

**RÉPARTITION DES BIOCOENOSSES BENTHIQUES
EN FONCTION DES SUBSTRATS SÉDIMENTAIRES
DE LA RADE DE TOULON (FRANCE)
2. LA GRANDE RADE**

Claude NODOT (1), Michel BOURCIER (2), Alain JEUDY de GRISSAC (3), Serge HEUSNER (4), Jean RÉGIS (4), Jean TINE (4)

(1) Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins, Faculté des Sciences de Luminy Case 901. F-13288 Marseille Cedex 9.

(2) Station Marine d'Endoume (CNRS/URA 41), Rue Batterie des Lions F-13007 Marseille.

(3) Laboratoire de Géologie Marine, Faculté des Sciences de Luminy, Case 901. F-13288 Marseille Cedex 9.

(4) Service de Surveillance du Site. F-83800 Toulon-Naval.

Summary. — *Distribution of benthic biocoenoses in relation to the sedimentologic characteristics of soft substrates in the « roads » of Toulon (France). 2. The « Grande Rade » of Toulon.* This work is an extension of earlier studies conducted in 1979 in the « Petite Rade » or « Rade Abri » of Toulon. A detailed cartography of fine sediments ($\varnothing < 0,063$ mm) and sandy bottoms is given with the results of the study of the soft bottom macrobenthos of the « Grande Rade ». The faunistic assemblage encountered may be related to the « coastal detritic bottom biocoenosis », with in some zones, an overlap of a population classified under the « terrigenous coastal biocoenosis » in the middle of the « roads », and also of the « bottom current-influenced coarse sandy biocoenosis », and the « fine grained sand biocoenosis » in the western zone and the eastern zone of the « Grande Rade ». Species indicating a richness in organic matter are present around the Sainte Marguerite sewer and South of Cap Brun; the pollution indicator species are never very abundant are often found in association with species indicating degradation and instability.

Résumé. — Ce travail fait suite à celui réalisé en 1979 dans la Petite rade ou Rade-Abri de Toulon. L'étude du macrobenthos de substrats meubles de la Grande rade de Toulon (prélèvements à la drague Charcot-Picard) a été précédée d'une cartographie des sédiments vaseux ($\varnothing < 0,063$ mm) et des sédiments sableux. Les peuplements sont référables à la biocoenose des fonds Détritiques Côtiers (DC), avec superposition de peuplements référables à la biocoenose des Vases terrigènes côtières (VTC), au milieu de la rade, et aux Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (SGCF) et des Sables fins bien calibrés (SFBC) à l'Est et à l'Ouest. Les espèces indicatrices de pollution ne sont jamais très abondantes et sont souvent mêlées à des espèces indicatrices de dégradation ou d'instabilité.

La rade de Toulon constitue une baie profonde qui, depuis la deuxième moitié du 19^e siècle, est séparée en deux parties par la Grande jetée : un bassin occidental relativement fermé appelé Petite rade ou Rade-Abri et une baie orientale plus importante, largement ouverte vers le large et appelée Grande rade.

La présente étude de la Grande rade constitue un deuxième volet des recherches bionomiques et sédimentologiques réalisées par les auteurs sur la Petite rade de Toulon (Bourcier et al., 1979).

Délimitée par une côte rocheuse alternativement constituée par des falaises et de petites criques, la Grande rade possède aussi à l'Est une plage naturelle importante au fond de la baie de la Garonne (fig. 1).

En 1964, la municipalité de Toulon a fait construire la plage artificielle du Mourillon, le matériau utilisé étant un sable de carrière très fin chargé d'argile; cette création a eu de fâcheuses conséquences sur l'environnement marin (herbiers de Posidonies, Nodot et al., 1978).

Sédimentologie

La cartographie des sédiments meubles de la Grande rade de Toulon a été exécutée à partir de 52 prélèvements effectués en 1977 selon une « maille » carrée de 1 km au large (à la benne Petersen) et selon un réseau plus resserré en zone littorale (plongées). Les échantillons ne concernent que les 10 cm superficiels du sédiment (Jeudy de Grissac et Tine, 1980). L'analyse granulométrique a été réalisée selon les méthodes de tamisage sous l'eau (fraction $< 0,063$ mm) et tamisage mécanique (fraction $> 0,063$ mm).

Fraction pélitique ($< 0,063$ mm : fig. 2).

Quatre classes ont été définies, selon la proportion de cette fraction par rapport au sédiment brut : sédiment non envasé (0 à 10 %), peu envasé (10 à 20 %), envasé (20 à 40 %), envasé à très envasé (plus de 40 %, maximum 54,7 %).

On sait qu'en milieu ouvert, l'envasement augmente avec la profondeur, par suite de la diminution

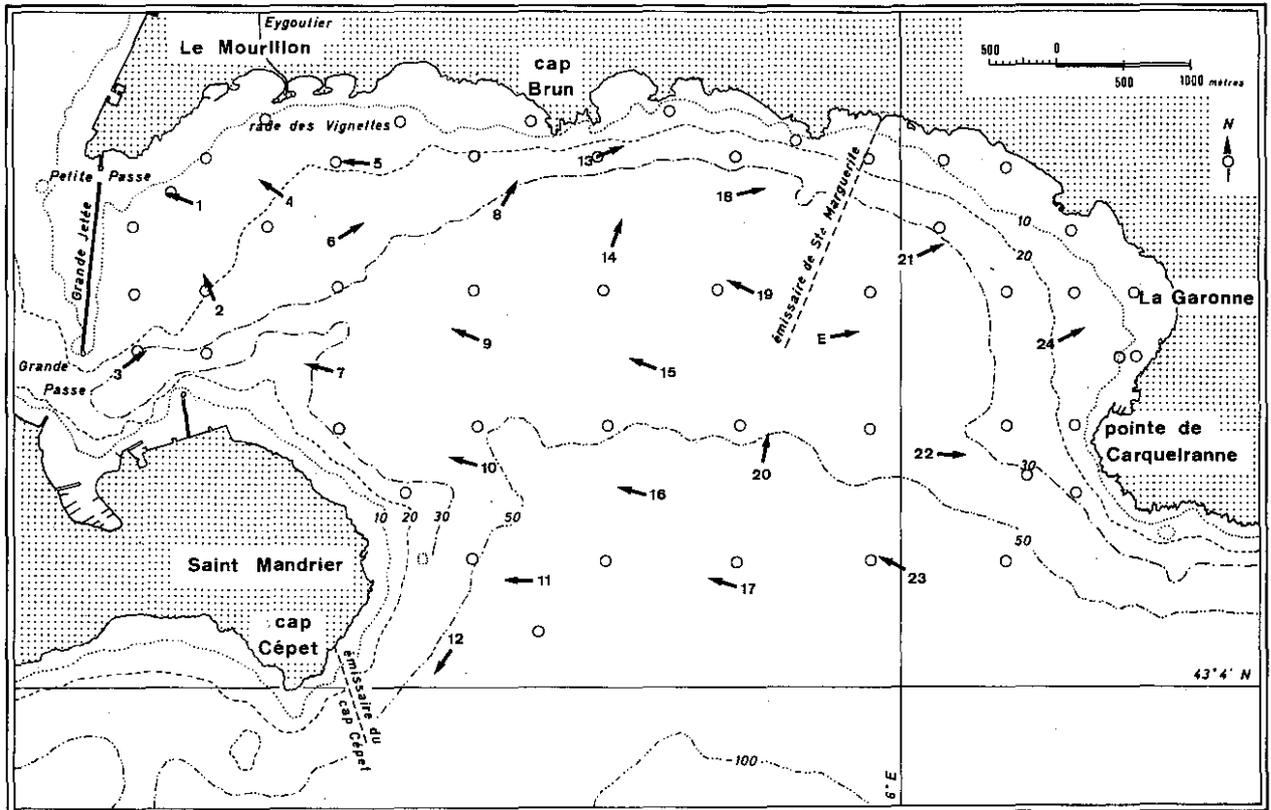


Figure 1. — Localisation des prélèvements biologiques (→) et sédimentologiques (○). L'émissaire de St Mandrier débouche à 50 m de profondeur, celui de Ste Marguerite vers 44 m, mise en fonction en 1972).

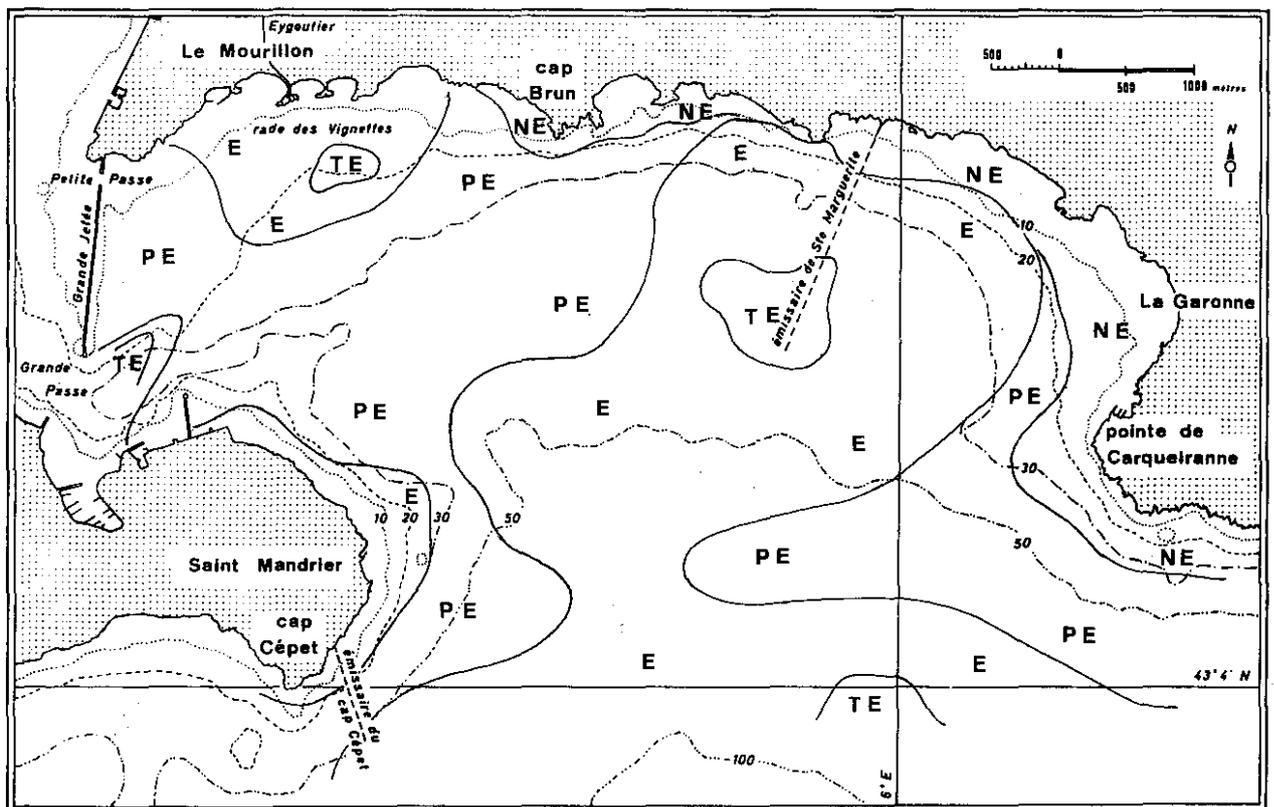


Figure 2. — Sédiments péltiques de la Grande rade de Toulon, 1977 ($\varnothing < 0,063$ mm). Abréviations. TE : envasé à très envasé (taux sup. à 40 %); E : envasé (taux compris entre 20 et 40 %); PE : peu envasé (taux compris entre 10 et 20 %); NE : non envasé (taux compris entre 0 et 10 %).

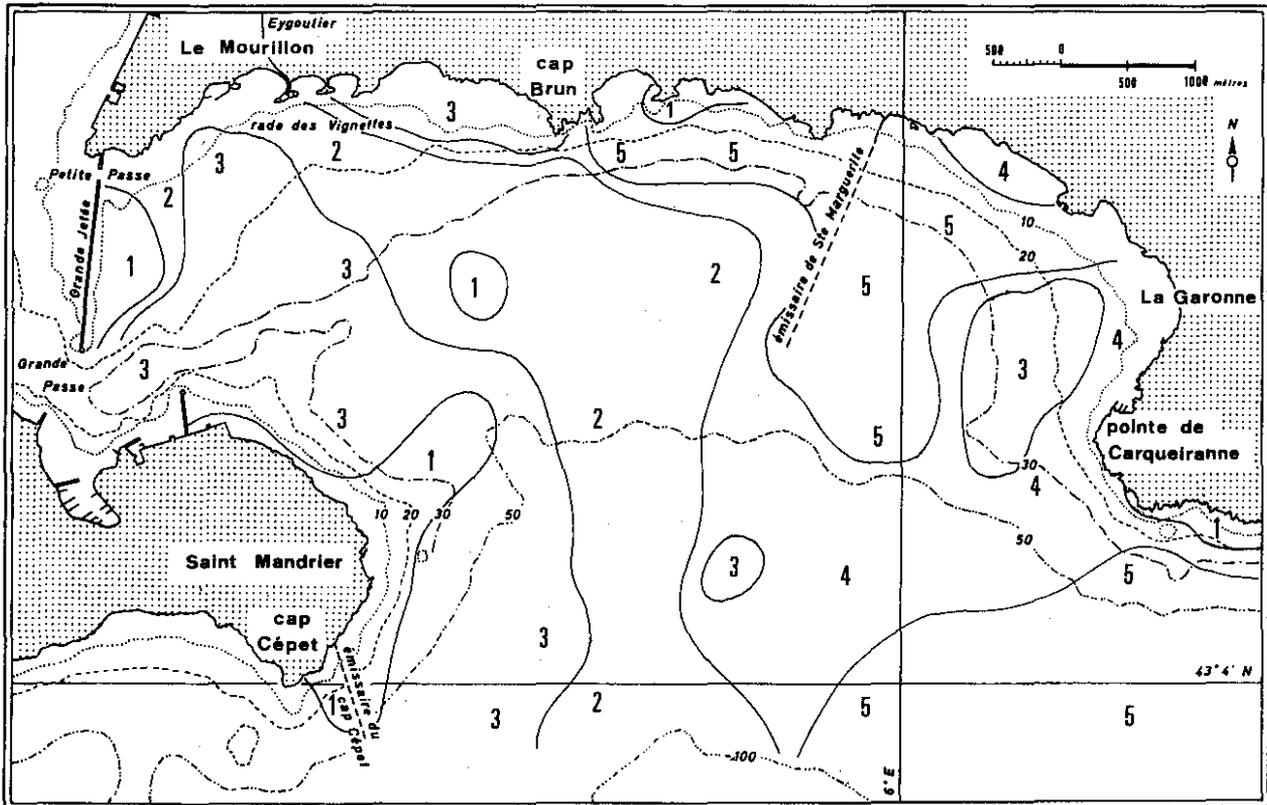


Figure 3. — Sédiments grossiers de la Grande rade de Toulon, 1977 ($\varnothing > 0,063 \text{ mm}$) 1 : Sables grossiers et graviers; 2 : Sables grossiers; 3 : Sables moyens; 4 : Sables moyens à fins; 5 : Sables fins.

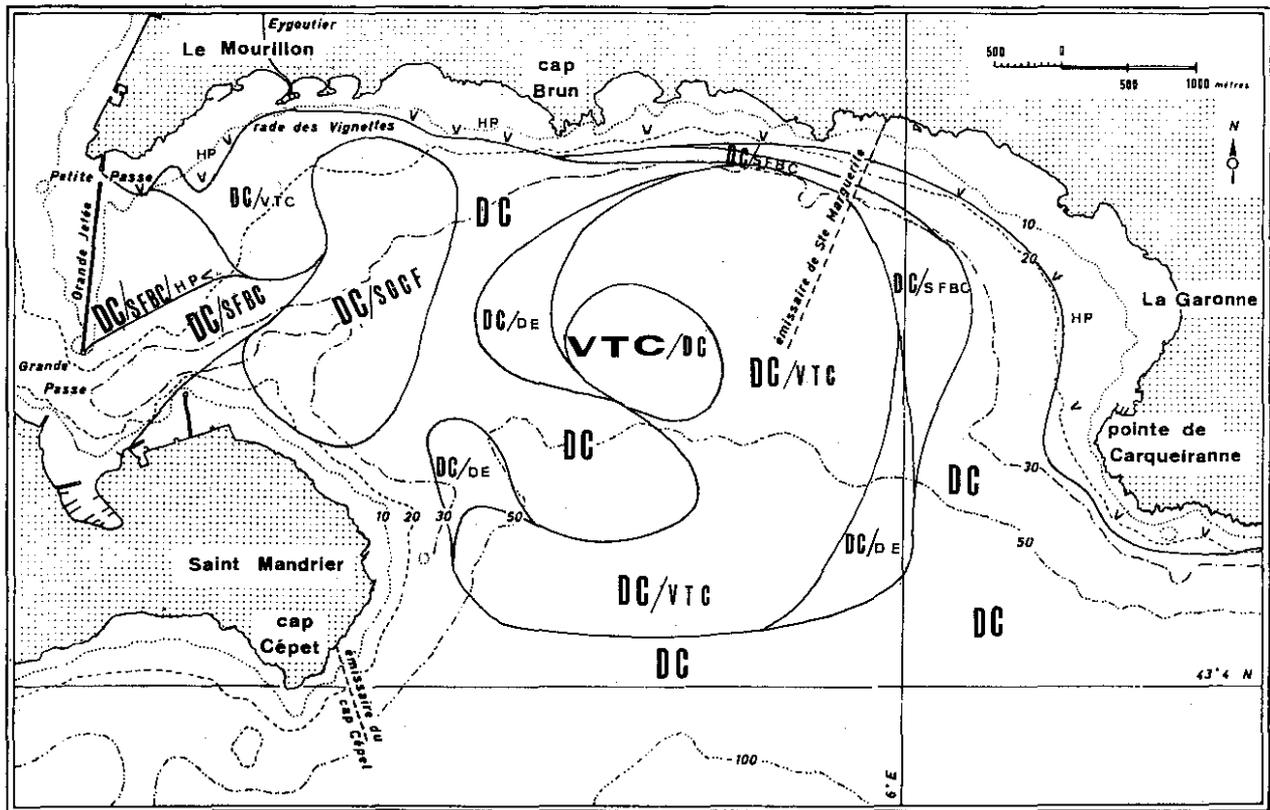


Figure 4. — Carte bionomique de la Grande rade de Toulon, 1981. La taille des lettres utilisées est sensiblement proportionnelle au degré d'affinité pour les différentes biocoenoses. Abréviations. DC : biocoenose des fonds Détritiques Côtiers; VTC : biocoenose des Vases Terrigènes Côtiers; DE : biocoenose des fonds Détritiques Envasés; SGCF : biocoenose des Sables Grossiers et fins graviers sous influence des Courants de Fond; HP : biocoenose des Herbiers à Posidonies; HP < : *idem* en vitalité réduite; SFBC : biocoenose des Sables Fins Bien Calibrés.

des actions hydrodynamiques. Mais dans la Grande rade de Toulon, on observe des anomalies par rapport à ce schéma classique : au Mourillon, où l'augmentation de l'envasement est liée aux apports des remblais lors de la construction des plages artificielles et à la présence d'une rivière urbaine et exutoire fluvial, l'Eygoutier (Nodot et al., 1978, Jeudy de Grissac, 1979);

— au niveau de la Grande passe (liaison Petite rade-Grande rade) où se manifeste l'influence de la Petite rade, riche en sédiments pélitiques (Bourcier et al., 1979) et une certaine protection par la presqu'île de Saint-Mandrier contre les houles du large;

— dans la partie centrale de la Grande rade : là, les valeurs les plus élevées sont dues d'une part au débouché de l'émissaire de Ste Marguerite, qui apporte une surcharge en éléments fins et d'autre part à l'avancée de la pointe de Carqueiranne qui provoque la mise en place d'un courant tourbillonnaire et d'une cellule de décantation au centre du tourbillon (Blanc et Jeudy de Grissac, 1978). Fraction grossière ($> 0,063$ mm : fig. 3).

Les ensembles sédimentaires (sable fin, sable moyen à fin, sable moyen, sable grossier, sable grossier et gravier) sont obtenus à partir d'un diagramme triangulaire dont les sommets correspondent aux valeurs 2,0 mm; 2,0 à 0,5 mm; et 0,5 à 0,063 mm.

L'ensemble sable grossier et graviers s'étend sur toute la frange littorale naturelle et plus largement, à l'Est du cap Brun, à l'Est de la Grande jetée (il s'agit certainement ici des sédiments grossiers qui existaient avant l'installation de cet ouvrage en 1880), et au Nord-Est de la presqu'île de Saint-Mandrier, où une « langue » de graviers et sables grossiers occupe les fonds entre 30 et 50 m. Il s'agit ici d'un peuplement référentiel à la Biocoenose du Détritique Côtier sur une ancienne formation détritique terrigène correspondant à une aire où existe une circulation importante des courants au niveau du fond.

Pères et Picard, en 1964 (non publié) observaient à ce niveau un faciès du détritique côtier, associé ou lié à des courants : le faciès à « pralines ». Ce faciès n'a pas été retrouvé à cet endroit en 1977.

Les sables grossiers sont présents à l'Est de la Grande jetée. Ils sont abondants devant le Mourillon où ils forment une avancée qui peut correspondre aux apports de l'Eygoutier, et occupent une vaste superficie au centre de la Grande rade dépassant la profondeur de 50 m. Ce sont généralement des fonds à origine biologique ancienne (« pralines » mortes, *Peyssonnelia* calcifiées mortes). Les sables moyens et les sables moyens à fins se rencontrent dans le reste

des fonds de la partie ouest de la rade et dans la frange littorale de la partie est abritée.

Vers l'Est, les sables fins sont présents dans l'anse de la Garonne, zone abritée partiellement par l'avancée de Carqueiranne. Ailleurs, à l'Ouest et au Nord, ils occupent localement les fonds jusqu'à plus de 50 m de profondeur, couvrant en partie des zones d'herbier de Posidonies et des fonds détritiques côtiers.

Bionomie benthique

Les 25 stations de prélèvements biologiques ont été choisies entre 15 et 64 m de profondeur, selon une maille de 1/2 mille maximum entre deux stations voisines (fig. 1) : les prélèvements y ont été effectués de décembre 1980 à avril 1981 à la drague Charcot-Picard, après des essais à la benne Petersen rendus peu satisfaisants par la compacité des fonds. Pour chaque dragage d'environ 1/4 de mille de longueur, 50 dm³ de sédiments ont été tamisés. Ce volume constitue, selon J. Picard (1965), le « volume minimum » de la quasi totalité des biocoenoses circalittorales de substrats meubles de Méditerranée nord-occidentale. Après tamisage sur tamis à mailles de 1,56 mm au carré (soit 2 mm de diagonale), fixation du refus au formol neutre à 6 %, coloration au rose bengale et tri sous l'eau au laboratoire.

Les principaux résultats sont portés sur une carte bionomique (fig. 4) qui montre non seulement les biocoenoses « pures » (Pères et Picard 1964, Picard 1965, Pères 1982), mais aussi celles qui, intervenant en mélange, présentent un degré d'affinité égal ou supérieur à 10 % par rapport à l'ensemble des espèces caractéristiques.

Deux autres cartes sont établies sur le même principe : l'une (fig. 5) concerne les fonds riches en espèces indicatrices de dégradation (Deg.) et d'instabilité (Inst.) et l'autre (fig. 6) les fonds riches en espèces indicatrices de matière organique et de pollution.

EXPLICATION DE LA CARTE BIONOMIQUE (fig. 4)

Biocoenose de l'herbier de Posidonies

Les limites portées sur la carte sont celles données par Verlaque et Tiné (1979). Cependant, dans tout le secteur NO de la baie (rade des Vignettes et est de la Grande jetée), zone de fonds constitués par de la matre morte d'un herbier de Posidonies encore bien vivant il y a vingt ans, il subsiste des éléments

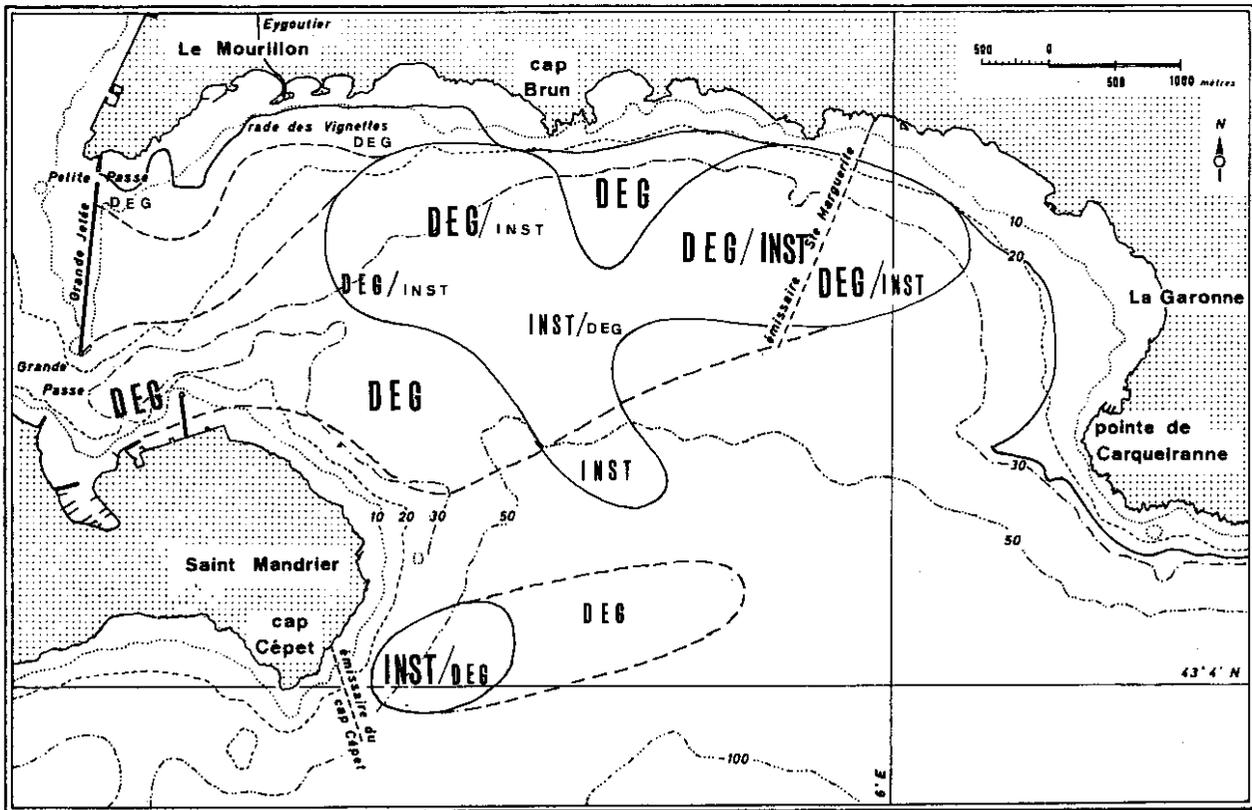


Figure 5. — Bioindicateurs. Fonds riches en individus d'espèces indicatrices d'Instabilité (Inst.) et de Dégénération (Deg.). La taille des lettres est sensiblement proportionnelle à l'abondance relative des bioindicateurs.

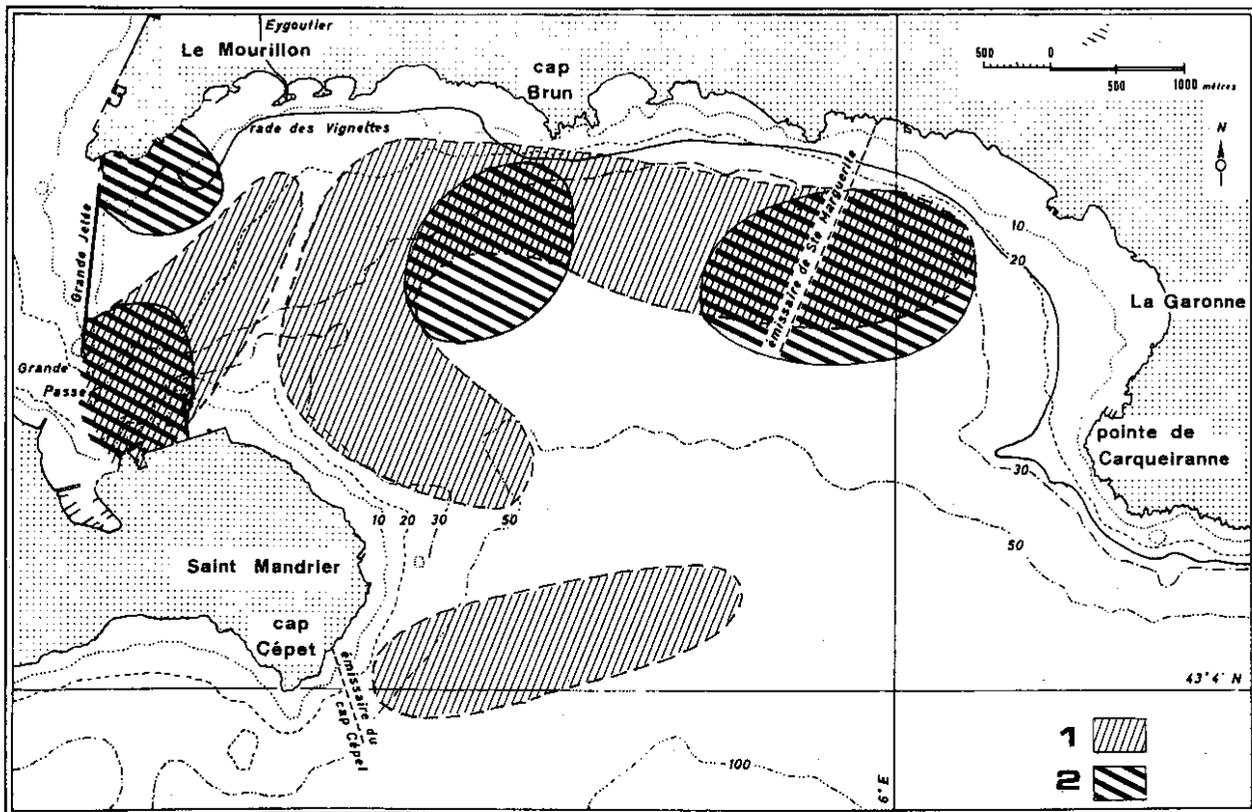


Figure 6. — Bioindicateurs. Fonds riches en individus d'espèces indicatrices de Pollution (1) et de Matières Organiques (2).

de l'endofaune que l'on trouve habituellement dans le sédiment de matre de l'herbier vivant.

Biocoenose des fonds détritiques côtiers (DC)

C'est la biocoenose dominante, présente partout dans l'étage circalittoral de la Grande rade avec pour espèces caractéristiques : *Hermione hystrix*, *Ditrupa arietina*, *Harmothoe reticulata*, *Petta pusilla*, *Paguristes oculatus*, *Anapagurus laevis*, *Ebalia deshayesi*, etc. Mais cette biocoenose DC est rarement à l'état de « biocoenose pure » (affinité égale à 100 %) à l'intérieur de cette zone. En effet, l'envasement de l'étage circalittoral par des éléments fins d'origine continentale (sup. à 10 %) provoque presque partout une surimposition de peuplements ayant une affinité plus ou moins importante pour la biocoenose des vases terrigènes côtières situées généralement devant les estuaires.

Biocoenose des vases terrigènes côtières (VTC)

Il existe deux zones d'étendue très inégale, où le degré d'affinité pour les VTC est égal ou supérieur à 10 %. Leur position peut s'expliquer par la forme de la baie et la courantologie qui en découle en fonction des vents dominants (SE) et du courant Ligure (d'Est en Ouest).

La première zone, de surface réduite, se trouve au SW des plages artificielles du Mourillon. Elle recouvre la matre d'herbier de Posidonies mort par envasement (Nodot et al., 1978). On sait, (Bourcier et al., 1979) que ce peuplement franchit la petite passe (Nord) en même temps que la fraction argileuse provenant de la plage artificielle et pénètre dans la Petite rade. Devant le Mourillon cette zone s'étend jusqu'à 27 m de profondeur environ.

La deuxième zone, très vaste, occupe le centre de la Grande rade, autour de l'émissaire de Sainte Marguerite, avec une extension marquée vers l'Ouest (courants dominants d'Est). Là, sur un fond de 45-47 m, on trouve une zone où l'affinité pour les VTC atteint 57 %. Cette zone est enrichie en argile d'origine tellurique issue des plages artificielles du Mourillon (par vent d'W-NW, Mistral) et de l'émissaire de Sainte Marguerite. Elle remonte à l'ouest jusque vers 38 m de profondeur, à l'Est jusqu'à 35 m environ et au Nord jusqu'à 30 m. cette zone DC à affinité pour les VTC s'étend vers le Sud sous l'effet des courants de décharge dûs aux houles de Sud et à l'émissaire; au-delà de 60 m de profondeur; elle gagne vers l'Ouest et on l'observe à moins de 50 m de profondeur devant l'écran que constitue la presqu'île de St Mandrier. Les espèces les plus courantes sont *Goniada maculata*, *Laonice cirrata*, *Oestergrenia digitata*, *Nephtys hystrix* et *Clymene palermitana*.

Biocoenose des fonds détritiques envasés (DE)

Elle s'ajoute localement au mélange DC/VTC, faisant alors baisser l'affinité pour les VTC au-dessous des 10 %, elle se caractérise par *Tellina serrata*, *Pectinaria auricoma*, *Golfingia elongata* et *Cirolana neglecta*. Ce phénomène se poursuit sur le pourtour de cette grande zone centrale, notamment à l'Ouest, au Sud-Est et vers le Sud-Ouest, vraisemblablement dans des zones privilégiées de décantation, plus éloignées du lieu des rejets (émissaire).

Biocoenose des fonds détritiques du large (DL)

Des espèces de cette biocoenose (*Cirolana borealis*, *Dentalium panormum*, etc.) peuvent être observées vers le large (affinité toujours inférieure à 10 %).

Biocoenose des sables fins bien calibrés (SFBC)

Elles est observée en mélange avec le DC dans deux zones. La première zone se situe devant la plage de la Garonne, entre 20 et 35 m de profondeur, au-delà de l'herbier de Posidonies. On peut considérer que le peuplement référent à la biocoenose SFBC est encore ici en position infralittorale. La deuxième zone ayant une affinité supérieure à 10 % pour les SFBC, se trouve à l'Ouest de la Grande rade, près de la presqu'île de St Mandrier, sur le talweg sous-marin qui pénètre dans la Grande passe et à l'Est de la Grande jetée (matte morte envasée et ensablée).

Biocoenose des Sables grossiers et fins graviers sous influence des courants de fond (SGCF)

Cette biocoenose, aussi appelée « Sables à Amphioxus », est représentée de la rade des Vignettes jusque devant la presqu'île de St Mandrier, par un peuplement ayant de 13 à 18 % d'affinité pour elle.

Les fonds perturbés

NOTIONS DE BASE SUR LES FONDS PERTURBÉS

Sur nos côtes fortement urbanisées, de nombreux facteurs perturbateurs se font sentir sur les peuplements benthiques des fonds référents aux étages infralittoral et circalittoral. Ces nuisances sont dûes, le plus souvent, aux émissaires urbains apportant des polluants divers, des matières organiques et du matériel fin d'origine tellurique (eaux de ruissellement). Cet apport de matériel pélagique peut être

renforcé par celui de petites rivières côtières intermittentes ou par les aménagements côtiers (plages artificielles, aménagements de nouveaux ports de plaisance, môles, dépôts de dragages des ports, etc.). On constate alors un processus de dégradation des biocoenoses aboutissant parfois à des peuplements de fonds très pollués. Il est possible, grâce à la connaissance de certaines espèces appelées alors « indicateurs biologiques » ou « bioindicateurs », de suivre le processus de cette dégradation dans les fonds circalittoraux. Le terme « bioindicateur » a été employé en France par Ramade (1974), à propos d'espèces benthiques « bioindicatrices de pollution », en écologie limnique.

Les espèces « Indicatrices de Dégradation »

Quand une biocoenose circalittorale subit une nuisance du type précédemment décrit, avec, cependant, prédominance du facteur hypersédimentation fine (pélites, sables fins) on assiste à terme à un accroissement notable du nombre d'individus d'espèces dites « Indicatrices de Dégradation ». Cette locution a été choisie en commun par J. Picard, C. Falconetti, C. Salen-Picard et M. Bourcier : elle a été employée pour la première fois par C. Falconetti (1980).

Pour l'instant nous connaissons seulement deux espèces « Indicatrices de Dégradation ». Ce sont deux Polychètes sédentaires, l'une de la famille des Ampharetidae : *Sabellides octocirrata* qui semble plus spécialement liée à une hypersédimentation pélitique ($\varnothing < 0,063$ mm), l'autre de la famille des Sabellidae : *Chone filicaudata* qui est liée à une hypersédimentation où les sables fins sont dominants.

Les espèces « Indicatrices d'Instabilité »

Si les nuisances précédemment décrites se manifestent en fluctuant dans le temps (alternances de périodes d'instabilité prononcée et de périodes plus stables, hypersédimentation, suivie d'arrêt puis « lavage du sédiment », changement de courants, changement dans la qualité des apports, vases, sables, matières organiques, polluants), apparaissent alors des individus d'espèces dites « Indicatrices d'Instabilité », terme créé par J. Picard (1965). En même temps les individus des espèces caractéristiques des biocoenoses deviennent plus rares. Ces « bioindicateurs » sont essentiellement des Mollusques : *Nuculana pella* liée elle aussi à une hypersédimentation pélitique croissante (Bourcier, 1976), *Dentalium rubescens*, *Polinices guillemini*, *Tellina distorta*, *Nucula turgida*, *Turbonilla rufa* et le Crustacé *Anapagurus petiti*.

Les espèces « Indicatrices de Matière Organique »

Quand la perturbation s'accompagne d'un apport important de matière organique des espèces, pouvant s'ajouter aux précédentes, apparaissent, tandis que se poursuit la diminution des individus d'espèces caractéristiques des biocoenoses. Les espèces « Indicatrices de Matière Organique » (terme utilisé pour la première fois par V. Solis, 1975), apparaissent généralement dans l'ordre suivant en fonction de l'augmentation de l'apport de matière organique : *Thyasira flexuosa*, *Corbula (Aloidis) gibba* en peuplement dense (pour cette espèce, il faut signaler aussi la nécessité d'une bonne oxygénation des masses d'eau au voisinage du fond), *Myrtea spinifera* et la Polychète : *Choetozone setosa*.

Les espèces « Indicatrices de Pollution »

Depuis le début du siècle (Wilhelmi, 1916), la Polychète *Capitella capitata* a été considérée entre autres espèces comme hautement « caractéristique de la pollution ». Ce terme a été repris par de nombreux auteurs dont Filice (1954), Kitamori et Kobayashi (1958), Reish (1960) etc. La locution « Espèce Indicatrice de Pollution » a été employée pour la première fois à Endoume par G. Bellan (1964). Si les apports de polluants et de matière organique continuent à s'accroître, les individus des espèces caractéristiques des biocoenoses, en place primitivement (DC, DE, VTC, etc.) diminuent encore et finiront par disparaître, comme également celles qui sont indicatrices de « Dégradation », d'« Instabilité » ou de « Matière Organique » et qui s'étaient précédemment installées là, tandis qu'apparaissent, d'abord en petit nombre, puis en proliférant, une grande quantité d'individus d'espèces indicatrices de pollution : *Parvicardium exiguum*, *Audouinia tentaculata*, *Nereis caudata*, *Dorvillea rudolphii* qui résistent assez mal à une trop forte pollution, *Scolelepis fuliginosa* et *Capitella capitata* beaucoup plus résistantes et qui peuvent subsister soit ensemble soit séparément en fonction du siège de la pollution (soit eau, soit sédiment) selon Picard (1983).

Cette succession d'apparition d'espèces puis disparition d'autres espèces peut avoir lieu dans l'hypothèse où l'on aurait une nuisance venant d'apports pélitiques enrichis en matières organiques et de polluants, le tout s'accroissant régulièrement en fonction du temps. En fait, ce cas est rarement réalisé intégralement. On peut avoir des apports très brutaux de matériel fin (orages, aménagements littoraux) ou de matières organiques issues des émissaires (saison estivale par exemple). Inversement, une forte tempête peut chasser ce qui avait été déposé auparavant et diluer vers le large ce matériau

(courants de décharge). On peut avoir également passage brutal d'un fond non perturbé à un fond chargé de matière organique et pollué.

Pour préciser, un fond « instable » est un fond dont le peuplement subit des facteurs déséquilibrant momentanés dans un sens (hypersédimentation, pollutions, nouveaux courants) ou en sens inverse (lessivage, etc), et ceci de façon alternée mais assez fréquente. Inversement, les espèces indicatrices de « dégradation » caractérisent un fond dont les biocoenoses ont atteint un niveau de dégradation relativement stable : moins d'individus d'espèces caractéristiques des biocoenoses, mélanges de biocoenoses, et ceci en raison de facteurs perturbateurs, atténués ou lointains mais persistants.

Si les apports de matière organique sont lents, en croissance irrégulière, mais jamais très abondants, en milieu relativement ouvert (ex. Grande rade de Toulon), on pourra avoir une superposition des quatre types de bioindicateurs; avec, cependant, toujours une plus grande extension spatiale des indicateurs de fonds dégradés et dans une moindre mesure des indicateurs de fonds instables. Inversement, les fonds pollués en permanence mais toujours faiblement pollués, seront plus étendus que les fonds riches en matière organique (Grande rade de Toulon). Cette dernière (m.o.,2) restant limitée et se déposant en grande quantité (permettant aux espèces indicatrices d'apparaître) soit sur les zones de production ou de rejet de matière organique, soit encore dans des zones de décantation privilégiées.

LES FONDS PERTURBÉS DANS LA ZONE ÉTUDIÉE

Les fonds à peuplements dégradés (fig. 5)

Les deux espèces indicatrices de dégradation (*Sabellides octocirrata* et *Chone filicaudata*), sont présentes dans la baie sur des vastes étendues allant de la Grande passe jusqu'à l'Est de l'Émissaire de Ste Marguerite. Ces fonds dégradés s'étendent depuis le bas de l'herbier, jusque vers 50 m près de St Mandrier. On les retrouve plus bas encore en bathymétrie dans une zone subissant l'action lointaine et atténuée de l'émissaire du Cap Cépet de St Mandrier.

Les fonds à peuplements instables (fig. 5)

Ces fonds, presque toujours inclus dans les régions de dégradation précédemment décrites forment trois zones aisément reconnaissables. Les deux premières, situées au Nord de la Grande rade, sont jointives formant deux noyaux dont l'un est situé

entre l'émissaire de Ste Marguerite et la côte, et l'autre nettement à l'Ouest (rade des Vignettes), près des plages entre le Mourillon et le cap Brun. La troisième zone est située à l'Est de la presqu'île de St Mandrier au NE de l'émissaire du cap Cépet.

Les fonds à peuplements indicateurs de matière organique (fig. 6)

Les bioindicateurs de matière organique sont abondants dans quatre zones bien distinctes de la Grande rade. L'une se trouve autour de l'émissaire de Ste Marguerite et s'étend vers le Nord et le NE par rapport à son débouché (elle s'étale de 25 à 44 m de profondeur environ, et on peut y dénombrer de 44 à 193 individus de ces espèces par 50 dm³ de sédiment. La deuxième zone se situe à l'Ouest de l'émissaire, au SW du cap Brun, sur des fonds de 25 à 40 m. Elle résulte d'une concentration de matière organique déposée par les courants portant vers le N-W. On y rencontre de 100 à 150 individus indicateurs de matière organique pour 50 dm³ de sédiment. Enfin, deux zones, de faible étendue, correspondant à un excès de matière organique venant de la Petite rade sont présentes devant les passes Nord et Sud (de 35 à 50 individus pour 50 dm³ de sédiment).

Les fonds pollués (fig. 6)

Même dans les secteurs de la Grande rade les plus touchés par la pollution (NE et NW de l'émissaire de Ste Marguerite et N et NE de St Mandrier), on observe tout au plus un fond pollué de type « subnormal » (Zone III de Bellan, 1967). Les espèces indicatrices de pollution sont récoltées sur trois zones d'inégale importance. La première zone forme un vaste croissant au fond de la baie entre 20 et 50 m de profondeur. On y distingue nettement deux maxima : un autour de l'émissaire de Ste Marguerite s'étalant surtout vers l'Ouest et le NW du rejet où l'on peut récolter plus de 40 individus indicateurs de pollution par 50 dm³ de sédiment; l'autre, à l'extrémité SW de ce croissant vers St Mandrier, où l'on peut récolter jusqu'à 55 individus d'espèces indicatrices de pollution par 50 dm³ de sédiment.

Une deuxième zone de pollution assez faible (20 individus/50 dm³) est située entre l'extrémité sud de la Grande jetée et St Mandrier. Elle est probablement plus alimentée en polluants par le port de St Mandrier que par la Petite rade.

Enfin, la dernière zone polluée, située à l'E-SE de la presqu'île de St Mandrier, supporte de 20 à 30 individus d'espèces indicatrices de pollution par (50 dm³ de sédiment. Sa présence est évidemment

liée aux rejets de l'émissaire du cap Cépet sous l'effet d'un transport par les courants en régime de Mistral (vent d'W-NW à Toulon). L'émissaire du cap Cépet ne subit aucun traitement préalable au rejet des eaux usées de la base de St Mandrier (7 à 8 000 hommes).

Conclusions

La Grande rade de Toulon est fortement marquée par l'impact des activités humaines : aménagements portuaires, remblais, plages artificielles, rejets des émissaires en mer. La Grande jetée en a fait une véritable baie; la construction des plages artificielles du Mourillon a été catastrophique pour les herbiers à Posidonies qui ont très fortement régressé en raison de la turbidité des eaux empêchant la photosynthèse et de l'envasement de la matrice de l'herbier. De même, la fraction fine issue des remblais a eu un impact sur tous les peuplements circalittoraux de la rade, aidée en cela par l'émissaire de Ste Marguerite, entraînant une forte affinité des peuplements pour la biocoenose des Vases Terrigènes Côtières semblable à celle située devant les estuaires.

Les deux émissaires, Ste Marguerite et St Mandrier, non épurés au moment des prélèvements, avaient des effets négatifs certains sur les peuplements benthiques circalittoraux de la Grande rade. Celui de Ste Marguerite, dont les rejets ne subissaient aucun traitement préalable, à l'époque des prélèvements, entraînait une charge importante en matière organique et une pollution moyenne (type III, « sub-normal »), mais bien caractérisée par les espèces bioindicatrices classiques dans tout le Nord et l'Ouest de la Grande rade. L'émissaire de St Mandrier, qui n'est toujours pas épuré, ne donne cependant pas de fond à peuplement indicateur de matière organique (pas d'accumulation suffisante), mais il entraîne l'apparition d'un peuplement de fonds pollués du type « subnormal » à l'Est de l'émissaire. L'ensemble des deux impacts entraînant une instabilité des peuplements macrobenthiques précédée ou accompagnée de leur dégradation.

Seule, une épuration efficace du deuxième émissaire également (cap Cépet), ainsi qu'un arrêt des émissions de matières fines par les endiguages et les plages artificielles du Mourillon, au moyen d'un meilleur enrochement, de filets ou même de plastique, pourront apporter une amélioration sensible de l'état des fonds, suivie d'un retour à l'équilibre de l'ensemble des biocoenoses benthiques de l'étagage circalittoral.

Dans l'infra-littoral, l'amélioration de la transparence des eaux entraînera, dans un premier temps, l'arrêt de la dégradation des Herbiers à *Posidonia*

oceanica, puis, dans un second temps, la reprise de sa pousse verticale et horizontale, qui pourra sans doute être accélérée par un repiquage systématique de boutures au moyen de plongées en scaphandre autonome.

REMERCIEMENTS. — La plupart des déterminations ont été effectuées par les deux premiers auteurs. Cependant, certaines espèces ont été confiées à des spécialistes que nous remercions ici : les poissons à Aboussouan, certains mollusques à P.M. Arnaud, certains amphipodes à D. Bellan-Santini, les Bryozoaires à J.-G. Harmelin, les cumacés à M. Ledoyer et les éponges à J. Vacelet.

Références

- Bellan G.**, 1964. Influence de la pollution sur la faune annelidienne des substrats meubles. *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit., Symp. Pollut. mar. par Microorgan. Prod. pétrol.*, Monaco, avril 1964 : 123-126.
- , 1967. Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. 1. Le secteur de Cortiou. *Rev. int. Océanogr. médic.*, 6-7 : 53-87.
- Blanc J.-J., Jeudy de Grissac A.**, 1978. Recherches de géologie sédimentaire sur les herbiers à Posidonies du littoral de la Provence. Paris, CNEXO, Contrats 76/4043 et 77/4074 : 1-185.
- Bourcier M.**, 1976. Economie benthique d'une baie méditerranéenne largement ouverte et des régions voisines en fonction des influences naturelles et humaines. Fac. Sci. Marseille, Thèse Doct. Etat, Arch. orig. CNRS N° 12.150 : 1-161 + Annexe : 1-50.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy de Grissac A., Tiné J.**, 1979. Répartition des biocoenoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). *Téthys*, 9 (2) : 103-112.
- Falconetti C.**, 1980. Bionomie benthique des fonds situés à la limite du plateau continental du banc du Magaud (îles d'Hyères) et de la région de Calvi (Corse). Univ. de Nice, Thèse Doct. Etat : 1-287.
- Filice F.P.**, 1954. An ecological survey of the Castro Creek area in San Pablo bay. *Wasman J. Biol.*, 12 : 1-24.
- Jeudy de Grissac A.**, 1979. Impact des aménagements littoraux. Installations Portuaires. Plages artificielles. Quelques exemples provençaux. Rapport CNEXO 578/4104) : 1-46 + 12 pl.

- Jeudy de Grissac A., Tiné J.**, 1980. Géologie et sédimentologie littorales et marines de l'aire toulonnaise. Marine Nationale (BEA) et GEOMER, 2 tomes : 1-254.
- Kitamori R., Kobayashi S.**, 1958. The benthic community in polluted coastal waters. 1. Fukuyama Inlet. *Island Sea Res. biol. Station*, 11 : 1-6.
- Nodot C., Astier J.M., Taillez P., Tiné J.**, 1978. Etude d'impact des aménagements littoraux du Mourillon sur l'herbier de *Posidonia oceanica* de la rade des Vignettes (Toulon, Var). *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var*, 30 :1-12.
- Pérès J.-M.**, 1982. Major benthic assemblages, pp. 373-522, in : Kinne O., ed., *Marine Ecology. A comprehensive integrated treatise on life in oceans and coastal waters*, Vol. 5. Ocean management. Part 1. J. Wiley & Sons.
- Pérès J.-M., Picard J.**, 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. Sta. mar. Endoume*, 47 (Bull. 31) : 3-137.
- Picard J.**, 1965. Recherches qualitatives sur les biocoenoses marines de substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Ibid.*, 52 (Bull. 36) : 1-160.
- , 1983. Réflexions sur le benthos méditerranéen des substrats meubles de hauts-niveaux dans l'étage infralittoral. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28 (3) : 179-183.
- Ramade F.**, 1974. *Eléments d'écologie appliquée*. Paris, Ediscience/McGraw-Hill : 1-522.
- Reish D.J.**, 1960. The use of marine invertebrates as indicators of water quality, pp. 92-103, in : *Waste Disposal in the Marine Environment*. Pergamon Press.
- Solis V.**, 1975. Etude des peuplements benthiques des fonds de décantation des parages de Marseille. Univ. Aix-Marseille II, Thèse de 3^e Cycle : 1-107 + Annexe.
- Verlaque M., Tiné J.**, 1979. Végétation marine de Toulon (Var-France). Grande rade et Rade-abri. *Rapp. B.E.A. Toulon-Naval, Lab. Biol. vég. marine, Luminy Marseille*, : 1-83.
- Wilhelmi J.**, 1916. Übersicht über die biologische Beurteilung des Wassers. *Ges. naturf. Freunde Berlin, Sitzungsber.* 1916 : 797-306.

Déposé le 8 novembre 1983
 Accepté le 9 février 1984

	St.1 12/80 15 m	St.2 12/80 21 m	St.3 4/81 26 m	St.4 12/80 21 m	St.5 4/81 19 m	St.6 4/81 26 m	St.7 12/80 38 m	St.8 4/81 31 m	St.9 12/80 38 m	St.10 4/81 42 m	St.11 12/80 57 m	St.12 12/80 53 m	St.13 12/80 25 m	St.14 12/80 38 m	St.15 1/81 47 m	St.16 1/81 55 m	St.17 12/80 64 m	St.18 1/81 53 m	St.19 1/81 42 m	St.20 1/81 54 m	St.21 1/81 33 m	St.22 12/80 45 m	St.23 1/81 60 m	St.24 12/80 20 m	St.25 1/81 42 m	
Caractéristiques exclusives DC																										
Lithothamnium fruticulosum	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	4	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Peysonnella sp. calcifées	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phymatolithon calcareum	2	2	.	.	.	1	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Anseropoda placenta	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ophiocanis forbesi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.
Paracucumaria hydauntii	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Psammochinus microtuberculatus	3	30	2	4	11	4	8	12	.	.	2	17	6	2	.	.	3	.	1	1	.	5	9	3	4	.
Stereodermia kischbergi	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1	5	.	10	.	3	.	4	.	.	.	.	.	.
Abra prismatica	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Gari furvovensis	2	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	1	1	.	.	.	.	1	5	.	.	.	.	.	.	6
Lina luscumbi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Nodiolus phaeotinus	9	6	4	.	3	.	.	1	5	.	7	27	4	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pandora obtusa	.	.	.	.	.	3	.	4	8	.	.	.	5	.	1	.	.	5	1	.	.	.	.	.	.	.
Tellina donacina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Drillia maravignole	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Turritella triplicata	.	6	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Ditropa arctica	.	15	2	.	31	3	.	163	.	.	.	.	39	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Harmothoe reticulata	.	.	.	2	.	.	.	8	.	.	16	.	19	.	.	.	.	3	11	4	.	2	.	.	.	.
Hermione hystrix	44	22	9	2	6	13	3	36	.	.	2	15	3	5	.	3	1	12	6	1	.	.	5	20	1	
Petta pusilla	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	4	1	4	4	.	.	.	1	.	.
Vermiliopsis infundibulum	5	2	.	.	.	.	11	11	.	7	.	18	.	5	.	8	.	3	.	.	7	.	.	.	.	.
Anapagurus chiroacanthus	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
A. laevis	44	53	.	17	102	24	17	137	30	7	.	74	.	16	21	.	9	28	43	7	7	6	6	28	2	
Conilera cylindracea	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
Ebalia deshayesi	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	4	14	.	.	.	.	5	.
E. edwardsii	3	.	.	.	.	.	.	8	.	1	2	2	8	1	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.
Paguristes oculatus	14	13	.	6	3	.	.	.	.	.	1	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	6	.
Microcosmus vulgaris	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	1	2	.	.	.	7	1	.	.	.	.	2	1	.	.	.
Polycarpa gracilis	.	2	.	.	.	.	.	3	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P. pomaria	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
TOTAUX PARTIELS Excl. DC	126	153	17	31	156	48	51	389	48	20	24	209	69	35	23	38	15	61	88	23	19	34	19	58	14	
Caractéristiques préférentielles DC																										
Ophiura sibida (Lre)	5	22	4	.	28	24	11	79	.	4	7	31	40	6	14	3	5	40	67	3	2	17	2	30	30	
Yarvicardium papillosum (Lre)	176	282	29	26	68	88	54	75	11	7	16	6	18	9	3	2	3	15	34	3	10	.	.	10	16	
Pitar rudis (Lre)	81	128	40	9	11	63	57	43	18	38	5	2	13	6	8	5	3	8	37	7	32	.	1	8	22	
Nyalinuccia tubicola (Mist.)	3	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	2	.	.	1	.	.	3	5	.	.	2	1	.	.	.
Pholis longicaudata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Caractéristiques exclusives VTC																										
Oestergenia digitata	.	.	.	2	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Myrella bidentata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	.	2	.	.	2	1	.	.	.
Amphitrite rubra	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Coniada maculata	3	.	.	6	.	1	.	13	.	.	6	12	9	5	10	3	4	8	16	4	.	.	1	6	6	
Lanice cirrata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hephthys hystrix	.	13	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	5	6	.	.	.	5	4	.	.	.	.	.	.	.
Nereis longissima	12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Phyllodoce lineata	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Prionospio pinnata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Goneplax rhomboides	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Leptocheirus delavalliei	.	.	.	.	1	.	.	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAUX PARTIELS Excl. VTC	15	13	.	8	.	2	.	30	6	2	6	16	9	10	43	3	5	13	22	4	.	2	2	6	6	
Caractéristiques préférentielles VTC																										
Trachythone tergestina (Vas.str.)	.	.	.	.	.	.	.	.	5	2	.	.	5	.	5	2	.	1	.	.	.	2	.	.	.	.
Turritella communis	.	.	.	.	.	.	.	3	452	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Ampharete grubei (Vas. tol.)	.	.	.	.	.	5	3	37	2	.	.	.	.	14	.	.	.	5	16	.	.	.	.	.	.	.
Caractéristiques exclusives C																										
Tethya aurantium	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
Propeasmius incomparabilis	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	5	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.
Trivisa arctica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
Celleporaria sardonica	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Myrionozoum truncatus	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Paramuricea chameleone	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
P. clavata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Porella concina	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Eunice schizobranchia	59	45	55	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Harmothoe froerthomsoni	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.
Cataguroides timidus	27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	7	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.
Macropipus corrugatus	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.
Metocynthia papillata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.
TOTAUX PARTIELS Excl. C	86	45	55	.	.	7	6	.	.	.	2	22	.	.	11	.	.	4	.	.	4	2	.	.	.	.
Caractéristiques préférentielles C																										
Eunice torquata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	43	.	.	.	.	.	.
Athanas nitescens	41	32	.	2	8	1	.	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	1	4	.	.	4	.	2	.	.
Ferrierella sudouiniana	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Caractéristiques exclusives SPBC																										
Montacuta ferruginosa	.	22	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Spisaula subtruncata	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	2	.	.	.	.
Thracia papyracea	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Nassarius pygmaeus	12	9	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Exogone hebes	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Prionospio longteni	.	32	.	.	.	.	14	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	8	.	.	.	.
Perioculodes longimanus	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Urothoe pulchella	.	.	.	3	.	.	.	17	.	.	1	.	23	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Gobius microps	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAUX PARTIELS SPBC	14	63	16	.	3	1	14	33	.	.	1	.	32	.	.	.	.	4	1	.	8	2	.	.	.	
Caractéristiques exclusives HP																										
Gari depressa	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Venus verrucosa	21	26	4	.	3	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.
Macropipus arcuatus	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Upogebia deltaura	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TOTAUX PARTIELS Excl. HP	29	36	6	.	3	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.

	St.1 12/80 15 m	St.2 12/80 21 m	St.3 4/81 26 m	St.4 12/80 21 m	St.5 4/81 19 m	St.6 12/80 26 m	St.7 4/81 36 m	St.8 12/80 31 m	St.9 4/81 38 m	St.10 12/80 42 m	St.11 12/80 57 m	St.12 12/80 53 m	St.13 12/80 23 m	St.14 12/80 38 m	St.15 1/81 47 m	St.16 1/81 55 m	St.17 12/80 64 m	St.18 1/81 33 m	St.19 1/81 42 m	St.20 1/81 54 m	St.21 1/81 33 m	St.22 12/80 45 m	St.23 1/81 60 m	St.24 12/80 20 m	St.25 1/81 42 m	
Mixicoles																										
<i>Adamsia palliata</i>		2																								
<i>Caryophyllia smithii</i>		2				1						2		2							1					
<i>Thyene fusus</i>	2							4	3	8		2	1	5	4	2							13			
<i>T. inermis</i>										4		2		1				3								
<i>Area diluvii</i>	8			3		3		2	2	9	60		3	3	13			3	4			2				
<i>Begonia aculeata</i>	66	11		3						1		4					3			1					4	
<i>Lyonsia norvegica</i>		4						3	2	1						3			1	1	3					2
<i>Parvicardium minimum</i>								3	9	6											22	1				12
<i>Tellina balaustina</i>	2	9	4					1			2	3							1					2	2	2
<i>Venus ovata</i>		19			6	23		96	29	22	129	125	54	9	10	110	4	13	66	4						56
<i>Aporrhais pespelicani</i>									3																	
<i>Dentalium inaequicostatum</i>	2	4			3	7	8	1	26					1	3			3	12	18	5	3				
<i>Fucus rostratus</i>						1						1														
<i>Anaga adspersa</i>	18	69	18			83	3	36	5	29		20		33	10			16	7		3			4		
<i>Ectoea longa</i>										7										4						
<i>Euchone rubrocincta</i>	8	113	46		3	56	74	139	2	43		8		10			3	69	76		42			8		
<i>Harmothoe antilopis</i>		2																								
<i>Nematoceros unicornis</i>	8	78	128			3	3	8	12	65				14	5			16	29							
<i>Onuphis conchylaea</i>		2						1	2			9	1					3	14						1	
<i>Pygospio elegans</i>		13	64		3			9				8		5												
<i>Stylaroides eruca</i>																		1								
<i>Syllis cornuta</i>	14	342	596			152	68	172	33	50		84		70	55		1	103	151		42			10		
<i>Trypanosyllis coeliaca</i>								4				12														
<i>Ampeleca diadema</i>								9	2				1	1	3			4	4							
<i>A. spinimana</i>	2		4		3			6				4	9					12	8		2			4	5	
<i>A. spinipes</i>		2		6	8	3		4				9	2	4				7	20	3	2		1	2	11	
<i>A. tenuicornis</i>		11	2	2	3			3			1		10	5	1	2	4	8	10	3	3				1	
<i>A. typica</i>								9	2	1	2		4	1	1			4	6							
<i>Eurydice truncata</i>												7														
<i>Fagurus pridesuxi</i>		6									17						2	1	5				6		4	
<i>Anoplodactylus petiolatus</i>						3						3							1							
<i>Ascidella aspersa</i>					3			1																		
Sabulicoles strictes																										
<i>Dosinia lupinus</i>			4																							
<i>Ampeleca brevicornis</i>																		3								
Sabulicoles tolérantes																										
<i>Philine aperta</i>						1						1														
<i>Sipunculus nudus juv.</i>						3																				
<i>Aonides oxycephala</i>																				4						
<i>Nephtys hombergi</i>			9	2	3	3	8	21		7		20						1	3	22		3			4	
<i>Sthenolepis boa</i>														5	1											
<i>S. minor</i>		26			8	8	3	61			1	76	4	14	10		1	5	14				1			
<i>Hippomedon massiliensis</i>										1									1	2	1				2	1
<i>Westwoodilla rectirostris</i>		2						13					3	5					1						1	
Gravellicoles																										
<i>Echinocyamus pusillus</i>	14	19				3	1			1	11	5	2						1			11	1	2		
<i>Astarte fusca</i>						1	4			2	15						8		3		1		2	1		
<i>Gafrarium (Gouldia) minimum</i>	537	643	103	22	184	124	91	189	5	2	16	63	25	2	8	13	1	16	7	9	80	2	2	10	8	
<i>Faunmylax arenosa</i>		2						1												1						
<i>Eucema sarsi</i>		2																								
<i>Parthenope massena</i>								1					1					3			6			2	2	
<i>Processa macrophthalma</i>			2	2				5		1	1	11						3		2					2	
<i>Xantho pilipes</i>	9																									
Minuticoles																										
<i>Margelona papillicornis</i>										14																
<i>Meliola palmata</i>	6				8	3	68	5						5				9	3			5				
<i>Stylaroides plumosa</i>						3	6		2	1	1	1			1				3			5				
Substrats durs																										
<i>Coratonereis costae</i>	36																									
<i>Lysidice ninetta</i>																		1	3							
<i>Pomatoceros triquetter</i>	14	74			3	3	6	9			1	3							1			3				
<i>Protula sp.</i>																				1						
<i>Syllis armillaris</i>	3											68														
INDIVIDUS A L.re	421	1527	1337	62	238	404	310	634	167	446	117	824	343	197	121	351	77	530	321	52	173	6	41	40	68	
INDIVIDUS S.S. Pr.	969	2195	768	37	302	326	401	1162	62	631	76	817	292	159	211	87	26	463	438	35	156	46	18	90	63	
NOMBRE TOTAL D'INDIVIDUS dans 50 dm ²	2345	5904	3556	234	1101	1593	1892	3553	1292	1776	453	2682	1402	786	724	671	240	1678	2012	168	786	152	104	346	530	
NOMBRE TOTAL D'ESPECES dans 50 dm ²	140	168	92	42	77	130	122	190	90	99	71	206	96	107	108	71	61	154	166	62	104	40	46	59	60	
DEGRE D'AFFINITE EN %	DC	45	44	15	72	81	73	48	81	75	67	71	84	55	76	30	73	63	72	75	79	50	81	76	83	61
VTC				19							18			14	57		21	15	19	14					26	
C	31	13	47			11										21						11				
SFBC		18	14			13						25										21				
HP	10	10																								
DE																										