の約40%、地下部で約35%(Aioi, Mukai 1980)であることから、炭素固定量は地上部3.13gC/m<sup>2</sup>・日、地下部0.93gC/m<sup>2</sup>・日、合計4.06gC/m<sup>2</sup>・日と推定された。ただし、この値は、干潟域のアマモ場と通常のアマモ場とが同率で生産があると仮定して試算したものである。

この試算によって得られた炭素固定量は、Alaska(McRoy 1966, 1970)やWashington(Phillips 1972)での調査結果に近い値であった。

### 4. アマモ栄養株の移植実験

#### 4.1 実験場所と実験方法

アマモ場の縁辺部において、水深、底質の異なるst.A, B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>の4地点を選定した(Fig. 1)。実験は1981年12月、1982年2月、5月にst.A, B, C<sub>1</sub>(1次実験)で、1982年12月、1983年2月、5月に

st.B, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>(2次実験)で行った。なお、実験面積は1次実験が27m<sup>2</sup>(9m<sup>2</sup>×3地点)、2次実験が54m<sup>2</sup>(18m<sup>2</sup>×3地点)であった。

移植株は天然アマモ場から採取し、地下部の底泥を付けたままの株を容器に入れたものと入れないもの、前述の2タイプについて葉の一部を切断したもの、葉の一部を切断し底泥を取り除いた株を固定したものとし、6タイプに分けた。移植方法は、1m<sup>2</sup>の方形枠を16区画に区切ったものを海底に設置し、1つの方角枠に2タイプのものを交互に潜水して手で移植した(Fig. 7)。

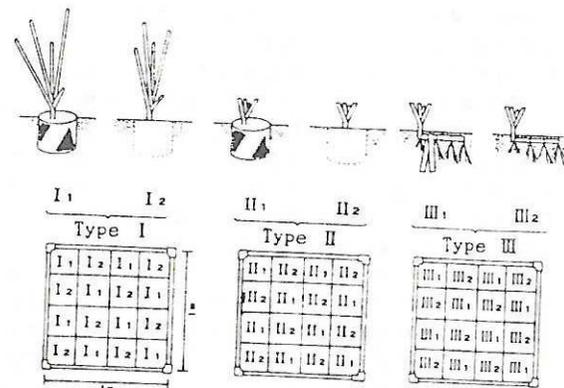


Fig. 7 Types and methods of transplantation for eelgrass plants.

#### 4.2 結果

各実験区の水深・底質は、st.Aが1.0mで細砂、st.Bが3.5mでシルト、st.C<sub>1</sub>が3.2mで粗砂、st.C<sub>2</sub>が4.5mで粗砂であった。なお、この水深は基本水準面(D.L.)からの深さであり、実際にはこれより1-3m程度深くなる。

移植したアマモはいずれも夏までは順調に生長し、分枝や花枝形成も確認されたが、秋以降急激に衰退し移植1年後の生残株はst.C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>で僅かに見られる程度であった(Fig. 8)。

いづれの移植タイプもそのほとんどが、移植1ヶ月後には、移植時の株数を上まわっていた。特に葉を切断せず底泥を付けたまま(Iタイプ)のものではその傾向が強く、その後の生残率も他のタイプと比べて高かった。

移植株はいずれも花枝を形成した。その花枝数は移植方法別、地点別には大きな差がなかったが、移植時期別では顕著な差が見られ、2月移植分で花枝を形成する割合が高かった。また、移植の翌年には、移植株が形成した種子に起因すると考えられる発芽体がst.C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>で確認された。st.Bでも1次実験の翌年には確認されたが、その数はst.C<sub>1</sub>に比べ極めて少なく、2次実験の翌年にはまったくみられなかった。

草丈の伸長状況は、1次、2次実験とも移植時期、移植場所および移植方法による大きな差は認められなかった。葉を切断した移植株も、移植1-2ヶ月後には葉を切断しないものと同様草丈になり、その後いずれも6-8月まで順調に伸長した。

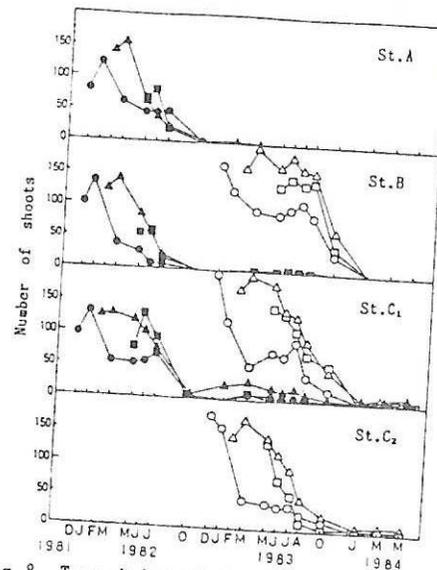


Fig. 8 Transition of transplanted *Zostera marina* plants.  
 ● primary } transplantation in Dec.  
 ○ secondary }  
 ▲ primary } transplantation in Feb.  
 △ secondary }  
 ■ primary } transplantation in May  
 □ secondary }

### 4.3 考察

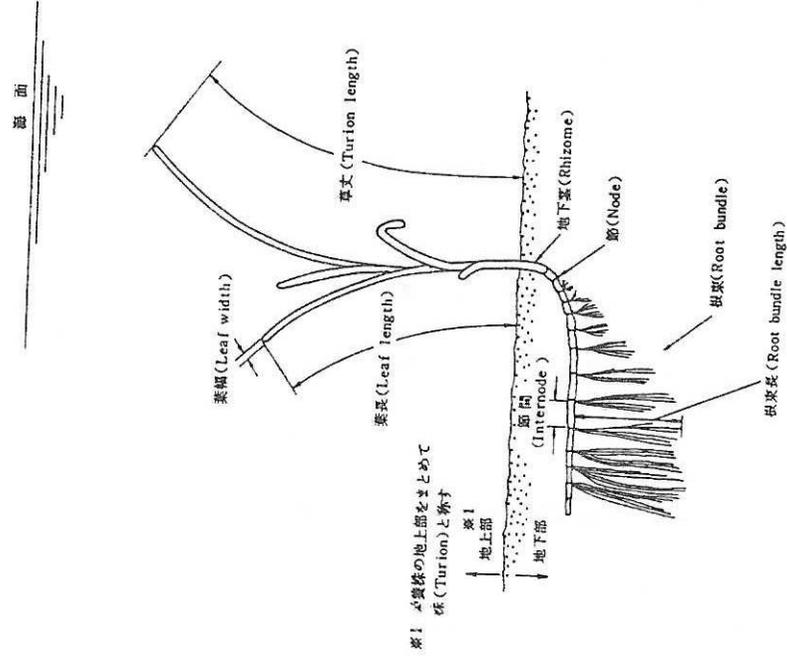
前述の調査で得られた知見を基に、生長期の前にあたる12月、生長期の初期にあたる2月、生長期の盛期にあたる5月に移植実験を実施した。移植したアマモは順調に生長し、移植後ほぼ1年間は天然でのアマモと同様な推移をしたが、越年することができなかった。

1次実験ではI、II、IIIタイプ(Fig.7)を移植したが、2次実験では生長、生残が比較的良好であったIタイプと移植作業の容易なIIIタイプを移植した。移植作業の容易さは実用規模でのアマモ場造成を考えた場合、重要なことである。1次、2次実験の結果、葉を切断しなかったもの(Iタイプ)が最も良く、葉を切断したもの(II、IIIタイプ)は劣っていた。この原因としては葉を切断したことによる移植初期の光合成量の低下が考えられる。なお、葉を切断したものでも生残した株については葉は伸び、移植1-2ヵ月後には切断しないものと同様になる。

移植時期としては、アマモの生長期の初期にあたる2月が最適とかがえられる。2月に移植したものは、他の月に移植したものとは比べ生残率が高く、花枝形成率は著しく高かった。このことから、アマモ場造成に際し、移植翌年に種子からの再生産が期待できる。

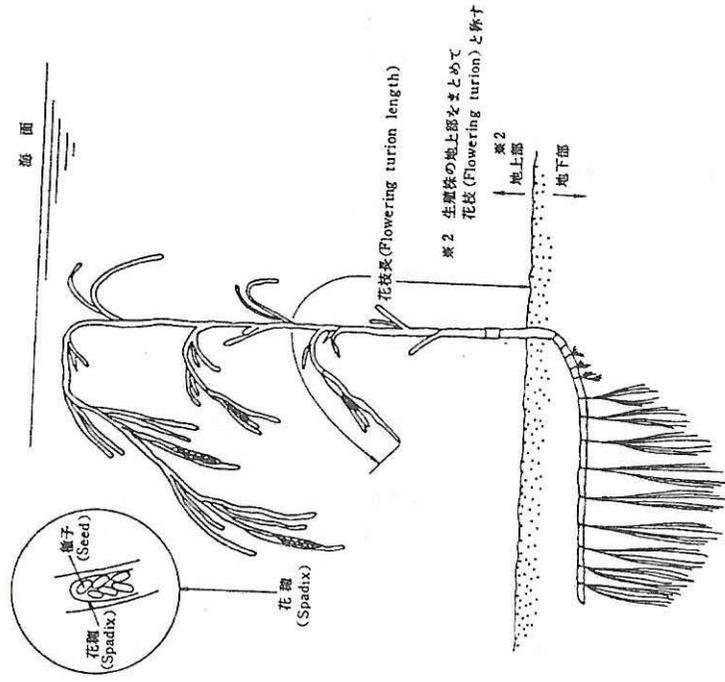
移植地点別に差が見られたのは、衰退期での生残株数と発芽体数であった。底質、水深が天然のアマモ場とほぼ同様であるat.C<sub>1</sub>では、生残株数、発芽体数ともに他の地点に比べ高い値であった。at.C<sub>1</sub>はat.C<sub>2</sub>と底質条件は同様であるが水深が深く、光条件が厳しかったものと考えられる。また、at.Bはat.C<sub>1</sub>と水深はほぼ同様であるが底質がシルト質であることから、底泥のまいるがりによる底層での光不足およびシルト質での発芽率の低下が示唆された。なお、st.Aは環境条件としては最良と考えられたが、移植1年後の春から実験区にアナアオサ *Ulva pertusa* が著しく繁殖し、良い結果が得られなかった。

栄 養 株 (Vegetative shoot)



生 殖 株 (Generative shoot)

別 紙 - 1



(注) 栄養株、生殖株を総称して株 (Shoot) という。

図の説明

Fig.1 調査および実験位置

Locations of investigation and experiment.  
Shaded areas show distribution of *Zostera* beds.

- St. 1-17 底質調査  
1981年8月 1982年2月
- St. 1,2,3,7,8,16 採取調査、定点調査  
1981年8月、11月 1982年2月、5月
- St. a 生長調査 (マーキング法)  
1982年4月26日~7月22日
- St. A,B,C<sub>1</sub>,C<sub>2</sub> 移植試験  
1次実験 (St.A,B,C<sub>1</sub>) 1981年12月 1982年2月、5月  
2次実験 (St.B,C<sub>1</sub>,C<sub>2</sub>) 1982年12月 1983年2月、5月

Fig.2 各調査点における粒度分布

Particle size distribution of sediments.

縦軸 重量パーセント

横軸 φ 値

d (mm)	16	8	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512	
φ	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
堆積物	礫				粗砂				中細砂				シルト		粘土

- St. 1, 2 アマモ分布 疎
- St. 7, 8 アマモ分布 密
- St.12,13 アマモ分布 無

Fig.3 アマモの現存量(湿重量)と底質特性(φ<sub>50</sub>値、So値)の関係

Biomass of *Zostera marina* plotted in each station as regards sedimental condition.

縦軸 中央粒径値のφ値(φ<sub>50</sub>値)

横軸 分級係数(幾何四分位偏差 So値)

Fig.4 アマモの株および各部位の名称

Partition names of *Zostera marina* shoots.

別紙-1 参照

Fig.5 アマモ地上部、地下部の現存量の季節変化 (St.7,8の平均)

Seasonal changes of *Zostera marina* biomass.

縦軸 乾重量 (g/0.25m<sup>2</sup>)

横軸 調査月 1981年8月、11月 1982年2月、5月

Fig.6 柳井湾におけるアマモの生活史

Life cycle of *Zostera marina* at Yanai Bay.

発芽期 Germination period

生長期 Growth period

生殖株形成期 Production period of generative shoots

種子放出期 Release period of seeds

種子休眠期 Dormancy period of seeds

Fig.7 移植タイプおよび移植方法

Types and methods of transplantation for eelgrass plants.

容器 藁で作ったもの

固定 竹制ピンセット

1次実験

1地点につき

	Iタイプ	IIタイプ	IIIタイプ	計
1981、12	1	1	1	3
1982、2	1	1	1	3
5	1	1	1	3
計	3	3	3	9

(m<sup>2</sup>)

3地点 (StA,B,C<sub>1</sub>) の合計 27m<sup>2</sup> (9m<sup>2</sup>×3地点)

2次実験

1地点につき

	Iタイプ	IIIタイプ	計
1982、12	3	3	6
1983、2	3	3	6
5	3	3	6
計	9	9	18

(m<sup>2</sup>)

3地点 (StB,C<sub>1</sub>,C<sub>2</sub>) の合計 54m<sup>2</sup> (18m<sup>2</sup>×3地点)

Fig.8 各地点における移植アマモ株数の推移

Transition of transplanted *Zostera marina* plants.

縦軸	株数(本)
横軸	年月
●	1次 12月移植
○	2次 "
▲	1次 5月移植
△	2次 "
■	1次 2月移植
□	2次 "

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE  
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 1 : Océanographie physique et dynamique sédimentaire  
Aménagement et préservation du milieu marin littoral en région  
Provence-Alpes-Côte d'Azur : bilan et perspectives  
*Planning, management and protection of Provence-Alpes-Côte  
d'Azur coastal areas : present state and prospects*

Alexandre MEINESZ<sup>1</sup>, Charles-François BOUDOURESQUE<sup>2</sup>, Alain JEUDY DE GRISSAC<sup>3</sup>  
Jean-Pierre LAMARE<sup>4</sup>, Jean-Robert LEFEVRE<sup>5</sup>, André MANCHE<sup>6</sup>

<sup>1</sup> LABORATOIRE DE BIOLOGIE ET D'ÉCOLOGIE MARINES, PARC VALROSE, 06034 NICE CEDEX

<sup>2</sup> LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE DU BENTHOS, FACULTE DES SCIENCES DE LUMINY, 13288 MARSEILLE CEDEX 9

<sup>3</sup> GIS POSIDONIE, FACULTE DES SCIENCES DE LUMINY, 13288 MARSEILLE CEDEX 9

<sup>4</sup> OFFICE REGIONAL DE LA MER, 149 PLAGE DE L'ESTAQUE, 13016 MARSEILLE

<sup>5</sup> DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT, SERVICE MARITIME CIPALM, B.P. 3, 06028 NICE CEDEX

<sup>6</sup> PARC NATIONAL DE PORT-CROS, 50. AVENUE GAMBETTA, 83400 HYERES

RESUME :

Pour les fonds de l'étage infralittoral du littoral Provence Alpes Côte d'Azur, on a calculé le pourcentage des surfaces occupées par les herbiers à *Posidonia oceanica* et par les ouvrages (endiguages, marinas, ports, plages artificielles). La localisation et les caractéristiques des rejets d'eaux usées sont données. Les impacts biologiques, hydrologiques, géomorphologiques et sédimentologiques de ces aménagements sont examinés, en même temps que les solutions possibles (replantations de végétaux, mise en place de récifs artificiels), les procédures de protection (réserves marines, Parcs Nationaux) et la législation existante.

ABSTRACT :

The surface of *Posidonia oceanica* beds and the surface of the sea bottom covered by nearly irreversible encroachments (e.g. damming, building marinas, harbors, artificial beaches) as a result of littoral development, were calculated and compared to the total surface of infralittoral bottoms. Characteristics and localization of sewage outfalls along the Provence-Alpes-Côte d'Azur coasts are given.

Biological, hydrological, geomorphological and sedimentological impacts of coastal area planning and management were investigated, together with possible solutions (e.g. seagrass transplantation, artificial reefs), protection procedures (marine reserves, National Parks) and existing legislation.

### 1. INTRODUCTION

Le littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (départements des Alpes Maritimes, Monaco inclus, du Var et des Bouches du Rhône) présente un linéaire de 763 km de côte (mesuré au curvimètre sur des cartes au 1/25 000<sup>e</sup>). La côte est rocheuse à l'Est (de Menton à Port-de-Bouc : 656 km) et sableuse à l'Ouest (de Port-de-Bouc aux Saintes-Maries de la Mer : 107 km), zone correspondant à l'épandage des alluvions du Rhône.

Devant les côtes rocheuses de l'Est, le plateau continental est étroit : les fonds compris entre 0 et 20 m de profondeur ne représentent qu'environ 31 500 ha; en revanche, à l'Ouest, devant les côtes sableuses, le plateau continental est plus étendu, et ces petits fonds couvrent environ 34 000 ha. Ce littoral est caractérisé par une forte urbanisation et une activité économique à dominante industrielle (pétrolio-chimie, sidérurgie, agro-alimentaire, construction et réparation navales), commerciale (transit par les ports de Marseille-Fos, Toulon et Nice) et touristique. La pêche professionnelle occupe près de 2000 personnes (marins et patrons embarqués), dont une forte proportion de "petits métiers" (Office Régional de la Mer, 1984). Les plus grandes agglomérations (banlieues incluses) sont établies le long de la côte rocheuse : Marseille (1 100 000 habitants), Nice (440 000), Toulon (390 000), ainsi que de nombreuses villes moyennes très touristiques (Cannes, Monaco, Antibes, Fréjus, Hyères, Saint-Tropez, etc). La population sédentaire des trois départements littoraux est de 3 100 000 habitants, mais celle-ci peut doubler en période estivale (Office Régional de la Mer, 1984).

### 2. AMENAGEMENT DU LITTORAL ET IMPACTS SUR LE MILIEU NATUREL

De nombreux aménagements ont été réalisés le long de la côte Provence-Alpes-Côte d'Azur; on dénombre 189 ouvrages gagnés sur la mer : ports de plaisance, ports de commerce, terre-pleins (parkings, surfaces d'habitation, aéroport), plages alvéolaires (Fig. 1). Ces aménagements représentent 3 310 ha et ont entraîné de profondes dégradations du domaine maritime; en effet, les zones recouvertes sont détruites totalement et de façon irréversible; les plans d'eau portuaires sont plus ou moins profondément dégradés par la pollution et l'envasement; la surface des petits fonds étant peu importante (Tabl. I), chaque ouvrage gagné sur la mer réduit de façon notable la zone où la vie marine benthique est la plus développée. Des calculs de surface, réalisés sur plus de 250 cartes et plans (Meinesz & Lefevre, 1978; Meinesz et al., 1982; Meinesz, Astier et al., 1981), ont montré que 14.5 % des petits fonds situés entre 0 et - 10 m, le long de la côte rocheuse, ont été recouverts (Tabl. I).

Certains types d'aménagements provoquent également des dégradations périphériques, plus difficiles à évaluer et rarement prises en compte : diffusion des eaux polluées à partir des plans d'eau portuaires, modifications hydrodynamiques et sédimentaires induites par les ouvrages (Bellesort, 1984; Jeudy de Grissac, 1979). Par ailleurs, la grande capacité d'accueil de bateaux de plaisance de la région (135 ports, 42 000 places, 181 000 immatriculations, soit 28 % de la flotte françaises : Office Régional de la Mer, 1984), et l'afflux saisonnier de bateaux de passage (immatriculés dans d'autres régions ou pays) entraîne une surfréquentation des rares zones non aménagées où le mouillage est possible ("mouillages forains" : Porcher & Jeudy de Grissac, 1985); dans ces zones, l'action mécanique des systèmes d'ancrage des bateaux (ancres, chaînes, corps morts) détruit les herbiers à *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile (Robert, 1983; Porcher, 1984).

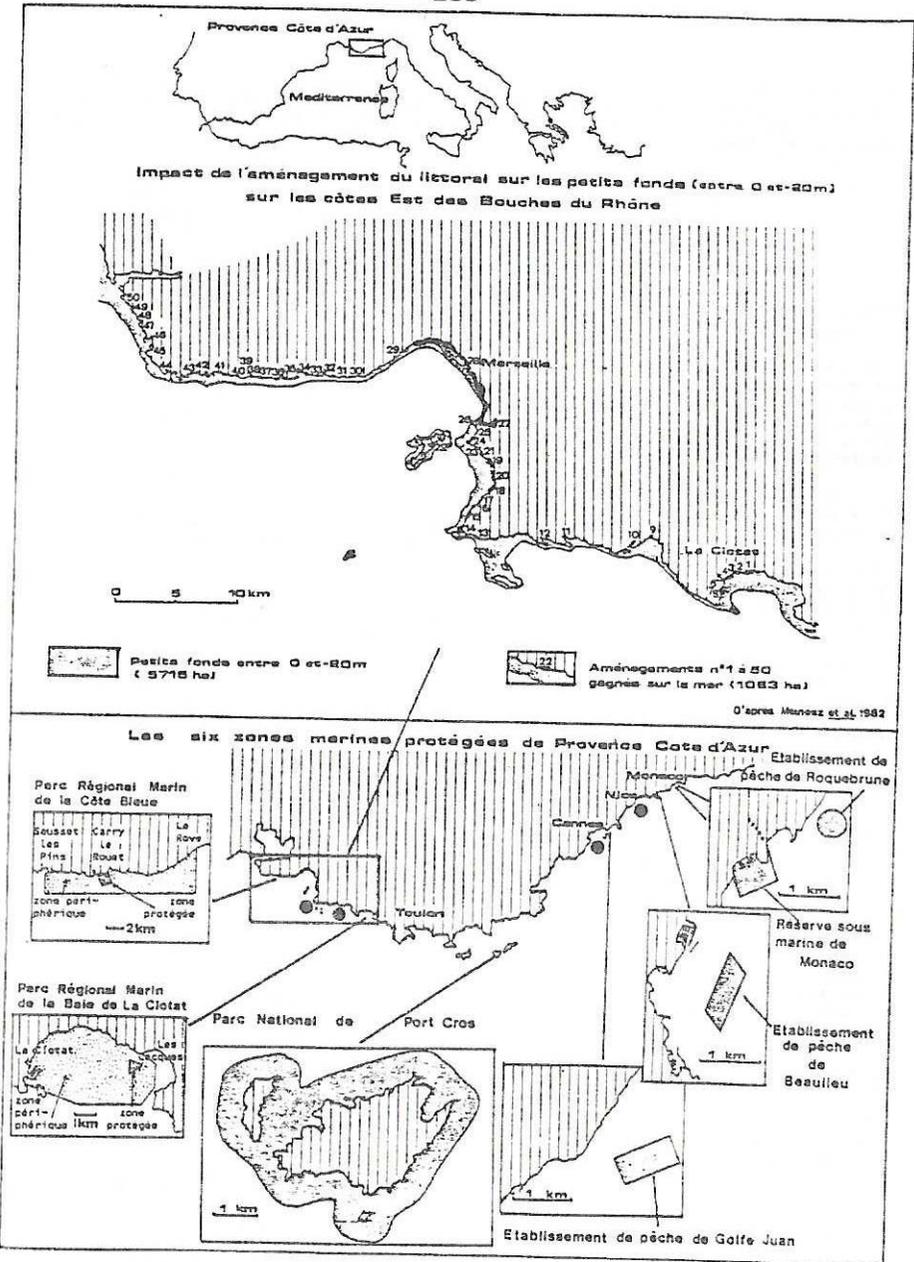


Fig. 1. En haut : Localisation des aménagements (N°1 à 50) gagnés sur la mer, entre Martigues et La Ciotat, Bouches du Rhône (d'après Meinesz et al., 1982). En bas : Localisation des sept zones marines protégées en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur; cercles pleins : projets de zones marines protégées; deux projets situés en Camargue (à l'Ouest du secteur représenté) ne figurent pas ici (d'après Office Régional de la Mer, 1984). Above : Localization of sea-bottom areas covered by nearly irreversible encroachments (Nr 1 to 50), between Martigues and La Ciotat, Bouches-du-Rhône (after Meinesz et al., 1982). Below : Localization of the 7 protected areas of the Provence-Alpes-Côte d'Azur region; solid circles : protected areas still only in the planning stage (after Office Régional de la Mer, 1984).

Tabl. I : Caractéristiques du littoral et des aménagements du littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Monaco inclus). D'après Meinesz et al. (1984). Coastal area characteristics and artificial structures in the Provence-Alpes-Côte d'Azur region (including Monaco). After Meinesz et al. (1984).

	Côtes des Alpes-Maritimes et de Monaco	Côtes du Var	Côtes des Bouches-du-Rhône	TOTAL PARTIEL		TOTAL GENERAL
			Est (côtes rocheuses)	Ouest (côtes sableuses)	Alpes-Maritimes, Var et côtes rocheuses des B.d.R.	Alpes-Maritimes, Var et Bouches-du-Rhône
Linéaire initial du rivage (en km)	119 km	362 km	175 km	107 km	656 km	763 km
Nombre et surface des aménagements (plans d'eau, digues et terre-pleins) sur le domaine maritime						
- Ports-abris d'une surface inférieure à 2 ha	16 13.66 ha	33 18.16 ha	20 12.56 ha	0	69 44.38 ha	69 44.38 ha
- Ports de plaisance ou de commerce d'une surface > 2 ha	22 294.09 ha	29 307.35 ha	14 167.63 ha	1 7.18 ha	65 769.07 ha	66 776.25 ha
- Digués ou terre-pleins isolés	7 18.23 ha	7 22.75 ha	7 2.01 ha	2 4.20 ha	21 819.24 ha	23 823.44 ha
- Plages alvéolaires	12 63.26 ha	7 52.98 ha	6 70.77 ha	0	25 187.01 ha	25 187.01 ha
- Bassins de décantation	0	0	2 4.39 ha	0	2 4.39	2 4.39 ha
- Grands ouvrages > 100 ha	1 231.75 ha (aéroport de Nice)	1 953.34 ha (ports de Toulon et La Seyne)	1 826.41 ha (Ports de Marseille)	1 240.97 ha (port de Fos)	3 2019.50 ha	4 2252.47 ha
<b>TOTAL</b>						
- Nombre d'ouvrages	58	77	50	4	185	189
- Surface totale occupée, dont :	619.47 ha	1354.58 ha	1083.77 ha	252.35	3057.82 ha	3310.17 ha
. plans d'eau	227.83 ha	924.41 ha	558.28 ha	80.69 ha	1710.52 ha	1791.21 ha
. terre-pleins	391.64 ha	430.17 ha	525.49 ha	171.66 ha	1347.30 ha	1518.96 ha
- Linéaire occupé	28.02 km	41.97 km	36.35 km	9.16 km	106.34 km	115.50 km
<b>TAUX D'OCCUPATION des surfaces sous-marines entre</b>						
. 0 et -10 m	18.30 %	10.20 %	26.30 %	1.68 %	14.52 %	8.13 %
. -10 et -20 m	2.18 %	3.53 %	13.06 %	0	5.23 %	2.41 %
. 0 et -20 m	11.62 %	6.63 %	18.96 %	0.74 %	9.71 %	5.05 %
- du linéaire de rivage	23.52 %	11.58 %	20.80 %	8.57 %	16.21 %	15.14 %

L'aménagement du domaine maritime dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, par son ampleur et son irréversibilité, doit être considéré comme la principale cause de dégradation du milieu marin. La plupart de ces aménagements ont été réalisés entre 1965 et 1978; les dernières constructions sur la mer ont induit des conflits entre les divers utilisateurs de la mer, de telle sorte que la situation semble se stabiliser actuellement. Des solutions alternatives à la construction ou à l'agrandissement des ports, par exemple le stockage à terre des bateaux de plaisance, existent (S.E.A.T.L., 1981) et commencent à être utilisées.

Jusqu'en 1970, la totalité des eaux usées (urbaines et industrielles) étaient rejetées à la mer sans traitement. Depuis lors, un effort très important a été accompli par les collectivités locales (Tabl. II), de façon à offrir une eau de baignade répondant aux normes européennes (Conseil de la Communauté Economique Européenne, 1975) : mise en place d'émissaires rejetant en profondeur (-100 m à Nice), construction de stations d'épuration, lagunage (Manche, 1984); ce plan d'assainissement du littoral (P.A.L.) devrait aboutir, en 1990, à l'épuration (par différentes techniques de traitement) de toutes les eaux rejetées à la mer (Office Régional de la Mer, 1984).

Tabl. II : Le plan d'assainissement du littoral en région Provence-Alpes-Côte d'Azur : localisation des opérations d'assainissement et des rejets en mer, en mars 1983 (d'après Office Régional de la Mer, 1984). S = stations d'épuration, A = agrandissement de stations existantes, R = Rejets en mer (émissaires).

Département	Localité	En projet	En cours	Réalisé
Var	Saintes-Maries de la Mer			S
	Martigues-Carro			S
	Carry-Sausset	AR		
	Bouches du Rhône			
	Marseille		S	A
	Cassis			
	La Ciotat	SR		S
	Saint-Cyr	SR		
	Bandol-Sanary		S	R
	Toulon-Ouest	S		
Alpes-Maritimes	Toulon-Est			SR
	Hyères	A		
	La Londe			
	Bormes-Le Lavandou	R	A	S
	Lavandou-Rayol	S		
	Ramatuelle			SR
	Saint-Tropez	A		
	Sainte-Maxime			SR
	Fréjus-Saint-Raphaël			SR
	Cannes	A		
Alpes-Maritimes	Antibes	S		
	Cagnes-sur-Mer			R
	Rive droite du Var		AR	
	Nice		S	S
	Villefranche-sur-Mer			R
	Menton	S		

### 3. CONNAISSANCE DU MILIEU MARIN

Nous ne mentionnerons pas ici la totalité des travaux relatifs à la connaissance des milieux naturels dans la région (800 références répertoriées in Bellan, Office Régional de la Mer, 1984). Les peuplements les plus productifs (production primaire et secondaire) sont les peuplements photophiles de substrat dur à grandes algues brunes du genre *Cystoseira* (Bellan-Santini, 1969; Boudouresque, 1969), mais surtout l'herbier à *Posidonia oceanica* (Phanérogame marine). Une part importante de ces travaux a été réalisée dans les eaux du Parc national de Port-Cros (Augier & Boudouresque, 1973, 1976).

*Posidonia oceanica* constitue des herbiers extrêmement denses, entre la surface et 30-40 m de profondeur, sur substrat dur mais surtout sur substrat meuble (Boudouresque et al., 1977, 1979, 1980). Ces herbiers ont gravement régressé, aux alentours des grandes agglomérations, mais aussi en des points apparemment éloignés des sources de pollution : remontée de la limite inférieure, de -35 m à -25 m (Meinesz & Laurent, 1978) par suite de l'augmentation de la turbidité des eaux, destruction des herbiers superficiels par les aménagements (Astier, 1972; Meinesz et al., 1984; Meinesz & Boudouresque, 1982) et la navigation de plaisance (Boudouresque et al., 1975; Moreteau, 1981; Porcher, 1984). On estime à 25 000 ha la surface actuelle des herbiers à *P. oceanica* dans la région.

La cartographie, qui constitue un outil de premier plan pour la connaissance, la gestion et la protection des fonds marins, a fait l'objet de nombreuses recherches méthodologiques (Meinesz, Cuvelier et al., 1981; Meinesz, Boudouresque et al., 1983; Lefevre et al., 1984, 1985).

### 4. PRESERVATION ET AMENAGEMENT DU MILIEU NATUREL

La création du Parc National de Port-Cros, en 1963, a concrétisé la mise en place d'une protection du milieu marin. En 1969, à Beaulieu-sur-Mer, une réserve sous-marine expérimentale de petite surface est créée (Lafaurie & Meinesz, 1974). En 1976, la réserve sous-marine de Monaco est créée (De Bernardi, 1981). En 1980, l'établissement de pêche de Golfe-Juan, en 1981 celui de Beaulieu-sur-Mer, puis en 1982 celui de Menton, sont concédés aux pêcheurs professionnels et interdits à la pêche, à la plongée, et au mouillage (Lefevre et al., 1982). En 1983, création de l'établissement de pêche de la Côte Bleue et, en 1984, création des Parcs Régionaux Marins de la Côte Bleue et de la Baie de La Ciotat (Fig. 1). En 1985, création de l'établissement de pêche de La Ciotat.

Il est important de souligner que les mises en place de Parcs Régionaux Marins s'appuient sur une décision unanime du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur de créer, pour la première fois sur le littoral français, un Parc National Régional Marin, à l'image des 21 Parcs Naturels Régionaux terrestres existant actuellement sur le territoire français.

Le statut de ces zones protégées et leurs objectifs, leur financement, les travaux qui y ont été réalisés sont très variables (Meinesz, Lefevre et al., 1983). En particulier, le rôle du Parc National de Port-Cros dépasse très largement ses limites géographiques et la simple protection de la zone marine qui y est incluse : (i) sensibilisation du public visiteur (sentier sous-marin, visites guidées), (ii) animation régionale (édition de documents de vulgarisation, expositions fixes ou itinérantes, accueil d'élèves dans des "classes de mer"), (iii) programmes de recherches coordonnés avec ceux des autres espaces protégés, destinés à fournir des outils de décision pour la gestion des espaces littoraux, (iv) laboratoire naturel pour des recherches qui seraient difficilement réalisables ailleurs.

Au cours de ces quinze dernières années, la population de pêcheurs professionnels pratiquant les "petits métiers" dans les Alpes-Maritimes a diminué de moitié. Cette diminution est vraisemblablement la conséquence des effets cumulés (i) de la surpêche (Meinesz, Lefevre et al., 1983) : modernisation de la flotille de pêche professionnelle (les barques traditionnelles ont été équipées de moteurs diesel, de treuils et de filets en nylon) et croissance de la pêche amateur (pêche sous-marine et pêche de plaisance); (ii) de la réduction des zones de pêche par l'aménagement du littoral; (iii) il faut ajouter une composante sociologique importante qui concerne les difficultés du métier de pêcheur professionnel, qui ne favorisent pas l'accès des jeunes; toutefois, les nouvelles lois de décentralisation et de régionalisation ont permis, en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la création récente de 124 nouvelles entreprises artisanales de pêche.

Dans ce contexte, l'aménagement de petites réserves et d'un Parc Naturel Régional Marin par la mise en place de récifs artificiels (Lamare et al., 1985; Lefevre et al., 1982; Duclerc et al., 1985) sur notre littoral répond à des motivations d'ordre socio-économique ou halieutique, visant essentiellement à maintenir, voire à favoriser la pratique de la petite pêche littorale. Les programmes d'aménagement actuellement en cours bénéficient de la participation financière de la Communauté Européenne, du Conseil Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur et des départements littoraux concernés. Mentionnons également des tentatives de reconquête des fonds marins dégradés par transplantation de phanérogames marines (Jeudy de Grissac, 1984).

### 5. CONCLUSION

Le milieu marin littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur a subi pendant une longue période (essentiellement jusqu'à 1975) de multiples dégradations parmi lesquelles on peut citer principalement (i) la destruction irréversible par recouvrement de 10 % des petits fonds (entre 0 et - 20 m) par les 189 aménagements gagnés sur la mer; (ii) La dégradation des fonds au voisinage des rejets urbains non épurés et la remontée générale de la végétation sous-marine par l'augmentation de la turbidité des eaux littorales et (iii) la surpêche par modernisation de la flotille de pêche professionnelle et la diversification de la pêche amateur. Actuellement, on assiste à une réduction de ces dégradations avec un ralentissement très net des aménagements sur la mer et la mise en place d'un programme important d'assainissement des eaux usées de tout le littoral. Parallèlement, se développe un effort de gestion et de valorisation du domaine maritime par l'aménagement, au moyen de récifs artificiels, de zones marines protégées.

BIBLIOGRAPHIE

ASTIER J.M., 1972. Régression de l'herbier de Posidonies en Rade des Vignettes à Toulon. Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var, Fr., 24 : 97-103.

AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1973. Dix ans de recherches dans la zone marine du Parc National de Port-Cros (France). Première partie. Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var, Fr., 25 : 119-138.

AUGIER H., BOUDOURESQUE C.F., 1976. Dix ans de recherches dans la zone marine du Parc National de Port-Cros (France). Quatrième partie. Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var, Fr., 28 : 119-173.

BELLAN G., 1984. Répertoire et synthèse des travaux scientifiques sur le milieu marin de la Région Provence, Alpes, Côte d'Azur. Office Régional de la Mer. Contrats Conseil Régional PACA 82/2030, 83/1856 : 1-206.

BELLAN-SANTINI D., 1969. Contribution à l'étude des peuplements infralittoraux sur substrats rocheux (étude qualitative et quantitative de la frange supérieure). Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, Fr., 47 (63) : 1-294.

BELLESORT B., 1984. Le littoral français. Vue d'ensemble sur les impacts des différents types d'aménagements. Principes d'aménagement. Soc. hydrotechn. Fr., Journ. Hydraul., 18 (V, 2) : 1-10.

BOUDOURESQUE C.F., 1969. Etude qualitative et quantitative d'un peuplement algal à *Cystoseira mediterranea* dans la région de Banyuls sur Mer (P.O.). Vie Milieu, Fr., 28 (2B) : 437-452.

BOUDOURESQUE C.F., AUGIER H., BELSHER T., COPPEJANS E., PERRET M., 1975. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). X : La régression du récif-barrière de Posidonies. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 1 : 41-46.

BOUDOURESQUE C.F., GIRAUD G., PERRET M., 1977. *Posidonia oceanica*. Bibliographie. CNEXO et Université d'Aix-Marseille II- Luminy, Doc. offset : 1-191.

BOUDOURESQUE C.F., GIRAUD G., PERRET-BOUDOURESQUE M., 1979. Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica*. Part I. Excerpta botanica, Germ., 19 (2B) : 145-161.

BOUDOURESQUE C.F., GIRAUD G., PERRET-BOUDOURESQUE M., 1980. Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica*. Part II. Excerpta botanica, Germ., 20 (2B) : 125-135.

BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., 1982. Découverte de l'herbier de posidonie. Cah. Parc nation. Port-Cros, Fr., 4 : 1-79.

CONSEIL DE LA COMMUNAUTE ECONOMIQUE EUROPEENNE, 1975. Directive du 8 décembre 1975 concernant la qualité des eaux de baignade.

DE BERNARDI E., 1981. Réserve sous-marine de Monaco. Note sur les récifs artificiels. C.G.P.M., Etude et Revues, 58 : 339-341.

DUCLERC J., LEFEVRE J.R., HARDY L., 1985. Les récifs artificiels : une technique de gestion et d'aménagement de l'espace littoral marin. Coll. sci. pluridiscipl. franco-japonais Océanogr., Fr., 4 : ce volume.

JEUDY DE GRISSAC A., 1979. Impact des aménagements littoraux. Installations portuaires, plages artificielles. Quelques exemples provençaux. C.N.E.X.O., contrat n° 78/4104, Fr. : 1-46.

JEUDY DE GRISSAC A., 1984. Essais d'implantations d'espèces végétales marines : les espèces pionnières. International Workshop on Posidonia oceanica beds, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A. & OLIVIER J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 431-436.

LAFURIE M., MEINESZ A., 1974. Création d'un parc sous-marin de repeuplement expérimental (Beaulieu-sur-Mer, Alpes-Maritimes - France). Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit., Monaco, 22 (6) : 103-105.

LAMARE J.P., SIRE A., HARDY L., 1985. Stratégies et programmes d'aménagements de la bande côtière en Méditerranée française occidentale. Coll. sci. pluridiscipl. franco-japonais Océanogr., Fr., 4 : ce volume.

LEFEVRE J.R., DUCLERC J., MEINESZ A., RAGAZZI M., 1982. Les récifs artificiels des établissements de pêche de Golfe-Juan et de Beaulieu-sur-Mer, Alpes-Maritimes, France. Journ. Et. Récifs artificiels Maricult. suspendue, Cannes, GIESM édit., Monaco : 109-111.

LEFEVRE J.R., DUVAL C., RAGAZZI M., DUCLERC J., 1984. Récifs artificiels : analyse bibliographique. Rapport Institut Français Recherches Exploitation de la Mer : 1- 247.

LEFEVRE J.R., MEINESZ A., GLOUX B., 1985. Comparaison de trois méthodes de cartographie. Rapp. P.V. Réun. Commiss. internation. Explor. sci. Médit., Monaco : sous presse.

LEFEVRE J.R., VALERIO C., MEINESZ A., 1984. Optimisation de la technique de la photographie aérienne pour la cartographie des herbiers à Posidonies. International Workshop on Posidonia oceanica beds, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A. & OLIVIER J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 49-55.

MANCHE A., 1984. Traitement des eaux usées en zone méditerranéenne : des solutions alternatives au "tout à la mer". Vie Nat. Environm., Fr., 33-34 : 5-12.

MEINESZ A., ASTIER J.M., BODOY A., CRISTIANI G., LEFEVRE J.R., 1982. Impact de l'aménagement du domaine maritime sur l'étage infralittoral des Bouches du Rhône (France - Méditerranée occidentale). Vie Milieu, Fr., 32 (2) : 115-124.

MEINESZ A., ASTIER J.M., LEFEVRE J.R., 1981. Impact de l'aménagement du domaine maritime sur l'étage infralittoral du Var (France, Méditerranée occidentale). Ann. Inst. océanogr., Fr., 57 (2) : 65-77.

MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., FALCONETTI C., ASTIER J.M., BAY D., BLANC J.J., BOURCIER M., CINELLI F., CIRIK S., CRISTIANI G., DI GERONIMO I., GIACCONO G., HARMELIN J.G., LAUBIER L., LOVRIC A.Z., MOLINIER R., SOYER J., VAMVAKAS C., 1983. Normalisation des symboles pour la représentation et la cartographie des biocénoses benthiques littorales de Méditerranée. Ann. Inst. océanogr., Fr., 59 (2) : 155-172.

MEINESZ A., CUVELIER M., LAURENT R., 1981. Méthodes récentes de cartographie et de surveillance des herbiers de Phanérogames marines. Leurs applications sur les côtes françaises de la Méditerranée. Vie Milieu, Fr., 31 (1) : 27-34.

MEINESZ A., LAURENT R., 1978. Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes (France) - Campagne Poseidon 1976. Botanica marina, Germ., 21 (8) : 513-526.

MEINESZ A., LEFEVRE J.R., 1978. Destruction de l'étage infralittoral des Alpes-Maritimes (France) et de Monaco par les restructurations du rivages. Bull. Ecol., Fr., 9 (3) : 259-276.

MEINESZ A., LEFEVRE J.R., ASTIER J.M., 1984. Inventaire, surfaces et linéaires des aménagements sur le domaine maritime de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur et leurs impacts sur l'étage infralittoral situé entre 0 et - 20 m. Rapport Direction Régionale Architecture Environnement Région Provence Alpes Côte d'Azur, Aix-en-Provence, Fr. : 1-23, 19 tabl., 5 cartes.

MEINESZ A., LEFEVRE J.R., BEURIER J.P., BOUDOURESQUE C.F., MINICONI R., O'NEIL J., 1983. Les zones marines protégées des côtes françaises de la Méditerranée. Bull. Ecol., Fr., 14 (1) : 35-50.

MORETEAU J.C., 1981. La navigation de plaisance dans le Parc National de Port-Cros. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 7 : 11-24.

OFFICE REGIONAL DE LA MER, 1984. Programmes intégrés méditerranéens, enquête préliminaire. Enquête sur l'aménagement des zones marines protégées en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Commission des Communautés Européennes, Secrétariat d'Etat à la Mer et Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

PORCHER M., 1984. Impact des mouillages forains sur les herbiers à *Posidonia oceanica*. International Workshop on Posidonia oceanica beds, BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A. & OLIVIER J. édit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 145-148.

PORCHER M., JEUDY DE GRISSAC A., 1985. Inventaire des mouillages forains autour de l'île de Porquerolles (Var, France). Posid. Newsletter, Fr., 1 (1) : 23-30.

ROBERT P., 1983. Dégradation de l'herbier de Posidonies dans la zone de mouillage organisé de la baie de Port-Cros. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 9 : 195-197.

S.E.A.T.L., 1981. Les équipements légers pour la plaisance. Service d'Etude et d'Aménagement touristique du littoral, Paris, Fr. : 1-125.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE  
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 1 : Océanographie physique et dynamique sédimentaire

Rôles des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements  
des sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica*

*Effects of seagrass meadows on coastal movement of sediments:  
mediterranean Posidonia oceanica beds*

Alain JEUDY DE GRISSAC<sup>1</sup> et Charles-François BOUDOURESQUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup> GROUPEMENT INTERET SCIENTIFIQUE POSIDONIE, FACULTE DES SCIENCES DE LUMINY  
13288 MARSEILLE CEDEX 9

<sup>2</sup> LABORATOIRE D'ECOLOGIE DU BENTHOS ET DE BIOLOGIE VEGETALE MARINE, FACULTE DES SCIENCES  
DE LUMINY, 13288 MARSEILLE CEDEX 9

RESUME :

La végétation occupant les fonds marins a un effet modérateur sur les mouvements des sédiments côtiers. Parmi les herbiers de phanérogames marines, ce sont ceux à *Posidonia oceanica* qui jouent le rôle le plus important en Méditerranée : freinage des courants par les feuilles, dépôt et piégeage du sédiment entre les rhizomes, édification d'une "matte" (lacis des rhizomes et des racines + le sédiment qui occupe les interstices) croissant lentement vers la surface, stockage d'un important volant de matériel sédimentaire, amortissement des houles par la structure souple que constitue l'association de la matte et des feuilles. Le long des littoraux sableux, la présence, la structure et l'état des herbiers à *Posidonia oceanica* contrôle la position et la stabilité de la ligne de rivage.

ABSTRACT :

The covering of Mediterranean sea-bottoms by *Posidonia oceanica* affects coastal movement of sediments by different means : current attenuation by leaves, trapping and binding of sediment between the rhizomes, construction of submarine terraces called "mattes" (the network of rhizomes and roots together with the sediment clogging the interstices) rising slowly towards the sea surface, storage of an important quantity of sediment, canalization of currents and sediments flux within channels of various types, attenuation of swell by the association leaves-matte. The exact position of sandy shoreline is closely related to the presence, structure and state of decline of *Posidonia oceanica* beds.

## 1. INTRODUCTION

Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile comporte une partie épigée, les feuilles, et une partie souterraine, les rhizomes et les racines. Les rhizomes ont la possibilité de croître soit horizontalement (rhizomes plagiotropes), soit verticalement (rhizomes orthotropes) et sont peu putrescibles après leur mort; l'ensemble des rhizomes et des racines, morts et vivants, et du sédiment qui colmate les interstices, est nommé "matte"; dans certaines conditions, l'épaisseur de la matte augmente au cours du temps (au moins 8 m d'épaisseur dans la Baie d'Hyères, Var, France) et l'herbier à P. oceanica se rapproche lentement de la surface de la mer (Molinier & Picard, 1952; Pérès et Picard, 1964; Boudouresque & Meinesz, 1982). L'édification de la matte correspond à un équilibre précis entre croissance des rhizomes et sédimentation (Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983). Les effets de la dynamique marine se marquent par des structures sédimentaires interrompant l'herbier : chenaux, intermattes érosives, lobes d'accrétion (Blanc, 1958; Clairefond & Jeudy de Grissac, 1979; Boudouresque et al., 1980; Blanc & Jeudy de Grissac, 1984).

## 2. L'AMORTISSEMENT DES COURANTS

Les feuilles de Posidonia oceanica et les épiphytes qu'elles portent ont un effet de freinage sur les courants. Elles favorisent ainsi le dépôt des particules sédimentaires transportées (Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983).

En laboratoire, des mesures de l'amortissement des courants ont été effectuées par la société hollandaise ICI (Laboratoire de Delft); en bassin d'essai, avec des lanières souples (composé de synthèse) de 90 cm de hauteur et de 1,5 cm de largeur (imitant les feuilles de P. oceanica et dénommées "algues synthétiques"), on constate que l'amortissement de la vitesse du courant est de 30 à 40 % à mi-hauteur des lanières par rapport à la vitesse mesurée latéralement ou dans la colonne d'eau sus-jacente. En milieu marin, les premières mesures réalisées par plongeur, dans un herbier à P. oceanica, à l'aide d'un courantomètre portable, donnent des valeurs similaires (Jeudy de Grissac, données inédites).

## 3. LE DEPOT ET LE PIEGEAGE DU SEDIMENT

Le dépôt des particules sédimentaires et leur maintien sur place a pu être approché lors de deux expériences réalisées en milieu marin. Des tapis de 10 m x 4 m portant des faisceaux de lanières souples (du même type que celles décrites plus haut; matériel ICI) ont été mis en place aux Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône, France), sur un fond sableux ne comportant pas de couverture végétale. Le sédiment, de diamètre moyen (0,2 mm), se dépose sur le tapis en formant un dôme pouvant atteindre 20 cm de hauteur.

Dans la baie de Port Cros (Var, France), la mise en place de pièges à sédiment (tubes de PVC de 3 cm de diamètre), dont l'ouverture se situe à 5 et 25 cm au dessus du fond, montre paradoxalement une sédimentation moins forte dans l'herbier à P. oceanica que dans les autres types de fonds (Tabl. I); en fait, si l'herbier piège le sédiment en transit, il le retient mieux que les fonds meubles (remise en mouvement lors des tempêtes), de telle sorte que les pièges situés au coeur d'un herbier

dense, loin de ses marges, ont moins bénéficié de la remise en suspension du sédiment par l'hydrodynamisme hivernal que les pièges situés sur substrat meuble.

Tabl. I : Sédimentation en g/cm<sup>2</sup> dans des pièges à sédiment situés dans la baie de Port-Cros (Var, France), dans un lagon situé en arrière d'un récif-barrière à P. oceanica, dans l'herbier à P. oceanica (récif-barrière émergeant et herbier non émergeant; secteurs éloignés des marges de l'herbier) et dans une intermatte sableuse (septembre à mai).

Hauteur du piège au dessus du fond (en cm)	5		25	
	Type de fond	Profondeur (en m)	Poids de sédiment (en g/cm <sup>2</sup> )	
Lagon	0,5	0,5 à 1,5	0,2 à 0,9	
Herbier émergeant (récif-barrière)	0,5	0,5	0,2	
Herbier non émergeant	1,5	0,5	0,2	
Intermatte sableuse	3,5	0,8	0,3	

## 4. LE PIEGEAGE DU SEDIMENT DANS LES RHIZOMES

Le piégeage du sédiment s'effectue dans le lacis des rhizomes. Les volumes respectifs de sédiment et de restes végétaux issus de Posidonia oceanica (rhizomes, écailles portées par les rhizomes, racines) varient d'une station à l'autre; selon Harmelin (1964) et Nesteroff (1965), le sédiment représente entre 10 et 50 % du volume. Nous avons pour notre part mesuré un volume moyen du sédiment 37 % dans la baie de Port-Cros et dans la baie de Port-Man (Var, France), et de 50 % dans la baie d'Elbu (Corse), avec des valeurs extrêmes comprises entre 20 et 60 %.

### Caractéristiques granulométriques du sédiment

Après élimination des restes de Posidonia oceanica (rhizomes, écailles et racines), le sédiment des mattes présente une très faible teneur en pélites et en sables fins dans la baie d'Elbu (Corse), site ouvert et exposé aux houles du large (Tabl. II); en revanche, dans des sites beaucoup plus abrités de la côte varoise, les pélites constituent une large part du sédiment (en poids) : 23 % en moyenne dans les baies d'Hyères et de Giens (Jeudy de Grissac, 1975), 38% dans les baies de Port-Cros et de Port-Man.

Tabl. II : Pourcentages moyens des différentes fractions granulométriques (en poids) dans le sédiment de la matte de l'herbier à P. oceanica, dans les baies de Port-Cros et Port-Man (Var) et d'Elbu (Corse).

Fraction	Diamètre en mm	Port-Cros-Port-Man		Elbu
Sable grossier	> 2,00	3,5		68,0
Sable moyen	2,00 à 0,50	15,5		28,2
Sable fin	0,50 à 0,063	43,0		3,1
Pélites	< 0,063	38,0		0,7

### Nature du sédiment : allochtone et autochtone

Le sédiment des mattes est allochtone d'origine terrigène ou biogène autochtone. La comparaison de l'évolution, avec la profondeur, de la teneur en carbonate de calcium du sédiment dans des sites du littoral

varois où les apports terrigènes ne comportent que peu de carbonates (10 % environ), la baie de Fréjus (Nord et Sud) et les rades d'Hyères et de Giens permet d'apprécier le rôle de l'herbier sur la production biogène de sédiment (Fig. 1); les fonds ne comportent pas (Fréjus Nord) ou peu de végétation (Fréjus Sud : prairies à *Cymodocea nodosa* Ascheron entre 3 et 12 m) ou sont occupés par de vastes herbiers *Posidonia oceanica* (Giens, Hyères). Dans tous les cas, la présence de végétation se marque par un accroissement du taux de carbonate de calcium localisé (50 % vers 10 m à Fréjus Sud) ou progressif avec la profondeur (Hyères - Giens) (Boudouresque & Jeudy de Grissac, 1983).

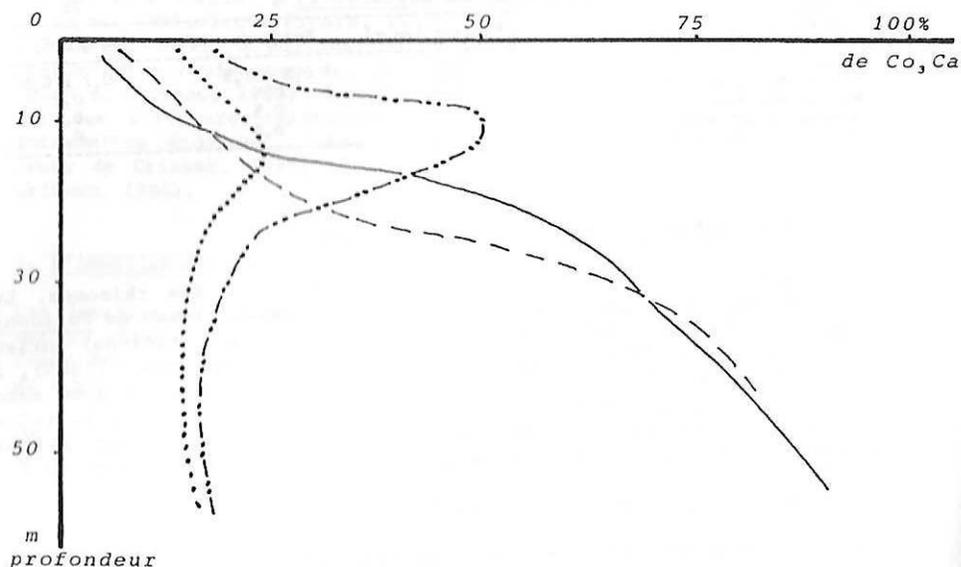


Figure 1 : Evolution, en fonction de la profondeur, de la teneur du sédiment en phase carbonatée, en présence d'un herbier à *Posidonia oceanica* (uniforme — = Hyères; perturbé - - - = Giens), d'un herbier de *Cymodocea nodosa* (..-.- = Fréjus Sud) et en l'absence d'herbier (..... = Fréjus Nord).

Dans les rades d'Hyères et de Giens, l'analyse des débris biogènes du sédiment (Jeudy de Grissac, 1975) pour quatre grands types de fonds, selon la méthode de Masse (1970), et la comparaison avec d'autres types d'herbiers (Masse, 1983), met en évidence (Tabl. III) la spécificité des Herbiers à *P. oceanica*, notamment la dominance de trois éléments, Bivalves, Gastéropodes et Foraminifères (qui justifient la teneur moyenne en CO<sub>2</sub>Ca de 54 %), et par ailleurs l'importante teneur en pélites.

Le maintien sur place des particules fines

Sur les mêmes sites que ci-dessus (Fréjus, Hyères et Giens), la comparaison de la teneur en pélites (particules inférieures à 0,063 mm) des sédiments (Fig. 2) montre qu'au littoral (Hyères) et entre 10 et 30 m (Giens), la présence de l'herbier à *P. oceanica* assure le maintien sur place des pélites. Dans la baie de Fréjus, en revanche, en l'absence d'herbiers à *P. oceanica*, la teneur en pelites croît du littoral vers

le large. Dans les herbiers à *P. oceanica*, cette teneur en pelites peut varier selon la profondeur, l'exposition du site (Tabl. II) et la densité de l'herbier (Tabl. II).

Tableau III : Constitution des sédiments des baies d'Hyères et de Giens, en pourcentages du poids total (d'après Jeudy de Grissac, 1975). Valeurs extrêmes et, entre parenthèses, moyennes. (GA = gastéropodes; BI = bivalves; DC = débris calcifiés; FO = foraminifères; DT = débris terrigènes; >63µm = % de pélites; CARB = teneur en carbonate de calcium).

Types de fonds	GA	BI	DC	FO	DT	>63µm	CARB
Sables fins du prisme littoral 0-20(13)		0-20(8)	0-10(2)	0-5(2)	70-80(75)	0-10(4)	0-10(7)
Herbiers à <i>P. oceanica</i>	25-45(32)	10-25(17)	5-25(14)	10-45(17)	0-20(17)	10-50(23)	35-70(54)
Chenaux intermattes	(35)	(10)	(20)	(25)	(5)	(15)	(65)
Détritique côtier	5-25(13)	0-10(5)	20-60(40)	5-25(13)	0-15(8)	0-15(7)	70-100(78)

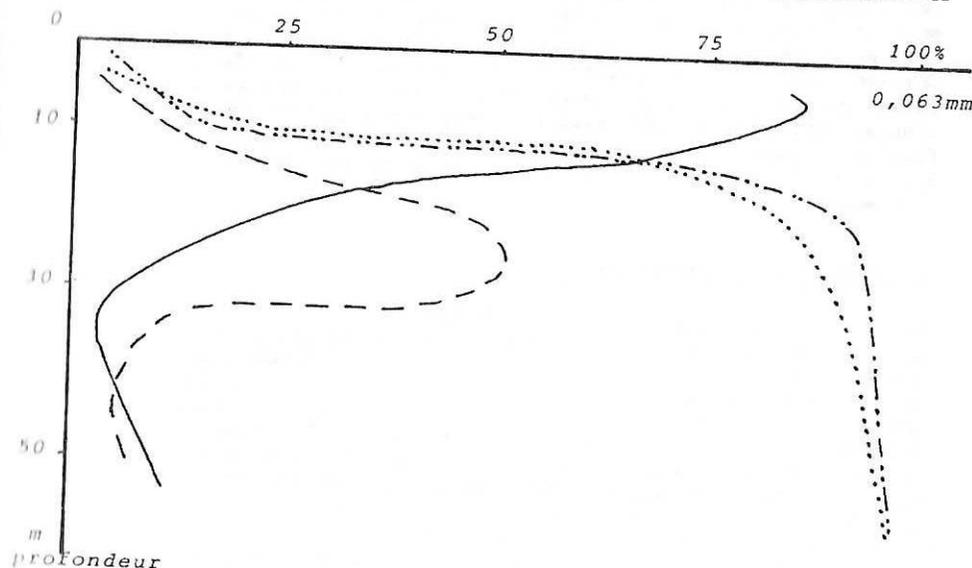


Figure 2 : Evolution de la teneur en pélites (fraction inférieure à 0,063 mm), en fonction de la profondeur, en présence (— = Hyères; - - - = Giens) et en l'absence (..... = Fréjus Nord; ..-.- = Fréjus Sud) d'un herbier à *Posidonia oceanica*.

5. L'AMORTISSEMENT DES HOULES

L'observation sur les fonds, sur photographies aériennes et la réalisation de plans de vagues montre une anomalie entre la théorie et la réalité de la propagation des houles sur fond plan sableux et sur fond occupé par les herbiers à *Posidonia oceanica*. Des mesures in situ,

réalisées devant Sousse (Tunisie) par le Laboratoire Central d'Hydraulique de France (Bonnetille, 1976) sur des fonds d'herbier, entre 5 et 15 m de profondeur, montrent, quelles que soient les caractéristiques de la houle, un amortissement de 40 %. Aux mêmes profondeurs, mais sur des fonds de sable, le calcul théorique de l'amplitude indique un effet variable en fonction de la période : amortissement de 10 % pour 4 s, de 5 % environ pour 5 s, conservation pour 6 s et léger accroissement pour des périodes supérieures.

L'herbier à *P. oceanica* peut donc accroître de 30 à 40 % l'amortissement des houles, ce qui influe sur le dépôt ou le départ des sédiments. Cet amortissement est dû à la structure même de la matre, structure à la fois souple et rigide, qui peut absorber une partie de l'énergie de la houle.

### 6. L'AMORTISSEMENT DES VAGUES

Après leur chute, une partie des feuilles de *P. oceanica* est exportée vers d'autres biotopes (Picard, 1965), mais surtout sur les plages; les "banquettes" ainsi formées, accumulations de sable et de feuilles mortes (Jeuzy de Grissac et Audoly, 1985), peuvent dépasser 1 m d'épaisseur (Molinier & Picard, 1953) et protègent les plages de l'érosion lors de tempêtes hivernales (Jeuzy de Grissac, 1975; Blanc et Jeuzy de Grissac, 1978). Cette protection est assurée (i) par le bouclier que forme sur la plage l'accumulation des feuilles mortes et (ii) par l'augmentation de la viscosité de l'eau, en avant de la banquette, du fait de la mise en suspension par les vagues de fragments de feuilles mortes et de fibres (issues de la dilascération des feuilles et des rhizomes).

### 7. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les herbiers à *Posidonia oceanica* influent profondément sur la sédimentation littorale : les feuilles vivantes en place amortissent les courants (et les houles) et piègent les particules (notamment les particules fines) qu'ils transportent (sédiment allochtone) ainsi que les débris d'organismes ayant vécu dans l'herbier (sédiment biogène, autochtone) (Blanc, 1958; Jeuzy de Grissac, 1975; Blanc et Jeuzy de Grissac, 1978). La matre constitue une structure souple amortissant la houle. Les feuilles mortes, rejetées sur le rivage, principalement en période hivernale, constituent des "banquettes" qui assurent une protection à la plage en atténuant l'effet des vagues. Cet ensemble d'éléments influe sur l'hydrodynamisme à la côte et sur le tracé de la ligne de rivage lorsque le littoral est sableux; il en résulte que la régression des herbiers à *P. oceanica*, sous l'effet de la pollution (Pérès & Picard, 1975) ou des aménagements littoraux (Meinesz & Lefèvre, 1978; Meinesz et al., 1981), a pour conséquence la modification du profil d'équilibre des lignes de rivages.

La destruction d'un herbier à *Posidonia oceanica* pose en particulier un problème du fait de la différence entre le volume qu'il occupe vivant et le volume de sédiment qu'il est susceptible de laisser sur place. Le démantèlement d'un mètre d'épaisseur de matre (après départ des restes de *P. oceanica*) ne produira qu'une couche de 35 à 40 cm de sédiment. Entre 0 et 10 m de profondeur, si la houle et les courants ne permettent le maintien sur place que des particules sédimentaires supérieures à 0,2 mm (soit 35% du sédiment), ce ne sera en fin de compte qu'une

couche de 10 à 15 cm de sédiment qui pourra se maintenir sur place après destruction d'un mètre de matre. Si la profondeur initiale était de 4 mètres, celle-ci deviendra 4,90 m; si la distance au rivage était de 100 m, la conservation de la pente sous-marine, en réponse à la dynamique marine) fera reculer la ligne de rivage de 20 mètres environ (Fig. 3). Le phénomène se vérifie dans la rade de Giens, mais aussi sur une grande partie des littoraux des côtes méditerranéennes (Maggi, 1973; Pérès & Picard, 1975; Blanc & Jeuzy de Grissac, 1978; Paskoff, 1983).

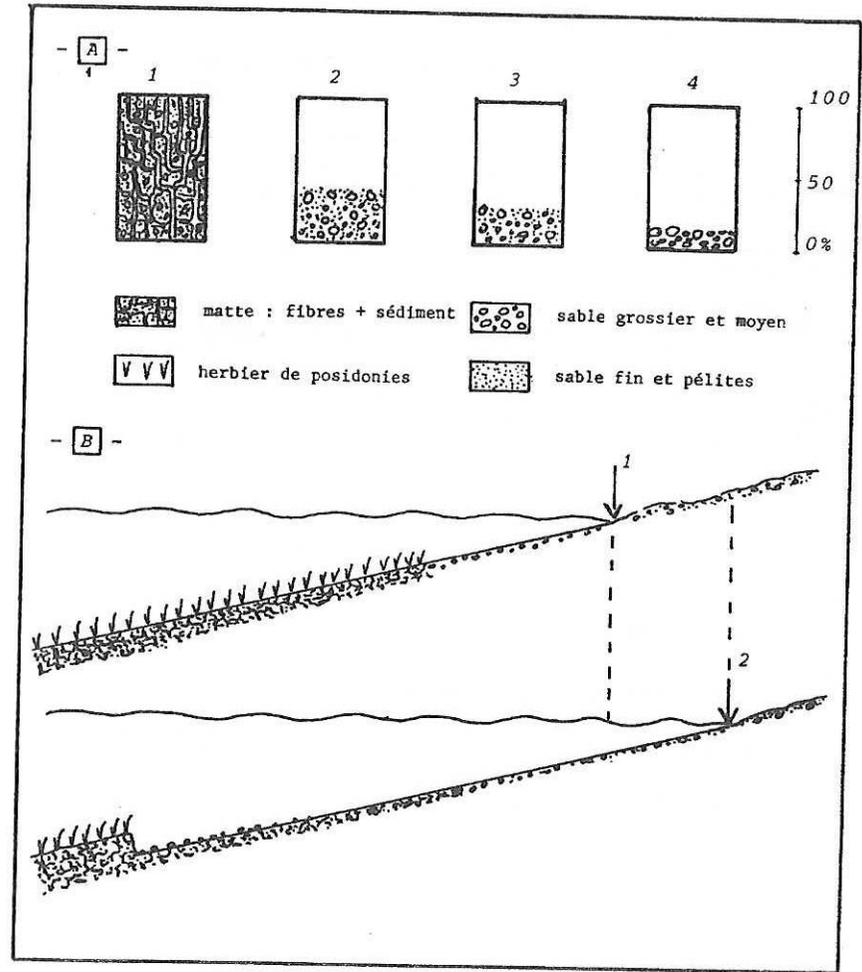


Fig. 3 : A = Composition moyenne (Port-Cros, Port Man et Hyères) de la matre de l'herbier à *Posidonia oceanica* et évolution au cours de sa destruction (1= matre initiale; 2 = sédiment après le départ des fibres; 3 et 4 = départ des éléments fins); B = Recul de la position de la ligne de rivage (de 1 à 2) avec la disparition de l'herbier à *Posidonia oceanica* et le démantèlement de la matre.

Bien que d'autres facteurs que la régression des herbiers à *P. oceanica* interviennent dans le recul des plages et le déplacement des lignes de

rivage (Paskoff, 1984), il apparaît clairement que la protection de ces herbiers est, en Méditerranée, un élément important pour la stabilité des rivages.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Blanc J.J., 1958. Recherches de sédimentologie littorale et sous marine en Provence occidentale. Thèse Doct. Univ. Paris. Masson édit., Fr. : 1-140.
- Blanc J.J., Jedy de Grissac A., 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à *Posidonia* du littoral de la Provence. Centre National pour l'Exploitation des Océans et Laboratoire de Géologie Marine et de Sédimentologie appliquée, Univ. Aix-Marseille 2 : a-d, 1-185, 42 Fig. h.t.
- Blanc J.J., Jedy de Grissac A., 1984. Erosions sous-marines des herbiers à *Posidonia oceanica*. International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F., Jedy de Grissac A. & Olivier J. édit., GIS *Posidonia* publ., Fr., 1 : 23-28.
- Bonnefille R., 1976. Cours d'hydraulique maritime. Masson Edit., Paris, Fr. : 1-160.
- Boudouresque C.F., Jedy de Grissac A., 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. J. Rech. océanogr., Fr., 8 (2-3) : 99-122.
- Boudouresque C.F., Meinesz A., 1982. Découverte de l'herbier de *Posidonia*. Cah. Parc national, Port-Cros, Fr., 4 : 1-79.
- Boudouresque C.F., Thommeret J., Thommeret Y., 1980. Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercalé dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Calvi (Corse). Journ. Etud. Systém. Biogéogr. médit., Cagliari, CIESM édit., Monaco : 139-142.
- Clairefond P., Jedy de Grissac A., 1979. Description et analyse de structures sédimentaires en milieu marin : recensement de quelques exemples dans l'herbier de *Posidonia* autour de l'île de Port-Cros (Parc National). Trav. sci. Parc natl. Port-Cros, Fr., 5 : 79-104.
- Harmelin J.G., 1964. Etude de l'endofaune des "mattes" d'herbiers de *Posidonia oceanica* Delile. Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume, Fr., 35 (51) : 43-106.
- Jedy de Grissac A., 1975. Sédimentologie dynamique des rades d'Hyères et de Giens (Var). Problèmes d'aménagements. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Aix-Marseille 2 : 1-87, 40 Fig., 11 tabl. h.t.
- Jedy de Grissac A., Audoly G., 1985. Etude préliminaire de la composition des banquettes de *Posidonia oceanica*. Rapp. P.V. Réun. Commiss. intl. Explor. sci. Médit., Monaco, 29 (5) : 181-182.
- Maggi P., 1973. Le problème de la disparition des herbiers à *Posidonia* dans le Golfe de Giens (Var). Sci. Pêche, Bull. Inst. Pêches marit., Fr., 221 : 7-20.
- Masse J.P., 1970. Contribution à l'étude des sédiments actuels du plateau continental de la région de Dakar (République du Sénégal). Essai d'analyse de la sédimentation biogène. Rapp. Lab. Géol. Fac. sci. Dakar, Sénégal, 23 : 1-81.
- Masse J.P., 1983. Biophases carbonatées des milieux néritiques récents; relations avec les peuplements, distribution et aspects historiques. Bull. Soc. géol. France, (7), XXV, n°4 : 533-542.
- Meinesz A., Astier J.M., LEFEVRE J.R., 1981. Impact de l'aménagement du domaine maritime sur l'étage infralittoral du Var, France (Méditerranée occidentale). Ann. Inst. océanogr., N.S., Fr., 57 (2) : 65-77.
- Meinesz A., LEFÈVRE J.R., 1978. Destruction de l'étage infralittoral des Alpes-Maritimes (France) et de Monaco par les restructurations du rivage. Bull. Ecol., Fr., 9 (3) : 259-276.
- Molinier R., Picard J., 1952. Recherches sur les herbiers de Phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Ann. Inst. océanogr., Fr., 27(3) : 157-234.
- Molinier R., Picard J., 1953. Notes biologiques à partir d'un voyage d'étude sur les côtes de Sicile. Ann. Inst. océanogr., N.S., Fr., 28 (4) : 163-187, 4 pl. h.t.
- Nesteroff W., 1965. Recherches sur les sédiments marins actuels de la région d'Antibes. Ann. Inst. océanogr., Fr., N.S., 43(1) : 1-135.

- Paskoff R., 1983. Le recul des plages. La Recherche, Fr., 140 : 20-28.
- Paskoff R., 1984. Erosion et protection des plages : une nouvelle approche. XVIII Journées Hydraulique, Soc. Hydrotech. Fr. édit., Q 3, Rapp. 7 : 1-7.
- Pérès J.M., Picard J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. Rec. Trav. Stat. mar. Endoume, Fr., 31(47) : 5-137.
- Pérès J.M., Picard J., 1975. Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. Aquatic Botany, Netherl., 1(2) : 133-139.
- Picard J., 1965. Importance, répartition et rôle du matériel organique végétal issu des prairies de *Posidonia*. Rapp. P.V. Réun. Commiss. intl. Explor. sci. Médit., Monaco, 10(2) : 91-92.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE  
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule I : Océanographie physique et dynamique sédimentaire  
Hydrodynamique sédimentaire en baie de Canche  
*Hydrosedimentary study of the Canche estuary*

Yves DESPEYROUX

SEDIMENTOLOGIE ET GEOCHIMIE, UNIVERSITE DE LILLE I, 59655 VILLENEUVE D'ASCQ

Résumé

L'estuaire de la Canche échancre la partie septentrionale de la plaine maritime picarde et s'ouvre en Manche Orientale au Nord de la ville du Touquet. Il offre une surface en grande partie intertidale, soumise à une amplitude forte des marées. Cette dernière, de même que les vitesses de courant, diminuent en remontant l'estuaire. Au moment des coefficients de vive-eau, les courants sont responsables, à l'aval, de la formation de dunes hydrauliques.

La grande amplitude des marées et le faible débit de la Canche induisent un brassage important des eaux et déterminent un estuaire bien mélangé. Les températures sont plus élevées en amont l'hiver, et en aval l'été.

Les courants de marée sont les principaux facteurs du transit des minéraux en suspension. Ils favorisent la pénétration de particules marines ainsi que la remise en suspension importante des dépôts estuariens. La répartition et la densité de la masse turbide (> 100 mg/l) dépendent surtout des coefficients de marée. En coefficient de vive-eau, on retrouve cette masse turbide dans tout l'estuaire.

Les fluctuations antagonistes des proportions du quartz et de la calcite, présents dans les matières en suspension, permettent de suivre avec précision la progression des diverses masses d'eau au cours d'une marée donnée. D'amont en aval, la composition minéralogique des argiles offre des variations d'ampleur modérée, liées à l'hydrodynamisme important dans l'estuaire. Les concentrations moyennes d'un certain nombre de métaux (Hg, Pb, Cu, Cd, Zn, Mn, Fe) présentent une diminution progressive d'amont en aval dans les suspensions, qui paraît résulter d'une dilution en direction du milieu marin moins contaminé. On constate cependant une augmentation des teneurs métalliques dans la partie médiane de l'estuaire, du fait des rejets d'effluents urbains dans ce secteur.

Abstract :

The Canche estuary flows into the Eastern English Channel. It indents the Picardian coastal plain, northern of the Touquet city. It has a large intertidal surface and is subjected to macrotidal influences. Toward the upstream, the tide amplitude decreases and determines a hyposynchronous estuary. The high tide amplitude and low river discharge induce strong water mixing and characterize a well-mixed estuary. Temperature are higher in upstream zones during the winter, in downstream zones during the summer.

The tidal currents represent the main factors of the suspended matter transit in the Canche estuary. They are responsible for the supply of sea-derived particles and for the large reworking of fine suspended estuarine sediments. The turbidity and density distribution of water are controlled by neap-spring tidal cycles. In spring tide, maximum turbidity (> 100 mg/l), water spreads along the estuary.

The suspended quartz and calcite percentages vary in antagonistic way and characterize the different water mass during tide time. Calcite is related to the salt intrusion and constitutes a good marker of the saline intrusion. Towards the lower part of the estuary, the clay assemblages show moderate changes, determined by differential settling processes. The average concentrations of heavy metal (Hg, Pb, Cd, Zn, Mn, Fe) decrease from upstream to downstream. This decrease probably results from the mixing of fluvial suspended sediments with less contaminated marine particles. The concentration of heavy metals locally increases in the middle part of the estuary, because of urban effluents casting up in this zone.

Dans le cadre d'un programme pluridisciplinaire d'étude de la pollution sur le littoral Nord/Pas-de-Calais, nous avons abordé au cours de diverses marées, le problème de la dynamique des sédiments et des polluants en milieu estuarien. L'étude a été focalisée sur l'estuaire de la Canche (Despeyroux, 1985) qui, au contraire de celui de l'Aa (E.P.R.; 1983), est peu canalisé et peu urbanisé.

L'estuaire de la Canche s'ouvre en Manche Orientale et échancre la partie septentrionale de la plaine maritime picarde (Fig. 1), au sud de Boulogne-sur-mer. Son embouchure présente, sous l'influence de la dérive littorale, une barre littorale ou poulie au sud, opposée à une rive en érosion ou musoir dans le secteur de Lornel, au nord.

Les mesures et les prélèvements d'eau, destinés à des analyses géochimiques et sédimentologiques, ont été effectués par l'Institut Pasteur de Lille et l'Université de Lille I, aux points suivants :

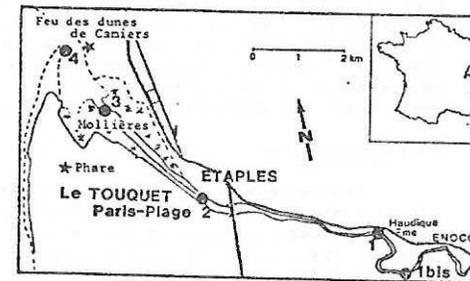


Fig. 1 : Cadre géographique de la basse Canche  
Geographic sketch of the lower Canche

- Station 1bis : Pont d'Enocq (≈14 km de la mer), remplaçant la vives-eaux;
- Station 1 : Lieu-dit Ferme d'Haudique (≈12 km de la mer), inondée en vives-eaux;
- Station 2 : Pont d'Etapes (≈7,5 km de la mer);
- Station 3 : Au droit de l'Hippodrome, à hauteur de la balise 6 (≈5 km);
- Station 4 : Extrémité interne du banc du Pilori.

Pour chacune des 4 missions effectuées les prélèvements d'eau, réalisés toutes les 2 heures au cours d'une marée semi-diurne, concernent à la fois la proximité de la surface (≈1 m) et du fond ( sous réserve d'une profondeur suffisante)

1) CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES DE L'ESTUAIRE

L'hydrologie estuarienne est régie par les courants de marée en Manche Orientale, et par le débit de la Canche. Ce dernier ne présente pas de grandes variations au cours de l'année et se situe en moyenne vers 12 m<sup>3</sup>/s. Les caractéristiques de la marée sont définies par l'amplitude de la marée, les vitesses de courants, les salinités et les températures.

I-1) Amplitude de la marée

Au cours de sa propagation dans l'estuaire, l'onde de marée se déforme et perd de son amplitude. En marée de vive-eau, l'amplitude de la marée est de 5m à la station 4 (Pilori), et de 2m à la station 1bis (pont d'Enocq), ceci sur une distance approximative de 10 km. Vers l'amont, la déformation de l'onde de marée montre un retard dans l'installation du flot, et une diminution de la durée du montant par rapport à celle du perdant. Ceci est dû à la morphologie en triangle de l'estuaire, aux réflexions de l'onde de marée sur les berges, et aux frottements sur le fond.

I-2) Courants de marée

Dans l'estuaire, les courants de marée sont alternatifs; leurs vitesses ont été mesurées en marée de vive-eau. A l'aval, aux stations 3 et 4, les vitesses de jusant sont supérieures à celles du flot. Les courants de jusant à l'aval à la station 4 sont d'autant plus violents (jusqu'à 9 km/h) que le volume d'eau introduit dans l'estuaire est important, et que le régime dynamique est bien installé dans l'estuaire, c'est à dire vers pleine mer + 4 heures (PM+4). La marée basse découvre des dunes hydrauliques qui reflètent la violence de ces courants. Leur longueur d'onde moyenne est de 3 m, et leur amplitude de 0,70 m.

A la station 2, au contraire des stations précédentes, les vitesses du flot sont supérieures à celles de jusant. Ce phénomène est dû à la déformation de l'onde de marée, à l'installation de digues entre les stations 3 et 2, et à l'implantation d'épis en rive gauche, au droit du port d'Etaples.

I-3) Salinités

Les brusques variations de salinité (de 0,5 à 33‰) constatées dans l'estuaire sont liées à l'importance du marnage et au faible débit de la Canche. L'évolution longitudinale des salinités montre que les isohalines calculées à partir des salinités relevées aux différentes stations sont toujours verticales quel que soit le coefficient de marée. Par ailleurs, la position du front de salinité, matérialisée par l'isohaline 0,5‰, varie suivant le coefficient de marée. Entre les marées de vives-eaux et de mortes-eaux (coef. 117 et coef. 40), ce front de salinité se déplace sur une distance approximative de 10 km.

I-4) Températures

Les températures permettent de caractériser les régimes d'été par rapport à ceux d'hiver. Elles sont plus élevées à l'aval en été et en amont l'hiver. En septembre, les températures fluviales de 12°5 sont plus froides que celles de la zone côtière qui présente des moyennes de 17°5. En mars, le schéma est inversé et les températures du fleuve (8° C en moyenne) sont plus élevées que celles du littoral (5°9 C); on constate une baisse de la température lors de la venue du flot et une élévation avec le jusant.

II) DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE

Les courants de marée jouent un rôle primordial dans les processus sédimentaires propres à l'estuaire de la Canche.

II-1) Abondance et dynamique des matières en suspension

- En période de vive-eau

- BM - BM+2 : la vidange de l'estuaire entraîne les eaux turbides vers l'aval. Les concentrations ne dépassent pas 100 mg/l.
- BM+4 : le flot s'est installé dans l'estuaire, et une masse plus turbide (> à 200 mg/l) existe à hauteur de la station d'Etaples.
- PM : les concentrations en matière en suspension s'homogénéisent dans tout l'estuaire (100 à 200 mg/l). Aux stations 4 et 3, la décantation des particules en suspension débute : les eaux du fond sont plus chargées en particules que celles de la surface.
- PM+2 - PM+4 : le courant de jusant s'installe, reprenant les sédiments décantés, repoussant vers l'aval les diverses particules remises en suspension.

- En période de morte-eau

- BM - BM+2 : la turbidité est faible dans tout l'estuaire (< à 30 mg/l), sauf à hauteur de la station 2, à BM.
- BM+4 : lorsque le flot est installé, les eaux sont plus chargées à l'amont, (30 à 100 mg/l), où le courant est encore de jusant.
- PM : la masse turbide s'arrête immédiatement à l'aval de l'estuaire, à hauteur de la station 4 (100 à 200 mg/l)
- PM+2 - PM+4 : la masse turbide a disparu. L'eau est relativement plus chargée à PM+4, à la station 2 (30 à 100 mg/l), comme c'était le cas à BM.

En résumé : le régime (vive-eau/morte-eau) et les courants liés (flot/jusant) jouent un rôle prépondérant dans la dynamique des matières en suspension des eaux de la Canche. Le centre de gravité de la lentille turbide, lorsqu'elle existe, se trouve à BM+4 à hauteur de la station 2 et à PM, PM+2 à la station 4. Cette masse turbide peut résulter soit d'une remise en suspension lors du coup de flot, soit parfois d'une pénétration d'eau plus turbide en provenance du littoral.

II-2) Dynamique des minéraux en suspension

L'étude des minéraux en suspension peut conduire à différencier les influences fluviales et les influences marines dans la sédimentation estuarienne. Nous avons prélevé des suspensions aux mêmes stations et au même moment que pour les prélèvements sédimentaires, et les études minéralogiques ont été menées parallèlement aux études géochimiques. La procédure utilisée pour récupérer les particules en suspension est voisine de celle déjà développée au large du Rhône (Blanc et al, 1969; Chamley, 1971), et a été décrite par Despeyroux (1985)

II-2-1) Assemblage minéral total

Les principaux minéraux identifiés sont la calcite, le quartz, les feldspaths, la dolomite et les minéraux argileux. L'abondance des minéraux a été appréciée par simple lecture de la hauteur des pics d'intensité 100 sur les diagrammes de diffraction X, au-dessus d'un fond continu stabilisé. Les réflexions suivantes ont été prises en compte : 3,34 Å (quartz), 3,035 Å (calcite), 2,88 Å (dolomite), 3,20 Å (feldspath), 4,45 Å (minéraux argileux).

Les minéraux argileux, la dolomite et les feldspaths sont présents en faible proportion, et ne présentent pas de variation particulière au cours des marées. En revanche, une étude détaillée a pu être réalisée sur le quartz et la calcite. Ces deux minéraux présentent une distribution antagoniste tout au long de l'estuaire. Ainsi, au cours d'une marée de vive-eau, on constate l'évolution suivante (fig. 2) :

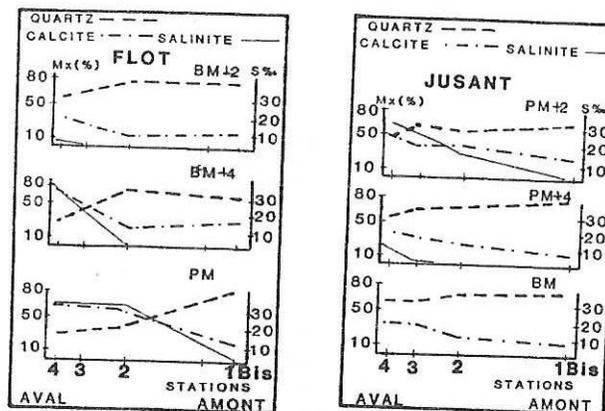


fig. 2 : Evolution longitudinale du quartz et de la calcite au cours de marées de vive-eau  
Quartz and calcite longitudinal evolution during spring tide

- BM - BM+2 : le courant de jusant subsiste dans l'estuaire, le quartz est l'élément prépondérant.
- BM+4 : le flot s'est installé et intervient jusqu'à hauteur d'Etaples. Les courbes du quartz et de la calcite se recoupent à la station 3, cependant que plus à l'aval la calcite tend à devenir l'élément le plus important.
- PM : les salinités élevées caractérisent tout l'estuaire, le point de convergence des deux courbes est repoussé à l'amont, entre les stations 2 et 1.
- PM+2 - PM+4 : le courant de jusant s'installe et repousse vers l'aval le point de convergence. Le quartz redevient l'élément prépondérant.

En résumé : le quartz caractérise les venues fluviales, cependant que la calcite dont les variations sont parallèles aux salinités, traduit clairement les influences marines.

II-2-2) Minéraux argileux

L'étude des minéraux argileux en suspension a été entreprise au cours de plusieurs marées, dans le but de rechercher des modifications des cortèges au cours du temps (fig. 3). On constate les faits suivants :

- La proportion d'illite est maximale à la station 3 (30 à 50%) et diminue à la station 4 (20%), au contraire de la chlorite (10%). L'évolution de la smectite au cours d'une marée est souvent antagoniste de celle de l'illite.
- Les teneurs de la chlorite et de la kaolinite décroissent d'amont en aval, tout au long de la marée pour la chlorite et à EM+4 pour la kaolinite. Ces deux minéraux sont plutôt d'origine fluviatiles.
- Les interstratifiés irréguliers montrent des proportions très peu variable d'amont en aval. Leur abondance tend à diminuer, lors de la venue du flot, ce qui reflète une origine essentiellement amont.

Les vitesses élevées de courant remettent en suspension les sédiments et homogénéisent les cortèges argileux. Toutefois, ils ne favorisent pas toujours une dispersion relative de la smectite, dont on connaît la faculté habituelle de demeurer en suspension (Gibbs, 1977). La cause de cette situation particulière provient de ce que les sédiments du chenal sont pour une très large part sableux (Despeyroux et Chamley, 1985). La sédimentation différentielle ne s'observe de manière modérée que lorsque le régime de dépôt est plus calme : l'illite et la kaolinite peuvent alors se déposer, tandis que la smectite augmente dans les suspensions.

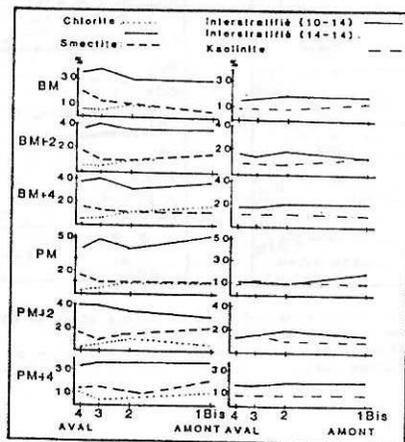


fig. 3 : Evolution longitudinale des minéraux argileux au cours d'une marée  
Longitudinal evolution of clay minerals during a tide cycle

II-3) Dynamique de quelques micropolluants

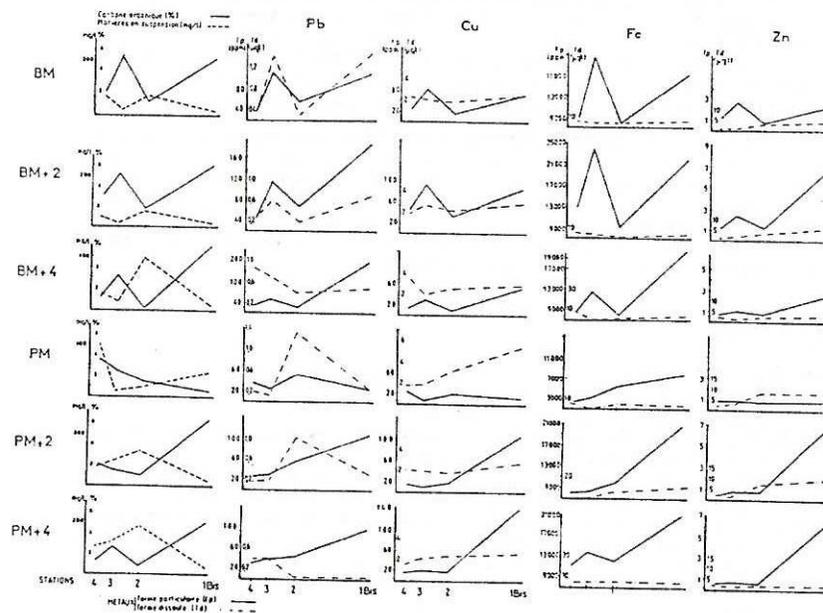


fig. 4 : Evolution longitudinale des métaux au cours d'une marée de vive-eau  
Longitudinal evolution of metal during a spring tide

L'étude géochimique a porté sur le fer, le zinc, le cuivre, le plomb, le cadmium et le mercure (Despeyroux, 1985). Ces métaux se trouvent dans les eaux sous forme particulaire et dissoute (fig. 4). La forme particulaire est la plus abondante et les teneurs des divers éléments diminuent d'amont en aval. Ceci s'explique par un processus de mélange entre particules fluviatiles riches en métaux, et particules marines plus pauvres (E.P.R., 1984). On observe une nette augmentation des concentrations aux stations 2 et 3, liée à la présence de rejets d'effluents urbains situés en rive droite. Les teneurs en métaux sous forme particulaire suivent les fluctuations du carbone organique total au cours d'une marée, à la fois dans l'espace et dans le temps.

Les concentrations en métaux dissous sont très faibles. Les courbes du plomb et du cuivre suivent les courbes des formes particulières à BM, EM+2; par la suite elles semblent évoluer de façon opposée. Tout se passe comme si, lors de la pénétration marine dans l'estuaire, les métaux sous forme dissoute provenaient de la solubilisation des formes particulières des suspensions et/ou des sédiments. Le zinc et le fer dissous fluctuent de façon contraire aux métaux sous forme particulaire à BM, EM+2, EM+4 et PM. Les relations entre forme particulaire apparaissent étroites quelle que soit la période de la marée.

III) CONCLUSION

Plusieurs points importants se dégagent de l'étude hydrologique :

- En remontant l'estuaire, l'onde de marée se déforme en même temps que son amplitude décroît. Les vitesses maximales de courant se situent à l'aval, aux environs de PM+4

- Un gradient thermique se développe et s'inverse selon la saison, en fonction des apports d'eau douce froide à l'amont et des grandes surfaces intertidales situées à l'aval.

- Les eaux salées pénètrent assez loin dans l'estuaire lors des forts coefficients de marée. Il n'existe pas de stratification saline, du fait de l'intensité du brassage de l'eau au moment de l'intrusion de la marée.

- Les métaux existent surtout sous forme particulière. Ils sont stockés temporairement dans l'estuaire par l'intermédiaire des matières en suspension accumulées et soumises à l'action des courants de marée. Ils peuvent être expulsés lors des marées de vive-eau, et ne sont de ce fait pas retenus de façon permanente dans l'estuaire.

- Les teneurs en métaux particuliers plus abondants dans les eaux douces, sont dispersés à l'aval dans les eaux marines.

BIBLIOGRAPHIE

BLANC F., CHAMLEY H., LEVEAU M., 1969.- Les minéraux en suspension, témoins du mélange des eaux fluviales en milieu marin. Exemple du Rhône. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, t. 269, p.2509-2512

CHAMLEY H., 1971.- Recherche sur la sédimentation argileuse en Méditerranée. *Sci. Géol. Strasbourg*, Mém. 35, 225 p.

DESPEYROUX Y., 1985.- Etude hydrosédimentaire de l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais), *Thèse 3ème cycle*, Université de Lille I, 188 p.

DESPEYROUX Y., CHAMLEY H., 1985.- Distribution des sédiments récents dans l'estuaire de la Canche (Pas-de-Calais), *Soc. Géol. du Nord*, (sous presse)

E.P.R. Nord/Pas-de-Calais, CNEOX, 1983.- *Etude intégrée du littoral - ESTUAIRES (Aa, Canche, Authie, Somme)*. Rapport d'étude interdisciplinaire 1982, Université des Sciences et Techniques de Lille et Institut Pasteur de Lille, 194 p.

E.P.R. Nord/Pas-de-Calais, IFREMER, 1984.- *Dynamique et pollution de l'estuaire de la Canche*. Rapport d'étude interdisciplinaire 1983, Université des Sciences et Techniques de Lille et Institut Pasteur de Lille, 88 p.

GIBBS R.J., 1977.- Clay mineral segregation in the marine environment. *Journal of sedimentary Petrology*, vol. 47, n° 1, p. 237-243.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE  
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 1 : Océanographie physique et dynamique sédimentaire

Les brise-lames flottants

*Floating breakwaters*

Juichi KATOH

TOKYO UNIVERSITY OF FISHERIES, LABORATORY OF ENVIRONMENTAL HYDRAULIC ENGINEERING  
5-7 KONAN 4, MINATO-KU, TOKYO 108, JAPAN

Résumé :

Les structures flottantes construites pour la protection contre les vagues dues aux vents, comme les brise-lames flottants n'ont pas eu un grand développement jusqu'ici en mer. Néanmoins, le besoin de protection contre les vagues existe pour les zones de péages flottants sont classifiés en utilisant leurs mécanismes d'atténuation des vagues, principalement la réflexion et la friction, définissant ainsi les caractéristiques actives et passives. Deux définitions sont proposées suivant que le brise-lame est considéré comme une structure semi-permanente d'une durée de vie limitée ou comme une structure transportable c'est-à-dire que l'on peut enlever en cas de tempête. La première définition permet de limiter en fonction des types de vagues et des dimensions représentatives de la structure pour un effet vertical supérieur à 55% : longueur d'onde  $\leq$  à 100 m, cambrure des vagues  $\leq$  à 0,04, profondeur de l'eau de 20 à 200 m, longueur minimale du corps flottant  $\geq$  L/4.

D'autre part, aucune limite ne peut être donnée pour la seconde définition en raison du fait que les brise-lames flottants sont différents à chaque emplacement et pour chaque objectif. Les mécanismes d'atténuation des vagues ne peuvent pas être étudiés au moyen de l'analyse numérique car ce sont des phénomènes non linéaires. Cependant, des tests sur modèles hydrauliques sont nécessaires mais ils ne peuvent donner que des résultats qualitatifs. En fait la similitude avec les structures actuelles ont inconnues. Néanmoins, des résultats fondamentaux ont été obtenus :

- Un brise-lame flottant ne peut pas être efficace s'il est seulement une structure passive. Puisque la friction des vagues sur le corps flottant est la cause principale de l'atténuation, la longueur nécessaire devrait être énorme et de l'ordre de 10 fois la profondeur de l'eau pour obtenir une atténuation de 50% des vagues.

- D'autre part, des structures actives comme des pontons simples ou des structures doubles etc., sont efficaces dans des conditions d'état de la mer très variées. Un dessin et des aménagements rationnels doivent être confrontés à plusieurs types de problèmes comme des forces externes aléatoires, les résistances des matériaux et des structures, la maintenance, en particulier les contre-mesures contre le fouling, la faisabilité économique, la sécurité, etc.

Les formes fondamentales des corps flottants sont sélectionnés suivant leurs effets d'atténuation qui peut être supérieur à 55% au-delà des taux dans la zone des grandes longueurs d'onde, actuellement la longueur d'onde relative L/l, l étant la longueur représentative du brise-lames flottants. La meilleure forme est le type de barrière-ponton, constitué par un assemblage d'un ponton avec une plaque horizontale fixée au-dessous de celui-ci. Ces structures flottantes combinées montrent l'orientation la plus intéressante pour des développements pratiques et pourra être expérimentée au stade du prototype dans

Traduit du japonais par Jean-Marie THIERRY, Ingénieur, Boursier du Gouvernement français chez le Pr KATOH.  
Coll. fr.-japon. Océanogr., Marseille 16-21 Sept. 85, 1 : 161 - 182.

un futur proche.

Un intéressant sous-produit de ses recherches est que ces structures horizontales fixées au-dessous de pontons préviennent les mouvements verticaux alors que le ponton lui-même empêche les mouvements horizontaux; ceci peut être appliqué aux structures de bouées ancrées (Anchored Buoyant Structures ou A.B.S.) en cours de développement.

Plusieurs problèmes doivent encore être résolus au point de vue pratique : choix du matériel, conception des structures, faisabilité économique; mais l'objet et les conceptions de base du concept des brise-lames flottants sont maintenant clarifiés.

NOTATIONS

- L Longueur d'onde des vagues incidentes
- l Largeur du flotteur, dans la direction des vagues
- H Hauteur des vagues
- H/L Cambrure des vagues

Abstract :

Floating structures for protection against wind waves, i.e floating breakwaters, have not been put to practical use, mainly because they are not effective for a wide variety of sea conditions. But the need for protection against waves exists for fishing grounds, leisure facilities, etc. and the problem is reinvestigated in details. Floating breakwaters are classified basing on their wave attenuation mechanisms, which mainly result from reflection and friction, defining respectively active and passive characteristics. Two definitions are proposed, depending on whether the breakwater is considered as a semi-permanent structure (limited life span) or as a transportable one (removable in case of storm). Definition I sets allowable limits for design waves and the representative dimension of the structure, for a damping effect superior to 55%:

- wavelength  $\leq 100$  m. -wave steepness  $\leq 0.04$  -water depth 20 200 m.
- minimum length of the floating body  $l \geq L/4$ .

On the other hand, no limits can be given for definition II, because they are different for each location and objectives.

Wave attenuation mechanisms cannot be investigated by means of numerical analysis because of non-linear phenomena. Therefore, hydraulic model tests are necessary but they only give qualitative results. Namely, the similarity with actual structures is unknown. Nevertheless, fundamental results were obtained:

- a floating breakwater cannot be efficient if it is only a passive structure. Since the friction of waves on the floating body is the main attenuation cause, the length required would be enormous (about 10 times the water depth) for a mere 50% wave attenuation.
- on the other hand, active structures such as simple pontoons, double-bulkheads, etc. are efficient over a wide variety of sea conditions.

Rational design must cope with problems such as random external forces, material and structures resistance, maintenance (countermeasures against

fouling), economic feasibility, safety, etc.

Fundamental shapes of floating bodies are selected basing upon their wave attenuation effects, which must be superior to 55% over a large wavelength range (actually, the relative wavelength  $L/l$ ,  $l$  being a representative length of the floating breakwater). The best shape is the Type of Pontoon-Barrier, designed by linking a pontoon with an horizontal plate under it. These combined floating structures show the more interesting trends for practical development, and may be tested on a prototype stage in the near future.

An interesting byproduct of this research is that horizontal boards attached under a pontoon prevent vertical movements, while the pontoon prevent horizontal ones; this can be applied for Anchored Buoyant Structures (A.B.S) development.

Several problems are to be solved from a practical point of view: material choice, structural design, economic feasibility, but the object and basic conception of the floating breakwater concept are now clarified.

NOTATIONS

- L Longueur d'onde des vagues incidentes      Wavelength
- l Largeur du flotteur, dans la direction des vagues      Representative length
- H Hauteur des vagues      Waveheight
- H/L Cambrure des vagues      Wave steepness

1. Introduction

Les structures flottantes destinées à la protection contre les vagues, autrement dit les brise-lames flottants (BLF), n'ont que rarement dépassé le stade expérimental. Pourtant, ce concept a été introduit il y a 150 ans !

Depuis, de nombreux chercheurs se sont penchés sur le problème, et poursuivent leurs efforts pour mettre en valeur les BLF et pour rendre possible leur utilisation en pratique.

Cette communication a pour but d'évaluer les perspectives présentes et les possibilités futures d'exploitation de telles structures, en se basant sur une analyse particulière provenant essentiellement d'études expérimentales en bassin à houle.

2. Qu'est-ce qu'un brise-lames flottant ?

2.1 Caractéristiques et fonctions des BLF

Le terme "brise-lames" signifie littéralement "digue (flottante en l'occurrence) pour la protection d'une zone contre les mers fortes"; c'est donc une structure installée en milieu exposé. Comparé aux brise-lames gravitaires conventionnels, les BLF ont les avantages suivants:

- 1) plusieurs moyens d'amortir les vagues sont employés (réflexion, friction)
- 2) la circulation et les échanges d'eau ne sont pas entravés, ce qui favorise la conservation de la qualité de l'environnement marin.
- 3) l'utilisation en zones de profondeur différente, dans les limites du plateau continental.
- 4) le temps de construction est plus court
- 5) la structure est transportable, ce qui autorise les réparations ou le remplacement des flotteurs ou des câbles d'amarrage endommagés. D'autre part, il n'est plus nécessaire de prévoir une résistance à des conditions extrêmes, le BLF étant alors remorqué jusqu'à une zone abritée.
- 6) les problèmes de génie civil tels que fondations, érosion et affouillement, choix des matériaux de la digue (blocs de rocher ou de béton) ne donnent plus lieu à considération.

En revanche, quelques problèmes apparaissent:

- risque d'empiètement sur les chenaux de navigation, les zones de pêche
- problèmes d'ordre juridiques et socio-économiques (surtout au Japon).

2.2 Définitions des BLF

Le grand nombre de fonctions différentes que peut assurer un BLF rend nécessaire le choix et la définition précise de l'utilisation que l'on souhaite en faire. Par exemple, protection temporaire d'un chantier en mer, protection permanente d'un terrain de pêche particulièrement exposé ou sensible à l'action des vagues, etc...

A partir de résultats d'expérimentations en bassin à houle, des critères sont proposés et conduisent aux deux définitions suivantes, auxquelles on se référera dans la suite de l'exposé.

Définition I Structure de durée de vie limitée (semi-permanente)

- Effet d'amortissement des vagues:

$1 - H_t/H_i \geq 55\%$   $H_t$  et  $H_i$  étant la hauteur des vagues transmises et incidentes

incidentes

- houle de projet:

longueur d'onde  $\leq 100$  m. (L)

cambrure  $\leq 0.04$  (H/L)

- profondeur d'installation:

20 à 200 m.

- dimensions du BLF:

$L/l \leq 4$  l désignant la longueur (représentative) du BLF dans la direction de propagation des vagues

Définition II Structure transportable (non-Permanente)

- Effet d'amortissement:

$1 - H_t/H_i \geq 55\%$

- houle de projet:

contrairement à la Déf. I, aucune valeur n'est

- profondeur:

fixée pour chaque critère, car ceux-ci dépendent

- dimensions:

de la zone d'installation et de l'utilisation désirée.

La houle de projet retenue correspond à-peu-près à des vents de force moyenne en saison hivernale. Pour des mers plus sévères, un BLF n'est plus efficace du point de vue de la protection.

La taille du BLF influence directement l'importance de l'amortissement des vagues. La Déf. I fournit donc un critère de décision pour la faisabilité du projet.

La largeur minimale requise ( $l \geq L/4$ ) est due au fait que le BLF doit supporter des houles de grande longueur d'onde (100 m.). Pour le flotteur optimal retenu à la fin de cette étude, une largeur de 25 m. est tout-à-fait plausible. (cf "TPB

Un flotteur satisfaisant aux conditions de la Déf.I est considéré comme valable du point de vue de son utilisation comme BLF en pratique.

Les caractéristiques de la houle de projet sont en effet spécifiées pour le site d'installation: zone de houle modérée, bras de mer, golfe, baie, lac naturel ou artificiel, etc... Elles varient également en fonction des objectifs et il est difficile voire inutile de vouloir fixer des valeurs globales.

La forme et la taille du BLF (fixée dans la Déf.I) sont adaptées cette fois-ci aux conditions particulières de chaque projet. Par exemple, si l'on recherche une structure de type flexible, on peut constituer un assemblage de flotteurs rigides reliés par des câbles, en installant le BLF obtenu dans la direction de propagation des vagues.

Par ailleurs, les deux Déf. font référence aux mêmes mécanismes d'amortissement des vagues; elles constituent en fait deux approches différentes des BLF.

L'étude de la faisabilité et de l'utilisation possible en pratique sont grandement facilitées par la distinction faite entre structures semi ou non permanentes.

### 2.3 Classifications existantes (Historique)

1) O'Brien<sup>2</sup> du Laboratoire de Génie Maritime de l'U.S Navy a compulsé en 1961 toutes les données disponibles sur les brise-lames "mobiles", "transportables", etc...

2) Jones<sup>3</sup> a proposé en 1972 une classification basée sur la forme des flotteurs. Ses travaux avaient pour but d'identifier les structures marines flottantes pouvant être utilisées en pratique comme BLF. (cf Tableau 1 et Fig.1)

Il conclut "qu'aucun brise-lames transportable pouvant être utilisé pour plusieurs types de houle et par mauvais temps n' a été conçu à ce jour".

3) Bulson<sup>4</sup>, Nece et Richey<sup>5</sup> ont également dressé des classifications basées respectivement sur les mécanismes d'amortissement et la forme des flotteurs. (cf Fig.2 et 3)

### 3. Mécanismes d'amortissement des vagues

#### 3.1 Analyse théorique

La conservation de l'énergie du système global vagues+flotteur fournit l'équation suivante:

$$E_t = E_i - E_r - E_c - E_e - E_{mp} \text{ où}$$

$E_t$  = Energie des vagues transmises       $E_c$  = Energie cinétique des vagues créées par

$E_i$  = Energie des vagues incidentes      les mouvements du flotteur en eau calme

$E_r$  = Energie des vagues réfléchies       $E_e$  = Energie élastique du système

$E_{mp}$  = Energie des particules d'eau (pression hydrodynamique)

Tableau 1 : Classification des brise-lames existants en réalié ou à l'état de concept .

Table -1 Breakwater Classification		h	Inverted casson
Code	Name	i	Multiple pontoons
A	Full-depth barrier, anchored buoyant structure	2	Compact float
1	Barrier	a	Rectangular-prism pontoon
a	Seaward leaning wall	b	Trapezoidal-prism pontoon
b	Artificial beach	c	Inverted trapezoidal-prism pontoon
2	Screen	d	Floatable hull-shaped pontoon
a	Perforated flat plates	e	Vertical resonator
b	Perforated curved plates	f	Log bundle
c	Perforated beach	g	Wooden crib
d	Array of buoyant vertical pipes	h	Pontoon-beach
B	Rigid surface barrier	3	Elaborate float (For greater inertia and/or dissipation)
1	Slab or raft type structure	a	Inertia primarily
a	Slab (Flush to sea surface)	(1)	Pontoon with pendant barrier
b	Parallel solid slabs	(2)	Cruciform pontoon
c	Inclined solid slab	(3)	Triple pontoon-bulkheads (1 hinge)
d	Non-solid slab (Flush to the sea surface)	b	Inertia and dissipation
e.	Trapped water slab	(1)	Triple pontoon-bulkheads
f	Pipe grid raft	(2)	Pontoon with outrigger
g	Log raft	(3)	Double-module pontoon (Rectangular crosssection)

	plastic laminated with rubber	(4)	Twin-cylinder pontoon (Inclined to beach)
b	Semi-pervious blanket	(5)	Twin-cylinders with plate barrier
(1)	Foam rubber	(6)	Perforated open-bottom caisson
(2)	Foam plastic	(7)	Multiple perforated box-booms
c	Pervious blanket of open dash weave fabric of stiff plastic fibers	(8)	Multiple perforated box
(1)	Simple blanket	(9)	Floating impervious beach
(2)	Corrugated blanket	(10)	Impervious compound barrier
	Buoyant sheet with pendant valved sheet	c	Dissipation primarily
3	Fluid-filled bags	(1)	Floating pervious compound beach
4	Bag-blanket	(2)	Floating pervious barrier
a	Filled with water		Open log raft
(1)	Filled with viscous liquid	c	Inertia primarily (flexible floating bodies)
(2)	Cylindrical bags	1	Slab- or raft-type structure
b	Water filled (Moored)	a	Elastic slab
(1)	Air-filled (Tethered)	b	Flexible raft
(2)	Spherical bags, water-filled (Tethered)	(1)	Bolted assembly of tire casings
c		(2)	Linked array of spheres
		(3)	Log jam
		2	Membrane, sheet, or blanket
		a	Impervious membrane
		(1)	Plastic sheet
		(2)	Thin blanket of open-weave fabric of stiff

Configurations With Best  $C_T$  Less Than 0.20

Classification	Description or Name	Parameter Values <sup>a</sup>					$C_T$ for a Fixed, Rigid, Rectangular Surface Barrier
		Best $C_T$	Corresponding Relative Wave-Length, L/d	Required (minimum) Relative Length of Barrier, $\lambda/L$	Corresponding (minimum) Draft-Depth Ratio, D/d	Range of Wave Steepness, H/L	
A.	Any solid barrier with high freeboard	0	b	b	b	b	b
3.a.(3)	Walls of swinging louvers	0.2	2 to 19	0.1	b	0.01 to 0.10	b
B. 1.a.	Patrick inclined pontoon	0.2	4 to 8	0.8	b	<0.04	b
D. 1.b.	Parallel slabs	0.2	3.0	0.6	0.25	c	0.27
1.d.	Non-solid slab	0.2	c	1.0	c	c	0.2 <sup>d</sup>
1.e.	Multiple pontoons	0.2	c	c	0.30	c	c
3.b.(3)	"Double module pontoon"	0.2	1.6	0.5	0.12	0.04 to 0.06	0.39
3.b.(8)	"Long period wave trap"	0.2	10.0	0.5	0.86	c	0.1 <sup>d</sup>
F. 2.a.(2)	Laminated "Trilok"-rubber sheet	0.2	2.0	1.7	0.15	>0.03	0.12
2.b.(2)	Foam plastic blanket	0.2	1.5	2.5	0.15	>0.03	0.07
2.c.(2)	Corrugated "Trilok" blanket	0.2	2.5	{ 2.2 1.7	{ 0.15 0.30	0.02 to 0.10	{ 0.10 0.15
3.	Buoyant sheet with pendant valved sheet	0.2	2.6	1.7	0.74	<0.10	0.04
4.b.(1)	Cylindrical bags, water-filled	0.2	1.8 to 2.4	2.4 to 1.8	0.2	0.04 to 0.08	0.06 to 0.11
4.c.	Tethered spherical bags, water-filled	0.2	4.0	0.7	0.2	0.05 to 0.08	0.35
G.4.a.	Air mattress on rigid shell at middepth	0.2	4.0	1.2	b	<0.08	b

<sup>a</sup> Letter symbols are defined in List of Symbols, p. 52. <sup>c</sup> Datum missing.  
<sup>b</sup> Not applicable. <sup>d</sup> Estimated value.

Configurations With Best  $C_T$  Between 0.20 and 0.35

Classification According to Appendix A	Description or Name	Parameter Values <sup>a</sup>					$C_T$ for a Fixed, Rigid, Rectangular Surface Barrier
		Best $C_T$	Corresponding Relative Wave-Length, L/d	Required (minimum) Relative Length of Barrier, $\lambda/L$	Corresponding (minimum) Draft-Depth Ratio, D/d	Range of Wave Steepness, H/L	
B. 2.c.	Porous (10-20%) hinged parabolic beach	0.3	2.7	1.2	b	c	b
D. 2.b.	Trapezoidal prism pontoon	0.3	1.0	0.7	0.12	<0.06	0.25 <sup>e</sup>
2.c.	Inverted trapezoidal prism pontoon	0.3	1.0	0.8	0.23	<0.06	0.1 <sup>e</sup>
3.a.(2)	"Bombardon" cruciform pontoon	0.25 <sup>d</sup>	2.8	b	0.3	0.08	0.5 <sup>e</sup>
3.a.(3)	Triple pontoon-bulkheads	0.3	{ 6.0 10.0	{ 0.9 0.8	{ 0.6 0.8	{ c 0.06	{ 0.28 0.38 0.4 <sup>d</sup>
3.b.(4)	"Twin-cylinder pontoon"	0.3	1.0	0.3	0.14	c	0.4 <sup>d</sup>
3.b.(5)	Twin cylinders with plate ("A-frame")	0.3	2.0	0.3	0.3 to 0.8	>0.03	0.25 to 0.09
3.b.(5)	Twin cylinders with parallel plates	0.35	1.6	0.33	0.5	<0.05	b
3.c.(1)	Floating porous (25%) parabolic beach	0.25	2.5	1.3	0.25	c	0.14
G.4.b.	Air mattress on bottom	0.25	6.9 to 3.0	0.7 to 1.6	z/d < 0.8	<0.08	b

<sup>a</sup> Letter symbols are defined in List of Symbols, p. 52. <sup>d</sup> Computed from approximate values for  $C_T$ .  
<sup>b</sup> Not applicable. <sup>e</sup> Estimated value.  
<sup>c</sup> Datum missing.

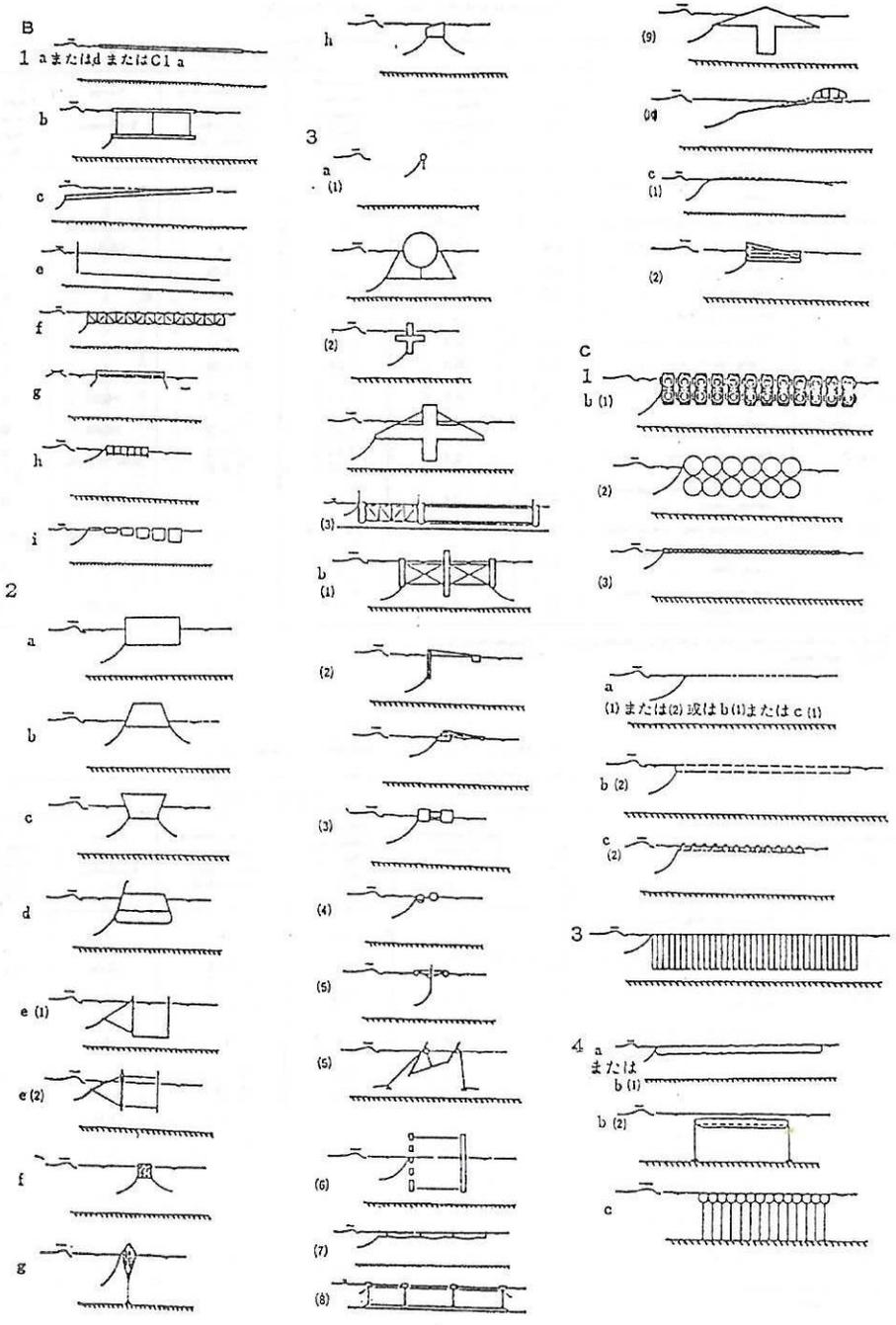
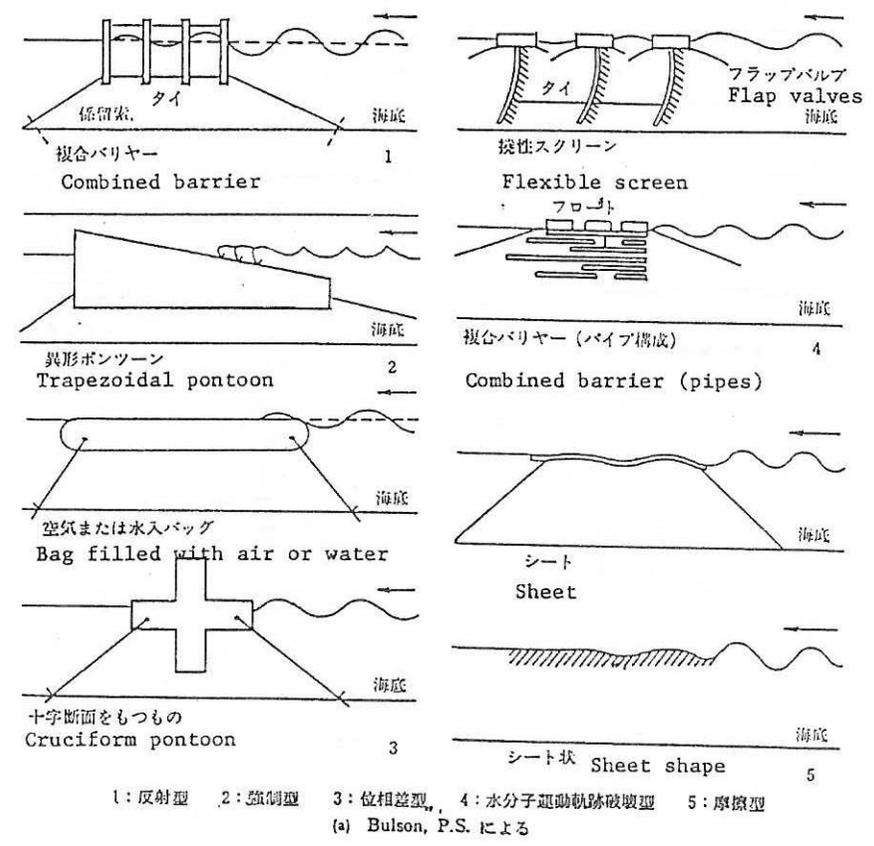


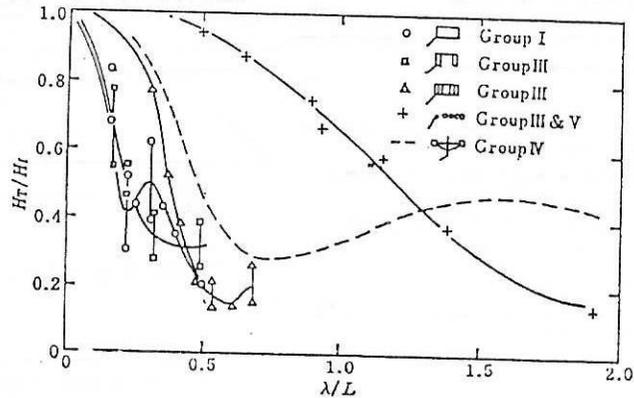
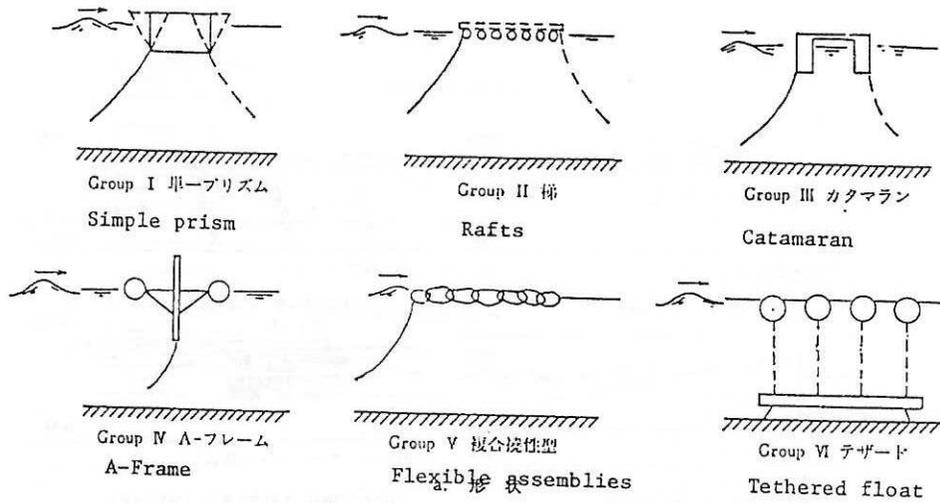
Fig.1 Brise-lames flottants proposés précédemment



Légende:

- 1. Reflection type
- 2. Forced type
- 3. Phase difference type
- 4. Dissipation of wave energy by water particle motions
- 5. Friction type

Fig.2 Classification de Bulson



$H_t$ : 通過波高  $H_i$ : 入射波高  $\lambda$ : 浮体幅  $L$ : 入射波長

b. 消波効果

(b) Richey, E.P. & Nece, R.E. による

Fig.3 Classification de Richey et Nece

$H_t$  hauteur des vagues transmises  
 $H_i$  hauteur des vagues incidentes  
 largeur du flotteur  
 $L$  longueur d'onde des vagues incidentes

Ce problème d'hydraulique fait appel à des techniques d'analyse numérique ou à des expériences en bassin à houle pour sa résolution. Généralement, les phénomènes sont non-linéaires et la modélisation des conditions aux limites est délicate:

- 1) flotteur rigide ou flexible
- 2) amarrage long (mou), court (tendu), élastique ou structure fixée
- 3) analyse bidimensionnelle ou tridimensionnelle
- 4) linéarité ou non-linéarité
- 5) vagues périodiques ou irrégulières

Après avoir été résolu à un niveau élémentaire, les problèmes d'analyse des BLF évolueront certainement vers des modélisations en trois dimensions de flotteurs de forme complexe soumis à des vagues irrégulières extrêmement difficiles à résoudre. Mais ceci n'est qu'une perspective assez éloignée dans l'avenir; les questions les plus importantes concernent les structures, les matériaux, les techniques de construction et l'entretien des BLF.

D'autre part, selon le site choisi, on peut évaluer la hauteur et la cambrure des vagues, dans une certaine mesure. Malheureusement, les analyses théoriques précédentes ont négligé ces points et ont soit stagné, soit progressé dans une mauvaise direction. En conséquence, il est préférable de procéder à une étude expérimentale détaillée, plus proche de la réalité qu'une modélisation mathématique.

### 3.2 Comportement "actif" et "passif"

Le comportement non linéaire d'un flotteur soumis à l'action des vagues rend difficile le traitement mathématique des équations de mouvement et donc leur caractérisation. Par contre, l'observation expérimentale de maquettes en bassin à houle a permis de mettre en évidence deux types de fonctionnement, correspondant à des mécanismes d'amortissement des vagues distincts:

- 1) comportement "actif"
- 2) comportement "passif".

Ceux-ci sont fonction de la flottaison (tirant d'eau), des vagues incidentes et de l'ancrage. Il s'agit donc de rechercher les critères de conception permettant de dessiner un BLF utilisant au mieux ces modes de fonctionnement.

- comportement passif: l'amortissement des vagues est obtenu par réflexion ou absorption. Par exemple, les brise-lames classiques (digues gravitaires), les digues submergées, rideaux de palplanches, flotteurs géants (rapport  $l/L$  très élevé,  $l$  étant la largeur du BLF), "floating absorbers" (absorbeur de vagues flottant).

- comportement actif: l'énergie des vagues incidentes est diminuée par transformation en énergie de mouvement. Le flotteur en se déplaçant perd cette énergie cinétique accumulée.

Dans certains cas, un déphasage se produit entre les vagues et les mouvements du flotteur, et l'énergie totale devient nulle: la structure, quoique active, apparaît temporairement comme passive.

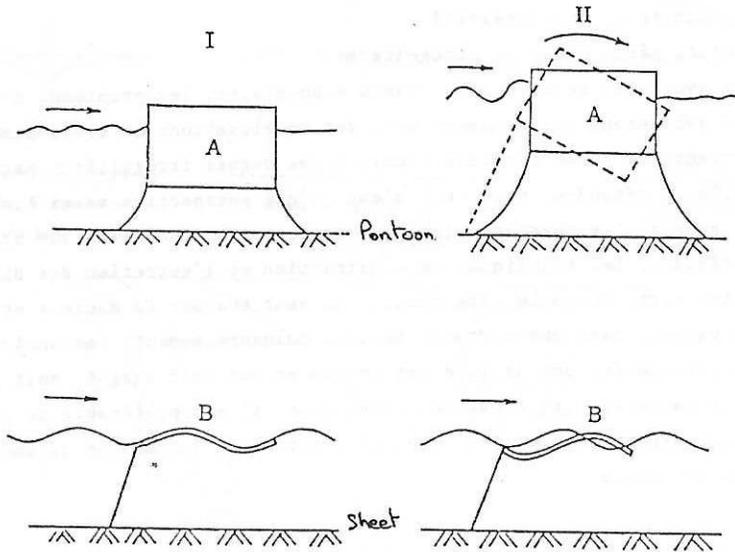


Fig.4 mécanismes actif ( a droite) et passif (a gauche)

La Fig.4 illustre ce qui précède. Deux flotteurs simples sont analysés: -le premier est un ponton, construit habituellement en béton et acier, indéformable.

-le second est une plaque souple de plastique, fibre de verre renforcée ou caoutchouc (membrane), flexible.

Dans le cas I, l'énergie des vagues est dissipée par réflexion contre le ponton ou par friction contre la plaque souple. Dans le cas II, les vagues et la structure ne sont plus en phase. Les réflexions sont plus nombreuses à cause des mouvements déphasés du ponton; de même, les frottements sont plus importants à cause des déplacements de la membrane. Ce déphasage augmente donc l'efficacité des deux mécanismes fondamentaux (réflexion et friction). En pratique, un ponton fonctionnant de manière passive doit être suffisamment important par rapport aux vagues pour ne pas rouler d'un bord sur l'autre (auquel cas la structure est active, d'après ce qui précède). Un

flotteur de type membrane doit s'adapter le mieux possible à la forme des vagues pour fonctionner de manière passive, donc être très souple. D'autre part, le seul paramètre permettant d'augmenter l'efficacité est la largeur de ce flotteur, car l'intensité totale du frottement en dépend. En fonctionnement actif, le ponton a un mouvement de roulis, et un déphasage se produit à cause des forces de rappel imposées par l'ancrage. Les vagues se brisent violemment contre le ponton et l'amortissement obtenu est remarquable. De même, le flotteur de type membrane, qui a tendance à chevaucher les vagues de par sa flexibilité et sa masse, est rappelé par l'amarrage et un déphasage se produit. Les vagues sont amorties par les frottements multiples ainsi engendrés.

Il apparaît donc clairement qu'un même flotteur se comporte de manière active ou passive selon les circonstances (vagues, amarrage, etc...). Le tableau 2 résume ces mécanismes.

T. 2 Mécanismes d'amortissement des vagues		
ponton	type de fonctionnement	membrane
réflexion simple	comportement passif	frottement simple
réflexion multiple (déphasage flotteur-vagues)	comportement actif	frottement multiple

#### 4. Flotteurs utilisables en tant que brise-lames flottants

##### 4.1. Utilisation des deux comportements actif et passif

Il résulte du chapitre précédent que l'on doit analyser tout flotteur en fonctionnement actif et passif, dans les conditions correspondantes de vagues, ancrage, etc. pour savoir s'il est valable en tant que BLF.

##### 1. Passif

Les deux principaux facteurs d'amortissement étant la réflexion et la friction, la taille du flotteur devra être immense pour obtenir une efficacité suffisante. D'après Wiegel<sup>6</sup>, le tirant d'eau d'un ponton devrait atteindre 80% de la profondeur du site d'installation, et la largeur d'une membrane devrait dépasser 10 fois la longueur d'onde des vagues incidentes.

Cette première approche du concept de BLF est la plus ancienne mais n'aboutit pas à des structures réalisables.

##### 2. Actif

On considère bien entendu les mêmes flotteurs que dans le cas 1.

Prenons par exemple le ponton lorsque ses mouvements sont déphasés par rapport aux vagues: comme il a été dit, l'efficacité est excellente, les vagues se brisant du côté exposé à la houle.

On peut également considérer le flotteur de la Fig.5, à deux cloisons verticales reliées rigidement l'une à l'autre. ("double bulkhead"). Lorsque le flotteur entre en résonance avec la houle, la cloison côté vagues oscille avec une forte amplitude. L'énergie des vagues est presque entièrement convertie en énergie cinétique; à ceci s'ajoute le fait que les vagues transmises se brisent contre la cloison côté terre, cette dernière étant pratiquement immobile. On observe seulement quelques mouvements irréguliers de roulis centrés au milieu de cette cloison.

On obtient pratiquement la même chose pour la configuration horizontale, avec en plus la diminution d'énergie des vagues obtenues lorsque celles-ci déferlent sur la cloison à fleur d'eau.

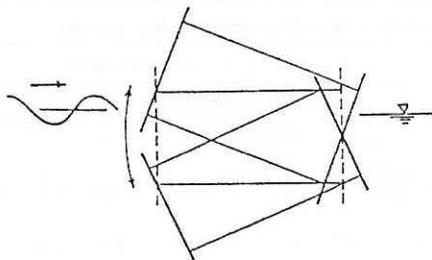


Fig.5 Brise-lames du type "vertical double-bulkhead"  
Fonctionnement en résonance (excellent amortissement  
des vagues incidentes)

Il est donc beaucoup plus intéressant d'utiliser les flotteurs en comportement actif, puisque l'objet même des BLF est de réaliser le meilleur amortissement possible. Il est nécessaire pour parvenir à ce stade de maîtriser les problèmes qui se posent lors de la conception (dessin et plans):

- matériaux et structures
- maintenance et sécurité
- choix de la houle de projet. Il est difficile d'évaluer les forces extérieures aléatoires telles que la pression des vagues, les forces de liaison. L'ensemble du projet doit être économiquement viable.

En jouant sur la forme du flotteur (flottabilité, tirant d'eau, etc.), il faut concevoir un BLF actif pour la houle de projet et passif lorsque les vagues deviennent trop fortes.

#### 4.2 Types de brise-lames flottants valables

1) les assemblages de flotteurs unités telles que ponton, membrane, barrière (plaque rigide), conçus de telle sorte que chaque unité fonctionne de manière active (d'où plus d'efficacité) mais qu'au total, le BLF soit passif. On évite ainsi de trop solliciter l'ancrage et augmente la durée de vie de la structure.

2) les flotteurs combinant des unités de base reliées rigidement, ces éléments étant actif (passif) pour des houles différentes, augmentant ainsi le domaine d'efficacité. Celui-ci s'exprime en termes de largeur de bande de fréquence (ou longueur d'onde) des vagues, rapporté à la largeur l du BLF (dans le sens de propagation des vagues).

En fait, les BLF de type 1) ne sont autres que ceux de la Déf.I; de même, le type 2) correspond à la Déf.II.

Un flotteur du type 1 est considéré comme un BLF valable si sa période propre se trouve dans l'intervalle de période de la houle de projet. Il se produit alors une résonance qui amplifie les phénomènes d'amortissement.

Ceci conduit naturellement à des BLF de type combinés, avec plusieurs périodes propres. Enfin, il est indispensable de considérer l'amarrage comme faisant partie intégrante du système, vu l'effet de l'ancrage sur le BLF.

#### 4.3 Classification: conclusions

Les BLF ont été répartis en deux types, actif et passif, pour une longueur d'onde donnée. Mais il est aisé de partir dans une direction de recherche sans intérêt, car tout flotteur est systématiquement considéré comme un BLF potentiel.

De même, il est inutile de chercher à réaliser une classification en flotteurs rigides ou flexibles. En effet, une plaque rigide devient flexible quand sa taille est importante.

#### 5. Flotteur optimal (BLF retenu)

##### 5.1 Rappel des conditions nécessaires

La structure doit se comporter globalement de manière passive, tout en étant localement actif: chaque unité flottante possède une période propre, et est efficace pour amortir les houles de période correspondante.

La Déf.I fixe les critères résumés ci-dessous:

Transmittance:  $H_c/H_i \leq 45\%$

Largeur du flotteur:  $L/l \geq 3$  à 6 (moyenne 4)

Houle de projet: pour que le BLF soit efficace, il faut qu'il puisse amortir différents types de vagues, dans un intervalle de longueur d'onde aussi large que possible. En considérant la courbe d'amortissement, il faut que l'intervalle de  $L/l$  pour lequel  $H_c/H_i$  est inférieur à 45% soit important.

Ce dernier point est à ne pas négliger. En effet, les vagues réelles sont irrégulières, et les phénomènes d'amortissement ne sont plus linéaires. Vu l'approximation faite, il faut un coefficient de sécurité suffisant pour éliminer les effets parasites.

5.2 Etude en bassin à houle

Plusieurs flotteurs ont été étudiés expérimentalement en bassin à houle, sur modèle réduit. Leurs caractéristiques d'amortissement ont été mesurées pour plusieurs types de vagues, en faisant varier leur période, hauteur et cambrure. ( $H/L$  variant de 3 à 6). (cf Fig.6, 7, 8)

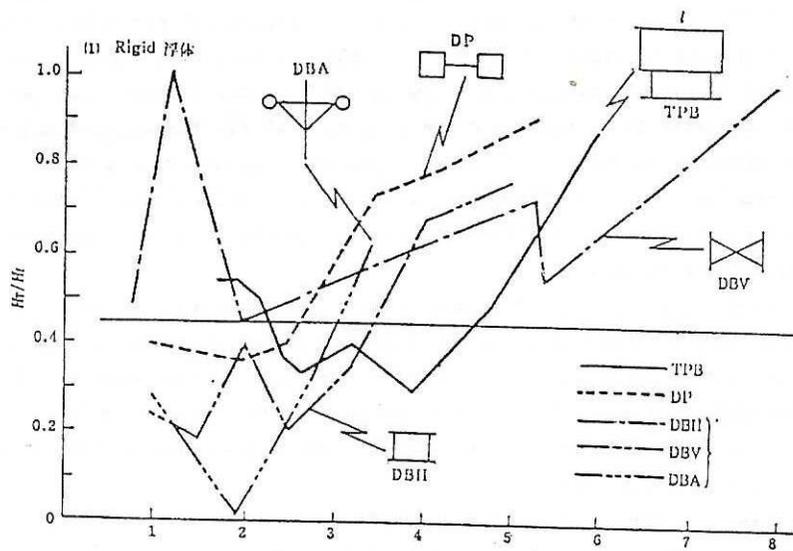
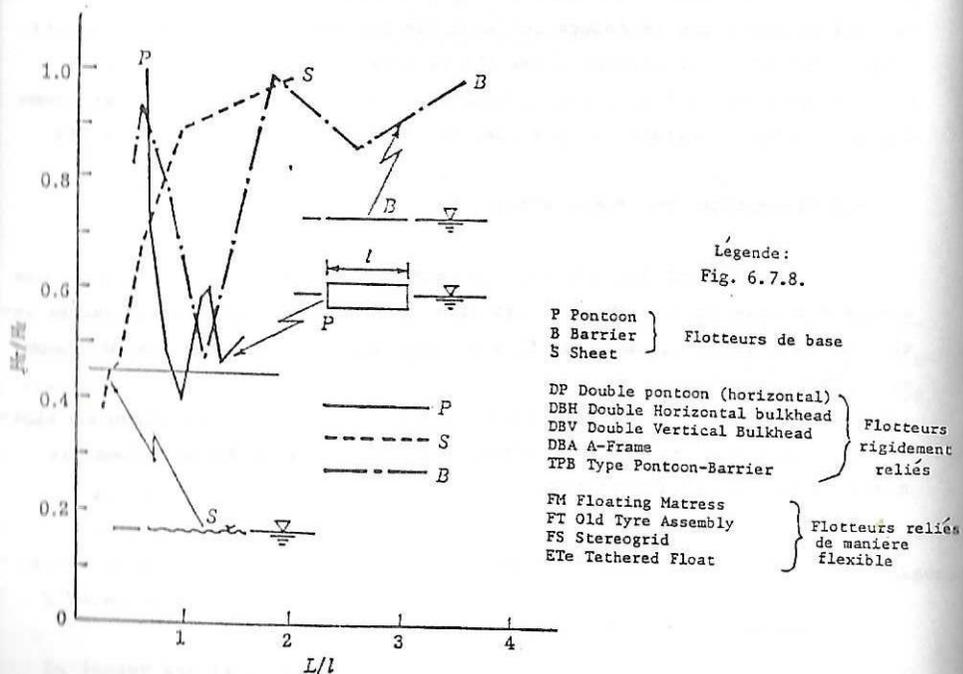
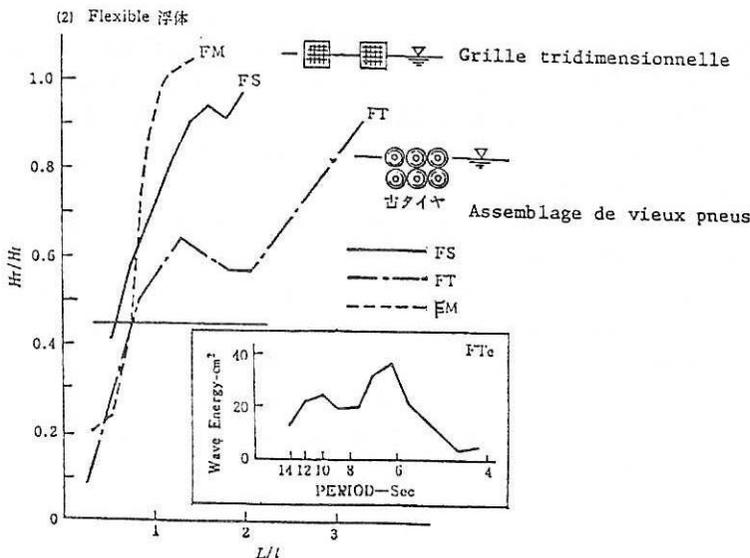


Fig.7 Flotteurs rigidement reliés



(b) 代表的な結合浮体の消波効果

Fig.8 Flotteurs reliés de manière flexible

Considérons les flotteurs de base ponton (P), barrière (B), membrane "sheet" (S); la Fig.6 permet de voir que leur efficacité est très moyenne, et qu'elle ne dépasse 55% ( $H_t/H_i \leq 45\%$ ) que dans un intervalle très limité où  $L/l \approx 1$ . Il faudrait donc qu'un tel BLF soit immense: les coûts et les problèmes de conception d'une structure géante résistant à des mers fortes seraient énormes. Il n'est donc pas envisageable d'utiliser ces unités simples comme BLF. Néanmoins, ils sont très utiles pour l'analyse théorique, étant donné leur comportement clairement actif ou passif selon les conditions de vagues.

Considérons ensuite les flotteurs rigidement combinés; la Fig.7 donne des résultats bien meilleurs que précédemment, tant du point de vue de l'efficacité que de celui du domaine assez large où  $H_t/H_i$  est inférieur à 45%.

Cependant, le rapport  $L/l$  se situe au-dessous de 3 pour tous les flotteurs excepté le "type ponton-barrière" (TPB) et on ne peut donc envisager une utilisation valable comme BLF.

Considérons enfin les flotteurs reliés de manière flexible; la Fig.8 présente des résultats médiocres, avec  $L/l$  inférieur à 1 pour  $H_t/H_i \leq 45\%$ .

En fait, il n'est pas possible d'évaluer les similarités entre la maquette expérimentale et un prototype réel. La seule manière de faire est donc l'expérimentation en grandeur nature, qui permettra de choisir le nombre d'unités nécessaires. La flexibilité est due aux amarrages, les unités pouvant être rigides.

Il apparaît clairement que le BLF "TPB", obtenu en reliant rigidement une plaque rigide (barrière) à un ponton (cf Fig.9) est le plus intéressant:

l'intervalle de  $L/l$  pour  $H_t/H_i \leq 45\%$  est le plus étendu (2,5 à 4,7 environ).

L'observation expérimentale a permis de mettre en évidence le rôle respectif des deux parties de ce BLF:

- la cloison horizontale (placée sous le ponton) empêche les mouvements verticaux de grande amplitude

- le ponton prévient un roulis trop important, de par sa masse et sa largeur.

On obtient donc bien une structure globalement passive. D'autre part, la forme simple des flotteurs unités facilite la protection contre les salissures et animaux fixés. A ce sujet, certains flotteurs de forme très complexe peuvent être considérés d'un autre point de vue comme "installation d'élevage" de tels organismes!

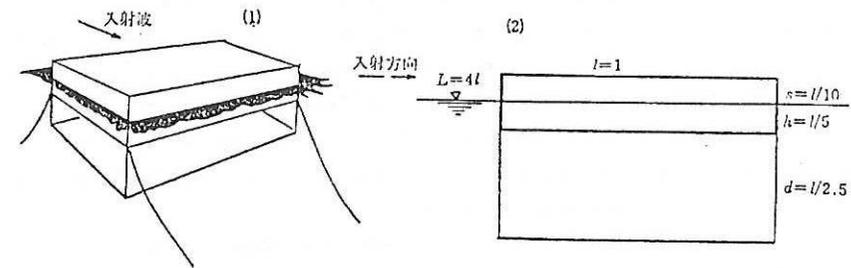


Fig 9 : Ponton-barrière : dimensions souhaitables

### 5.3 Dimensions optimales du BLF "TPB"

Les diverses configurations de ce BLF étudiées expérimentalement ont permis de dégager les valeurs suivantes:

- hauteur au-dessus du niveau de la mer:  $s = l/10$
- tirant d'eau du ponton:  $h = l/5$
- distance entre la cloison inférieure et le dessous du ponton:  $d = l/2.5$

D'autre part, les fourchettes ci-dessous permettent d'approcher les valeurs idéales ci-dessus lorsque des impossibilités apparaissent, par exemple au niveau de la résistance des matériaux:

- $h/s$  entre 2 et 3
  - $l/h$  entre 4 et 5
  - $d/h$  entre 2 et 3
- avec toujours  $l \geq L/4$

### 6. Conclusions

Il semble que bon nombre de recherches entreprises dans ce domaine n'aient eu pour objet que de trouver la véritable signification du concept de BLF.

Il n'est pas exagéré de dire que les recherches théoriques et expérimentales aient été faites sans que les objectifs assignés aux BLF aient été précisés.

Les premiers flotteurs étaient de forme trapézoïdale, mais devaient être de taille géante (structures passives). Les autres formes telles que barrières et membranes n'ont pas donné de résultats probants, et on en a conclu que les BLF n'étaient pas utilisables en pratique.

Néanmoins, comme les besoins se faisaient sentir pour la protection des ter-

rains de pêche, les zones de loisirs, etc. on a cherché à développer des structures à usage spécifique, pour amortir certaines houles au lieu de n'importe lesquelles. La situation actuelle est peu claire, à tel point qu'il est difficile de savoir quelles sont les BLF restés à l'état de projet et ceux construits. Le résultat final des travaux de l'auteur est que le "Type Ponton-Barrière" est le plus adapté pour des mers fortes; pour des applications à petite échelle, les BLF flexibles semblent convenir.

De nombreux problèmes subsistent (matériaux, structures, coûts); le futur dira si ces structures sont utilisables en pratique, ainsi que les autres systèmes flottants ancrés (A.B.S).

#### REFERENCES

- 1) Rapport de recherche sur le développement des brise-lames flottants.  
Critères d'évaluation.  
Nippon Suisan Shigen Hogo Kyokai, 1979 (en japonais)
- 2) O'Brien et al Digue et brise-lames mobiles.  
Etude exploratoire des concepts existants. 1961 (en anglais)  
Rapport technique n° 127, US Naval Civil Engineering Lab.
- 4) Bulson Brise-lames transportables 1964 (en anglais)  
Dock and Harbour authority, Vol.48, n°560, Juin 1964, pp 41-47
- 3) Jones Brise-lames transportables. Enquête sur les concepts 1971 (en anglais)  
Rapport technique n° 272, US Naval Civil Engineering Lab.
- 5) Nece et Richey Brise-lames flottants. Etat des connaissances 1971 (en anglais)  
Proceedings of the Floating Breakwaters Conference, Newport
- 6) Wiegel Génie océanographique. Ch.6 "Effet des structures sur les vagues"  
Prentice Hall Inc. 1965 (en anglais)

A cette liste s'ajoutent bien entendus tous les articles et rapports publiés en japonais par l'auteur. Ceux-ci ont été compulsés et traduits par J.M THIERRY, et sont à votre disposition.

## COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OcéANOGRAPHIE Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 1 : Océanographie physique et dynamique sédimentaire

POSTER - RESUME

Une "eau rouge" à *Noctiluca miliaris* entre l'embouchure du Rhône  
et Marseille, en juin 1984

*A red tide of Noctiluca miliaris between the mouth of the Rhône  
and Marseilles, in June 1984*

Marie-Christine BERTRANDY<sup>1</sup>, Pierre LABORDE<sup>2</sup>, Jean-Marie PERES<sup>2</sup>, Jean-Claude ROMANO<sup>2</sup>  
et Yolande DE SOUZA-LIMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CELLULE DE LUTTE CONTRE LES POLLUTIONS MARINES, 13002 MARSEILLE

<sup>2</sup> CENTRE D'OcéANOLOGIE DE MARSEILLE, U.A. C.N.R.S. 41, STATION MARINE D'ENDOUME,  
RUE BATTERIE DES LIONS, 13007 MARSEILLE

#### Résumé :

Le phénomène, signalé le 12.06.1984 sur les plages entre le Cap Couronne et Niolon, s'avère la conséquence d'une prolifération au niveau de la zone d'affrontement entre les eaux du Rhône et les eaux marines. Les photographies réalisées au cours d'un survol du secteur en hélicoptère montrent que les structures d'accumulation, en bandes parallèles, sont typiquement liées à l'action du vent. Les données météorologiques suggèrent que cette prolifération est due à la conjonction d'au moins trois facteurs principaux qui seraient : l'eutrophisation par le Rhône, la faiblesse des vents et le réchauffement rapide pendant la période considérée.

#### Abstract :

The red tide reported on the 12 th of June 1984 along several beaches appears to be the results of a bloom at the front zone between the Rhone river and marine waters. Photographs obtained during an helicopter flight over this zone indicate that accumulation structures (parallel strips) are typically due to the wind. Meteorological data confirm the convergence of at least three factors, such as : eutrophication by the Rhône river, weakness of the wind and rapid warming up of atmosphere, which allows a high stratification of the water column.

COLLOQUE FRANCO-JAPONAIS D'OCEANOGRAPHIE  
Marseille 16-21 Septembre 1985

Fascicule 1 Océanographie physique et dynamique sédimentaire

POSTER - RESUME

Projet de modélisation hydrodynamique du Bassin occidental de  
la Méditerranée

*Project for marine modelling in occidental basin of  
Mediterranean sea*

Pierre-Marie LE HUCHER<sup>1</sup>, Gabriel CHABERT D'HERES<sup>2</sup>, Michel CREPON<sup>3</sup>  
Christian LE PROVOST<sup>2</sup>, Claude MILLOT<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CENTRE D'ETUDE TECHNIQUE EQUIPEMENT MEDITERRANEE, B.P. 39, 13762 LES MILLES CEDEX  
<sup>2</sup> INSTITUT DE MECANIQUE DE GRENOBLE, DOMAINE UNIVERSITAIRE, 38014, SAINT-MARTIN-D'HERES  
<sup>3</sup> LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE, MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE  
43, RUE CUVIER, 75230 PARIS CEDEX

Résumé :

Dans le cadre des études conduites pour la protection du littoral contre les pollutions, le C.E.T.E. Méditerranée a initialisé un projet de Modélisation Hydrodynamique de la Méditerranée Occidentale, en s'appuyant sur les compétences de plusieurs laboratoires français réputés pour leurs travaux en océanographie physique. Le programme d'étude MEDmodel doit aboutir, après quatre années de recherche, à la construction d'un modèle mathématique tridimensionnel, descriptif de la circulation générale. Les recherches porteront, dans un premier temps, sur l'étude des processus fondamentaux, à partir d'un modèle numérique "quasi-géostrophique", et des modèles physiques schématiques exploités sur la plate-forme tournante de Coriolis. La paramétrisation des modèles sera effectuée à partir des mesures existantes et de celles prévues dans les années 86-88. La finalité de MEDmodel est de déterminer les conditions aux limites indispensables au calage de modèles mathématiques descriptifs de la dynamique côtière.

Abstract :

As part of the studies for the conservation of the littoral environment, the C.E.T.E. Méditerranée initiated a Marine Modelling Programme in Occidental Mediterranean Sea with the collaboration of several french laboratories, famous for their physical oceanographic works. MEDmodel will result in a general circulation descriptive tri-dimensional mathematical model. At first, researches will start by fundamental processes studies, with a quasi-geostrophic model, and schematical physical models on the Coriolis turning platform in Grenoble. Model parametrisation will be done from existing measurements and those planified in 1986-1988. MEDmodel finality is to determine the essential boundaries conditions for coastal dynamics mathematical model.

LISTE DES INTERVENANTS  
Délégation japonaise

- Président d'honneur de la délégation : Pr Masahide TOMINAGA : Président de la Société franco-japonnise de Tokyo, Association japonnoise de Météorologie, 2-9-2 Kanda, Nishikicho, Chiyoda-ku, TOKYO 101
- Coordinateur de la délégation : Pr Reijiro HIRANO, Université de Tokyo, Faculté d'Agriculture, Laboratoire d'Océanographie des Pêches, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, TOKYO 113
- Chef de la délégation : Pr Tomotoshi OKAICHI . Université de Kagawa, Doyen de la Faculté d'agriculture Ikenobe, Miki-cho, Kita-gun KAGAWA, 761.07
- Dr Tomoya AKIMICHI : Museum national d'Ethnologie, 10-1 Banpaku-koen, Senri, Suitashi, OSAKA 565.
- Dr Yasuo FUKUYO : Université de Tokyo, Faculté d'Agriculture, Laboratoire d'Océanographie des Pêches, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, TOKYO 113.
- Pr Kazutsugu HIRAYAMA : Université de Nagasaki, Faculté des Pêches, 1-14 Bunkyo machi, NAGASAKI 852.
- Dr Masafumi ICHIKAWA : Association japonnoise de Météorologie, 2-9-2 Kanda, Nishiki-Cho, Chiyoda-ku, TOKYO 101.
- Dr Takemi ICHIMURA : Taiyo Fisheries S.A TOKYO
- Dr Naruo IWAKIRI : Université de Kagoshima, Faculté des Pêches, Laboratoire d'Economie des Pêches, 4-50-20 Shimoarata, KAGOSHIMA 890.
- Pr Hiroshi KAKIMOTO : Norinsuisanbu, Suisanka 4-1 Shinko-cho, Niigata, NIIGATA 951
- Dr Shiguekazu KATOH : Université des Pêches de Tokyo, Département des Sciences de l'Environnement et Technologie Marines 5-7, Konan 4, Minato-ku, TOKYO 108.
- Dr Toyoki KAWABATA : Compagnie d'électricité CHUGOKU, Institut de recherches techniques, 4-4-32 Ozu, Minami-ku, HIROSHIMA 720.
- Pr Mitsu KAYAMA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire de Biochimie marine, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA 720.
- Dr Hideaki KINOSHITA : Institut de Recherches sur l'Ecologie marine, Station biothermale de recherches, 4-7-17 Arahama, Kashiwazaki shi, NIIGATA 945-03.
- Dr Sachihiko KOBORI : OCEANAUTES, 6-41, Akasaka 9-chome, Minato-ku, TOKYO 107
- Pr KOSUGE : Université de Tokai, Faculté des Sciences et Technologie de la Marine, 1000 Orido, SHIMIZU 424.
- Dr Toru MIMURA : Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41 13007 MARSEILLE.
- Dr N. MUNAYAMA : Agence des Sciences et de la Technologie, Département des Affaires Spaciales Internationales, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, TOKYO 100.
- Dr Sachiko NAGASAWA : Ocean Research Institute, Université de Tokyo, Nakano-ku, TOKYO, 164.
- Pr Heisuke NAKAGAWA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire d'Aquaculture, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA, 720.
- Pr Takahisa NEMOTO : Ocean Research Institute, Université de Tokyo, Nakano-ku, TOKYO 164.
- Dr Haruto OKAMOTO : PASCO Corp., 13-5 Higashiyama 2-chome, Meguro-ku, TOKYO 153.
- Pr Shigeyasu OKUSA : Université de Tokai, Faculté des Sciences et Technologie de la Marine, 1000, Orido, SHIMIZU 424.
- Pr Fumitake SEKI : Université de Tsukuba, Institut des Sciences Biologiques, Sakuramura, IBARAKI, 300-31.
- Dr Hiroki YAGI : Centre d'Océanologie de Marseille, E.P.H.E., U.A C.N.R.S 41 13007 MARSEILLE.
- Dr Takamiki YAMANE : Association pour la promotion et le développement de la pêche côtière (ZENSHINKYO) 2-2-1 Uchikanda, Chiyoda-ku TOKYO 101
- Dr Hirozo YOSHIMURA . Centre de recherches de l'Agence Maritime de Sécurité, 6-64 Kitanakadori, Naka-ku YOKOHAMA, KANAGAWA 231

LISTE DES INTERVENANTS  
Participants français

- E. ALLIOT Centre d'Océanologie, U.A C.N.R.S. 41. 13007 MARSEILLE.
- M. AMANIEU Professeur, Université des Sciences Techniques du Languedoc, 34000 MONTPELLIER
- C. ARMANGAU : C.E.R.G.H., Faculté des Sciences, 34000 MONTPELLIER.
- P. ARZEL : IFREMER, B.P. 337 29273 BREST CEDEX.
- D. BAILLY Université de Kagoshima, Faculté des Pêches, KAGOSHIMA.
- J.-P. BARUSSEAU . Centre de Recherches de Sédimentologie marine, Université de Perpignan, 66025 PERPIGNAN.
- D. BELLAN-SANTINI : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- T. BELSHER : Antenne IFREMER, Station biologique, 29211 ROSCOFF.
- Y. BENYAMIN : E.P.H.E. Centre de Biochimie macromoléculaire, B.P. 5051, 34033 MONTPELLIER.
- J.-P. BERTHOME : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- J.-C. BERTRAND : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- A. BIANCHI : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- M. BIANCHI : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- J.-L. BIRRIEN : Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.
- G. BŒUF : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- J.-L. BONNEFONT : Fondation Océanographique Ricard, Ile des Embiez, Le Brus, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- Ch.-F. BOUDOURESQUE : Faculté des Sciences de Luminy, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- V. BREITMEYER : INSERM Unité 40, 1, Avenue Jean-Lorrain, 06300 NICE.
- P. BREGLIANO : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. BRUSSIEUX : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- D. BUESTEL : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- P. CAUMETTE : ORSTOM, Microbiologie marine, Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.
- H.-J. CECCALDI : E.P.H.E., Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- B. CHEVASSUS : Laboratoire d'Hydrobiologie, INRA-CNRS, 78350 JOUY-EN-JOSAS.
- R.-L. CLEMENT : INSERM, Unité 40, 1, Avenue Jean Lorrain, 06300 NICE.
- A.-M. COMPIANO : Ecole nationale supérieure de Chimie, 34075 MONTPELLIER.
- D. COVES : IFREMER, Deva Sud, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS.
- J.-C. DAO : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.
- R. DAUMAS : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- C. DELORT : Fondation océanographique RICARD, Ile des Embiez, Le Brus, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- H. DEMARCK : C.T.A.M.N. Sophia Antipolis. 06560 VALBONNE.
- J.-M. DESLOUS-PAOLI : IFREMER, B.P. 133, 17390 LA TREMBLADE.
- Y. DESPEYROUX : Sédimentologie et Géochimie, Université de Lille I, 59655 VILLENEUVE D'ASCO

- N. DROGUE : CNRS, Microbiologie marine, Université de Provence, 13331 MARSEILLE  
J. DUCLERC : IFREMER, 1, Rue Jean Vilar, 34200 SETE  
C. DUVAL : IFREMER, 1, Rue Jean Vilar, 34200 SETE  
T. EL-JAMMAL : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41 13288 MARSEILLE CEDEX 9  
H. FARRUGIO : IFREMER, 1, Rue Jean Vilar, 34200 SETE  
A. FERAL : Direction de l'Aménagement et de l'Environnement maritimes, Port Autonome, 33000 BORDEAUX.  
F. GALGANI : Centre océanologique du Pacifique, B.P. 7004, Taravao, TAHITI  
P. GALICHON : Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 2, Rue Alfred-Fouillée 75013 PARIS.  
F.-J. GATESOUPÉ : INRA/IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX  
M. GAUTHIER : INSERM Unité 40, 1, Avenue Jean Lorrain, 06300 NICE  
J. GRANBOULAN : Direction de l'Aménagement et de l'Environnement maritimes, Port Autonome, 33000 BORDEAUX.  
P. GROVEL : Université de Nantes E.N.S.M. 44072 NANTES CEDEX  
A. GUILCHER : Université de Bretagne occidentale, B.P. 860, 29279 BREST CEDEX  
E. GUILLEMOT : Encina nueva, El puerto de Santa Maria, CADIX, Espagne.  
Y. HARACHE : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX  
L. HARDY : CEPALMAR, 34000 MONTPELLIER.  
J.-G. HARMELIN : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.  
M. HERAL : IFREMER, B.P. 133, 17390 LA TREMBLADE.  
N. HERMIN : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3  
F. HIDALGO : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.  
A. JEUDY DE GRISSAC : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.  
G. JOLY : Ecole Normale Supérieure, Laboratoire de Géographie, 92120 MONTRouGE.  
J.-M. JOUANNEAU : Centre de Recherches sur l'Environnement sédimentaire et structural des domaines marins, Université de Bordeaux, 33405 TALENCE.  
L.-R. LAFOND : E.P.H.E., Laboratoire de Géomorphologie, 91405 ORSAY  
A. LAGIN : IFREMER, 97200 LE ROBERT, MARTINIQUE.  
J.-P. LAMARE : Office régional de la mer, 13016 MARSEILLE.  
P. LASSUS : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.  
P. LE CORRE : Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.  
J.-R. LEFEVRE : CIPALM, Cité administrative, B.P. 06028 NICE CEDEX  
P. LELONG : Fondation océanographique Ricard, Ile des Embiez, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.  
C. LE MILINAIRE : IFREMER, Centre de Brest, 29273 BREST  
G. LE MOULLAC : IFREMER, Deva sud, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS  
M. LEVEAU : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41 13288, MARSEILLE CEDEX 9  
P. LUCET : CEPALMAR, 34000 MONTPELLIER

- P. MAGGI : IFREMER, E.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.  
A. MANCHE : Directeur Parc national de Port Cros, 83400 HYERES.  
C. MARCAILLOU-LE BAUT : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.  
M. MARCHAND : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.  
Y. MARTIN : Fondation océanographique Ricard, Ile des Embiez, Le Brusco, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.  
H. MASSÉ : Centre d'Océanologie U.A.41, 13007 MARSEILLE.  
A. MASTOURI : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.  
A. MEINESZ : Laboratoire de Biologie et Ecologie marines, Université de Nice, 06034 NICE.  
L. MENANTEAU : Calle de la Huertas, 18.3 MADRID 12.  
C. MIGNIOT : Laboratoire central d'Hydraulique de France, 94704 MAISON-ALFORT.  
G. MILLE : Centre de Spectroscopie moléculaire et U.A. 126 de Chimie moléculaire et Pétrôlechimie, 13397 MARSEILLE CEDEX 13.  
D. ODY : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.  
F. OTTMAN : Université de Nantes, Laboratoire de Géologie marine et appliquée, 44072 NANTES CEDEX.  
A. PASTOUREAUD : CREMA, Case 5, 17137 NIEUL-SUR-MER.  
J.-F. PAVILLON : Institut océanographique, 75005 PARIS.  
C. PHELEPP : Fondation océanographique Ricard, Ile des Embiez, Le Brusco, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.  
J.-M. PIONETTI : Station de Biologie marine et lagunaire, 34200 SETE.  
J. POPULUS : IFREMER, B.P. 337, 29273 BREST CEDEX.  
P. PRUNET : Laboratoire d'Hydrobiologie INRA CNRZ, 78350 JOUY-EN-JOSAS.  
J.-M. RICARD : IFREMER, DEVA Sud, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS.  
J.-C. ROMANO : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.  
J. SACCHI : IFREMER, 62200 BOULOGNE-SUR-MER.  
J.-C. SALOMON : Laboratoire d'océanographie physique, Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.  
F. SIMARD : Société franco-japonaise d'Océanographie et Université des Pêches de Tokyo, 5-7 Konan 4, Minato-ku, TOKYO 108.  
A. SIRÉ : Office régional de la mer, 13016 MARSEILLE.  
L. SOULARD : Centre météorologique départemental de Nantes, Château-Bougón.  
H. THEBAULT : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.  
Y.-F. THOMAS : Laboratoire de Géomorphologie, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 92120 MONTRouGE.  
J.-P. TROADEC : IFREMER, 66, Avenue d'Iéna, 75116 PARIS CEDEX.  
J.-R. VANNEY : Laboratoire de Géographie, 75005 PARIS.  
F. VERGER : Laboratoire de Géomorphologie, 92120 MONTRouGE.  
N. VICENTE : Laboratoire de Biologie marine, Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.  
C. VIDEAU : Université de Bretagne occidentale, 29283 BREST CEDEX.  
M. VILLEROT : Direction de l'Aménagement et de l'Environnement maritimes, Port Autonome, 33000 BORDEAUX.  
L. WALD : C.T.A.M.N., Sophia Antipolis, 06560 VALBONNE.

### PRESIDENTS DE SEANCE

- M. J. AKIMICHI : Museum national d'Ethnologie, OSAKA-fu 565 Japon.
- M. C. ALZIEU : IFREMER, B.P. 1049, 44037 NANTES CEDEX.
- Mme D. BELLAN-SANTINI : Centre d'Océanologie U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. A. BIANCHI : Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3.
- M. R. BILLARD : Institut national de la Recherche agronomique, 78350 JOUY-EN-JOSAS.
- M. R. CHESSELET : Programme interdisciplinaire de Recherche océanographique, CNRS, 75007 PARIS.
- M. F. DOUMENGE : Museum national d'Histoire naturelle, Laboratoire d'Ethologie et conservation des espèces animales, 75012 PARIS.
- M. M. FONTAINE de l'Institut, Institut océanographique, 75005 PARIS.
- M. A. GUILCHER : Université de Bretagne occidentale, B.P. 860, 29279 BREST CEDEX.
- M. K. HIRAYAMA : Université de Nagasaki, Faculté des Pêches, NAGASAKI 852, Japon.
- M. M. ICHIKAWA : Association japonaise de Météorologie, TOKYO 101, Japon.
- M. N. IWAKIRI : Université de Kagoshima, Faculté des Pêches, Laboratoire d'Economie des Pêches, 4-50-20 Shimoarata, KAGOSHIMA 890.
- M. S. KATOH : Université des Pêches de Tokyo, Département des Sciences de l'Environnement et Technologie Marines, TOKYO 108, Japon.
- M. M. KAYAMA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire de Biochimie marine, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA 720.
- M. J.-P. LAMARE : Office régional de la mer, 13016 MARSEILLE.
- M. M. LEVEAU : Centre d'Océanologie, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE CEDEX 9.
- M. H. NAKAGAWA : Université de Hiroshima, Faculté des Sciences Biologiques appliquées, Laboratoire d'Aquaculture, 2-17 Midori-machi, FUKUYAMA, HIROSHIMA, 720.
- M. T. NEMOTO : Ocean Research Institute, Université de Tokyo, Nakano-ku, TOKYO 160.
- M. T. OKAICHI : Université de Kagawa, Faculté d'Agriculture Ikenobe, KAGAWA 761-07, Japon.
- M. H. OKAMOTO : PASCO Corp., 13-5 Higashiyama 2-Chome, Meguro-ku, TOKYO 153.
- M. S. OKUSA : Tokai University, Orido 3-20-1, Shimizu-shi, SHIZUOKA 424.
- M. J.-P. TROADEC : Direction des ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS.
- M. N. VICENTE : Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE CEDEX 4.
- M. M. VIGNEAUX : Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, 33405 TALENCE.
- M. T. YAMANE : Association pour la promotion et le développement de la pêche côtière, TOKYO-101, Japon.
- M. H. YOSHIMURA : Centre de recherches de l'Agence Maritime de Sécurité, 6-64 Kitana-kadori, Naka-ku, YOKOHAMA KANAGAWA, 231.

### COMITE D'ORGANISATION

Coordination du colloque interdisciplinaire franco-japonais au Ministère des Relations extérieures :

M. Marc DUPUIS : Coordinateur général du Colloque interdisciplinaire franco-japonais Université Paris VI et OFTA, 75005 PARIS.

M. Hubert J. CECALDI : Coordinateur pour l'Océanographie, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.

Coordination générale au Japon du Colloque Scientifique franco-japonais en océanographie :

M. Reijiro HIRANO : Université de Tokyo, Faculté d'Agriculture, TOKYO (Relations avec les scientifiques japonais).

M. François SIMARD : CEPALMAR, Société franco-japonaise d'Océanographie, TOKYO (Rapports avec le Comité d'organisation japonais et le Comité d'organisation français).

Membres du Comité d'Organisation :

Mme Denise BELLAN-SANTINI : Station marine d'Endoume, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE (Récifs artificiels).

M. Armand BIANCHI : Microbiologie, CNRS, Université de Provence, 13331 MARSEILLE CEDEX 3 (Microbiologie des eaux marines côtières).

M. Marc BONNET : Recherches aquacoles, IFREMER, 75116 PARIS (Exploitation des ressources).

M. Bernard CHEVASSUS : INRA-CNRZ, Hydrobiologie, 78350 JOUY-EN-JOSAS (Aquaculture).

M. Georges CRISTIANI : Office Régional de la Mer, 13016 MARSEILLE (Récifs artificiels).

M. Jean DUCLERC : IFREMER, Centre de Sète, 34200 SETE (Récifs artificiels).

M. Yves HENOCQUE : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Station marine d'Endoume, 13007 MARSEILLE (Aquaculture).

M. Louis-Robert LAFOND : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Laboratoire de Géomorphologie, 91405 ORSAY (Océanographie physique et Dynamique sédimentaire).

M. Patrick LASSUS : IFREMER, Centre de Nantes, 44037 NANTES CEDEX (Eaux rouges toxiques).

M. Lucien LAUBIER : Correspondant à l'Académie des Sciences, Haut Conseiller Scientifique de l'IFREMER, 75116 PARIS (Aquaculture).

M. Jean Y. LEE : IFREMER, 75116 PARIS (Relations internationales).

M. Michel LEVEAU : Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, Pelagos, Faculté de Luminy, 13288 MARSEILLE (Caractères biologiques des eaux côtières).

M. Paolo PIRAZZOLI : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Intergéo, CNRS, 75005 PARIS (Présentation des posters).

M. Joël QUERELLOU : IFREMER, Centre de Brest, Aquaculture 29273 BREST (Aquaculture).

M. Yves F. THOMAS : Laboratoire de Géomorphologie, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 92120 MONTROUGE (Téledétection des milieux côtiers).

M. Jean-Paul TROADEC : Direction des ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS (Exploitation des ressources).

M. Nardo VICENTE : Université Aix-Marseille III, Biologie marine, 13014 MARSEILLE (Caractères biologiques des eaux côtières).

COMITE SCIENTIFIQUE

- M. Michel AMANIEU, Professeur, Président du Groupement d'Intérêt Scientifique Aquaculture en région méditerranéenne, U.S.T.L., 34060 MONTPELLIER.
- M. Jean-Charles ARNAUD, Président de la Fondation océanographique RICARD, Ile des Embiez, Le Brusç, 83140 SIX-FOURS-LES-PLAGES.
- M. Gérard ATLAN, Chargé de Mission Off-shore, Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille, 13292 MARSEILLE.
- M. Michel AUBRY, Chef du Département Espace-Océan-Environnement, Ministère de la Recherche et de la Technologie, Mission scientifique et technique, 75005 PARIS.
- M. Denis BAILLY, Université de Kagoshima, Laboratoire d'Economie des Pêches, KAGOSHIMA.
- Mme Denise BELLAN-SANTINI, Directeur de recherche C.N.R.S., U.A. C.N.R.S. 41. Centre d'Océanologie de Marseille, 13007 MARSEILLE.
- M. Georges BENOIT, Ministère de l'Agriculture, Direction de l'aménagement Mission Aquaculture, 75732 PARIS.
- M. Armand BIANCHI, Directeur de recherche C.N.R.S., Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE.
- M. Roland BILLARD, Directeur Synthèse et Développement, INRA, 78350 JOUY-EN-JOSAS.
- M. François BLANC, Professeur, Directeur du Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. Marc BONNET, Chef de Service Recherches Aquacoles, Directeur Ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS.
- M. André BOURDILLON, Professeur, Directeur adjoint, Chef de la Division Ecophysiologie, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE.
- M. Hubert J. CECCALDI, Directeur de laboratoire, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Président de la Société franco-japonaise (française) d'Océanographie Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. Hervé CHAMLEY, Professeur, Université des Sciences et Techniques de Lille, 59655 VILLENEUVE D'ASCQ.
- Mlle Gislèle CHAMPALBERT, Chargée de Recherche, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE.
- Mlle Béatrice CHATAIN, Vice-Présidente de la Société franco-japonaise d'Océanographie, 34250 PALAVAS-LES-FLOTS.
- M. Roger CHESSELET, Directeur du Programme Interdisciplinaire de Recherches en Océanographie (PIRO) C.N.R.S., 75007 PARIS.
- M. Georges CRISTIANI, Directeur, Office Régional de la Mer, 13016 MARSEILLE.
- M. Jean-Claude CUEFF, Secrétaire du Comité interprofessionnel des poissons migrateurs d'estuaire, 75017 PARIS.
- M. Raoul DAUMAS, Chargé de Recherche C.N.R.S., Microbiologie, Université de Provence, 13331 MARSEILLE.
- M. Christian DELMAS, Attaché scientifique, Ambassade de France, TOKYO
- M. Pierre DIVANACH, Secrétaire général, Groupement d'Intérêt Scientifique Aquaculture en région méditerranéenne, U.S.T.L., 34060 MONTPELLIER
- M. Guy DUCHER, Directeur du Service Recherche, Institut géographique national, 94160 SAINT-MANDE
- M. Jean DUCLERC, Responsable du Programme Récifs artificiels, IFREMER, Station de Sète, 34200 SETE

- M. Michel DUPRE, Chargé de mission, Ministère de l'Environnement, 92524 NEUILLY-SUR-SEINE.
- M. Marc DUPUIS, Professeur, Université Paris VI, 75005 PARIS.
- M. François GERARD, Chef de la Mission de la Recherche, Secrétariat d'Etat chargé de la Mer, 75017 PARIS.
- M. Alain GUILLE, Sous-directeur au Museum national d'Histoire naturelle, Chargé de mission, Programme Interdisciplinaire de recherches en Océanographie (PIRO), C.N.R.S./M.E.N., 75005 PARIS.
- M. Yves HARACHE, Chef de laboratoire Elevage des Poissons, Centre de Brest, IFREMER, 29273 BREST
- M. Yves HENOCQUE, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Station Marine d'Endoume, 13007 MARSEILLE.
- M. Maurice HERAL, Chef de Station, IFREMER, 17390 LA TREMBLADE.
- M. Reijiro HIRANO, Professeur, Faculté d'Agriculture, Université de Tokyo, TOKYO 113 JAPON.
- M. Jiro KITTAKA, Professeur, Ecole supérieure des Pêches, Université KITASATO, Sanriku, IWATE 022-01, JAPON.
- M. Louis-Robert LAFOND, Directeur de laboratoire, Géomorphologie, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 91405 ORSAY.
- M. Pierre LASSERE, Professeur, Directeur de la Station d'Océanologie et de Biologie marine, 29211 ROSCOFF.
- M. Patrick LASSUS, Chef du Laboratoire Effets biologiques de nuisances, Centre de Nantes, IFREMER, 44037 NANTES.
- M. Lucien LAUBIER, Professeur à l'Institut océanographique, Haut conseiller scientifique de l'IFREMER, 75116 PARIS.
- M. Pierre-Yves LE CORDIX, Télédétection et cartographie spatiale, Institut géographique national, 94160 SAINT-MANDE.
- M. Jean-Y. LEE, Département de la coopération internationale, IFREMER, 75116 PARIS.
- M. Jean-Yves LE GAL, Collège de France, Directeur du Laboratoire de Biologie marine, 29181 CONCARNEAU.
- M. Michel LEVEAU, Directeur adjoint, Chef de la Division Pélagos, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE.
- M. Joël LOREC, Directeur Scientifique, APASUB, Le Perello, 56270 PLOEMEUR.
- M. Pierre LUQUET, Institut national de la Recherche agronomique, Laboratoire de Nutrition et Elevage des poissons, 64310 SAINT-PEE-SUR-NIVELLE.
- M. François MADELAIN, Chef du Service Environnement littoral, IFREMER, 75116 PARIS.
- M. Serge MAESTRINI, Directeur de Recherche C.N.R.S., Directeur du Centre de Recherches en Ecologie et Mariculture, 17135 NIEUL SUR MER.
- M. Jacques MAGAUD, Professeur, Université de Lyon II, 69000 LYON.
- M. Jean-Louis MARTIN, IFREMER, Directeur-adjoint, Centre de Recherches en Ecologie et Mariculture, 17135 NIEUL-SUR-MER.
- M. Zaher MASSOUD, Directeur du Programme interdisciplinaire de recherches sur l'Environnement (PIREN), C.N.R.S., 75007 PARIS.
- M. Henri MASSE, Directeur de recherche C.N.R.S., Directeur Adjoint, Chef de la Division Réseau Trophique et Ressources biologiques, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.
- M. Jean-Louis MAUVAIS, Chef du Département Environnement littoral, IFREMER, 29273 BREST

M. Alain MICHEL, Chef du Département Ressources Aquacoles, Direction des Ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS

Mme Myriame MOREL, Conservateur du Musée d'Histoire de Marseille 13001 MARSEILLE.

M. Jean PARIS, Professeur, Directeur de la Station de Biologie marine et lagunaire, 34200 SETE.

M. Jean-François PAVILLON, Laboratoire de Physiologie des êtres marins, Institut Océanographique, 75005 PARIS.

M. Gabriel PERES, Professeur, Directeur de l'Institut Michel Pacha, Université de Lyon I 83150 TAMARIS SUR MER.

M. Paolo PIRAZZOLI, Intergéo, Ecole Pratique des Hautes Etudes, C.N.R.S. 75005 PARIS.

M. Francis POINSARD, Chef du Service Ressources halieutiques, Direction des ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS.

M. Joël QUERELLOU, Chef de Station Pêche et Aquaculture, Centre de Brest, IFREMER, 29273 BREST

M. Pierre ROUZAUD, Chef des Services Programmation moyens navals, IFREMER, Base océanologique de Méditerranée, 83507 LA SEYNE-SUR-MER.

M. Alain SALIOT, Laboratoire de Physique et Chimie marines, Université Paris VI, 75005 PARIS.

M. Bernard SALVAT, Directeur de laboratoire, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 75005 PARIS.

M. François SIMARD, Vice-Président de la Société franco-japonaise (française) d'Océanographie, Université des Pêches de Tokyo, 5-7 Konan 4, Minato-ku, TOKYO 108.

M. Alain SOURNIA, Maître de recherches C.N.R.S., 29211 ROSCOFF

M. Jacques SOYER, Professeur, Directeur du laboratoire Arago, 66650 BANYULS-SUR-MER.

M. Kenzo TAKANO, Professeur, Institut des Sciences biologiques, Université de Tsukuba, TSUKUBA, Ibaraki, 300-31 Japon.

M. Masahide TOMINAGA, Professeur, Président de la Société franco-japonaise (japonaise) d'Océanographie, Association japonaise de Météorologie, TOKYO 101, Japon.

M. Jean-Paul TROADEC, Directeur du Département Ressources vivantes, IFREMER, 75116 PARIS.

M. Jean VACELET, Directeur de recherche, Directeur adjoint, Chef de la Division du Benthos, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE.

M. Fernand VERGER, Professeur, Directeur de laboratoire, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 92120 MONTRouGE.

M. Nardo VICENTE, Professeur, Université Aix-Marseille III, 13397 MARSEILLE.

#### COMITE EXECUTIF

M. Hubert J. CECCALDI : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13007 MARSEILLE (Coordination générale).

Melle Gisèle CHAMPALBERT : CNRS, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41, 13288 MARSEILLE (Coordination, Secrétariat général adjoint et Publications).

M. Eric FARITIEY : Delta Pêche, 13500 MARTIGUES (Visites durant le colloque et post-colloque).

Mme Catherine FROGET : Centre d'Océanologie de Marseille, 13288 MARSEILLE (Secrétariat général adjoint et Posters) assistée de M. Olivier GOUBAULT.

M. Yves HENOCQUE : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Centre d'Océanologie de Marseille, 13007 MARSEILLE (Secrétariat général).

Mme Akiko NISHIKAWA : 13002 MARSEILLE (Traduction simultanée), assistée de MM. Denis BAILLY, Toru MIMURA et Hiroki YAGI.

M. François SIMARD : CEPRALMAR et Société franco-japonaise d'Océanographie, Université des Pêches de TOKYO, Japon (Organisation du Colloque au Japon).

Mme Célia VAZQUEZ-BOUCARD : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. C.N.R.S. 41. (Accueil et hébergement) assistée de M<sup>me</sup> Maryse GROSJEAN, Jean-Michel MARTIN et Lionel TOCHE.

M. Benoît VIDAL-GIRAUD : CEPRALMAR, 34000 MONTPELLIER. (Manifestations audiovisuelles), assisté de MM. Olivier DUMONTEIL et François GALGANI.

M. Hiroki YAGI : Ecole Pratique des Hautes Etudes, Centre d'Océanologie de Marseille, 13007 MARSEILLE. (Relations avec le Japon et Accueil de la délégation japonaise), assisté de Mme Michiko YAGI et de M. Liét CHIM.

#### CE COLLOQUE A BENEFICIE DE L'AIDE

du Ministère de la Recherche et de la Technologie, Institut français pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) ; du Centre national de la Recherche scientifique, Programme interdisciplinaire de Recherches océanographiques (PIRO), Programme interdisciplinaire de Recherches sur l'Environnement (PIREN) ; du Conseil régional Provence - Alpes - Côte d'Azur, Office régional de la Mer ; du Ministère des Relations extérieures ; du Ministère de l'Agriculture ; du Ministère de l'Environnement ; du Secrétariat d'Etat auprès du Ministre des Transports, chargé de la Mer ; du Ministère de l'Education nationale ; de la Faculté des Sciences de Luminy ; de l'Office de la Recherche scientifique et technique Outre-mer ; du Ministère du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur ; du Conseil régional Languedoc-Roussillon ; de l'Association Naturalia et Biologia, de Paris, de la Fondation océanographique Ricard ; de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille ; du Conseil municipal de la Ville de Marseille ; de l'Institut géographique national ; de la Compagnie Maritime d'Expertises (COMEX) ; de l'Institut national de Plongée professionnelle, du Port autonome de Marseille, et surtout de l'ADER Provence-Alpes-Côte d'Azur ainsi que de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes et du Centre d'Océanologie de Marseille UA CNRS 41, qui en ont assuré le soutien logistique.

#### REMERCIEMENTS

Ce colloque n'aurait pas pu être réalisé sans les appuis amicaux, nombreux et efficaces dont ont bénéficié le Comité d'organisation et le Comité exécutif.

Tout en étant bien conscients que nous ne serons pas exhaustifs, nous tenons à remercier tout particulièrement, et à titre personnel : M. DEFFERRE, Ministre d'Etat, chargé du Plan et de l'Aménagement du Territoire ; M. DUMAS, Ministre des Relations extérieures ; M. ROCARD et M. NALLET, Ministres de l'Agriculture ; M<sup>me</sup> CRESSON, Ministre du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur ; M. CHEVENEMENT, Ministre de l'Education nationale ; M<sup>me</sup> BOUCHARDEAU, Ministre de l'Environnement et de la Qualité de la Vie ; M. CURIEN, Ministre de la Recherche et de la Technologie ; M. SCHWARTZENBERG, Secrétaire d'Etat auprès du Ministre de l'Education nationale, chargé des Universités ; M. LENGAGNE, Secrétaire d'Etat auprès du Ministre des Transports chargé de la Mer ; M. PEZET, Président du Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur ; MM. FONTAINE, VAGO, DORST, LACOMBE, PERES, GROS et ASSENMACHER, de l'Académie des Sciences ; MM. PEPRATX, CRISTIANI et LAMARE, de l'Office régional de la Mer, M. STUYCK-TAILLANDIER, M. GUILLEMIN et M<sup>me</sup> d'ORGEVAL, du Ministère des Relations extérieures, MM. DECOMPS, GAIGNARD, DEVAUX et M<sup>me</sup> DESSERRE, du Ministère de l'Education nationale ; MM. OPPENEAU et DUPRE, du Ministère de l'Environnement ; MM. RENARD et BENOIT, du Ministère de l'Agriculture ; M. de MENTON, du Ministère du Redéploiement industriel et du Commerce extérieur ; M<sup>me</sup> LEDUR et MM. AUBRY et GONELLA, du Ministère de la Recherche et de la Technologie ; MM. SILLARD, TROADEC, LAUBIER, BONNET et LEE de l'IFREMER-Paris ; MM. CHESSELET, GUILLE et ALIX du PIRO ; MM. MASSOUD et GLASS du PIREN ; MM. LACOMBE, LUCET et HARDY, du Conseil régional Languedoc-Roussillon, CEPRALMAR ; M<sup>me</sup> ORSONI, M<sup>me</sup> LOUISET, M<sup>me</sup> MAROSELLI et M. LACROIX de la Mairie de Marseille ; MM. TARDITS, PORTET et SALVAT, de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes ; MM. O'BYRNE et ATLAN, de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Marseille ; MM. DEVERGNE et DEYDIER, de la Chambre de Commerce et d'Industrie Provence - Alpes - Côte d'Azur - Corse ; M. SERRATRICE, de l'Université Aix-Marseille II ; M. MEBKHOUT, de la Faculté des Sciences de Marseille-Luminy ; M<sup>me</sup> MARCHAND, SAUVAT, PAOLI, et M<sup>me</sup> PRUD'HOMME de l'ADER-PACA ; M. RICARD, de l'IFREMER-Palavas-sur-Mer ; M. PARIS, de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc ; M. DELAUZE, de la COMEX ; M<sup>me</sup> MOREL, M. BADET et M<sup>me</sup> AUBERT, du Musée d'Histoire de Marseille ; MM. ARNAUD et SEGUI, de la Fondation océanographique RICARD ; M<sup>me</sup> GIONTA, du Crédit du Nord ; M. PECHERE, Directeur du Port autonome de Marseille ; M. GAVARRY, de l'Institut National de Plongée Professionnelle, MM. DUCHER et LECORDIX de l'Institut géographique national ; M<sup>me</sup> BORNE de la Société du Centre méditerranéen de Commerce international ; M<sup>me</sup> CALABRESE, de l'Office de Tourisme de Marseille, et MM. BLANC, BOURDILLON, LEVEAU, MASSÉ et VACELET du Centre d'Océanologie de Marseille, UA CNRS N° 41.

Au Japon, l'organisation a surtout reposé sur M. le Professeur TOMINAGA, Président de la Société franco-japonaise d'Océanographie de Tokyo, sur le Professeur HIRANO, de l'Université de Tokyo, sur le Professeur TAKANO, Secrétaire de la Société franco-japonaise d'Océanographie de Tokyo, et surtout sur M. SIMARD, vice-Président de la Société franco-japonaise (française) d'Océanographie.

Nos chaleureux remerciements leur sont adressés.

Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui, directement ou indirectement, ont participé à la préparation de ce Colloque et ont fait de leur mieux pour en parfaire l'organisation et le bon déroulement.



La Société franco-japonaise d'océanographie, déclarée à Paris le 20 février 1984, a pour but de faciliter les échanges entre la France et le Japon dans les différents domaines de l'océanographie au sens large : géomorphologie, océanographie physique, chimique, biologique, pêche et aquaculture marines et continentales. Consciente de la difficulté d'approche du Japon, due en grande partie à la barrière linguistique, la Société franco-japonaise d'océanographie s'efforce de faire connaître en France, l'océanographie japonaise, ses structures, ses organismes, ainsi que les personnes qui la constituent et qui y travaillent, chercheurs, techniciens, professionnels. La Société franco-japonaise est une association sans but lucratif régie par la loi du 1<sup>er</sup> juillet 1901.

## MOYENS

Forte de l'expérience de ses membres qui ont séjourné au Japon et de l'aide directe de ceux qui s'y trouvent, la Société franco-japonaise d'océanographie française entretient de nombreux contacts au Japon, avec nos collègues japonais et avec le représentant permanent de notre Société au Japon. Des liens privilégiés mais non exclusifs unissent en outre la S.F.J.O. française et la S.F.J.O. japonaise.

## MISSIONS

La Société franco-japonaise d'océanographie a pour mission :

— de proposer des contacts à ses membres,

\* grâce à son fichier des laboratoires et des chercheurs japonais, réactualisé en permanence par ses membres qui résident au Japon ou qui en reviennent ;

— de fournir à ses membres :

\* des renseignements pour préparer un séjour d'études ou de recherche de courte ou longue durée,  
\* une aide individualisée aux jeunes chercheurs océanologues boursiers,

\* une aide pour la recherche ponctuelle d'information scientifique et technique ;

— d'envoyer à ses membres :

\* des guides d'introduction à l'océanologie japonaise,

\* des dictionnaires spécialisés à tarif préférentiel : dictionnaires trilingues (français-anglais-japonais) d'aquaculture, édités en coopération avec la Société franco-japonaise d'océanographie japonaise,

\* des bulletins flash d'information sur les récentes activités et découvertes japonaises du domaine de l'océanographie,

\* une bibliographie signalétique et analytique intégrée au Centre de documentation scientifique et technique du C.N.R.S.

Grâce à ses liens privilégiés avec la Société homologue japonaise, la Société franco-japonaise d'océanographie permet également d'adhérer à la Société franco-japonaise d'océanographie de Tokyo moyennant une cotisation réduite, donnant droit à recevoir le bulletin trimestriel *La Mer* et à y publier.

## ADHESIONS

Les adhésions peuvent être prises auprès de :

Monsieur le Secrétaire général de la Société franco-japonaise d'océanographie, 195, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.

### Montant des cotisations

Membre individuel	100 F
Membre institutionnel	1.000 F
Membre étudiant	50 F