



HAL
open science

MICROPHYTOBENTHOS ET PHYTOPLANCTON EN BAIE DE BANYULS (GOLFE DU LION) : BIOMASSES PIGMENTAIRES ET FACTEURS HYDROCLIMATIQUES

C Riaux-Gobin, G Vétion, J Neveux, J.-C Duchêne

► **To cite this version:**

C Riaux-Gobin, G Vétion, J Neveux, J.-C Duchêne. MICROPHYTOBENTHOS ET PHYTOPLANCTON EN BAIE DE BANYULS (GOLFE DU LION) : BIOMASSES PIGMENTAIRES ET FACTEURS HYDROCLIMATIQUES. *Vie et Milieu / Life & Environment*, 1998, pp.1-13. hal-03172814

HAL Id: hal-03172814

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-03172814v1>

Submitted on 18 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MICROPHYTOBENTHOS ET PHYTOPLANCTON EN BAIE DE BANYULS (GOLFE DU LION) : BIOMASSES PIGMENTAIRES ET FACTEURS HYDROCLIMATIQUES

*Microphytobenthos and phytoplankton in Banyuls bay (Gulf of Lions) :
standing stocks and hydroclimatic factors*

C. Riaux-Gobin, G. Vétion, J. Neveux, J.-C. Duchêne

UMR CNRS 7621, Laboratoire d'Océanographie Biologique, Laboratoire Arago,
BP 44, 66651 Banyuls/Mer cedex, France

BIOMASSES PIGMENTAIRES
MICROPHYTOBENTHOS
PHYTOPLANCTON
BAIE DE BANYULS
FACTEURS HYDROCLIMATIQUES

RÉSUMÉ. – Les biomasses microphytobenthiques en baie de Banyuls (golfe du Lion) ont été suivies de mai 1990 à mars 1993, à partir de prélèvements saisonniers de sédiments de granulométrie et bathymétrie diverses (5-7 à 32 m). Des dosages pigmentaires du phytoplancton de la baie ont été réalisés en parallèle. Un gradient microphytobenthique côte-large apparaît : les plus fortes biomasses benthiques sont associées aux sédiments envasés les plus profonds (site P₅, 32 m : en moyenne 2,5 µg Chl *a* g⁻¹ Poids de sédiment Sec, 5 µg Phéo g⁻¹ PS ; soit 7,5 mg Chl *a* m⁻²), tandis que les sables entre 5 et 20 m sont pauvres (en moyenne 1 µg Chl *a* g⁻¹ PS, 0,5-1 µg Phéo g⁻¹ PS ; soit 7 mg Chl *a* m⁻²). Une tendance saisonnière se dessine clairement au point P₅, mais également aux autres sites, avec un maximum estival (> 1 µg Chl *a* g⁻¹ PS pour les sables et > 4 pour le site P₅) correspondant à 14 mg Chl *a* m⁻² pour les sables et 18 mg Chl *a* m⁻² pour le sédiment envasé (concentrations assez basses comparées aux données de la bibliographie). Les augmentations de Chl *a* et de Phéo *a* sont grossièrement synchrones dans les sables et décalées dans le temps au site P₅. Confrontés aux paramètres climatiques (T °C, ensoleillement, force des vents et état de la mer), ces résultats mettent en valeur l'effet du brassage côtier hivernal défavorable au développement du microphytobenthos et l'accumulation de biodépôts d'origine microphytologique en fin d'hiver-début printemps à la surface du sédiment le plus profond. Les effets des crues de la Baillaury (apport en particules et sels minéraux) ne sont pas dissociables de ceux des coups de vent (remises en suspension) car localisés aux mêmes saisons. L'augmentation estivale de biomasse microphytobenthique est à relier à la stabilité des masses d'eau et à l'insolation maximale. Les variations de biomasse phytoplanctonique ne suivent pas le même schéma : diminution estivale et augmentation en fin d'hiver atteignant 2 µg l⁻¹, concentration moyenne 0,7 µg l⁻¹ soit 20 mg Chl *a* m⁻² à P₅.

STANDING STOCKS PIGMENTS
MICROPHYTOBENTHOS
PHYTOPLANKTON
BANYULS BAY
HYDROCLIMATIC FACTORS

ABSTRACT. – A three year survey of the microphytobenthic biomass in Banyuls bay (Gulf of Lions) was performed from May 1990 to March 1993. The sediments investigated had different characteristics in granulometry and bathymetry : from shallow sands to a deeper muddy sediment. In order to establish comparisons between pelagic and benthic microphytic biomasses and their temporal variations, the phytoplankton standing crop was also measured in the bay. A geographical gradient appeared : the highest benthic biomasses were associated to the muddy sediment (P₅, 32 m deep : on an average 2.5 µg Chl *a* g⁻¹ sediment Dry Weight, 5 µg Phaeo *a* g⁻¹ DW ; 7.5 mg Chl *a* m⁻²), whereas very low pigment concentrations characterized the sands – 5 to 20 m deep – (on an average 1 µg Chl *a* g⁻¹ DW, 0.5-1 µg Phaeo *a* g⁻¹ DW ; 7 mg Chl *a* m⁻²). A seasonal trend, well marked at P₅, but also at the other stations, was evidenced. These temporal variations are characterized by a summer maximum : up to 1 µg Chl *a* g⁻¹ DW in the sands and more than 4 at P₅, when expressed by surface units it corresponds to 14 mg Chl *a* m⁻² in sands and 18 mg Chl *a* m⁻² in the P₅ muddy sediment. These pigment concentrations are relatively low. Chl *a* and Phaeo *a* variations are simultaneous in the sands and disynchronous at P₅. Some hydroclimatic parameters (temperature, insolation, wind and roughness of sea) are illustrated and their variations compared to those of pigment concentrations in the sediments. The summer increase of the

microphytobenthic biomass may be related to the stability of the substratum and the high level of insolation. The seasonal variations of phytoplankton biomass are quite different: decrease in pigment concentrations in summer and increase in winter (up to $2 \mu\text{g Chl } a \text{ l}^{-1}$; annual mean concentration: $0.7 \mu\text{g Chl } a \text{ l}^{-1}$ corresponding to $20 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ at P₅).

INTRODUCTION

Dans le golfe du Lion et en particulier sur la côte catalane, les travaux sur le phytoplancton sont assez nombreux contrairement à ceux concernant le microphytobenthos. Le cycle annuel phytoplanctonique et les successions d'espèces ont été ainsi largement étudiés durant les 30 dernières années (Estrada *et al.* 1985). Près de Barcelone, Margalef & Castellvi (1967) ont décrit trois périodes de floraison phytoplanctonique, une au printemps, reliée à un upwelling modéré provoqué par les vents de nord et caractérisée par la présence de cryptophycées et de coccolithophoridés, une seconde, reliée à l'entrée par la zone Est-Sud Est de masses d'eau du large et caractérisée par des Diatomées pélagiques, enfin, une troisième poussée en automne, reliée à la disparition de la thermocline et caractérisée par des Diatomées pennées. Dans la région de Banyuls, le phytoplancton se développe généralement de février à mars suite à l'homogénéisation hivernale et dans une moindre mesure en automne (biomasses chlorophylliennes dépassant rarement $2 \mu\text{g l}^{-1}$; Jacques 1970; Lantoiné 1995). Pour les stations du large, le « bloom » printanier apparaît plus tard dans l'année et le pic automnal ne semble pas toujours avoir lieu. Ces divers développements phytoplanctoniques, en grande partie régis par des événements hydrologiques, sont contrôlés par la formation d'une thermocline en été qui disparaît en automne et par le débit des rivières, particulièrement aux sites côtiers (dilution rhodanienne au printemps et crues d'automne au niveau des rivières de chaque région). D'une manière générale, une grande hétérogénéité spatiale affecte le phytoplancton côtier de la côte catalane (Maso & Duarte 1989), les concentrations pigmentaires pouvant varier du simple au triple en fonction de l'éloignement de la côte et de l'influence des rivières.

Peu de travaux font référence au microphytobenthos des fonds meubles littoraux de la côte Ouest de Méditerranée. Des données concernent la zone Est du golfe du Lion (golfe de Fos) et la zone Sud (embouchure de l'Ebre). Colocoloff (1972) a étudié la production primaire des sédiments sableux dans l'archipel de Riou (Golfe de Marseille), tandis que Plante-Cuny & Bodoy

(1987), dans le Golfe de Fos, comparent les compartiments microphytobenthiques et phytoplanctoniques de deux sites peu profonds et que Barranguet *et al.* (1996), dans ce même Golfe, présentent des données concernant des systèmes conchylicoles et leur environnement. D'après ces auteurs, les variations saisonnières microphytobenthiques diffèrent suivant la situation hydrodynamique du sédiment échantillonné. A granulométrie équivalente (sables fins peu profonds), les moyennes annuelles de la biomasse microphytobenthique pour un site sédimentaire calme sont d'environ $40 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ et $4 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$ pour un site brassé. Les sables de mode calme sont également les plus productifs (production équivalente à celle du phytoplancton sus-jacent alors que leur biomasse est 30 fois supérieure). Dans les baies proches du delta de l'Ebre (Delgado 1989), les concentrations pigmentaires microphytobenthiques sont équivalentes à celles du phytoplancton (en moyenne $15 \text{ mg Chl } a \text{ m}^{-2}$) alors que leur production est moindre. En ce qui concerne les travaux antérieurs plus spécifiques aux sédiments de la baie de Banyuls, ils concernent des dénombrements de Diatomées récoltés sur des sédiments profonds (Bougis 1946; 200 m), en épiphytes (Aleem 1951; 30 m), sur des vases à *Scoloplos armiger* (Mouneimné 1972-73; 32 m) et quelques données sur les teneurs en carbone organique (Cahet & Mouneimné 1976).

Les données présentées dans ce travail sont les premières concernant la biomasse microphytobenthique des côtes catalanes françaises. Le but du suivi était de quantifier les biomasses chlorophylliennes moyennes disponibles à chaque saison pour les maillons supérieurs de la chaîne trophique et ceci pour différents substrats d'une baie ouverte. Cette étude a également permis 1) de comparer les biomasses microphytobenthiques et phytoplanctoniques à surface projetée égale, informations susceptibles d'intéresser les benthologues, 2) d'étudier, le long d'un gradient bathymétrique concernant des sables, le synchronisme des fluctuations de biomasses et de comparer ces fluctuations à celles affectant le sédiment vaseux plus profond, à l'abri du « gyre » de la baie et 3) de mettre en valeur, à partir des données pigmentaires, des indicateurs de sédimentation et d'existence de peuplements microphytobenthiques autochtones.

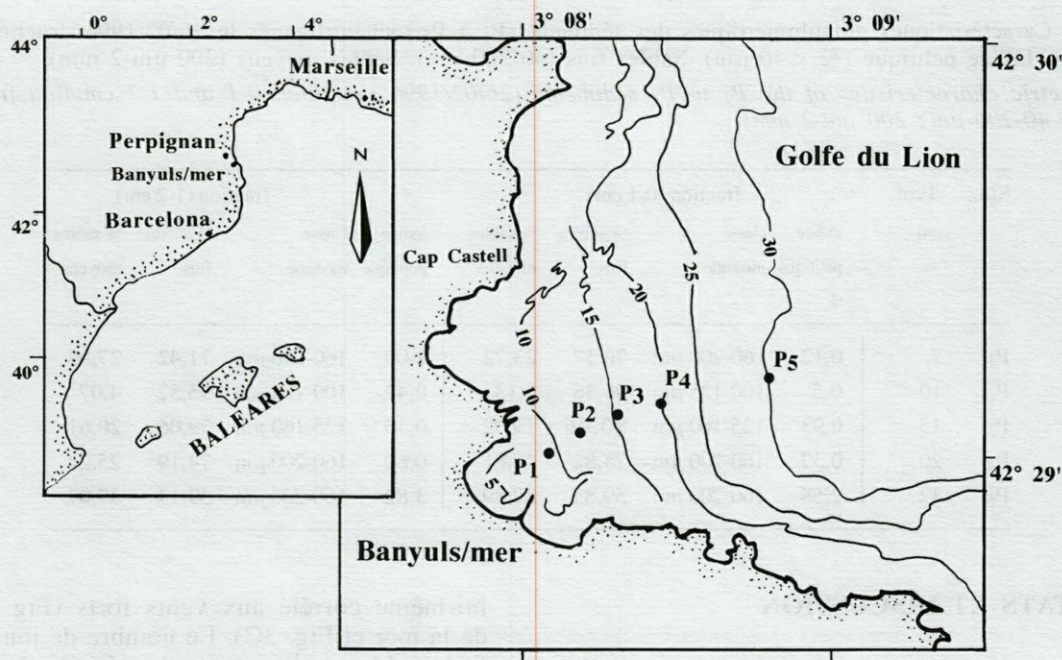


Fig. 1. – Situation géographique des 5 points de prélèvement dans le Golfe du Lion (P₁ à P₄, sables; P₅, sable envasé).

Geographical position of the sampling sites in the Gulf of Lions (P₁ to P₄, sands; P₅, muddy sand).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les prélèvements de sédiment en baie de Banyuls ont été réalisés suivant une radiale côte-large de 5 points (P₁ 5-7 m à P₅ 32 m; Fig. 1) et suivant un rythme saisonnier (environ tous les 2 mois, durant 3 ans). Les sédiments ont été récoltés par carottage manuel en plongée autonome (tubes de plexiglas de 5,4 cm diam. int., 24 cm haut.), ce qui minimise les perturbations de l'interface eau/sédiment. Des échantillons de surface de ces sédiments ont été conservés au formol (dilut. finale 10% en volume) en vue d'études taxinomiques ultérieures. Les masses d'eau ont été échantillonnées à P₅ (10 à 20 cm sous la surface afin d'éviter de prélever l'hyponeuston). Les échantillons ont été transférés immédiatement au laboratoire (chambre froide à 4 °C). Les carottes de sédiment ont été congelées (-20 °C) pour dosages différés (pigments et évaluation de la teneur en eau). Les prélèvements d'eau ont été immédiatement filtrés (de 0,5 à 2 l, suivant la richesse en particules; 3 replicats) sur membrane filtrante Whatman GF/F de 47 mm diam. (sous vide modéré < 200 mbars), et les filtres congelés à -20 °C pour dosages différés. Après décongélation partielle, les carottes ont été fractionnées en 6 segments (0-0,5, 0,5-1, 1-2, 2-4, 4-6 et 6-8 cm) avant l'extraction acétonique pour l'étude des pigments. Le point de prélèvement P₁ n'a pas toujours pu être échantillonné en raison de sa position (zone protégée réservée aux estivants, navigation réglementée en été). Nous n'avons pas réalisé

d'analyse factorielle des résultats, confrontés aux paramètres hydroclimatiques du milieu, en raison du rythme d'échantillonnage trop peu élevé dans le temps.

Les «chlorophylle a» (incluant les iso- et allomères et la chlorophyllide a), «b» et «c» (Chl a, b and c) et les «phéopigments» associés (Phéo a, b, c) ont été mesurés sur des extraits acétoniques (acétone à 90%) en utilisant la méthode spectrofluorimétrique de Neveux & Lantoine (1993). Les filtres GF/F ont été broyés dans de l'acétone (100% p.a. Merck) et conservés au froid et à l'obscurité pendant 12 h. Le traitement des échantillons de sédiment et la préparation des extraits ont été réalisés suivant les mises au point de Riaux-Gobin & Klein (1993): 1) extraction sur des échantillons de sédiments humides (environ 1 g ± 0,0001 g) durant 16 h (obscurité, 4 °C) dans 6 ml d'acétone à 90% (p.a. Merck), sans broyage; 2) agitation manuelle des extraits 2 fois durant le temps d'extraction; 3) d'autre part séchage de sous-échantillons au four (12-18 h, 60 °C) afin d'en évaluer la teneur en eau. Les résultats sont exprimés en µg g⁻¹ Poids de sédiment Sec (µg g⁻¹ PS) et également par unité de surface (µg m⁻²) après application d'un facteur de conversion propre à chacun des 5 sédiments, obtenu après «pesée sèche» (dessiccation de 48 h, 60 °C) d'un échantillon dont la surface, l'épaisseur et le poids frais sont connus. Les facteurs de conversion ont été calculés à partir de prélèvements effectués le 26/02/1996. La granulométrie de chaque site (fractions 0-1 et 1-2 cm) a été effectuée par tamisage différentiel de sédiment lyophilisé (tamisage aux normes AFNOR) après élimination des chlorures par décantation dans de l'eau distillée.

Tabl. I. – Caractéristiques granulométriques des sédiments P₁ à P₅ (échantillonnés le 26/02/1996, fractions 0-1 cm et 1-2 cm). Indice pélitique (% < 40 µm). Sables fins (40-200 µm). Sables moyens (200 µm-2 mm).

Granulometric characteristics of the P₁ to P₅ sediments (26/02/1996 sampling, 0-1 and 1-2 cm first fractions; % < 40 µm; 40-200 µm; 200 µm-2 mm).

Stn.	Prof. (m)	fraction (0-1 cm)				fraction (1-2 cm)			
		indice pélitique %	classe médiane	% sables fins	% sables moyens	indice pélitique %	classe médiane	% sables fins	% sables moyens
P ₁	7	0,12	160-200 µm	76,17	23,72	1,00	160-200 µm	71,42	27,58
P ₂	10	0,5	100-125 µm	96,36	3,13	0,42	100-125 µm	95,52	4,07
P ₃	15	0,93	125-160 µm	80,06	19,02	0,35	125-160 µm	79,06	20,61
P ₄	20	0,37	160-200 µm	73,82	25,81	0,60	160-200 µm	74,19	25,22
P ₅	32	2,58	160-200 µm	59,53	37,89	3,82	160-200 µm	59,13	37,07

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Facteurs hydroclimatiques

Plusieurs facteurs hydroclimatiques peuvent influencer sur le développement du microphytobenthos :

L'énergie lumineuse parvenant au sédiment est liée à l'insolation (heures par mois; Fig. 2B, station météorologique de Perpignan-Rivesaltes) et à la transparence des masses d'eau côtière, elle-même inversement corrélée à l'état de la mer (remises en suspension du sédiment) et aux crues de la Baillaury (apports particulaires) (Fig. 2C, 3 & 4). Si l'insolation est irrégulière en 1990 et légèrement inférieure à la moyenne (calculée pour les années 1946 à 1989), les années suivantes sont encore plus déficitaires, particulièrement 1992 (Fig. 2B). L'augmentation printanière s'ébauche en mars-avril; elle est bien marquée en 1991.

La température : le réchauffement des masses d'eau de surface s'effectue en parallèle au réchauffement de l'air. Une bonne corrélation existe entre ces 2 paramètres (Nozais 1995). En l'absence de données précises sur la température des masses d'eau de la baie durant la période 1990-1993, on se réfère ici aux variations saisonnières de la température de l'air mesurées au Cap Bear, proche de Banyuls (Fig. 2A). La transition printanière se marque entre mars et mai (température air dépassant 15 °C); l'évolution rapide vers les températures estivales s'effectue avec un léger retard par rapport à l'augmentation de l'insolation. Sur les 3 années consécutives, la « période estivale » de 1990 est la plus longue (températures élevées et mer relativement calme sur une période d'environ 170 j).

La stabilité des sédiments peu profonds, qui est en grande partie régie par le régime des houles,

lui-même corrélé aux vents forts (Fig. 2C : état de la mer et Fig. 3C). Le nombre de jours de vent fort (> 16 m s⁻¹) est, sur la période de référence 1950-1992, de 14 j mois⁻¹ durant le premier trimestre, puis chute jusqu'en septembre à 6 et remonte ensuite progressivement à 14. L'année 1990 comporte très peu de périodes de vents forts, les années 1991 et 1992 sont un peu plus ventées que la moyenne et 1993 est peu ventée. De manière générale les périodes sans coups de vent sont de courte durée et généralement situées en été, ce qui induit une plus grande stabilité des masses d'eau et des sédiments à cette période (Fig. 2C, périodes de stabilité accrue en grisé) pouvant être favorable au développement du microphytobenthos.

Par ailleurs, les courants marins créent un « gyre » dans la baie (Nozais 1995), empêchant une sédimentation des particules fines en dehors de la zone centrale de la baie, à partir de l'isobathe 30 m, d'où la granulométrie différente entre les sables unimodaux bien triés des zones peu profondes et le sédiment sablo-vaseux P₅ plus au large (Tabl. I). Ces différences de granulométrie et de sédimentation peuvent induire l'implantation d'assemblages microphytiques différents et par ailleurs favoriser ou non les biodépôts.

Les apports en sels nutritifs, conséquence du brassage hivernal qui permet aux masses d'eau profondes d'enrichir les masses d'eau côtières, s'effectuent avant l'installation de la thermocline (Jacques 1970; Lantoine 1995). Les concentrations en nitrate et phosphate, au large de la baie de Banyuls, en un site un peu plus éloigné de la côte que le site P₅, sont relativement faibles : en moyenne 1,32 µM NO₃ et 0,06 µM PO₄, avec des maxima en hiver. Des enrichissements peuvent également s'effectuer par le biais d'événements sporadiques telles les remontées temporaires d'eau de fond suite aux coups de vent de Nord (Tramontane) – événements non suivis lors de cette

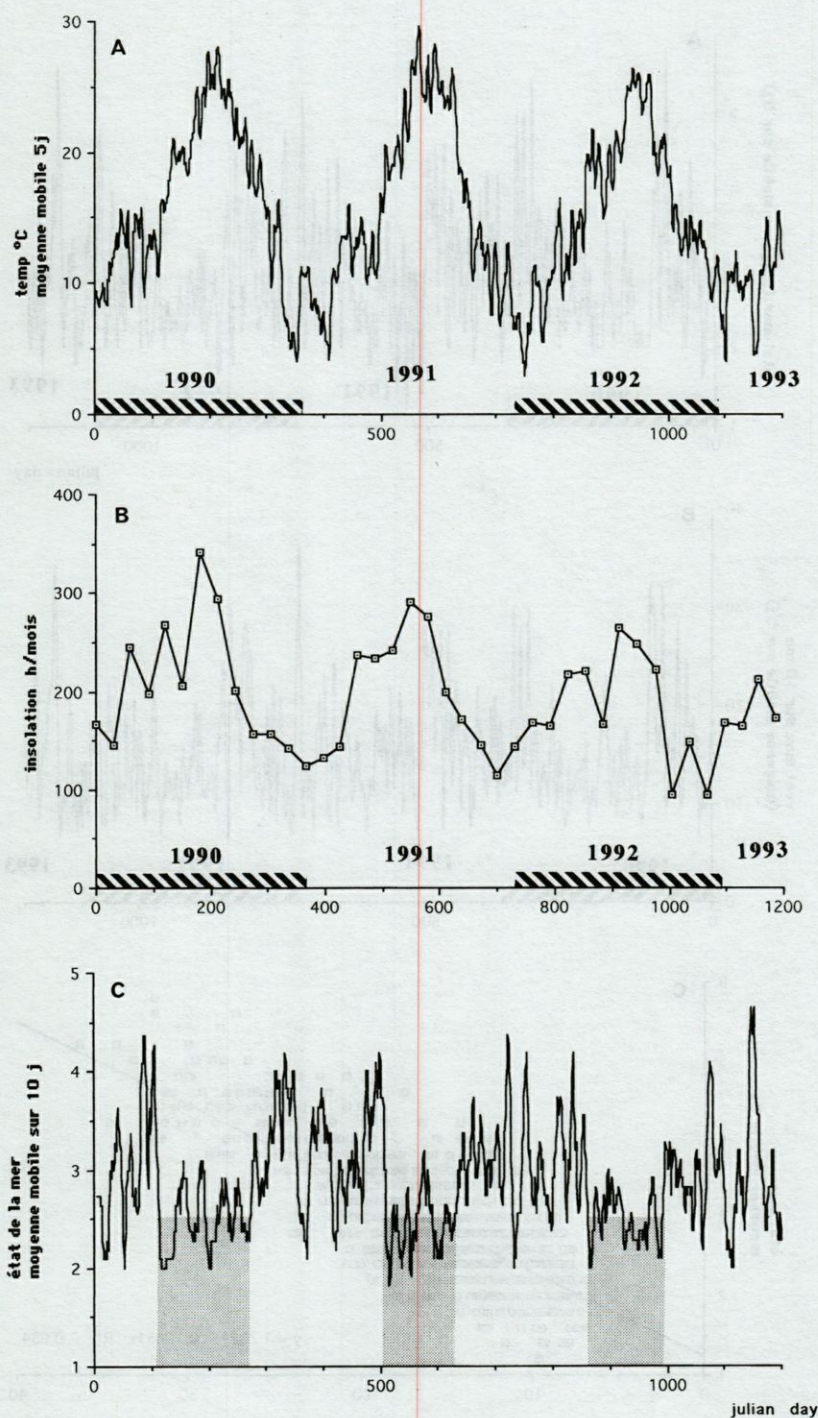


Fig. 2. – Paramètres hydroclimatiques. A, température de l'air (°C, Station Cap Bear, moyenne mobile sur 5 j). B, Insolation (h mois⁻¹, Station Perpignan-Rivesaltes). C, Etat de la mer (Station Cap Bear, moyenne mobile sur 10 j, périodes de stabilité accrue en grisé). L'unité sur l'axe des temps (Fig. 2 à 7) est le jour julien («julian day»).

Hydroclimatic parameters. A, air temperature (°C, 5 days mean values, Cap Bear Station). B, Insolation (h month⁻¹, Perpignan-Rivesaltes Station). C, Sea roughness (10 days mean values, Cap Bear Station, in dark : periods of stability). Time unit (Fig. 2 to 7) : julian day.

étude – ou lors des crues des rivières locales (Maso & Duarte 1989). Les crues de la Baillaury sont synchrones de celles du Tech, avec au plus un décalage d'une journée (Fig. 4), alors que les bas-

sins versants sont très différents en superficie et en orientation. Ces crues sont sporadiques et plutôt localisées au printemps et en automne-hiver, la période de juillet à septembre étant particuliè-

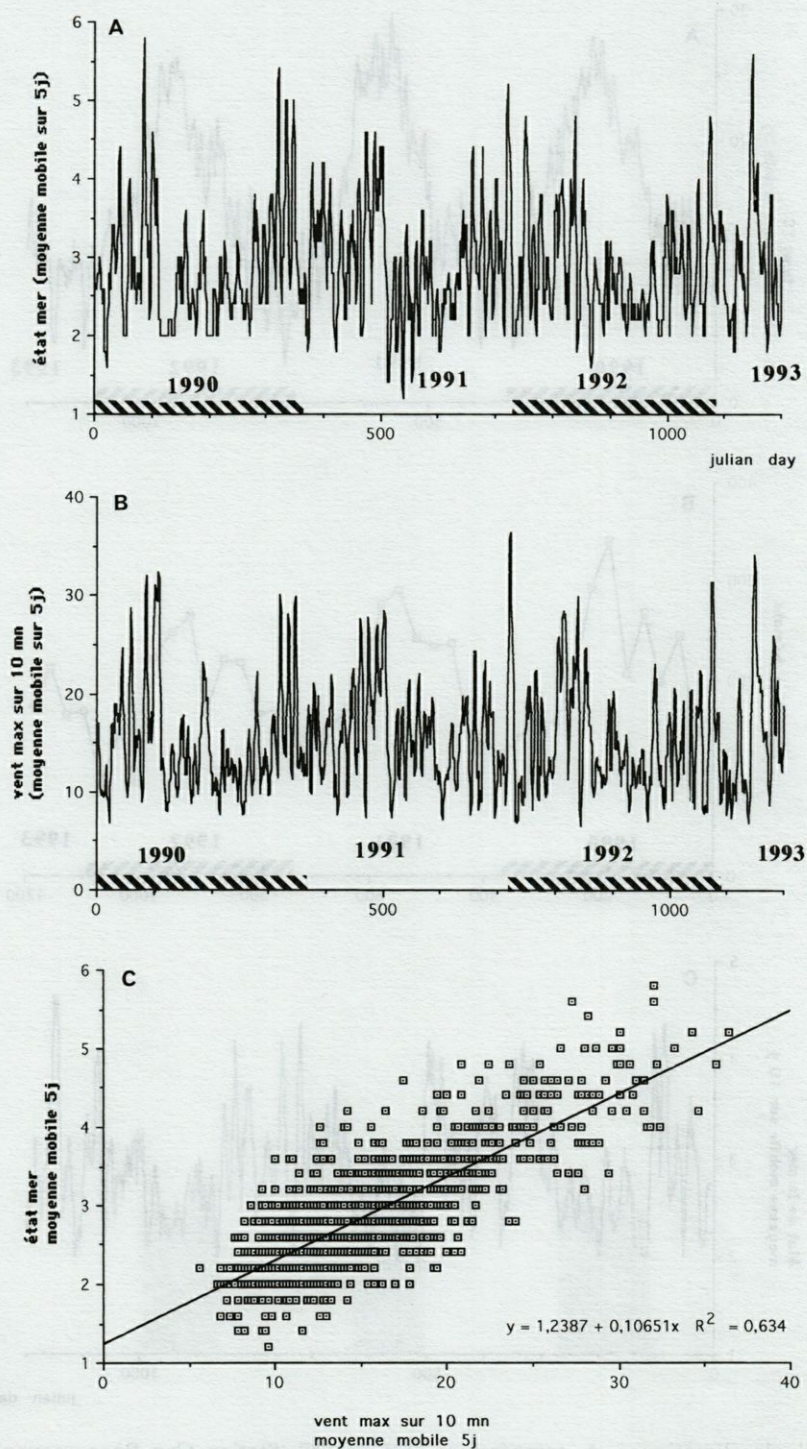


Fig. 3. – A, Etat de la mer (Station Cap Bear, moyenne mobile sur 5 j). B, Vitesse du vent (m s^{-1} , max. moy. sur 10 mn, Station Cap Bear, moyenne mobile sur 5 j). C, Régression linéaire entre l'état de la mer et les coups de vent.

A, Sea roughness (Cap Bear Station, 5 days mean values). B, Wind speed (m s^{-1} , max. mean/10 mn, Station Cap Bear, 5 days mean values). C, Linear regression between the sea roughness and wind speed.

rement sèche. L'année 1990 est, par ailleurs, très sèche. Les crues de la Baillaury apportent dans la baie de Banyuls des panaches terrigènes caractéristiques, qui s'étendent très au large. L'impact de

tels événements sporadiques en termes de fertilisation de la baie, apport en pérites, diminution de la pénétration de la lumière et leurs répercussions sur le microphytobenthos, restent à étudier.

2. Description succincte et granulométrie des sédiments

La granulométrie des sédiments superficiels (les 2 premiers cm) de la radiale P₁ à P₅ a été étudiée sur un échantillonnage hivernal. Les sédiments, à dominance de sables fins, sont bien classés (courbes granulométriques unimodales) et très peu envasés – sauf à P₅, 32 m –, témoignant d'un hydrodynamisme fort (Tabl. I). Un gradient granulométrique, fonction de la bathymétrie, existe de P₂ à P₅. La classe de taille la mieux représentée passe de 100-125 µm à 10 m, à 160-200 µm à 32 m. Le pourcentage de sables fins diminue progressivement, de 96 % à P₂ à 59 % à P₅. L'indice pélitique augmente brusquement à P₅ (2,58 %). Les caractéristiques du sable au point P₁ se rapprochent de celles du point P₄ avec cependant un indice pélitique plus faible en surface. L'évolution saisonnière de cette granulométrie n'a pas été étudiée. Par contre, l'évolution temporelle (1990-93) du pourcentage de poids sec a été suivie à chaque prélèvement et pour chaque niveau de sédiment (Fig. 7; illustration du niveau 0-0,5 cm). La teneur en eau du sédiment (100 – % PS) est de manière classique corrélée à sa teneur en pélites. Les sables P₁ à P₄, ne présentent pas de variations temporelles cohérentes de ce paramètre, alors que le sédiment P₅ présente une augmentation des teneurs en eau en été, qui est à relier à l'hydrodynamisme plus faible (accumulation de pélites). Par ailleurs, le sédiment P₅ montre une stratification nette, comportant une zone réduite vers 10-15 cm, visible à l'œil nu, alors que les sables P₁ à P₄ ne présentent pas cette zone réduite.

3. Biomasse pigmentaire phytoplanctonique

La biomasse pigmentaire phytoplanctonique (Fig. 5) varie de 0,2 à 2 µg Chl *a* l⁻¹ (valeur moyenne 0,7 µg Chl *a* l⁻¹), sans qu'il soit possible d'établir des variations saisonnières précises. Les valeurs les plus élevées se situent en période hivernale alors que les concentrations en phéopigments sont également les plus élevées, prouvant qu'il ne s'agit pas d'une simple floraison mais probablement aussi d'apports liés aux crues de la Baillaury ou de remises en suspension des sédiments de la baie. L'augmentation pigmentaire hivernale dans la région de Banyuls a déjà été soulignée (Lantoiné 1995; site au large de P₅, isobathe 50 m). Un parallélisme existe entre les variations en Chl *a* du phytoplancton et le débit des rivières locales (Fig. 4): les apports d'eau douce peuvent jouer un rôle de fertilisation de la baie, comme ceci a déjà été démontré en Catalogne du sud (Maso & Duarte 1989), ils peuvent aussi apporter des débris végétaux. Le rapport Chl *a*/Phéo *a* est élevé (en moyenne 10) et présente des augmentations estivales (> 60 en 1990 et

1992). Le rapport Chl *a*/chl *c* est très stable et varie de 3,2 à 4,7. Par ailleurs les concentrations en Chl *b*, pigment caractéristique de certaines classes d'algues telles les Euglenophyceae et Chlorophyceae, sont toujours faibles (0,05 à 0,2 µg Chl *b* l⁻¹); le rapport Chl *a*/Chl *b* varie de 4 à 17. Les variations temporelles de la Chl *b* suivent celles de la Chl *a* sauf au printemps, période pendant laquelle la concentration en Chl *b* augmente alors que celle de la Chl *a* chute. Cette observation est à rapprocher de celle de Lantoiné (1995) décrivant, en zone côtière, une augmentation du rapport Chl *b*/Chl *c* succédant à l'augmentation de Chl *a* hivernale.

4. Biomasses pigmentaires microphytobenthiques

a. Tendances saisonnières et zones géographiques

Si de réelles variations saisonnières sont difficiles à mettre en valeur en baie de Banyuls sur la seule base de ce travail, la comparaison inter-annuelle (Fig. 6) indique cependant une nette tendance à l'augmentation de Chl *a* en période estivale. Cette tendance est particulièrement claire aux sites P₃, P₄ et P₅. Ce suivi met également en valeur le fait que la baie se subdivise en deux zones :

1) Les sables peu profonds (P₁ à P₄, entre 5-7 et 20 m de profondeur) pour lesquels la biomasse microphytobenthique est assez faible (en moyenne 1 µg Chl *a* g⁻¹ PS soit 7 mg m⁻²) mais où les pigments dégradés (Phéo *a*) sont présents en quantités généralement inférieures à celles de la Chl *a*; les variations temporelles y sont grossièrement synchrones. Ce synchronisme, joint à l'absence d'apports allochtones de pigments dégradés indique que cette partie de la baie est régie par l'hydrodynamisme et que les assemblages sont autochtones et évoluent sur place.

2) Le sédiment vaseux plus au large (P₅, 32 m) est caractérisé par une biomasse plus élevée (en moyenne 2,5 µg Chl *a* g⁻¹ PS soit 7,5 mg m⁻²), évoluant régulièrement au cours du temps et susceptible d'être contrôlée par des facteurs externes tel l'éclairement ou les variations de température, plus que par l'hydrodynamisme. En cette zone centrale protégée du «gyre» de la baie, la sédimentation est favorisée (apports en phéopigments allochtones) et un vannage moindre peut également y favoriser l'accumulation de particules détritiques, ce dont témoignent des concentrations en Phéo *a* le plus souvent supérieures à celles de la Chl *a*. L'augmentation estivale de la teneur en eau du sédiment P₅ (inverse du pourcentage de poids sec; Fig. 7), elle-même reliée à la teneur en pélites, illustre les variations saisonnières de cette sédimentation.

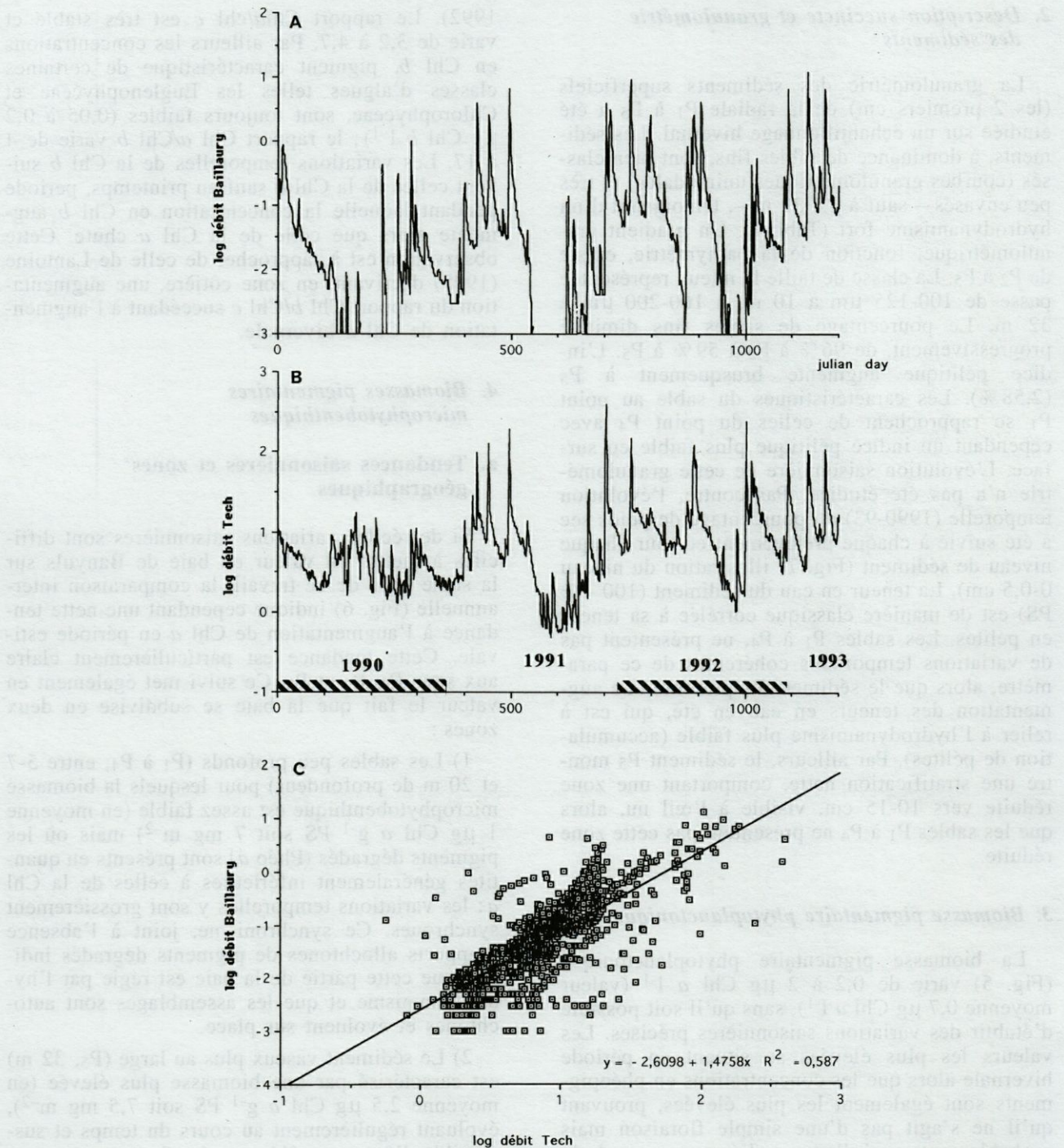


Fig. 4. – A, Débit moyen journalier de la Baillaury ($\log \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). B, Débit moyen journalier du Tech ($\log \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). C, Régression linéaire entre les débits de la Baillaury et du Tech.

A, River flows (daily mean) of the Baillaury river ($\log \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). B, River flows (daily mean) of the Tech river. C, Linear regression between river flows of the Baillaury and of the Tech rivers.

La confrontation des variations temporelles des concentrations pigmentaires à celles des facteurs externes (température, insolation ou état de la mer, Fig. 2), permet seulement de relier les augmentations de biomasses estivales, sensibles à P₃, P₄ et

P₅, aux périodes de plus fortes insolation et températures et de faible hydrodynamisme. Une étude à plus courte échelle de temps permettrait d'appréhender avec plus de précision les relations reliant ces facteurs et les biomasses.

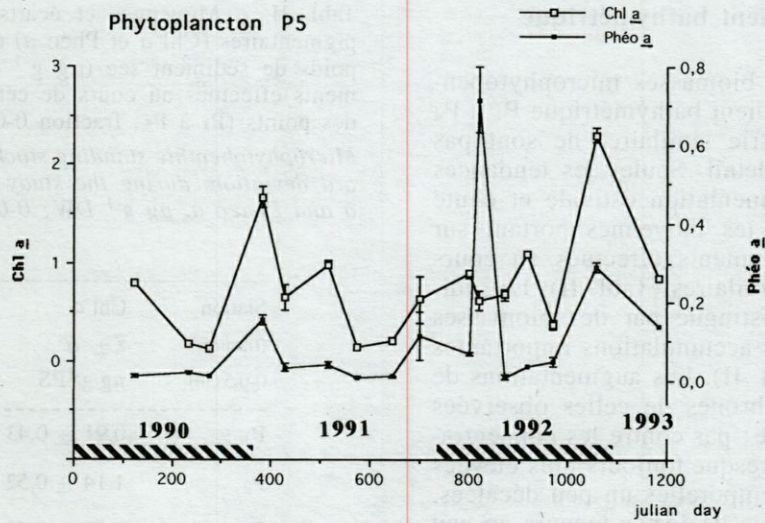


Fig. 5. – Variations temporelles (1990-93) de la biomasse pigmentaire phytoplanctonique au point P₅ (Chl *a* et Phéo *a*, $\mu\text{g l}^{-1}$; moyenne des triplicats et écart type; prélèvements effectués 20 cm sous la surface).

*Phytoplankton standing stock, 1990-93 temporal variations at P₅ (Chl *a* and Phaeo *a*, $\mu\text{g l}^{-1}$; triplicate mean value and standard deviation; 20 cm deep under the sea surface samplings).*

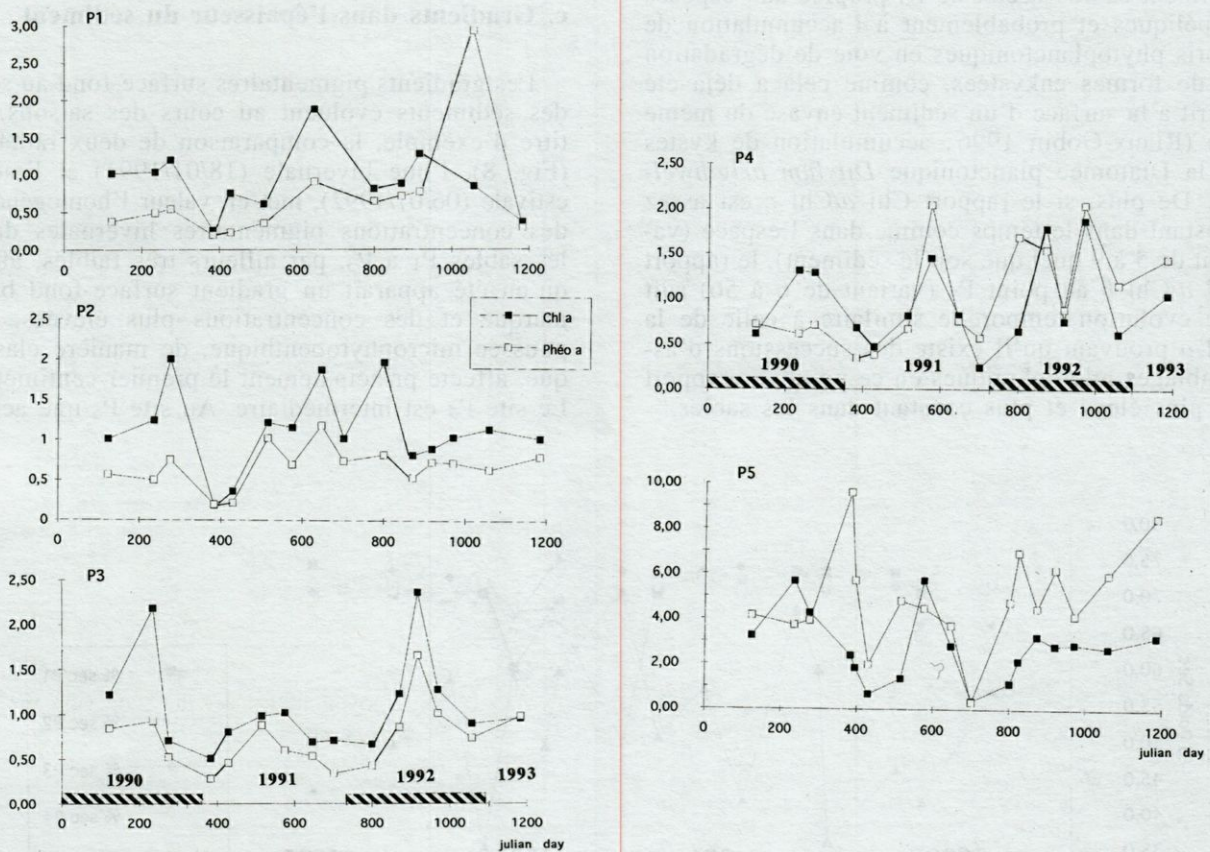


Fig. 6. – Variations temporelles (1990-93) de la biomasse pigmentaire microphytobenthique aux points P₁ à P₅ (Chl *a* et Phéo *a*, $\mu\text{g g}^{-1}$ PS; fraction 0-0,5cm).

*Temporal variations of the microphytobenthic standing stocks, 1990-93 (P₁ to P₅, Chl *a* and Phaeo *a*, $\mu\text{g g}^{-1}$ DW; 0-0.5 cm fraction).*

b. Influence du gradient bathymétrique

Les fluctuations de biomasses microphytobenthiques le long du gradient bathymétrique P₁ à P₄ (sables de granulométrie similaire) ne sont pas comparables dans le détail. Seules les tendances saisonnières avec augmentation estivale et chute hivernale (P₃, P₄) et les moyennes portant sur l'ensemble des prélèvements effectués au cours de cette étude, sont similaires (Tabl. II). Le sédiment envasé P₅ se distingue par des biomasses plus élevées et par des accumulations importantes de phéopigments (Tabl. II). Les augmentations de Chl *a* à P₅ sont synchrones de celles observées dans le reste de la baie; par contre les concentrations en Phéo *a* sont presque toujours plus élevées et leurs fluctuations temporelles un peu décalées. Par ailleurs, la présence de fortes teneurs en eau (et corrélativement en pérites) de ce substrat (P₅) indique clairement que les conditions hydrodynamiques sont différentes. L'étude ultérieure des assemblages microphytiques devrait permettre de différencier ces deux types d'habitat: sables peu profonds propices aux espèces épipsammiques et sédiment sablo-vaseux de P₅ propice aux espèces épipéiques et probablement à l'accumulation de débris phytoplanctoniques en voie de dégradation ou de formes enkystées, comme cela a déjà été décrit à la surface d'un sédiment envasé du même site (Riaux-Gobin 1996; accumulation de kystes de la Diatomée planctonique *Ditylum brighwellii*). De plus, si le rapport Chl *a*/Chl *c* est assez constant dans le temps comme dans l'espace (variant de 5 à 9 quel que soit le sédiment), le rapport Chl *a*/Chl *b* au point P₅ (variant de 6 à 56) suit une évolution temporelle similaire à celle de la Chl *a* prouvant qu'il existe des successions d'assemblages microphytiques en ce point; ce rapport est plus élevé et plus constant dans les sables.

Tabl. II. – Moyennes et écarts types des biomasses pigmentaires (Chl *a* et Phéo *a*) exprimées par unité de poids de sédiment sec ($\mu\text{g g}^{-1}$ PS), pour les prélèvements effectués au cours de cette étude, pour chacun des points (P₁ à P₅; fraction 0-0,5 cm).

*Microphytobenthic standing stocks: average and standard deviation, during the study period (P₁ to P₅, Chl *a* and Phaeo *a*, $\mu\text{g g}^{-1}$ DW; 0-0.5 cm fraction).*

Station (fraction 0-0,5 cm)	Chl <i>a</i> $\bar{x} \pm \sigma$ $\mu\text{g g}^{-1}\text{PS}$	Phéo <i>a</i> $\bar{x} \pm \sigma$ $\mu\text{g g}^{-1}\text{PS}$
P ₁	0,91 \pm 0,43	0,71 \pm 0,73
P ₂	1,14 \pm 0,52	0,68 \pm 0,26
P ₃	1,08 \pm 0,53	0,73 \pm 0,35
P ₄	0,96 \pm 0,48	1,04 \pm 0,58
P ₅	2,74 \pm 1,50	4,91 \pm 2,20

c. Gradients dans l'épaisseur du sédiment

Les gradients pigmentaires surface-fond au sein des sédiments évoluent au cours des saisons. A titre d'exemple, la comparaison de deux radiales (Fig. 8), l'une hivernale (18/01/1991) et l'autre estivale (06/07/1992), met en valeur l'homogénéité des concentrations pigmentaires hivernales dans les sables P₁ à P₃, par ailleurs très faibles, alors qu'en été apparaît un gradient surface-fond bien marqué et des concentrations plus élevées. La poussée microphytobenthique, de manière classique, affecte principalement le premier centimètre. Le site P₄ est intermédiaire. Au site P₅ une accu-

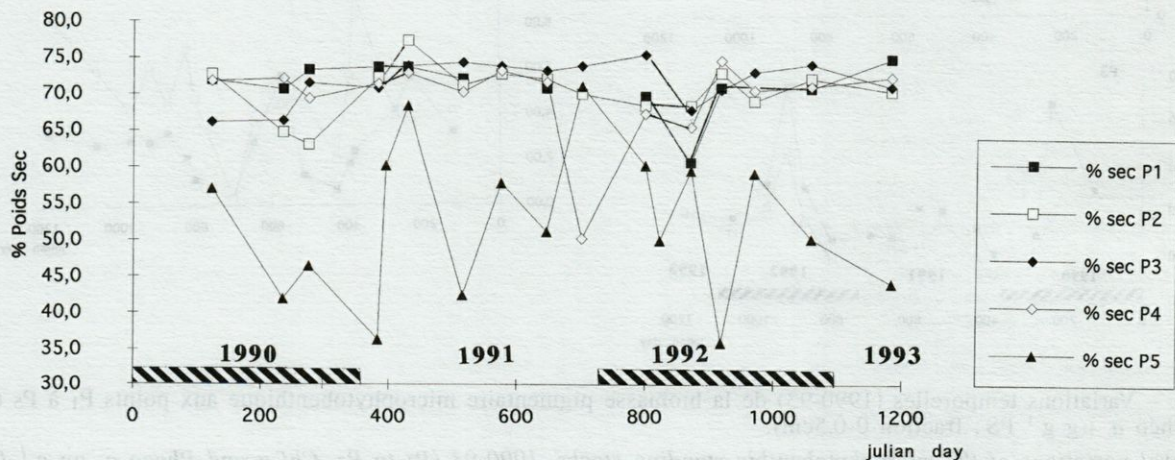


Fig. 7. – Variations temporelles (1990-93) du pourcentage de poids sec des sédiments P₁ à P₅ (fraction 0-0,5 cm).
Temporal variations (1990-93) of the dry weight percentage of sediments (P₁ to P₅, 0-0.5 cm fraction).

Tabl. III. – Biomasse chlorophyllienne moyenne par unité de poids de sédiment sec et par unité de surface et rapport Chl *a*/Phéo, pour quelques sédiments subtidaux, peu profonds, des côtes françaises en Manche et Atlantique, et des côtes espagnoles et françaises de Méditerranée. * = valeurs calculées à partir des données de l'auteur.

*Some references concerning mean pigment concentrations (reported to dry weight of sediment or to surface unit), and Chl a/Phaeo ratio, of subtidal and shallow sediments from French Atlantic coast and French and Spanish Mediterranean coast. * = after author data.*

Lieu	profondeur m	granulométrie	Chl <i>a</i> $\mu\text{g g}^{-1}\text{PS}$	Chl <i>a</i> /phéo	Chl <i>a</i> mg m^{-2}	Référence
Marseille	2,5 à 12	sables plus ou moins envasés	4,3-5	1,8-2,7	24-64	Colocoloff 1972
baie de Concarneau	5 15	sable sable envasé	1,3 0,53	0,38	-	Boucher 1975
Chenal de la Penzé	2 à 20	sables plus ou moins envasés	0,5-1,5	0,7-1,5	-	Riaux 1977
baie de Morlaix	20	sable	3,8	0,41	20-40	Riaux 1983
baie de Douarnenez	0 à 25	divers	1,1-4,5	0,2-1,7*	-	Bodin <i>et al.</i> 1985
Golfe de Fos	0,5	sables	0,9-4,9	1,2-3,9*	14-76	Plante <i>et al.</i> 1986
Rade de Brest	10	vase sableuse	8	0,59	20-40	Riaux-Gobin <i>et al.</i> 1989
Delta de l'Ebre	4-6	divers	-	-	15	Delgado 1989
Golfe de Fos	0,5-13	sables et vases	1,7-70,3	0,3-1,3*	36-190	Barranguet <i>et al.</i> 1996
baie de Banyuls	5 à 20 32	sables sable envasé	1 2,5	1,4-2 0,5	7 7,5	présente étude

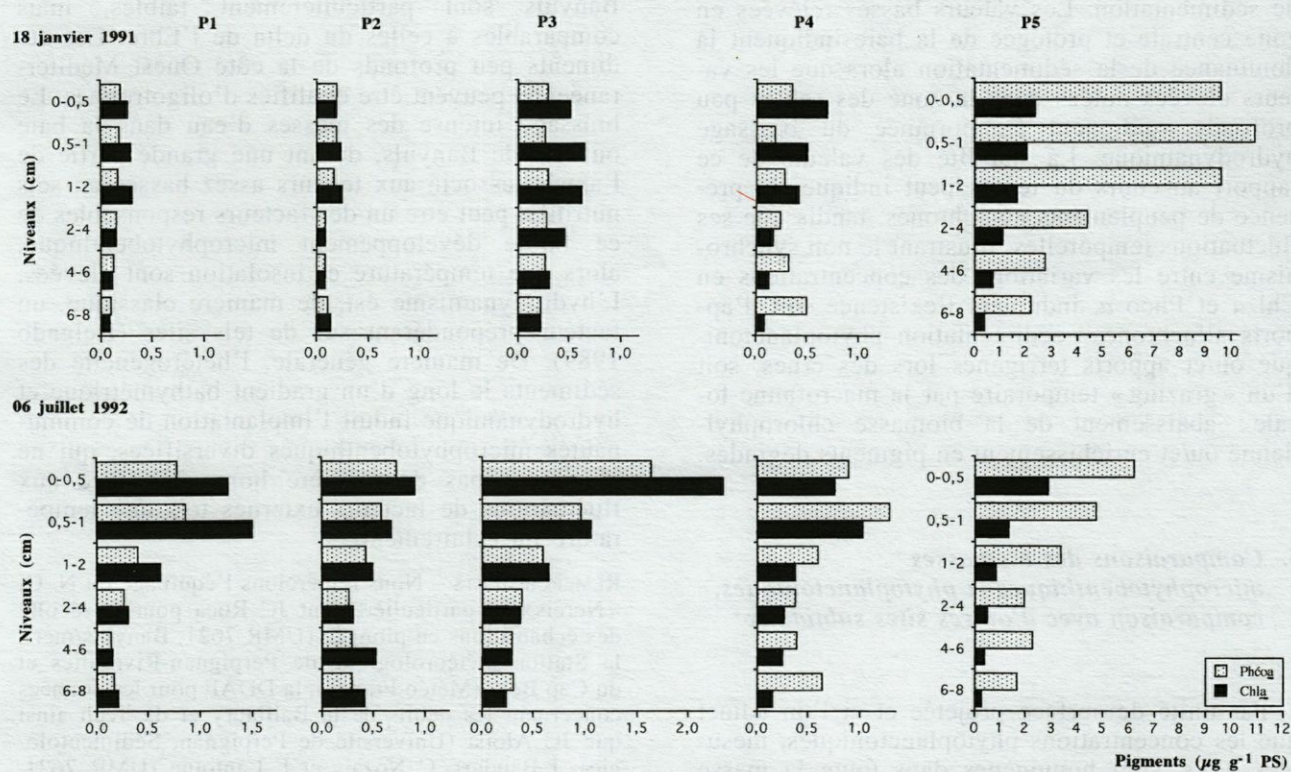


Fig. 8. – Gradients pigmentaires au sein des sédiments P₁ à P₅ (0 à 8 cm, Chl *a* et Phéo *a*, $\mu\text{g g}^{-1}\text{PS}$), lors d'une radiale hivernale (18/01/1991) et estivale (06/07/1992).

*Vertical distribution of pigments in sediments (P₁ to P₅, 0-8 cm; Chl *a* and Phaeo *a*, $\mu\text{g g}^{-1}\text{DW}$) during summer (06/07/1992) and winter (18/01/1991).*

mulation de phéopigments apparait clairement en hiver, tandis qu'en été le gradient de la Chl *a* est plus marqué et les phéopigments moins abondants.

d. Rapport pigmentaire « Chl *a*/Phéo *a* »

Le rapport Chl *a*/Phéo *a* présente un gradient inverse de celui de la bathymétrie, très marqué selon l'axe de la baie. Ce rapport varie d'environ 2 à P₁, à 1,4 à P₃ et il est relativement constant au cours du temps dans cette zone peu profonde, alors qu'il chute à 0,5 à P₅ où il présente de plus des fluctuations temporelles importantes. Un synchronisme entre les fluctuations en Chl *a* et en Phéo *a*, est donc plus important dans les sables (P₁ à P₃) que dans les sédiments plus profonds (P₄, P₅). Ceci peut indiquer la présence de peuplements microphytobenthiques évoluant *in situ* en zone peu profonde et d'apports détritiques allochtones en zone plus profonde abritée. Ainsi, à P₅ les fortes valeurs de Phéo *a* en fin d'hiver 1991, printemps 1992 et 1993 sont-elles synchrones des concentrations élevées en Phéo *a* du domaine pélagique (Fig. 5), tandis que les concentrations en Chl *a* de ce même site augmentent en été, en dehors de toute relation avec le phytoplancton.

La valeur absolue du rapport Chl *a*/Phéo *a* peut être considérée ici comme un indice ou « traceur » de sédimentation. Les valeurs basses relevées en zone centrale et protégée de la baie indiquent la dominance de la sédimentation alors que les valeurs élevées notées dans la zone des sables peu profonds soulignent l'importance du brassage hydrodynamique. La stabilité des valeurs de ce rapport au cours du temps peut indiquer la présence de peuplements autochtones, tandis que ses fluctuations temporelles, illustrant le non synchronisme entre les variations des concentrations en Chl *a* et Phéo *a*, indiquent l'existence soit d'apports allochtones : sédimentation phytoplanctonique ou/et apports terrigènes lors des crues, soit d'un « grazing » temporaire par la macrofaune locale : abaissement de la biomasse chlorophyllienne ou/et enrichissement en pigments dégradés.

5. Comparaisons des biomasses microphytobenthiques et phytoplanctoniques, comparaison avec d'autres sites subtidiaux

Par unité de surface projetée et si l'on admet que les concentrations phytoplanctoniques, mesurées à P₅, sont homogènes dans toute la masse d'eau de la baie (des isobathes 5-7 à 32 m), les biomasses varient au cours des saisons de 6,4 à 64 mg Chl *a* m⁻² à P₅ et de 1 à 10 mg m⁻² à P₁. Pour le microphytobenthos, les biomasses inté-

grées par unité de surface atteignent un maximum estival de 14 mg Chl *a* m⁻² pour les sables (P₁ à P₄) et 18 mg Chl *a* m⁻² pour le sédiment envasé P₅. Les variations temporelles de biomasses n'étant pas synchrones entre les deux écosystèmes, il est difficile d'établir de réels bilans. En été la biomasse microphytobenthique par unité de surface est supérieure à celle du phytoplancton sus-jacent, tandis qu'en fin d'hiver-début de printemps, durant les blooms observés de phytoplancton, la situation est inverse. En moyenne, la biomasse phytoplanctonique à P₅ est de 20 mg Chl *a* m⁻², ce qui est supérieur à la valeur moyenne de celle du microphytobenthos de cette zone (7,5 mg Chl *a* m⁻²).

Le tableau III illustre la variabilité des concentrations pigmentaires moyennes de sédiments marins subtidiaux, non pollués, de faibles profondeurs, sur les côtes françaises de Manche, Atlantique ainsi que sur les côtes françaises et espagnoles de Méditerranée. La comparaison entre résultats est rendue difficile car les modes de prélèvement et l'épaisseur de sédiment échantillonné, de même que la méthodologie de dosages, sont très variables. Cependant ces valeurs sont toutes relativement basses par rapport à celles notées dans les sédiments intertidaux, lagunaires, estuariens ou proches d'installations ostréicoles de ces mêmes sites. Les biomasses microphytobenthiques des sables peu profonds de la baie de Banyuls sont particulièrement faibles, mais comparables à celles du delta de l'Ebre. Les sédiments peu profonds de la côte Ouest Méditerranéenne peuvent être qualifiés d'oligotrophes. Le brassage intense des masses d'eau dans la baie ouverte de Banyuls, durant une grande partie de l'année, associé aux teneurs assez basses en sels nutritifs, peut être un des facteurs responsables de ce faible développement microphytobenthique, alors que température et insolation sont élevées. L'hydrodynamisme est, de manière classique, un facteur prépondérant sur de tels sites (Delgado 1989). De manière générale, l'hétérogénéité des sédiments le long d'un gradient bathymétrique et hydrodynamique induit l'implantation de communautés microphytobenthiques diversifiées, qui ne réagissent pas de manière homogène face aux fluctuations de facteurs externes tels que température ou éclaircissement.

REMERCIEMENTS – Nous remercions l'équipage du N. O. « Nereis » et particulièrement JC Roca pour la récolte des échantillons en plongée (UMR 7621, Banyuls/mer), la Station météorologique de Perpignan-Rivesaltes et du Cap Béar (Météo France), la DDAF pour les données concernant les débits de la Baillaury et du Tech ainsi que JC Aloisi (Université de Perpignan, Sédimentologie), J Baudart, C Nozais et F Lantoine (UMR 7621, Banyuls/Mer) pour leur collaboration au cours de cette étude. Nous remercions également les évaluateurs pour leur lecture critique du manuscrit.

REFERENCES

- Aleem AA 1951. Contributions à l'étude de la flore des Diatomées marines de Méditerranée. I. Diatomées des eaux profondes de Banyuls-sur-Mer (Pyrénées-Orientales). *Vie Milieu* 2 (1) : 44-49.
- Barranguet C, Plante-Cuny MR, Alivon E 1996. Microphytobenthos production in the Gulf of Fos, French Mediterranean coast. *Hydrobiologia* 333 : 181-193.
- Bodin P, Boucher D, Guillou J, Guillou M 1985. The trophic system of the benthic communities in the bay of Douarnenez (Brittany). In : Gibbs PE (ed.) Proceedings 19th European Marine Biology Symposium. Cambridge Univ. Press, Cambridge : 361-370.
- Bougis P 1946. Méthode pour l'étude quantitative des Diatomées vivant sur les fonds de vase. *C.-r. Acad. Sc. Paris* 223 : 1166-1168.
- Boucher D 1975. Production primaire saisonnière du microphytobenthos des sables envasés en Baie de Concarneau. Thèse 3^e Cycle UBO Brest, 113 p.
- Cahet G, Mouneimné N 1976. Production carbonée microbenthique en sédiments margino-littoraux (Golfe du Lion). *Ann. Inst. Océanogr. Paris* 52 : 189-203.
- Colocoloff M 1972. Recherches sur la production primaire d'un fond sableux. 2. Biomasse et production. Thèse 3^e Cycle, Univ. Aix-Marseille 2, 98 p.
- Delgado M 1989. Abundance and distribution of microphytobenthos in the Bays of Ebro Delta (Spain). *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 29 : 183-194.
- Estrada M, Vives F, Alcaraz M 1985. Vida y producción en el mar abierto. In *El Mediterraneo Occidental*. Edited by R. Margalef, Omega : 151-199.
- Jacques G 1970. Aspects quantitatifs du phytoplancton de Banyuls-sur-Mer (Golfe du Lion). IV - Biomasse et production, 1965-1969. *Vie Milieu* 21 : 37-102.
- Lantoine F 1995. Caractérisation et distribution des différentes populations du picoplancton (picoeucaryotes, *Synechococcus* spp., *Prochlorococcus* spp.) dans diverses situations trophiques (Atlantique tropicale, Golfe du Lion). Thèse Doc. Univ. Paris, 264 p.
- Margalef R, Castellvi J 1967. Fitoplancton y producción primaria de la costa catalana, de julio de 1966 a julio de 1967. *Inves. Pesqu.* 31 : 491-502.
- Maso M, Duarte CM 1989. The spatial and temporal structure of hydrographic and phytoplankton biomass heterogeneity along the Catalan coast (NW Mediterranean). *J. Marine Research* 47 : 813-827.
- Mouneimné N 1972-73. Contribution à l'étude des Diatomées des fonds meubles vaseux de Banyuls-sur-mer. I. Données hivernales. *Vie Milieu* 23 : 323-334.
- Nozaïs C 1995. Impact des processus biologiques et des paramètres physiques sur la présence planctonique des larves d'Invertébrés benthiques et sur leur recrutement en baie de Banyuls. Thèse Doc. Univ. Paris, 300 p.
- Neveux J, Lantoine F 1993. Spectrofluorometric assay of chlorophylls and phaeopigments using the least squares approximation technique. *Deep-Sea Res.* 40 : 1747-1765.
- Plante R, Plante-Cuny MR, Reys JP 1986. Photosynthetic pigments of sandy sediments on the north Mediterranean coast : their spatial distribution and its effect on sampling strategies. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 34 : 133-141.
- Plante-Cuny MR, Bodoy A 1987. Biomasse et production primaire du phytoplancton et du microphytobenthos de deux biotopes sableux (Golf de Fos, France). *Oceanologica Acta* 10 : 223-237.
- Riaux C 1977. Contribution à l'étude de facteurs déterminant l'évolution de la biomasse phytoplanctonique dans l'estuaire de la Penzé (Nord Finistère). Evolution comparée des phénomènes dans l'eau et les sédiments sous-jacents. Thèse 3^e Cycle Univ. Paris, 137 p. et annexes.
- Riaux C 1983. Microphytes de l'interface « eau-sédiment » dans une ria de Bretagne Nord : Peuplements, biomasse, production, cycle annuel, variabilité à court terme. Thèse Doc. ès Sc. Nat. Univ. Paris, 300 p. et annexe.
- Riaux-Gobin C, Douchement C, Tréguer P 1989. Microphytobenthos de deux sédiments subtidaux de Nord Bretagne. III : Relations avec les sels minéraux azotés de l'eau interstitielle et deux facteurs hydroclimatiques. *Hydrobiologia* 178 : 11-20.
- Riaux-Gobin C, Klein B 1993. Microphytobenthic biomass measurement using HPLC and conventional pigment analysis. In : P. Kemp, B. Sherre & J. Cole (eds) Current Methods in Aquatic Microbial Ecology : 369-376.
- Riaux-Gobin C 1996. *Ditylum brightwellii* (West) Grun. ex V. H. (Bacillariophyceae) : resting spores at the surface of a shallow sediment (Gulf of Lions, Mediterranean) and revival tests. *Phycologia* 35 (4) : 368-371.

Reçu le 22 janvier 1997; received January 22, 1997

Accepté le 3 juillet 1997; accepted July 3, 1997