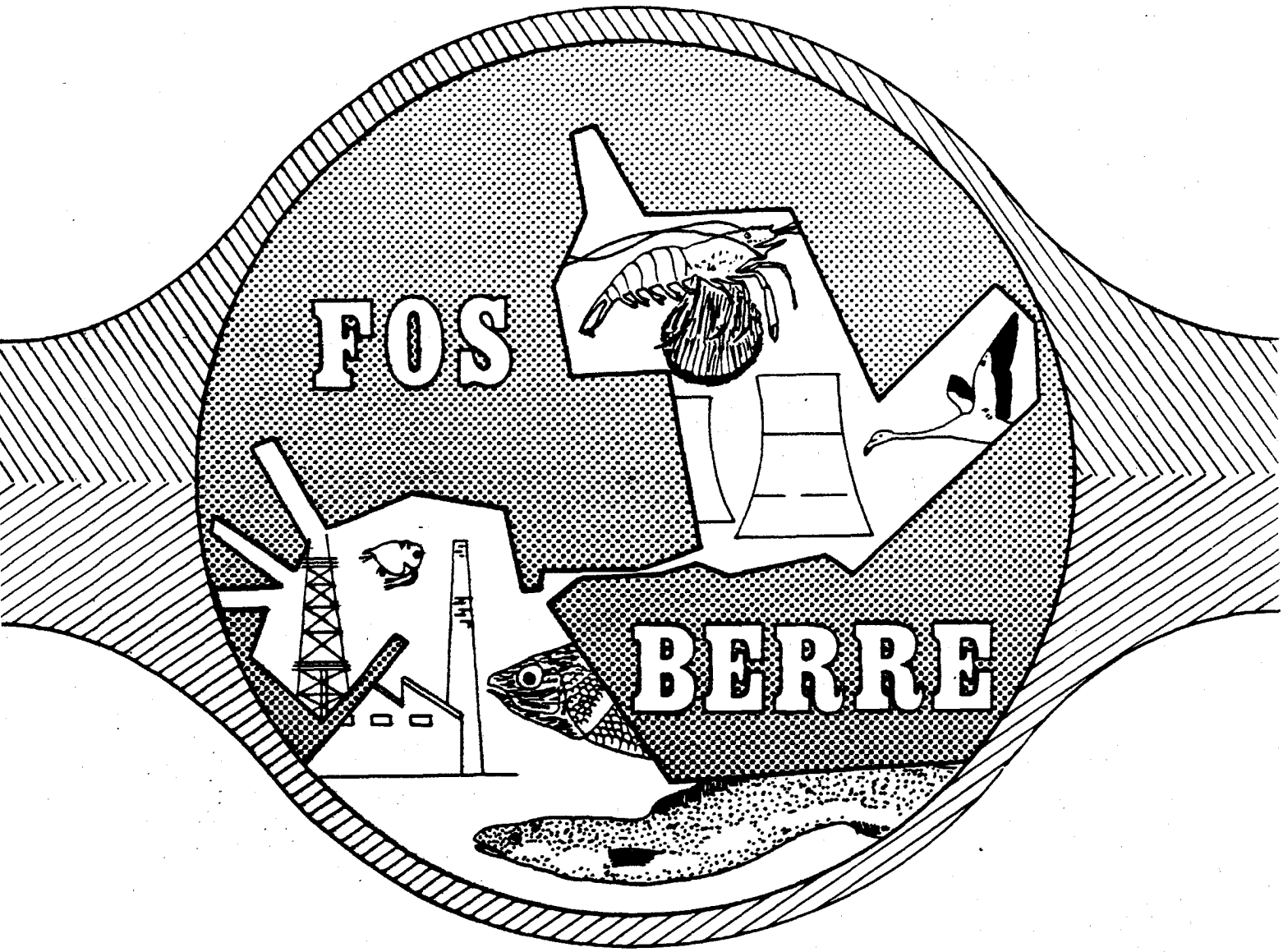
ETUDE REGIONALE INTEGREE

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT
LITTORAL ET GESTION DU MILIEU
MARIN

Etat de la Pollution



CENTRE D'OCEANOLOGIE DE MARSEILLE-LUMINY

LABORATOIRE D'HYDROLOGIE. FACULTE de PHARMACIE de MARSEILLE

IFREMER

JUILLET 1985

Direction de l'Environnement et des Recherches Océaniques
Département Environnement Littoral · Centre de Toulon

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I - LA POLLUTION CHIMIQUE DES EAUX
I.1 LES DONNEES DU RNO
I.2 LES ETUDES PONCTUELLES

II - LA POLLUTION DES SEDIMENTS

III - LA POLLUTION DE LA MATIERE VIVANTE

IV - LES EFFETS DE LA POLLUTION SUR LES ORGANISMES
IV.1 CONCENTRATION DES POLLUANTS PAR LES ORGANISMES
IV.2 STRESS SUR LES ORGANISMES EN RELATION AVEC LA POLLUTION THERMIQUE
IV.3 STRESS SUR LES ORGANIS%ES EN RELATION AVEC LA PERTURBATION GLOBALE DU MILIEU

V - CONCLUSION

AVANT - PROPOS

— La zone de Fos-Berre a subi de profondes transformations au cours des 20 dernières années : implantation d'un vaste complexe portuaire et industriel, augmentation de la population, modifications consécutives à l'aménagement du Bas-Rhône et de la Durance. —

Dès 1971, la création du S.P.P.P.I. a permis pour la première fois en France, de mettre en place une action coordonnée entre les administrations, les scientifiques, les élus et les usagers, destinée à préserver le milieu naturel des différents types de pollution engendrée par ce développement.

De ce fait, un grand nombre de travaux scientifiques ont été réalisés depuis, la plupart du temps en vue d'estimer et, si possible, quantifier l'impact des activités humaines sur le milieu.

Ce rapport présente une synthèse bibliographique des études réalisées et fait le point sur les connaissances actuelles dans les domaines suivants :

- état de la pollution dans l'étang de Berre et le golfe de Fos
- l'effet des différents "stress" sur les organismes vivants

Cette étude a été réalisée en collaboration avec les organismes scientifiques suivants :

. Laboratoire d'Hydrologie (L.H.) de la Faculté de Pharmacie de Marseille

. le Centre d'Océanologie de Marseille (C.O.M.)

Au sein de ces organismes, le Pr. A. ARNOUX (L.H.) a été chargé de la synthèse sur l'état de la pollution et M. G. STORA a développé le chapitre concernant les effets sur les organismes.

L'étude a été placée sous la responsabilité de L.A. ROMANA (IFREMER).

INTRODUCTION

La situation géographique de l'étang de Berre et du golfe de Fos a contribué, au cours des siècles et surtout au cours des dernières décennies, à leur essor démographique et industriel.

L'impact sur l'environnement ne peut être simplement attribué au seul développement des activités riveraines dont l'inventaire peut être fait avec assez de précision, tout au moins sur le plan de la localisation, si ce n'est aux points de vue qualitatif et quantitatif.

Outre ces déversements directs, l'étang de Berre et le golfe de Fos reçoivent ou subissent les effets d'eaux douces apportées par des cours d'eaux ou provenant de ceux-ci par l'intermédiaire de canaux.

Ces effets s'ajoutent ou potentialisent ceux des effluents spécifiques, soit en apportant leur propre pollution, soit en créant des phénomènes hydrologiques se surimposant ou s'opposant à ceux de chacune de ces unités hydrologiques.

- Stratification (saline, thermique)
- Poussée des eaux - Cloisonnements
- Courants de compensation

Si chacun des deux sites se singularise par des conditions différentes de comportements des eaux douces et salées, il est important de souligner l'interdépendance existant entre l'étang de Berre et le golfe de Fos. Celà sous-entend que l'étude de l'un ne peut en aucun cas être dissociée de celle de l'autre, ou, en d'autres termes, toute modification imposée à l'un aura des conséquences plus ou moins directes et plus ou moins prononcées sur l'autre. Mais il est bien évident que cet effet se fera beaucoup plus sentir dans le sens étang de Berre - golfe de Fos car le second peut échanger ces eaux avec le large alors qu'il est impossible au premier de trouver une issue ailleurs que vers le golfe de Fos.

- La relation de l'étang et du golfe avec des fleuves aussi importants que le Rhône et la Durance confère à la sédimentation dans chacun d'eux un rôle particulièrement important non seulement en raison de l'effet colmatant du dépôt, mais aussi en raison de la fixation de polluants avant et après l'arrivée des eaux turbides dans chaque site.

De plus, les modifications hydrologiques auront des conséquences sur la vitesse de sédimentation, l'aire de sédimentation et sur l'évolution ultérieure du dépôt, plus particulièrement, en fonction des mélanges granulométriques imposées.

A ces phénomènes d'apports s'ajoutent ceux liés à la remise en suspension de dépôt anciens ou récents sur des surfaces importantes, en raison des aménagements portuaires. Ces opérations ne peuvent que faciliter ou déclancher des mécanismes de relargage dont les eaux subiront immédiatement ou à plus long terme, les effets.

- Les conditions de vie offertes aux organismes aquatiques sont extrêmement limitées et précaires dans l'étang de Berre où s'ajoutent à la pollution chimique proprement dite des stress dus à l'hypersédimentation, à la dilution, à l'appauvrissement en oxygène et à l'évolution des sels nutritifs.

Par contre le golfe de Fos apporte une autre qualité d'eau permettant aux organismes de mieux résister aux excés de polluants chimiques qu'ils peuvent assimiler et fixer en quantités parfois importantes.

Le problème de l'évolution de la qualité de ces organismes présente un intérêt tout particulier dans cette région où la pêche et la myticulture revêtent une importance sociale et économique non négligeable.

LA POLLUTION CHIMIQUE DES EAUX

I - POLLUTION CHIMIQUE DES EAUX

Les premières déterminations de polluants dans les eaux de l'étang de Berre et du golfe de Fos ont été effectuées en 1972, c'est-à-dire à une époque où l'industrialisation et l'aménagement de cette région étaient déjà bien engagées. Aussi ne possède-t-on aucune référence de la qualité originelle de ces eaux.

Depuis cette date, diverses enquêtes ont été réalisées, à l'instigation d'organismes régionaux (SPPPI) ou nationaux (RNO).

Les données ainsi accumulées, plus nombreuses pour le golfe de Fos, ont été acquises suivant des méthodologies très diverses, ce qui limite d'une manière importante l'intérêt ou la portée de ces études.

Aussi nous semble-t-il indispensable d'insister sur cet aspect méthodologique essentiel pour la compréhension et l'interprétation des résultats publiés jusqu'ici.

Les deux types d'enquete

- Un premier type d'enquête (RNO) est basé sur l'analyse d'échantillons prélevés à intervalles réguliers en un nombre réduit de stations (Fig.1)

Seule l'accumulation des données au cours de nombreuses années permettra d'obtenir des éléments significatifs sur la qualité des eaux à chaque station.

Le nombre des stations, nécessairement limité pour des raisons matérielles évidentes, impose un choix de localisation d'autant plus difficile que l'on a affaire à des milieux soumis à des influences très diverses.

S'il y a peu à redire sur la position des stations dans l'étang de Berre, il en va autrement pour le golfe de Fos où, seule la station 2 située à peu près au centre du golfe, est représentative du site. Les autres points le sont surtout des affluents (Caronte, Rhône).

Bien que ce choix réponde à la vocation du RNO de surveiller la qualité du milieu marin, et, par conséquent, de mesurer le flux de pollution à la sortie du golfe, il est regrettable qu'aucun contrôle ne soit fait au Nord et, surtout, à l'Ouest (Anse de Carteau)*, c'est-à-dire dans des secteurs présentant un intérêt économique par la pêche et la mytiliculture qu'on tente d'y implanter.

* modification prise en compte depuis 1985

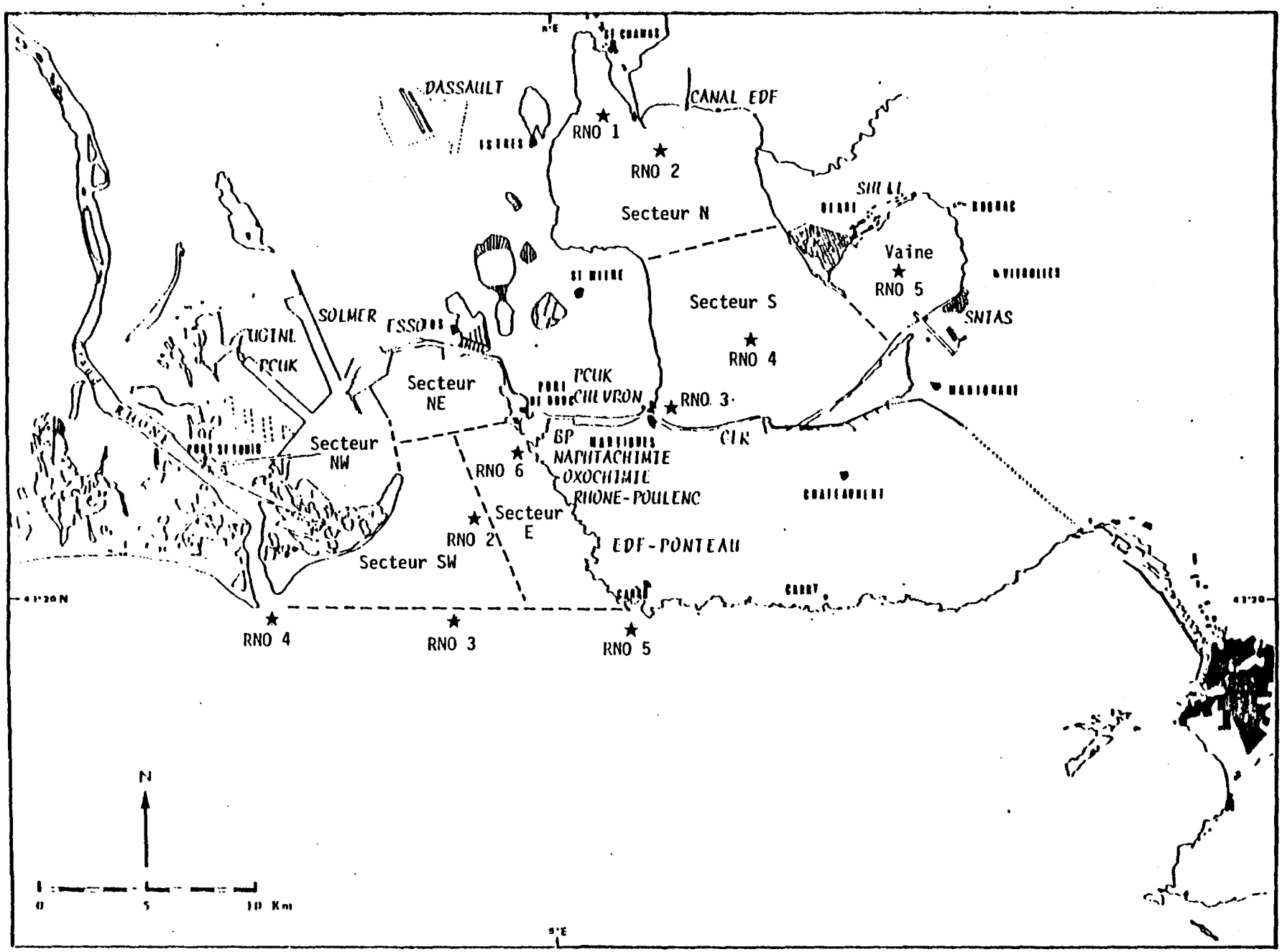


Figure 1 : Etang de Berre et Golfe de Fos - localisations des principaux secteurs et des stations du R.N.O. (Eau).

- Le deuxième type d'enquête est basé sur des campagnes de prélèvements nombreux, mais sur des périodes aussi courtes que possibles.

La première a été réalisée par le CEA de Cadarache en 1972, à l'instigation du SPPPI ; elle devait fournir un état zéro de l'étang de Berre et du golfe de Fos avant la mise en oeuvre du programme de réduction des pollutions dans la région Fos - Berre. 23 paramètres hydrologiques et de pollution ont été déterminés en 21 stations, à 3 niveaux (S, - 0,80 m et 10 cm du fond), à 3 saisons différentes.

Cette enquête fourni malheureusement plus de renseignements sur les caractères hydrologiques des sites et beaucoup moins sur les polluants proprement dits en raison d'un programme limité d'analyse et à l'adoption de seuils analytiques assez élevés.

Par ailleurs, la publication des résultats bruts n'a été pratiquement pas été accompagnée de commentaires.

Ce type d'enquête a été renouvellé en 1978 suivant un programme identique, mais plus complet en ce qui concerne les polluants. Cette nouvelle étude confiée au laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie a fait l'objet d'un rapport préliminaire en 1979, puis de deux thèses d'Université (M. DALMAS 1982 - C. DIANA 1983) dans lesquelles la discussion a été développée.

En 1975, BENON et coll. effectuaient une enquête sur le seul golfe de Fos suivant des principes analogues avec une série de 35 prélèvements de surface en avril et une autre série de prélèvements en surface, à -5m et au fond en 16 stations. Le dosage des polluants est associé à la détermination de paramètres hydrologiques et biologiques.

Ces trois enquêtes fournissent en principe des photographies instantanées de chacun des sites, dans la mesure où les prélèvements ont été effectués dans des délais aussi courts que possible, but presque atteint par BENON et coll en 1975, moins nettement par le laboratoire d'Hydrologie en 1978 et d'une manière très discutable au cours de l'enquête de 1972.

L'intérêt de ces campagnes réside dans la mise en évidence des fluctuations de la distribution des polluants dans l'espace et dans le temps, en relatio avec l'évolution des rejets, des débits des affluents et des conditions biologiques et climatiques.

Si les enseignements de telles études sont dignes d'intérêt, ils ne constituent malheureusement qu'une série de situations particulières ne permettar aucune généralisation.

- Choix des niveaux de prélèvements

Les eaux salées de l'étang de Berre et du golfe de Fos reçoivent d'abondantes eaux douces provenant non seulement du Rhône et de la Durance mais de nombreuses autres origines (Arc-Touloubre-canal de Craponne-Saint Louis-canal d'Arles à Bouc-affleurements de la nappe de Crau-effluents divers industriels et urbains).

Il en résulte des phénomènes de statification extrêmement complexes qui, suivant les débits et les saisons, affectent des aires et des profondeurs extrêmement variables. Le niveau de pollution étant, d'une manière générale, en relation directe avec les arrivées d'eaux douces, il en résulte que les chiffres fournis par l'analyse dépendront étroitement de la position du prélèvement.

Ainsi les résultats du RNO se rapportant à des échantillons récoltés à -1m (et, pour un certain nombre de stations, dans des zones à forte stratification) pourront difficilement être comparés à ceux obtenus à partir de prélèvements englobant l'interface.

Cette remarque concerne aussi, mais à un moindre degré, les concentrations au fond. En particulier, la présence d'un biseau d'eau salée d'épaisseur plus ou moins importante dans l'étang de Berre, peut entrainer des différences notables suivant la position de l'appareil de collecte par rapport au fond.

- Choix des polluants : Méthodes d'analyses

Jusqu'à maintenant, on peut dire qu'aucune étude réelle sur la pollution n'a été entreprise sur les eaux. En effet, toutes les enquêtes effectuées ont inclus dans leur programme un nombre plus ou moins important de polluants organiques et minéraux choisis en raison de leur caractère traditionnel, mais aussi en fonction des disponibilités techniques ou de l'orientation spécifique de chaque laboratoire.

Il en découle une certaine incohérence tant dans le choix des produits recherchés, de l'importance donnée au polluants par rapport aux autres paramètres hydrologiques ou hydrobiologiques, que dans les techniques analytiques utilisées.

La diversité des méthodes, leur caractère plus ou moins spécifique et la sensibilité quelquefois insuffisantes rendent pratiquement impossibles certaines comparaisons.

Nous retiendrons plus particulièrement, à titre d'exemple, les phénols et les cyanures dont les concentrations varient dans un rapport de 10 à 1 suivant qu'on utilise une technique de dosage par extraction (BENON et coll.) ou par déplacement et entrainement (DIANA- DALMAS). De même, l'adoption d'un seuil analytique élevé, en particulier pour les analyses effectuées dans le cadre du RNO, ne permet pas d'obtenir de valeurs représentatives des concentrations en PCB, en cadmium réellement présentes dans le milieu. De plus, certains chiffres, excessifs publiés pour les PCB relèvent plus de l'interprétation d'un bruit de fond que de la réalité.

En définitive, malgré l'ampleur des programmes réalisés, aucune étude véritablement intégrée n'a été effectuée sur les eaux de l'étang de Berre et du golfe de Fos. De plus, il apparaît indispensable que l'effort de normalisation de la méthodologie imposé dans le cadre du RNO soit effectif et élargi aux autres enquêtes ou études.

Enfin, une meilleure connaissance du milieu doit amener à des déterminations plus précises de la nature des polluants réellement présents dans les eaux, c'est-à-dire qu'il est nécessaire de promouvoir des études sur l'identification des espèces chimiques aussi bien minérales qu'organiques.

I.1 LES DONNEES DU RNO

Malgré les réserves que nous venons de formuler sur les résultats acquis jusqu'à ce jour, il est toutefois possible de faire un premier bilan sur la qualité des eaux de l'étang de Berre et du golfe de Fos, grâce aux données du RNO.

Celles-ci, surtout abondantes pour les paramètres hydrologiques, ne sont utilisables pour les polluants que depuis 1976 ou 1978 (suivant le seuil analytique) pour le golfe de Fos et depuis Novembre 1978 pour l'étang de Berre (date de création de ce point d'appui).

Nous ne tenons pas compte, dans ces commentaires, des valeurs obtenues dans le cadre des enquêtes antérieures sur l'état sanitaire des côtes françaises et qui sont obtenues, par analyse d'échantillons moyens constitués par mélange de prélèvements réalisés en différents points du golfe de Fos et du canal de Caronte !

Les données du RNO doivent conduire à une estimation globale de l'état de chaque point d'appui. Compte tenu de ce que nous avons écrit à propos de la sensibilité des techniques d'analyses, nous avons choisi de représenter cette situation générale non pas par une valeur moyenne difficile à calculer dans certains cas (PCB-Cadmium-Détergents), mais plutôt par un tableau des fréquences de concentrations trouvées depuis 1976 ou 1978 dans l'ensemble des stations du golfe de Fos (à l'exception de la station 7 située sur le Rhône) et depuis 1978 dans l'ensemble de l'étang de Berre (tableau I). On peut estimer que cette représentation basée sur 123 à 133 échantillons de l'étang de Berre et 188 à 565 du golfe de Fos constitue un reflet assez fidèle de la qualité des eaux dans chaque site.

D'une manière générale, les distributions ainsi obtenues ne permettent pas de dire qu'une très forte pollution affecte les eaux de cette région. La fréquence des valeurs inférieures ou proches du seuil analytique, en particulier pour les détergents, les hydrocarbures, les PCB, le cadmium et le mercure témoignent de cette relative qualité.

Par ailleurs, peu de différences s'observent entre les distributions dans l'étang de Berre et le golfe de Fos. La seule qui soit vraiment notable concerne le lindane dont les apports par les eaux duranciennes sont responsables des teneurs plus fortes de l'étang de Berre.

Mais à côté de cet aspect favorable, on ne peut tenir pour négligeable la fréquence de teneurs supérieures à la normale qui, compte tenu de la dilution, témoignent d'apports initiaux suffisamment importants pour affecter l'ensemble des eaux, et, par conséquent, de la persistance d'un risque de pollution pouvant exceptionnellement atteindre des seuils critiques.

Pour compléter ces données nous avons calculé, lorsque celà était possible, les valeurs moyennes annuelles de 1979 à 1982 pour chacune des stations de chaque point d'appui.

Le graphique représentant l'évolution des hydrocarbures dans le golfe de Fos (fig. 2a) illustre les possibilités d'une pollution locale suffisante pour affecter fortement une moyenne annuelle. Il est à noter que cette augmentation semble indépendante de celle du Rhône dont les taux restent assez constants au cours de cette période.

Dans l'étang de Berre se dessine une progression régulière affectant l'ensemble des stations.

DETERGENTS µgx1^{-1}		< 10	15	20	25	30	35	40	45	50	>	MAXI	TOTAL
EDB	N	95	13	12	5	1	2	2	2		1	220	133
	%	71,4	9,77	9,02	3,76	0,75	1,5	1,5	1,5		0,75		
GDF	N	339	50	69	41	29	15	8	2	4	8	100	565
	%	60	8,85	12,2	7,25	5,1	2,65	1,41	0,35	0,71	1,41		

HYDROCARBURES TOTAUX mgx1^{-1}		< 0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	>	MAXI	TOTAL
EDB	N	64	25	22	14	1	2	1				2	0,72	131
	%	48,8	19,08	16,8	10,7	0,76	1,52	0,76				1,52		
GDF	N	155	42	17	10	7	1	2			1	3	1,56	238
	%	65,1	17,6	7,14	4,2	2,9	0,42	0,84			0,42	1,26		

LINDANE ngx1^{-1}		< 1	2	5	10	15	20	25	30	40	50	>	MAXI	TOTAL
EDB	N	66	5	26	41	23	9	9	7	1			32	127
	%	4,7	3,9	20,5	32,3	18,1	7,09	7,09	5,51	0,79				
GDF	N	65	64	64	22	14	5	4	1	6		1	116	246
	%	26,4	26,0	26,0	8,94	5,69	2,03	1,63	0,40	2,43		0,40		

P.C.B. ngx1^{-1}		< 50	60	80	100	200	> 200	MAXI	TOTAL
EDB	N	97	10	11	5	6	2	219	131
	%	74	7,63	8,4	3,81	4,58	1,53		
GDF	N	151	10	8	6	7	6	565	188
	%	80,3	5,32	4,25	3,19	3,72	3,19		

MERCURE µgx1^{-1}		<0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	>	MAXI	TOTAL
EDB	N	51	43	14	11	3	3	2		1			0,42	128
	%	39,8	33,6	10,9	8,59	2,34	2,34	1,56		0,78				
GDF	N	175	52	35	15	7	4	2	4			2	1,60	296
	%	59,1	17,5	11,8	5,07	2,36	1,35	0,67	1,35			0,67		

CADMIUM µgx1^{-1}		<0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2,0	>	MAXI	TOTAL
EDB	N	122				2		2		1			1,0	127
	%	96,06				1,57		1,57		0,79				
GDF	N	262	2	1	3	3		3	1	3	1	2	6,0	281
	%	93,2	0,71	0,35	1,07	1,07		1,07	0,35	1,07	0,35	0,71		

PLOMB µgx1^{-1}		<0,2	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	30	MAXI	TOTAL
EDB	N	13	5	11	17	15	9	17	13	4	7	1		8		3	30	123
	%	10,6	4,06	8,94	13,8	12,19	7,32	13,82	10,57	3,25	5,69	0,81		6,5		2,44		
GDF	N		82	16	32	21	38	25	27	11	9	2	5	4	2	1	29	274
	%		29,9	5,84	11,68	7,66	13,87	9,12	9,85	4,01	3,28	0,73	1,82	1,46	0,73	0,36		

CUIVRE µgx1^{-1}		<0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	9	>10	MAXI	TOTAL
EDB	N	39	36	12	16	2	3	3	2	1	1	1	2	1	1	7	62	127
	%	30,7	28,35	9,45	12,6	1,57	2,36	2,36	1,57	0,79	0,79	0,79	1,57	0,79	0,79	5,51		
GDF	N	121	64	25	21	7	11	5	4	3	4	1	1			4	13,8	271
	%	44,6	23,6	9,22	7,75	2,58	4,06	1,84	1,48	1,11	1,48	0,37	0,37			1,48		

ZINC µgx1^{-1}		<0,5	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25	50	>50	MAXI	TOTAL
EDB	N	12	9	17	29	21	10	6	6	2	1	1		1	5	6	112	127
	%	9,45	7,09	13,4	22,83	16,53	7,87	4,72	4,72	1,57	0,79	0,79		0,79	3,72	4,72		
GDF	N		41	43	94	76	35	17	18	8	5	7	1	5	11	2	130	364
	%		11,29	11,8	25,82	20,88	9,61	4,67	4,94	2,2	1,37	1,92	0,27	1,37	3,02	0,55		

TABLEAU I :Fréquences en concentrations en polluants des eaux de l' Etang de Berre (EDB) et du Golfe de Fos (GDF). (d'aprés les données du R.N.O. 1976 à 1982).

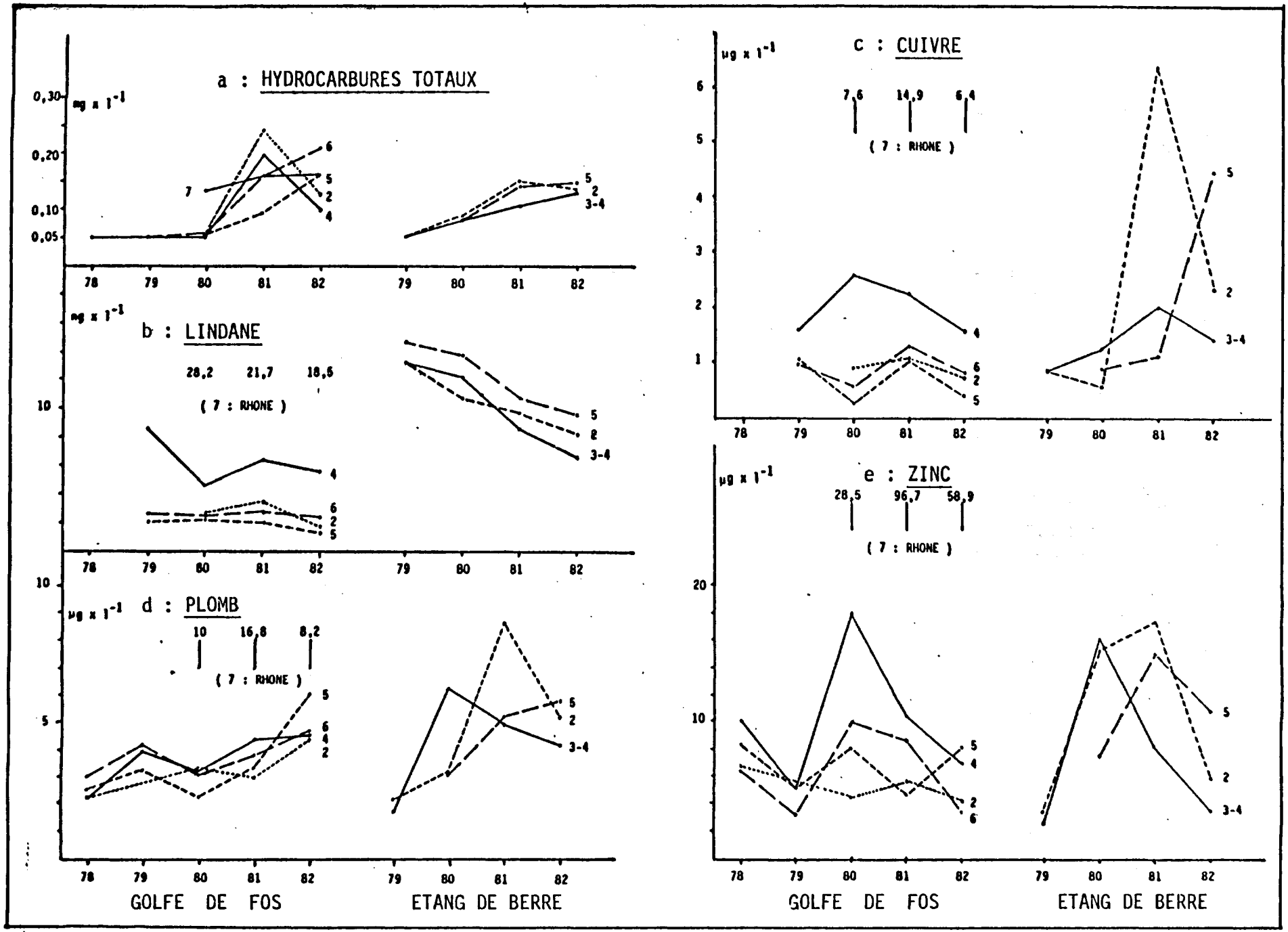


Figure 2 :Teneurs moyennes en polluants de 1978 à 1982 des eaux du Golfe de Fos et de l'Etang de Berre .
(d'aprés les données du R.N.O.)

Les courbes fournies par le Lindane (fig.2b) sont intéressantes dans la mesure où elles illustrent d'une part la diminution régulière de ce composé organo-chloré depuis 4 ans aussi bien dans le Rhône que dans le Durance, d'autre part la faible incidence de cette pollution sur les eaux du golfe de Fos dont les taux en lindane restent, dans presque tous les cas, inférieurs à 3ngxl^{-1}.

Les graphiques correspondant aux métaux lourds cuivre (fig.2c) plomb (fig.2d) et zinc (fig.2e) présentent des allures très différentes pour l'étang de Berre et le golfe de Fos.

Le premier se caractérise par une très grande irrégularité conduisant à des valeurs parfois très élevées qui ne sont que le reflet de situations accidentelles, mais aigues. Il est à noter que celà se produit aussi bien au Nord qu'au Sud de l'étang et, par conséquent, concerne non seulement des rejets riverains mais aussi les apports des affluents.

Le golfe de Fos se singularise par une régularité d'autant plus marquée que les stations sont plus éloignées de l'influence du Rhône et du canal de Caronte. Ainsi la station 2 la plus représentative de l'état moyen des eaux du golfe se caractérise par des taux moyens annuels voisins de 1 µgxl^{-1} pour le cuivre, de 2 à 4 µgxl^{-1} pour le plomb et de 2 à 3 µgxl^{-1} pour le zinc.

Par contre, la station 5 située à proximité du cap Couronne, à l'extrême sud-est du golfe, ne présente pas une situation aussi régulièrement favorable en raison, selon toute vraisemblance, de sa situation à la convergence des eaux provenant du Rhône et de la région est du golfe.

I.2 LES ETUDES PONCTUELLES

Etang de Berre :

Les deux enquêtes effectuées en 1972 et 1978, n'ont d'abord abouti qu'à la publication des résultats des analyses. En 1982, M. DALMAS (18) a fait une tentative d'interprétation de l'ensemble de ces données.

Une approche assez superficielle du problème des polluants permet toutefois de mettre en évidence des variations saisonnières suivant d'assez près les fluctuations des déversements de la centrale hydroélectrique de Saint Chamas qui furent particulièrement abondants cette année-là.(Fig.3 et 4).

Cet effet de dilution a été responsable d'une nette diminution des concentrations moyennes en surface aussi bien qu'au fond, en 1978 par rapport à 1972. A côté de celà, on peut observer une effet de refoulement vers les zones périphériques des eaux des autres affluents et plus particulièrement de l'Arc et de la Touloubre, vecteurs d'une pollution parfois importante (détergents, phénols, métaux lourds). En même temps, l'envahissement de la partie superfi-

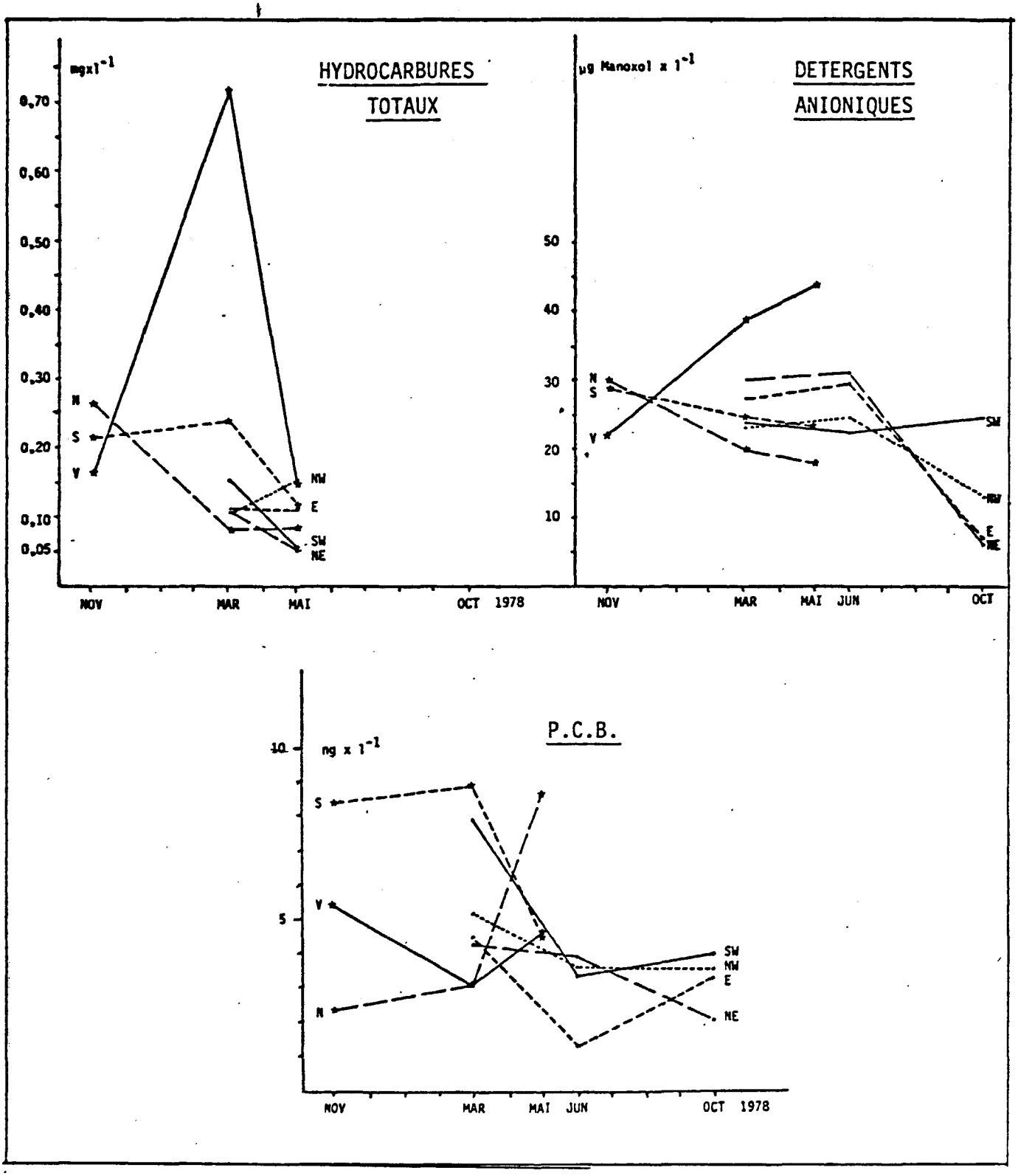


Figure 3 : Evolution de la qualité des eaux dans les principaux secteurs de l'Etang de berre (N - S - V) et du Golfe de Fos (E - NE - NW - SW) en 1978.- Polluants organiques.

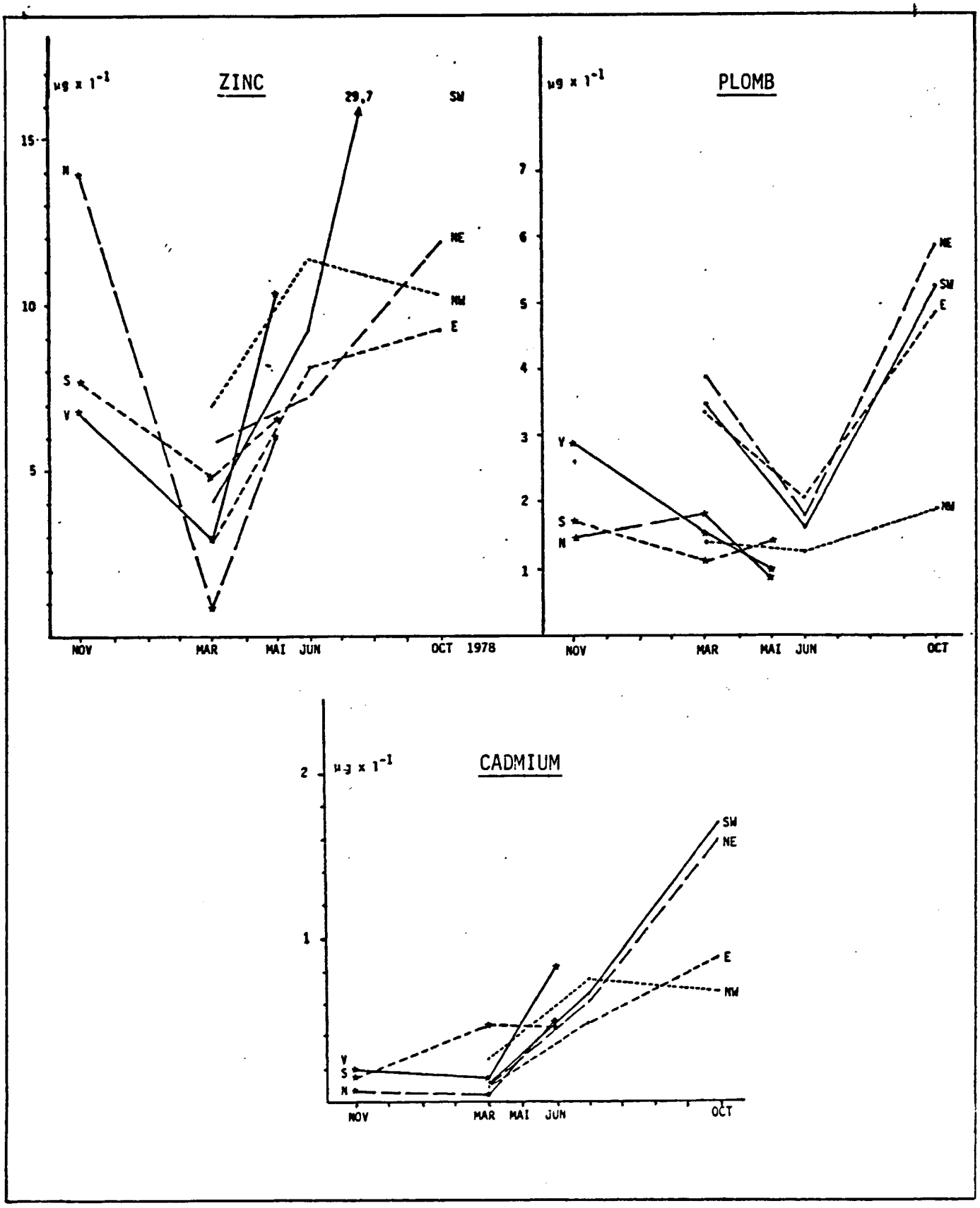


Figure 4 : Evolution de la qualité des eaux dans les principaux secteurs de l' Etang de Berre (N - S - V) et du Golfe de Fos (E - NE -NW - SW) en 1978 - Polluants métalliques.

cielle de l'étang par les eaux duranciennes accentue l'isolement du golfe de Saint Chamas et surtout de l'étang de Vaine où l'on observe une évolution indépendante de celle de l'étang proprement dit.

Une tentative d'appréciation de la localisation préférentielle de la pollution chimique a été faite par des techniques assez rudimentaires de traitement des données.

Cependant l'une d'entre-elles basée sur les ordres de rang, conduit à un classement général des stations par niveau de prélèvement assez représentatif pour que nous y consacrions quelques commentaires.

Les cartes obtenues (fig. 5) illustrent l'expansion en surface des eaux duranciennes relativement moins contaminées que celles issues de l'Arc et de la Touloubre et celles occupant la partie sud de l'étang.

La pollution de surface se manifeste aussi nettement dans l'étang de Vaine que le long de la rive sud, entre Marignane et la Mède où l'on peut envisager une contribution de l'étang de Bolmon, lui-même fortement pollué.

La localisation de la contamination dans les eaux superficielles se trouve confirmée par la carte établie pour le niveau - 0,80m sur laquelle apparaît une persistance de valeurs plus fortes au centre de l'étang et, bien évidemment, dans les zones cotières de faible bathymétrie.

Enfin, les indices les plus élevés, à proximité du fond, sont rassemblés dans le sud de l'étang, sur tout le domaine du coin salé, dans l'étang de Vaine et dans le golfe de Saint Chamas, c'est-à-dire, en définitive dans tout les secteurs non soumis à l'influence des eaux douces et subissant une stratification très marquée.

Il est regrettable que ce constat n'ait pas été confirmé par une analyse plus rigoureuse des données, mais la disponibilité des valeurs intégralement publiées permettrait de combler cette lacune.

Golfe de Fos

La connaissance actuelle des modalités de la pollution dans le golfe de Fos repose exclusivement sur les enquêtes de 1972 et 1978 commentées dans la thèse de C. DIANA et celles de 1975 faisant l'objet de la thèse de BENON-BOURGADE-KANTIN. Si la première est essentiellement axée sur la chimie des eaux avec une part relativement importante consacrée aux polluants proprement dits, la seconde, par contre, accorde une place prépondérante aux aspects biologiques et, plus particulièrement, aux peuplements planctoniques.

D'une manière pratiquement systématique les concentrations décelées par BENON et al. se situent nettement au-dessus de celles trouvées au cours de l'enquête de 1978 et de celles du RNO depuis 1976.

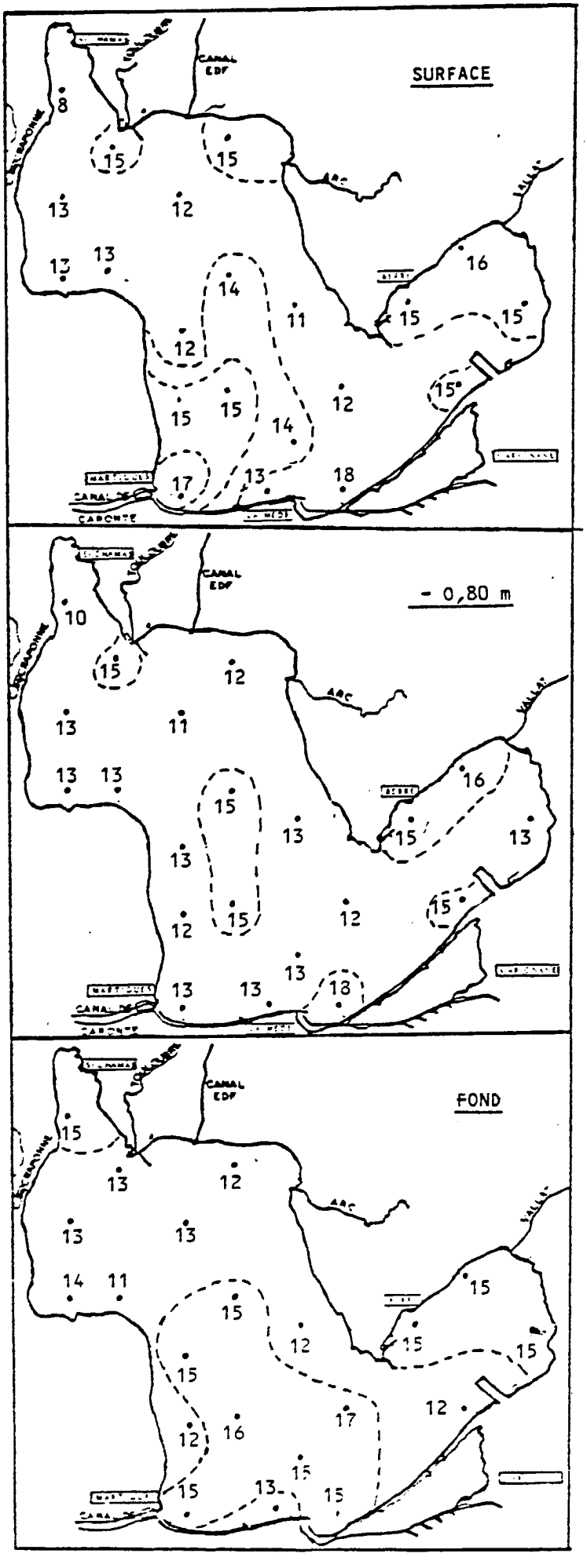


Figure 5 :

Représentation de la pollution globale des eaux de l'Etang de Berre (classement par études de rang)en 1978. (d'aprés DALMAS).

Cette majoration affectant aussi bien les composés organiques (phénols, détergents, hydrocarbures) que minéraux (cyanures, plomb, cuivre, cadmium) aux différentes dates de prélèvements, peut trouver son origine soit dans le choix des méthodes ou des références, soit dans les différences de débit des affluents (qui étaient environ deux fois plus faibles en 1975 qu'en 1978).

A ce propos, il est intéressant de noter que des taux élevés de certains métaux (Pb, Zn, Hg) sont apparus dans les eaux du golfe après la période estivale, donc d'étiage, en octobre 1978. Cette augmentation n'a cependant pas eu la même ampleur et la même persistance que celle mentionnée par BENON et al. en 1975.

Cependant, malgré cette indécision sur les niveaux de concentration des polluants, ces deux études présentent en commun les mêmes conclusions sur la grande variabilité de leur distribution horizontale et verticale dans la masse des eaux du golfe. Cette variabilité est liée non seulement au débit des affluents et effluents mais aussi aux régimes hydrologiques imposés par la poussée des eaux rhodaniennes ou carontiennes et par l'action des vents dominants. Ainsi, en fonction du flux des eaux transitant par le canal de Caronte, les eaux duranciennes seront projetées plus ou moins vers l'Ouest suivant que soufflera le Mistral ou le vent de Sud-Est.

De même les eaux rhodaniennes pénètreront assez profondément dans le golfe par vent d'Est, mais par contre progresseront directement d'Ouest en Est par régime de base ou par Mistral.

Cette pénétration des eaux du fleuve dans le golfe pourra d'ailleurs être limitée par la barrière des eaux issues de Caronte avec lesquelles elles fusionnent plus ou moins haut dans la partie centrale du golfe.

Cette propagation des eaux douces a pour conséquence de rassembler dans le domaine ainsi occupé une pollution aussi bien minérale qu'organique dont le principal vecteur semble être le Rhône.

Mais d'autres phénomènes découlent de cette expansion superficielle des eaux douces : le plus net est l'isolement de vastes secteurs dont les échanges avec les masses d'eaux extérieures sont contrariés ou momentanément supprimés.

Un exemple typique nous est fourni par l'anse de Carteau qui peut se trouver complètement isolée lorsque les eaux carontiennes sont projetées vers le they de la Gracieuse : il s'ensuit, un risque réel d'accumulation de la pollution provenant des darses et du canal Saint Louis (concentrations maximales de phénols et d'hydrocarbures en Mars 1978).

D'autres mécanismes peuvent également isoler et, par conséquent, favoriser le maintien d'une pollution dans d'autres secteurs du golfe.

Nous retiendrons par exemple le cas de la côte est où se déverse une forte pollution minérale et organique et où a été observée la formation d'une bande étroite d'eaux à forte salinité contrastant fortement avec celles plus diluées occupant, en juin 1978, le reste du golfe.

L'individualisation de ce secteur due à un refoulement des eaux du large sous l'action du vent d'Est ou à une remontée le long de cette côte d'un courant de compensation empêche ou freine tout échange de la pollution provenant de la région de Lavéra et assure sa persistance le long de ce littoral.

Un dernier exemple nous est fourni, en période d'étiage, par le refoulement vers le Nord du golfe des eaux du canal de Caronte en raison de la remontée vers l'intérieur du golfe des eaux à plus forte salinité.

La nature de la pollution dans le golfe est extrêmement diversifiée. Si les eaux du Rhône et de Caronte apportent toutes les formes organiques et minérales, les activités propres au golfe contribuent aussi à la contamination par des apports de phénols, détergents, hydrocarbures, de plomb et de mercure. Les zones les plus concernées se situent dans le secteur des darses et surtout le long de la côte est, dans la région de Lavéra.

La charge des eaux superficielles du golfe subit des fluctuations saisonnières pouvant être très importantes pour certains constituants : ces différences mettent en évidence l'incidence de la dilution imposée par l'arrivée des eaux rhodaniennes et duranciennes comme ce fut le cas en 1978. Par contre, les débits plus faibles et réguliers de 1975 n'ont pas entrainé des modifications aussi importantes.

Dans le cas des métaux, l'exemple du plomb (fig. 4) est intéressant à souligner dans la mesure où la forte dilution qu'il subit en période de forts débits fluviaux, s'oppose à l'augmentation régulière du zinc et du cadmium. Ce contraste traduit l'importance de la pollution du golfe par les rejets de plomb effectués au Nord et à l'Est du golfe.

Enfin, l'augmentation générale des métaux en octobre 1978 est attribuable non seulement à une remontée des eaux rhodaniennes vers le golfe où elles ne butent plus sur la barrière des eaux duranciennes, mais aussi à un phénomène général de relargage intervenant aussi bien dans les affluents que dans le milieu récepteur. Il serait favorisé par l'activation des processus de dégradation estivale après une période de fort hydrodynamisme et d'oxygénation des eaux profondes.

C.DIANA a tenté de représenter l'état global et saisonnier des eaux du golfe en calculant des indices de pollution cumulés à partir des valeurs centrées réduites des détergents, hydrocarbures, phénols, Hg, Pb, Cd, Zn. Les chiffres obtenus variant de +11 à -11 permettent une représentation assez fidèle de l'évolution générale du golfe durant l'année 1978. (fig.6)

Les incidences font apparaître d'une manière particulièrement nette l'opposition entre la zone superficielle et le fond dont les eaux contrairement à ce qu'avaient observé BENON et al, sont moins contaminées.

L'opposition entre les deux niveaux est aussi mise en évidence par l'accroissement important des indices de surface entre Mars et Octobre 78 tandis que l'évolution à proximité du fond est très progressive et limitée dans d'étroites limites.

Les cartes de distribution établies à partir de ces indices font apparaître une localisation des plus fortes charges dans la partie centrale, à l'Est et au Nord du golfe pour la surface et, au contraire à proximité des zones littorales pour le fond. (fig. 7)

Enfin, des analyses factorielles en composantes principales ont été réalisées aussi bien par BENON et al. que par DIANA. Bien que certaines contradictions apparaissent dans les conclusions de ces deux études, nous en retiendrons quelques éléments assez significatifs.

Les paramètres contribuant le plus à la formation des axes sont d'une part les phénols, le cadmium et le zinc, d'autre part le plomb et les PCB.

Bien que réunis dans un même quadrant, le plomb s'individualise des autres métaux.

En ce qui concerne les paramètres organiques, on observe une opposition entre les phénols et hydrocarbures polluants industriels et les détergents dont l'origine est aussi bien industrielle que domestique.

Une autre opposition se manifeste entre salinité et polluants ce qui corrobore la relation existant entre la pollution du golfe et les arrivées d'eaux douces.

Enfin, l'évolution saisonnière se traduit par une nette distinction des trois campagnes avec glissement d'une situation d'abord homogène dominée par la pollution organique à un état hétérogène dans lequel prédomine la pollution métallique.

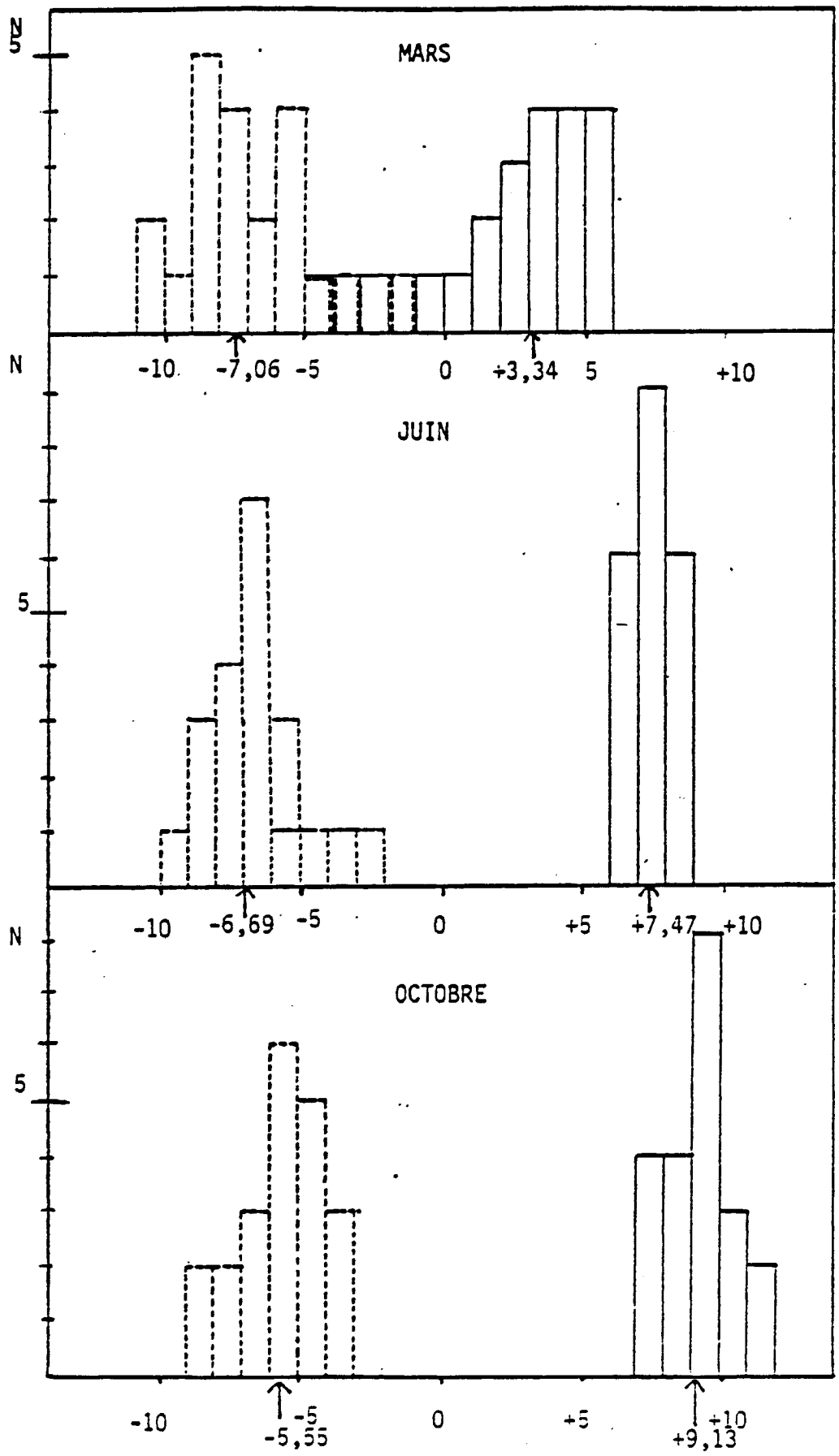


Figure 6: Histogramme de fréquence des indices généraux de pollution cumulée

□ Indices surface moyenne (S + 0,80)

⊏⊐ Indices fond + 0,10 cm

→ Valeurs moyennes de chaque histogramme

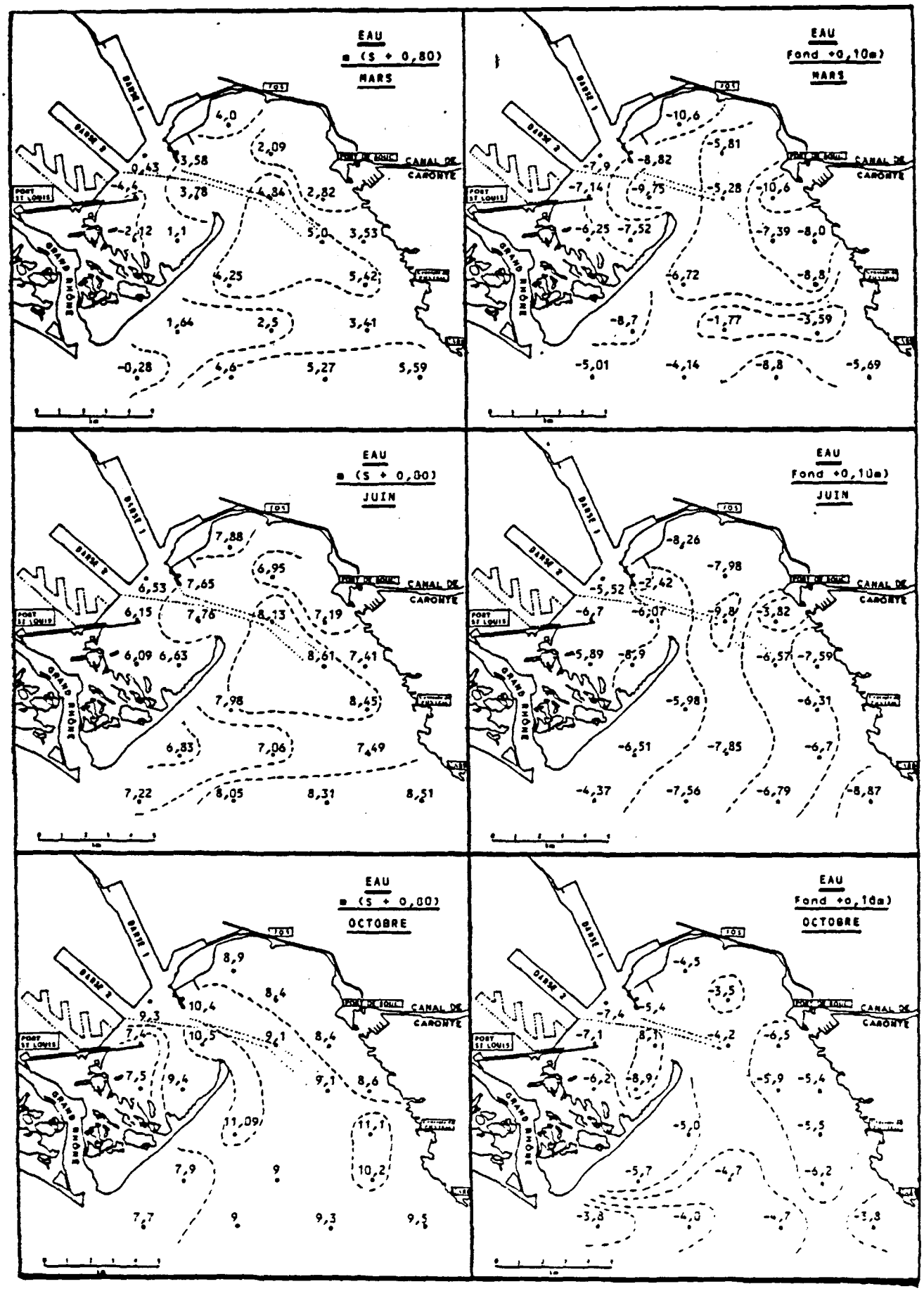


Figure 7 : Distribution des indices de pollution cumulée des eaux du Golfe de Fos en 1978 (Calcul à partir des valeurs centrées réduites) (d'aprés DIANA).

LA POLLUTION DES SEDIMENTS

II - LA POLLUTION DES SEDIMENTS

Si l'étude des eaux est dominée par la variabilité dans l'espace et dans le temps de leur qualité, il en va tout autrement avec les sédiments qui fournissent, grâce à leur pouvoir d'intégration et leur stabilité relative, des données plus cohérentes sur l'état et la contamination de l'étang de Berre et du golfe de Fos.

En dehors de l'étude réalisée par M. MINAS en 1964 et limitée aux seules déterminations du carbone et de l'azote total des sédiments de l'étang de Berre, les seuls travaux existant sont représentés par :

- les enquêtes effectuées par le CERBOM dans le cadre de l'estimation de l'état sanitaire des côtes françaises. Nous avons déjà signalé à propos des eaux la difficulté à apprécier des résultats obtenus par analyse annuelle d'échantillons moyens résultant du mélange de prélèvements réalisés en 5 stations cotières du golfe de Fos et en 5 autres dans le canal de Caronte.
- les enquêtes entreprises par le laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie sur l'étang de Berre en 1976 (96 stations) et renouvellées en 1981 (15 stations), et sur le golfe de Fos en 1976, 1978, 1979 (55 échantillons).
- Les travaux effectués par RINGOT et FERNEX sur le delta du Rhône.
- Les études des sédiments réalisées par le laboratoire d'Hydrologie dans la région marseillaise entre l'embouchure du Rhône et Cassis et partiellement publiés dans les thèses de GUYOT-BELLEMIN, **BAJOLLE** et GABRIEL.

Etang de Berre

L'enquête effectuée en 1976 a conduit à l'élaboration de deux thèses: celle de P. BOUCHARD traitant de la pollution organique (C-N- hydrocarbures totaux, PCB et composés organochlorés) et celle de C. GIORGETTI consacré exclusivement à la pollution minérale.

Par contre, les déterminations effectuées en 1981 n'ont fait, jusqu'à présent, l'objet d'aucune commentaire.

Les résultats de l'enquête de 1976 sont résumés dans le tableau II qui reflète assez bien la situation de l'étang de Berre.

Celui-ci est un lieu d'accumulation des polluants organiques et minéraux. Celà est mis en évidence par l'accroissement des taux en carbone entre 1964 (MINAS) et 1976 et par les fortes teneurs en métaux lourds dans la partie la plus récente des carottes prélevées en différents points de l'étang.

La distribution de la pollution solide fait apparaitre une distinction nette entre 3 zones bien délimitées de l'étang.

La plus contaminée est sans conteste l'étang de Vaine dont l'isolement déjà signalé à propos des eaux favorise une accumulation conduisant à des chiffres particulièrement élevés pour la plupart des polluants (à l'exception du mercure) le long de la bordure septentrionale, à proximité de Berre.

Le Sud de l'étang est également touché par toutes les formes de pollution et plus particulièrement par les hydrocarbures dont une grande partie paraît déborder de l'étang de Vaine. Mais il se singularise surtout par des fortes concentrations en métaux lourds dont l'accumulation semble se faire dans le domaine occupé par le coin salé où le moindre hydrodynamisme favorise le dépôt et le maintien de cette pollution (fig.8).

Si tous les métaux sont concernés, il faut souligner que la progression a été surtout forte pour le plomb comme le démontre l'accroissement du rapport Pb/Cu qui passe de 0,8 dans le Nord à 1,48 dans le Sud et 2,1 dans l'étang de Vaine.

La situation dans le Nord de l'étang est dominée par l'impact des eaux turbides duranciennes. L'envahissement des fonds par le matériel ainsi déversé provoque une baisse des taux de la plupart des polluants (à l'exception du Lindane) et la formation d'un gradient de concentration depuis la centrale de Saint Chamas jusqu'à la partie centrale de l'étang au Sud et vers les régions littorales à l'Est et à l'Ouest.

La sédimentation des matériaux solides à plus forte charge apportés par les affluents traditionnels (Arc-Touloubre et canal de Craponne) se trouve cantonnée dans les régions littorales où s'observe un net accroissement des niveaux de concentrations (fig.8).

Par ailleurs l'effet d'isolement provoqué par le rejet EDF, empêche le renouvellement des fonds dans le golfe de Saint Chamas où l'on assiste en particulier à une accumulation dangereuse de mercure.

Un phénomène moins important mais du même type se produit plus au Sud dans l'anse du Ranquet.

Basée sur une méthodologie identique, l'enquête de 1981 limitée à 14 stations de l'étang permet tout de même d'envisager une certaine évolution par rapport à l'étude précédente.

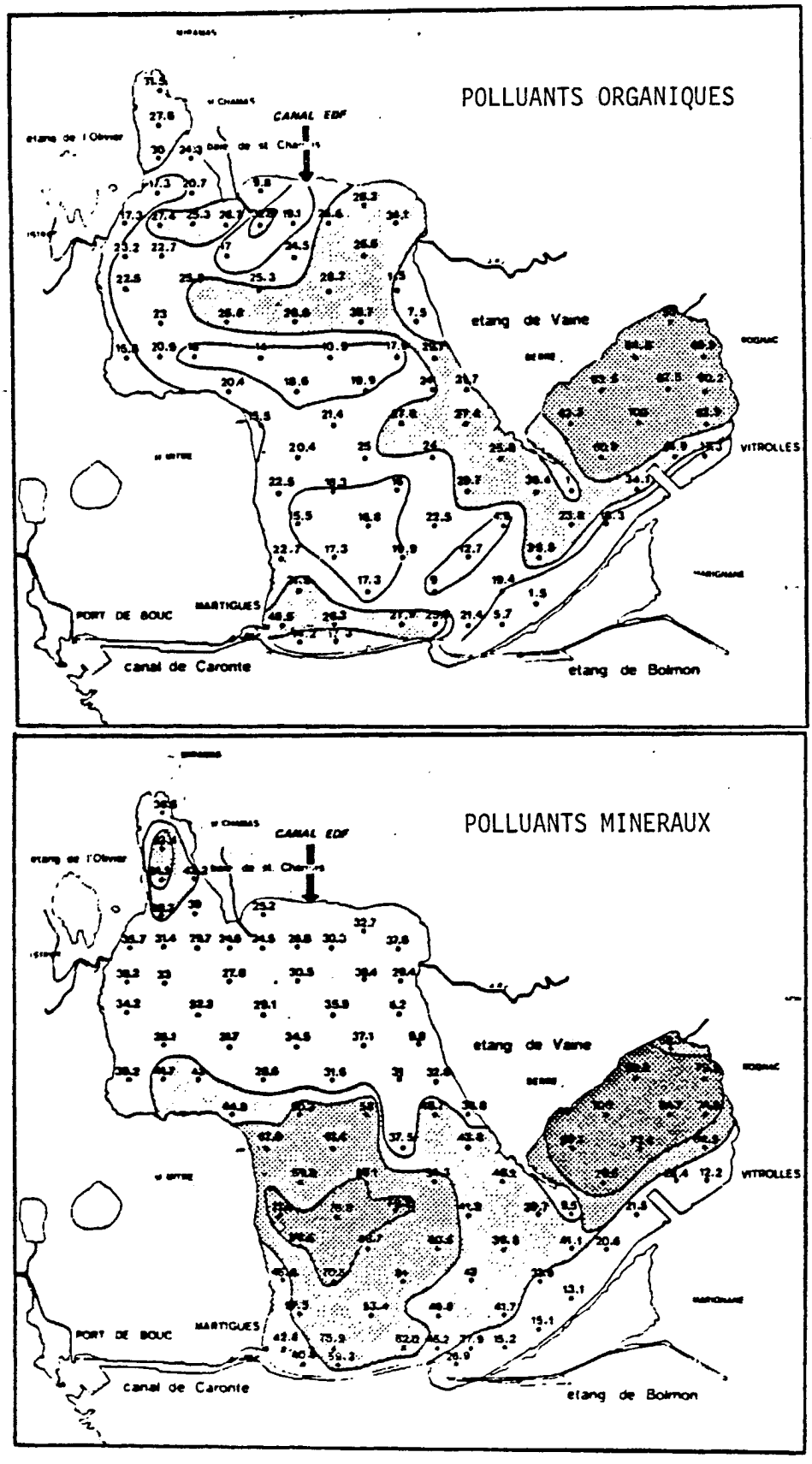


Figure 8 : Distribution des indices de pollution cumulée des sédiments de l'Etang de Berre en 1976 (d'aprés BOUCHARD et GIORGETTI).

	ETANG DE BERRE 1976			GOLFE DE FOS 1976-78-79			
	VAINE	NORD	SUD	E	NE	NW	SW
CARBONE ORGANIQUE g/100g	13 5,81 (1,99)	39 2,29 (0,7)	45 2,81 (0,9)	7 1,61 (0,95)	4 1,64 (0,6)	6 1,48 (0,7)	5 1,97 (0,84)
				12 1,08 (0,40)	6 1,18 (0,31)	5 0,89 (0,28)	7 1,02 (0,42)
AZOTE TOTAL mg/100g	449 (100)	187 (74)	217 (89)	7 60,2 (25,4)	4 34,8 (26,4)	6 52,7 (32,3)	5 64 (16,2)
				4 68,2 (20,8)			4 69,7 (35,6)
PHENOLS $\mu g x l^{-1}$				6 56,3 (30,3) 7 114 (147)	3 174 (127)	5 41,8 (48,8) 6 124,8 (191)	7 38,4 (16,5)
				6 5,9 (3,7)	5 45 (25)	4 33,2 (33)	3 12,1 (8,1)
HYDROCARBURES TOTAUX mg/100g	808 (372)	58 (33)	108 (54)	7 40 (34,5)	4 12,7 (6,7)	6 16,5 (9,9)	5 18,8 (6,7)
				6 11,4 (4,5)	10 55 (34,4) 12 46 (36,7)	5 7,1 (5,7)	6 13,7 (13,8) 7 34,8 (53,5)
DETERGENTS ANIONIQUES $\mu g x l^{-1}$	360 (550)	48,4 (94)	52 (55)	13 63 (46,8)	7 273 (276)	10 1022 (2532) 9 180 (214)	7 537 (527)
P.C.B$_1$ ngxg	236 (96)	41 (20)	50 (37)	9 20,1 (22,9)	9 17,2 (13,6)	14 40,1 (23,6)	10 48 (37)
D.D.T$_1$ ngxg	30 (15,6)	12 (9,2)	16 (9,1)				
LINDANE $ngxg^{-1}$	1,9 (1,57)	5,7 (6,4)	0,56 (0,73)				
MERCURE μgxg^{-1}	0,68 (0,28)	0,76 (0,64)	1,01 (0,58)	17 1,08 (0,75)	9 0,33 (0,13)	12 0,5 (0,40)	12 0,5 (0,28)
PLOMB$_1$ μgxg	148 (100)	21,2 (8,8)	49,7 (23,7)	19 32,2 (7,4)	10 24,4 (8,0)	11 19,5 (9,5)	12 32,7 (16,0)
CUIVRE μgxg^{-1}	70,5 (33,4)	26,5 (6,2)	33,6 (11,5)	36,4 (22,7)	10 19,2 (6,9)	11 20,6 (8,9)	12 29,6 (13,2)
ZINC$_1$ μgxg	322 (121)	191 (47)	337 (151)	15 182 (28,5)	9 172 (41,2)	8 190 (56,7)	3 208 (29,5)
CHROME μgxg^{-1}	55,8 (24,4)	24,9 (5,2)	26,6 (7,1)	19 24,8 (5,2)	10 23,1 (7,09)	11 25,6 (6,2)	12 35,2 (13,2)
MANGANESE μgxg^{-1}				15 548 (178)	9 496 (46)	11 506 (94)	3 564 (49)
FER $mgxg^{-1}$	15 (6,8)	18,8 (4,3)	15,4 (4,3)				
ARSENIC μgxg^{-1}	7,4 (3,1)	5,2 (1,4)	8,2 (3,3)	6 14,6 (10) 7 25,7 (28,6)	4 12,8 (3,7)	6 10,1 (3,7)	3 12,2 (1,8)

TABLEAU II :Teneurs moyennes en polluants des sédiments de l'Etang de Berre (1976) et du Golfe de Fos(1976-78-79)

Il apparaît que l'apport global des limons par le canal EDF qui a été très important au cours des 5 années précédentes (en particulier en 1978-79) a entrainé une progression des sédiments à moindre pollution vers le Sud et l'Ouest.

Par contre, la mise en oeuvre récente (1980) du bassin de délimonage de Cadarache et l'atténuation des débits liquides de la centrale de Saint Chamas pourraient être responsables d'un certain retour à des conditions de sédimentation plus traditionnelles, c'est-à-dire à une plus large expansion de la charge solide de l'Arc et de la Touloubre, ce qui se traduit par un retour vers des valeurs plus uniformes du carbone et de l'azote entre le Nord et le Sud de l'étang, comme celà était le cas lors de l'étude de M. MINAS en 1964, c'est-à-dire avant l'arrivée des eaux duranciennes.

Les changements intervenus s'expriment par une diminution voisine de 50 % des hydrocarbures d'environ 20% des PCB et de 50 à 75 % des dérivés du DDT.

Par contre, des concentrations beaucoup plus fortes de détergents se maintiennent dans l'eau interstitielle, augmentation allant de pair avec une élévation de l'azote ammoniacal.

Enfin, la progression vers le Sud des dépôts duranciens va de pair avec une augmentation sensible du Lindane (5,9 au lieu de 1,2 ng x l^{-1}) dans les sédiments de cette partie de l'étang alors qu'aucune modification n'intervient au Nord. Celà est en accord avec l'expansion des dépôts duranciens vers la partie méridionale de l'étang.

Golfe de Fos

Les trois séries de prélèvements réalisées dans le cadre du RNO en 1976, 78 et 79 par le laboratoire d'Hydrologie ont conduit à des résultats publiés dans un rapport et une note présentée à la CIESM en 1980. Ils sont présentés sous une forme condensée dans le tableau II où sont mentionnés les moyennes et écarts-types pour chacun des 4 secteurs caractéristiques du golfe de Fos.

Parmi les points les plus importants, nous retiendrons :

- l'évolution des dérivés organiques dégradables (carbone organique-phénols) plus abondants en période froide (1978) qu'en période estivale (1976 et 1979).
- les quantités importantes de détergents anioniques, beaucoup plus fortes que celles trouvées dans les sédiments de l'étang de Berre.

Dans la phase solide, les teneurs les plus élevées se rencontrent surtout à l'Est où l'influence des industries de Lavéra et les apports du canal de Caronte sont prédominants et au SW où se dépose un matériel fortement marqué par la pollution rhodanienne.

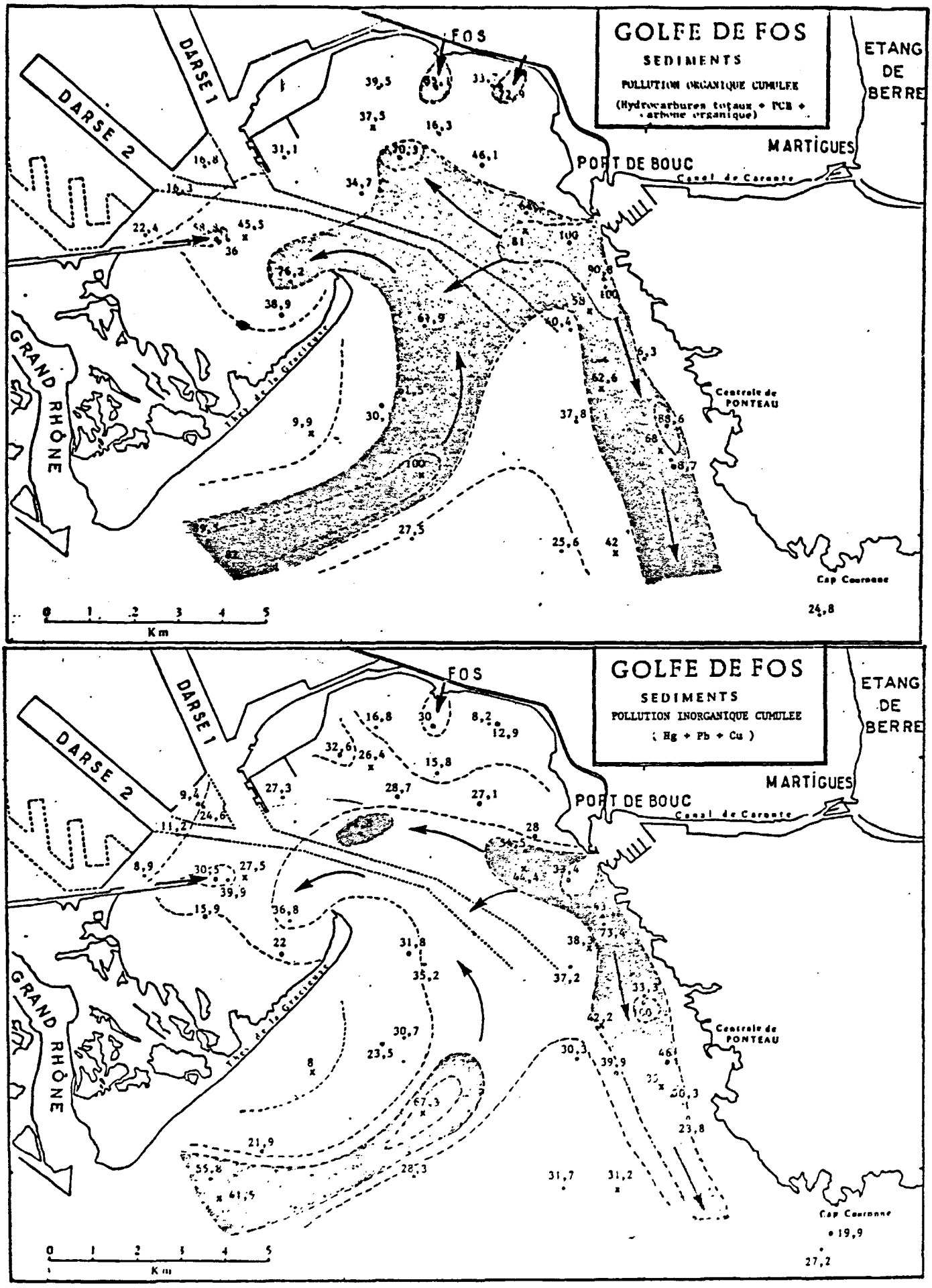


Figure 9 : Distribuiton des indices de pollution cumulée des sédiments du Golfe de Fos (1976-78-79).

Si l'Est et le Sud-Ouest du golfe sont les parties les plus touchées, on ne peut sous-estimer le niveau atteint par les composés organiques dans le secteur NW : les phénols et les détergents anioniques ainsi que les PCB y atteignent des valeurs maximales très certainement en relation avec les apports des darses et du canal Saint Louis. Celà constitue un risque sérieux pour l'anse de Carteau et les activités de mytiliculture qui s'y développent. Une situation analogue se présente dans la partie nord-est du golfe où se maintiennent des taux non négligeables de phénols et d'hydrocarbures.

En comparant ou juxtaposant les données concernant les sédiments du golfe de Fos avec celles de l'étang de Berre et celles de la sédimentation rhodanienne au large du golfe jusqu'à la rade de Marseille, l'état le plus favorable est présenté par le golfe.

Ce constat général optimiste doit être cependant tempéré non seulement par les remarques faites ci-dessus sur les risques d'enrichissement des eaux interstitielles en phénols et en détergents, mais aussi par la pollution réelle par le mercure et par le cuivre existant le long de la côte est.

Il existe donc des pollutions spécifiques et toujours présentes déversées depuis les rives. De plus, mais, malgré sa position intermédiaire entre l'étang de Berre et le domaine oriental de sédimentation rhodanienne, il semble que le golfe de Fos subisse d'une manière limitée le transfert de leur pollution sur ses fonds.

Toutefois, les expériences et les mesures effectuées par C. JEROME tendent à montrer que ce transfert même limité, peut conduire à des situations critiques. En effet, l'analyse des métaux lourds dans l'eau interstitielle de sédiments prélevés au Nord et à l'Est du golfe, a montré que dans certaines circonstances l'addition et la fixation d'une faible quantité de sédiment fin à forte charge métallique au matériel plus sableux du Nord du golfe, favorise, grâce aux meilleures conditions d'oxydation régnant dans ce secteur, un relargage des métaux lourds. Ce phénomène peut conduire à des concentrations dépassant quelques centaines de µg par litre pour le plomb et quelques milliers pour le cuivre et le zinc.

Un tel phénomène ne se manifeste pas dans l'étang de Berre où l'état de réduction empêche les métaux de passer en quantité notable dans l'eau interstitielle ou dans la partie est du golfe où l'hydrodynamisme et la grossièreté du sédiment littoral s'opposent à toute accumulation.

Ces possibilités de relargage ont également été mises en évidence au cours d'expériences de repeuplement de sédiments pollués récoltés dans l'étang de Vaine ou de Berre et transplantés dans des modules installés sur des fonds dans des secteurs présentant une meilleure qualité des eaux (anse de Carteau - baie de Tamaris près de la Seyne). Ce travail effectué par le laboratoire d'Hydrologie et l'équipe "Pollution" de la SME dans le cadre d'un contrat avec le Ministère de l'Environnement, a permis de suivre l'évolution chimique de l'eau interstitielle et celle de la recolonisation de ce matériel initialement azoïque. Sans envisager les conclusions de ce travail sur le plan purement biologique, il est apparu que la libération des métaux pouvait se faire en plusieurs étapes espacées de quelques mois, la première assez rapide pouvant être attribuée à une "mise en équilibre" du sédiment avec le milieu. La seconde d'intensité plus ou moins forte suivant la nature du métal se produit après 4 mois ou plus et semble davantage en relation avec l'évolution des espèces chimiques et celles du potentiel redox et du pH.

Parmi les conclusions que l'on peut tirer de ces expériences, il ressort, en particulier, que le potentiel de pollution de sédiments tels que ceux de l'étang de Berre est loin d'être définitivement bloqué sur les fonds. Il peut en effet se manifester, soit par simple remise en suspension et transfert vers des régions où l'oxygénation est mieux assurée, soit, ce qui est plus hypothétique, par la restitution à l'étang de Berre d'une certaine capacité d'oxydation jusque dans sa partie la plus profonde. Cela très probablement, aboutirait à une situation catastrophique provisoire mais dont il est difficile d'estimer la durée.

LA POLLUTION DE LA MATIERE VIVANTE

III - LA POLLUTION DE LA MATIERE VIVANTE

Les données sur la contamination chimique des organismes aquatiques du golfe de Fos et de l'étang de Berre sont extrêmement réduites d'une part en nombre total d'analyses effectuées et, d'autre part, en type d'organismes prélevés

A quelques rares exceptions, l'ensemble des déterminations est regroupé sur les tableaux III et IV .

Les résultats les plus nombreux concernent Mytilus galloprovincialis dont le choix comme organisme indicateur ne s'explique pas tellement par ses qualités de témoin de pollution que par sa très grande distribution géographique. Ceci explique son choix pour la surveillance du golfe de Fos dans le cadre du RNO et par d'autres auteurs dans des études à caractère plus général (FOWLER-NIENCHESKI).

Le RNO dispose depuis 1979 de 5 stations situées entre Fos et Carteau où sont effectuées, 4 fois par an, des prélèvements. Le bilan de cette surveillance rassemblant le plus grand nombre de données sous forme de moyenne globale calculée pour chaque station avec les résultats obtenus entre 1979 et 1981 et sous forme de moyenne annuelle globale pour l'ensemble des stations.

Quelque soit la présentation, on aboutit à des chiffres assez homogènes correspondant à des teneurs relativement faibles si on les compare aux valeurs publiées par BOUTIER et représentant le niveau moyen des polluants dans Mytilus galloprovincialis dans l'ensemble des points d'appui du RNO. Seuls, toutefois, les hydrocarbures aromatiques totaux font exception à cette règle.

Cette situation favorable n'est cependant pas confirmée par les résultats de FOWLER en 1973 et 1978 et ceux de NIENCHESKI en 1980-81. Mais il s'agit-là de prélèvements isolées, non ou peu répétitifs et effectués dans des points différents du golfe sans doute plus exposés à des pollutions. On peut prendre comme exemple de ces écarts en fonction de l'implantation. Le cas des peuplements récoltés au Nord et au Sud de la digue Saint Louis ou ceux de Port de Bouc Plage et de Port de Bouc Corniche. On voit alors apparaître

MYTILUS GALLO PROVINCIALIS			TAILLE	% LIPIDE	HAT $\mu g x g^{-1}$	PCB $ng\ xg^{-1}$	DDT $ngxg^{-1}$	DDD $ngxg^{-1}$	DDE $ngxg^{-1}$	Hg μgxg^{-1}	Pb μgxg^{-1}	Cd μgxg^{-1}	Cu μgxg^{-1}	Zn μgxg^{-1}	Fe μgxg^{-1}	Mn μgxg^{-1}	Cr μgxg^{-1}	Co μgxg^{-1}	Ni μgxg^{-1}	Ag μgxg^{-1}
FOWLER 1973-74 PORT-SAINT LOUIS		mini									6,4	1,9	5,5	181	191	17	2,8	1,1	2,2	0,19
		$\bar{m}$									9,24	2,98	8,12	207	381,5	36	7,14	3,1	3,62	0,40
		maxi									18,1	5,9	12	243	800	67	15,6	5,6	6,7	0,71
Moyennes globales 79-80-81 RNO	St.1 ST GERVAIS	$\bar{m}$	5,4	1,96	15,9	961	120	60	42	0,32	4,5	1,01	6,84	142	477					
		σ	6,3	0,7	16,3	62,7	48	31	21	0,1	1,8	0,41	1,2	38	173					
	St.3 DARSE 2	$\bar{m}$	68,3	2,57	15,6	727	63	52	35	0,128	2,1	0,87	6,1	138	447					
		σ	11,1	1,18	9,4	318	13	21	11	0,05	1,23	0,5	1,7	62	406					
	St.4 QUAI PETROL.	$\bar{m}$	58,6	2,26	13,4	777	155	61	54	0,26	2,74	0,88	6,7	152	333					
		σ	6,4	0,97	9,4	273	77	33	52	0,21	1,58	0,44	0,98	47	252					
	St.5 BOUEE CENTRE	$\bar{m}$	66	2,44	12,6	830	97	65	36	0,17	2,31	0,82	6,0	119	375					
		σ	8	0,89	6,5	246	32	26	24	0,07	1,8	0,66	1,26	45	259					
	St 6 CARTEAU	$\bar{m}$	63,8	1,63	7,15	553	70	51	36	0,21	3,46	0,94	6,42	153	597					
		σ	8,9	1,0	7,4	222	30	35	15	0,06	1,9	0,38	1,3	51	336					
RNO 1979		mini			1,32	461	66	46	5	0,09	0,4	0,22	4,1	61	91					
		$\bar{m}$			7,70	938	108	76	34	0,2	2,01	0,70	6,06	113	259					
		maxi			18	1474	190	139	205	0,45	4,8	1,9	8,9	171	713					
RNO 1980		mini	50	0,31	1,8	54	35	28	17	0,06	0,9	0,35	3,9	79	108					
		$\bar{m}$	62,7	1,99	13,7	670	99	62	36	0,23	4,03	1,07	6,57	144	542					
		maxi	80	5,26	63	1081	306	108	51	0,42	11,9	2,73	8,8	234	1480					
RNO 1981		mini	40	0,62	2,8	37	25	2,6	21	0,08	1,3	0,43	4,3	76	126					
		$\bar{m}$	63,3	2,31	13,1	707	99	39	48	0,19	3,0	0,80	6,34	148	428					
		maxi	75	3,97	28,4	2903	212	96	96	0,56	8,3	1,69	8,5	318	1229					
NIENCHESKI	Sud Digue St Louis	75				690														
		80-81	45,5	6,58		1600	38	48	32	0,47	1,55	0,82	4,9	148	252	10,8	0,75			
	Nord Digue St Louis	80-81	40,9	7,29		6811	357	236	128	0,37	4,2	2,23	10,2	184	459	19,8	3,14			
	Fos	75				535	0	4	5	0,59	20.8	6,1	13,7	250	1542	67,5	8,7			
		80-81	63,6	5,3		1501	12,5	52	36	0,49	4,7	1,44	7,6	170	577	14,7	1,5			

TABLEAU III a : Teneurs en polluants de Mytilus galloprovincialis (Golfe de Fos).

MYTILUS GALLO PROVINCIALIS			TAILLE	% LIPIDES	HAT µg x g^{-1}	PCB ng x g^{-1}	DDT ng x g^{-1}	DDD ng x g^{-1}	DDE ng x g^{-1}	Hg µg xg^{-1}	Pb µg xg^{-1}	Cd µg x g^{-1}	Cu µg x g^{-1}	Zn µg x g^{-1}	Fe µg x g^{-1}	Mn µg x g^{-1}	Cr µg x g^{-1}	Co µg xg^{-1}	Ni µg x g^{-1}	Ag µg xg^{-1}
NIENCHESKI	Port de Bouc Plage	75	62,1	4,93		1010	8	4	25	1,45	36,9	9,5	11	510	705	22,8	3,5			
		80-81				1952	53*	22	27	0,50	5,95	1,48	6,55	205	395	17,7	1,7			
	Port de Bouc Corniche	75	49,3	3,32		565	294	4	5											
		80-81				808	17	29	20	1,34	8,55	2,25	10,0	297	554	21,6	1,57			
	Couronne	75	32,8	3,43		445	8	4	5	0,40	42	9,0	17,2	275	330	22,7	4,0			
		80-81				1088	21	51	16	0,62	5,15	0,87	7	172	243	4,6	0,88			
R.N.O. St.8	Port de Bouc Plage	80	60		6,86	653	71	56	38	0,32	8,0	1,22	6,95	139	590					
Labo Hydro	W Fos	81		5,9		1135	c		9	0,40	4,5	0,56	4,7	144	319	87				
ETANG DE BERRE 1978-79		mini				134				0,44	2,8		7,2	124						
		m̄				219				0,57	4,44		13,2	175						
		maxi				377				0,66	7,4		32	212						
REFERENCES BOUTIER (1981) Ensemble pts d'appui RNO en 1979		mini			<0,5	18,7	3,8	20	5	0,03	0,3	0,22	4,1	61	78					
		m̄			4,53	1014	104	68	58	0,29	4,3	1,01	7,6	176	307					
		maxi			30,3	7228	371	364	245	3,45	16,1	3,38	20,9	1336	1451					
FOWLER (1976) zones cotières W Méditerranée											21,5	1,9	18	209	443	21,1	7,5	2,8	4,3	0,76
NIENCHESKI (1982)	80	m̄				1370	85	37	99	0,34	3,27	1,42	6,97	198	730	15,5	2,85			
		σ				860	75	41	42	0,17	2,04	0,61	1,81	39	337	5,9	1,4			
zones cotières W du Rhône	81	m̄				1780	69	85	41	0,41	6,03	1,17	11,3	135	431	11,8	1,62			
		σ				1540	62	66	24	0,34	4,95	0,40	5,15	16	186	4,9	1,19			
E du Rhône	80	m̄				2290	69	21	41	0,50	8,29	1,36	8,18	283	400	12,1	3,59			
		σ				1630	116	38	40	0,32	7,29	0,87	3,44	79	220	7,9	3,36			
		m̄				1780	53	66	20	0,52	9,21	1,21	13,4	193	375	9,8	2,04			
		σ				2840	49	54	19	0,19	7,87	0,40	6,92	79	242	6,1	1,13			

TABLEAU III b : Teneurs en polluants de Mytilus galloprovincialis (G;de Fos,E;de Berre et références).

ORGANISMES		TAILLE	% EXTRAIT HEXANE	DP5 ng x g^{-1}	DP6 ng x g^{-1}	DDT ng x g^{-1}	DDD ng x g^{-1}	DDE ng x g^{-1}	Hg µg x g^{-1}	Pb µg x g^{-1}	Cd µg x g^{-1}	Cu µg x g^{-1}	Zn µg x g^{-1}	Fe µg x g^{-1}	Mn µg x g^{-1}	
FOS 1981 FONDS DE S M ENTRE FOS ET DIGUE PETROLIERS	OPHIURE		1,7	<	198			5	0,60	1,55	<	5,65	161	1683	75	
	NATICA								0,93	2,6	0,33	86	195	1713	8	
	MYTILUS		5,9	1135		<		9	0,40	4,5	0,56	4,7	144	319	87	
	OSTREA		4,9	1520					1,18	6,0	1,7	237	3008	678	27	
	CARDIUM		3,4	105	113	<		8,7	0,64	1,7	0,50	6,5	142	1105	39	
	MUREX		7,1	988	825			28	0,70	2,7	1,26	0,51	576	392	9,7	
	VIOLET								0,36	2,2	<	5,0	615	1300	53	
	SOLEA	< 10cm	2,1	467	348			5	0,92	2,5	<	2,25	93	219	6	
		> 20cm	4,9	604	390			8	0,61	<	<	5,7	106	336	37	
ETANG DE BERRE VALEURS MOYENNES 1978-1979	PLANCTON			1033		47		201	0,31	32		43	425			
	ENTEROMORPHA Sp								0,32	2,6		9,9	35			
	RUPPIA Sp								0,29	4,3		20,2	43			
	MERCIERELLA			534		7			0,31	3,3		12,8	209			
	NEREIS			222					0,31	3,7		28,6	416			
	CRUSTACES "								0,31	2,8		84	83			
	BALANUS								0,46	1,8		16	550			
—	ANGUILLA			1007				120	0,96	1,3		10	92			
	TAPES			85					0,55	4,9		16,7	124			
	MUREX			578				116	0,75	2,1		65	584			

PCB

TABLEAU IV : Teneurs en polluants de divers organismes récoltés dans le golfe de Fos et l'etang de Berre.

des indices plus évidents de pollution par les PCB, le mercure, le plomb, le cadmium et le cuivre. Il faut remarquer que ces chiffres se situent la plupart du temps dans la fourchette des valeurs minimales et maximales du RNO.

La possibilité de mettre en évidence une pollution en utilisant comme organisme test, Mytilus galloprovincialis, existe donc.

Cependant la seule utilisation de cette espèce ne paraît pas suffisante, si l'on en juge par les quelques résultats ponctuels rassemblés par le laboratoire d'Hydrologie pour d'autres organismes prélevés par dragage des fonds d'environ 5 m, au Nord du golfe. Il apparait que des taux de polluants comme le mercure le cuivre et le zinc peuvent atteindre des taux très élevés en particulier dans l'huitre.

Enfin nous citerons aussi les chiffres publiés par AUGIER qui trouve des quantités très importantes de mercure dans des posidonies (jusqu'à 4,6 $\mu g x g^{-1} sec$) et des zostères (1,05 $\mu g x g^{-1} sec$) récoltés à proximité de la côte est du golfe, dans la région de Lavéra.

Dans l'étang de Berre les seuls résultats dont on dispose sont ceux fournis par la thèse de A. CATZIKI. Ils ne concernent que quatre métaux (Hg, Pb, Cu, Zn) qui ont été dosés à diverses époques dans les organismes présents d'une manière irrégulière dans le Sud de l'étang. Ce travail met surtout en évidence les fluctuations très larges et rapides des concentrations au métaux lourds que l'auteur tente de relier avec les fluctuations des rejets d'eaux turbides par la centrale de Saint Chamas.

LES EFFETS DE LA POLLUTION SUR LES ORGANISMES

IV - LES EFFETS DE LA POLLUTION SUR LES ORGANISMES

Le développement industriel et urbain du golfe de Fos et de l'étang de Berre a entrainé une altération marquée du milieu. Pour appréhender l'impact des différents facteurs de perturbation sur la faune et la flore marine, de nombreuses études ont été réalisées *in situ*. Très rapidement, complémentairement aux études molysmologiques à caractère bionomique, la recherche et la compréhension des mécanismes de dégradation ont amené le développement de travaux écotoxicologiques permettant par l'expérimentation tant *in situ* qu'*in vitro* d'apprécier l'incidence stressante particulière de divers agents de perturbation.

Dans ce chapitre de synthèse "Effets sur les organismes" seuls ont été pris en compte les travaux à caractère expérimental mettant en évidence *in situ* ou *in vitro* l'action léthale ou subléthale de facteurs altéragènes ou les travaux bionomiques *in situ* démontrant l'incidence prédominante d'une agression spécifique sur des populations ou peuplements. Les conditions du milieu peuvent être considérées comme globalement stressantes toutefois, l'étude des peuplements benthiques et planctoniques du golfe de Fos et de l'étang de Berre font l'objet de rapports séparés. En fonction des études effectuées, trois axes de recherche particuliers se singularisent ; l'un porte sur les concentrations des polluants par les organismes, le second sur les stress en relation avec la pollution thermique et le dernier sur les stress en fonction de la perturbation globale du milieu.

IV.1 CONCENTRATION DES POLLUANTS PAR LES ORGANISMES

Les recherches sur la concentration des polluants par les organismes sont peu nombreuses dans le golfe de Fos et l'étang de Berre. Elles ont un caractère ponctuel sur le taux de concentrations des pesticides par les algues pluricellulaires de l'étang de Berre (34) ou les teneurs en mercure des zostères du golfe de Fos (6, 7). Si dans le cadre plus général de la pollution des côtes méditerranéenne, des données sont fournies sur la concentration de polluants organiques et minéraux par *Mytilus galloprovincialis* et divers poissons (45, 46, 47) au cours de plusieurs années, l'aspect dynamique de cette contamination n'a été véritablement entreprise que sur les peuplements benthiques de l'étang de Berre (35). Le comportement des espèces vis-à-vis du mercure, du plomb

et du cadmium a été apprécié par deux facteurs. D'une part la vitesse avec laquelle varie la teneur d'un métal calculée en fonction de la différence de concentrations analysées et d'un intervalle de temps. D'autre part l'importance de la variation calculée à partir du rapport des taux entre deux prélèvements comparés. L'étude de ces facteurs montre qu'à l'exception du mercure, la faculté de chaque espèce étudiée pour assimiler ou éliminer ne se manifeste pas de la même manière selon les métaux. Les variations, très importantes, de la fixation des métaux, s'effectuent à une vitesse souvent considérable.

L'étude de l'évolution de la concentration de mercure, de plomb et du cadmium au sein de différentes espèces montre que la variabilité des concentrations en métaux des organismes est conditionnée par différents facteurs d'ordre biologiques, physicochimiques ou hydrobiologiques. Une relation entre les apports liquides et solides du canal E.D.F et les variations des teneurs métalliques des organismes a pu être établie.

IV.2 STRESS SUR LES ORGANISMES EN RELATION AVEC LA POLLUTION THERMIQUE

Liées à l'installation de la centrale de Martigues-Ponteau dans le golfe de Fos, de nombreuses études ont été réalisées sur l'incidence du réchauffement des eaux sur la faune marine dûe au refroidissement des installations en circuit ouvert de la centrale. Ces travaux ont fait l'objet de synthèse ponctuelle ou à caractère général (33, 52, 53, 54). Deux types d'effets ont été étudiés, les effets immédiats et les effets différés.

A/ Les effets immédiats.

Les études sur les effets immédiats permettent de montrer l'incidence du passage des populations planctoniques à travers les circuits de refroidissement de la centrale. Les stress provoqués agissant en synergie sont de 3 ordres mécaniques, thermiques et chimiques du fait de la chloration des circuits et du pompage d'eaux polluées. La mise en évidence de ces effets immédiats a été essentiellement effectuée par l'étude comparative *in situ* des populations planctoniques en amont et en aval des circuits de refroidissement, ces circuits jouant le rôle en vraie grandeur de facteur stressant expérimental controlé. Des expérimentations tant *in situ* qu'*in vitro* complètent ces recherches et l'ensemble des travaux porte sur le caractère léthal et subléthal des différents stress provoqués

a.1. Effets sur le phytoplancton.

Les recherches mennées prennent en compte la diminution des effectifs, l'état morphologique des espèces principales (26, 27, 29, 30, 31) ainsi que l'évolution de divers paramètres biologiques tels que les pigments photosynthétiques, les nucléotides adényliques et la production primaire (51, 55, 56, 57).

Les effets du passage dans les circuits de refroidissement sont extrêmement variables selon les populations. Ils dépendent de la composition spécifique saisonnière, mais aussi de la proportion des espèces sensibles aux différents stress au sein des populations phytoplanctoniques. Les chocs mécaniques peuvent entrainer une réduction de 10 à 25 % des effectifs et de 15,50 % en moyenne de la production primaire. L'association de chocs mécaniques et de chocs thermiques de faible amplitude n'a que peu d'incidence sur la réduction des effectifs et la production primaire. Par contre, des chocs thermiques importants (ΔT 35°C) entrainent des mortalités pouvant aller jusqu'à 60 % des effectifs pour des populations hivernales. Si de faibles teneurs en chlore n'ont que peu d'influence sur la réduction des effectifs phytoplanctoniques par rapport à la seule action des chocs mécaniques et thermiques, la javelisation se traduit tout de même par d'importantes altérations des contenus plasmiques des phytoplanctontes confirmées par l'évolution des paramètres biologiques mesurés. Par des taux de chlore supérieur à 1PPM, par effets synergiques les effectifs peuvent être réduit à plus de 90 %. L'impact du choc thermique se traduit par une diminution marquée de la production primaire. Des mesures *in vitro* sur *Phaelodactylum tricornatum* (57) confirment ces aspects observés *in situ*.

a.2. Effets sur le zooplancton.

Diverses recherches prenant en compte les effets léthaux biochimiques ou physiologiques ont été réalisées sur l'incidence du passage du zooplancton dans les circuits de la centrale (10, 11, 14, 15, 19, 36, 37, 39, 40, 42, 43).

Après correction de la mortabilité naturelle et celle dûe aux techniques de prélèvements (25 % des effectifs), l'action des chocs mécaniques indépendament des saisons, se traduit par la mortalité de près de 28 % de la population. Selon la période d'échantillonage et par des chocs thermiques compris entre 0 et 7°C, la mortalité dûe au facteur

échauffement évolue entre 0 et 16 % des effectifs. L'influence des chocs thermiques et mécaniques est marquée par une diminution immédiate et durable des activités enzymatiques du zooplancton (19). Ces modifications ne traduisent pas le résultat d'une adaptation, mais bien un phénomène compensateur de l'animal ou un état de choc. Des expériences réalisées plus particulièrement sur *Acartia clausi, in situ* et *in vitro*, montrent une modification des activités enzymatiques similaires. Les études menées sur l'intensité respiratoire de cette même espèce (39) montrent que cette intensité est diminuée chez les individus prélevés dans l'effluent. Des résultats analogues obtenus *in vitro* par des animaux soumis à une élévation de température, permettent de penser que cette modification du métabolisme peut être attribuer plus au choc thermique qu'au choc mécanique. L'évolution de l'intensité respiratoire liée à la température est variable suivant les saisons.

Tout comme pour le phytoplancton, mais indépendamment de la valeur du AT, la mortalité immédiate en fonction des stress mécaniques, thermiques et chimiques conjugués peut affecter jusqu'à 70 % des effectifs.

B/ Les effets différés.

L'évolution de la température des eaux selon son caractère permanent ou temporaire est susceptible de constituer un stress important pour les populations planctoniques, ayant ou non, transité par les circuits de refroidissement et les populations benthiques se développant dans une aire proche des rejets. L'impact de ces effets différés a pu être apprécié par des observations *in situ* et des études expérimentales *in situ* et *in vitro*.

b.1. Etude sur les communautés planctoniques.

b.1.1. Phytoplancton.

L'impact différé du passage des populations phytoplanctoniques ayant transité par les circuits de refroidissement ou seulement soumises au réchauffement des eaux du rejet, a pu être effectué par l'utilisation de sacs dyalisant, isolant des fractions de population , permettant de suivre pendant prés de 5 jours le devenir de ces populations (27, 28). Les techniques expérimentales affinées au cours de quatre séries expérimentales, montrent que les effets différés sont extrèmement variables

selon les espèces et les saisons. En règle générale, les effets différés sont toujours plus marqués que les effets immédiats. La chloration entraine une réduction considérable des populations. Les effets mécaniques couplés aux effets thermiques sont toujours plus importants que les effets thermiques seuls. Ces derniers favorisent le développement de population de dinoflagellés susceptibles d'entrainer la formation de "red tubes". Les mesures de production (57) montrent par le biais de mesures *in vitro* et *in situ* que le séjour des organismes en eau échauffée, à un effet stimulant ou ambiant selon que la température de l'eau de pompage est inférieure ou supérieure à 16° C. Ces mesures de production primaire et d'ATP, effectuées en période de chloration, confirment l'effet destructeur des chocs chimiques associés à l'échauffement de l'eau.

Les études réalisées dans le milieu naturel (15, 27, 26, 32) montrent en règle générale une alteration de la composition des populations dans la tache thermique. Des modifications dans la séquence des successions phytoplanctoniques sont observées, correspondant à une accélération des poussées de fin d'hiver et de printemps et à une inhibition de la poussée automnale.

b.1.2. Zooplancton.

La mortalité différée entre 6 et 24 h du zooplancton après son passage dans les circuits, a pu être appréhendée par l'utilisation *in situ* de cages expérimentales (40) enfermant des fractions de populations ayant subi le transit ou seulement l'échauffement des eaux. La mortalité différée est extrèmement variable. Elle peut être masquée par la présence de prédateur au sein des cages, mais elle est tout de même plus importante pour les populations ayant subi le choc mécanique et thermique. La chloration est toujours le facteur le plus limitant. La mortalité différée imputable aux chocs chimiques associés aux stress est d'autant plus importante que les cages expérimentales sont proches du rejet des eaux.

Diverses études ont été réalisées *in vitro* sur la résistance au choc thermique (10, 12, 16) et sur la toxicité du chlore et des métaux lourds (10, 17, 18) sur quelques espèces de copépodes pélagiques représentatifs de la communaité zooplanctonique méditerranéenne.

La mortalité inhérente à ces différents stress est appréhendée par le concept de mortalité induite, correspondant à la différence entre les mortalités brutes observées et les mortalités chez les témoins. Les résultats obtenus pour des chocs thermiques d'intensité et de durée variable, montrent que l'influence du ΔT est fonction de l'état physiologique des animaux et plus particulièrement de leur passé thermique. Le concept de seuil critique pour les ΔT semble devoir être remis en question, le facteur primordial intervenant étant, en fait, la température maximale atteinte. A des températures infra léthales, le choc thermique excerce une influence marquée sur la motilité entrainant des répercussions dans la relation proie-prédateur déjà observés *in situ* et sur la reproduction par une libération prématurée des sacs ovigères.

L'influence du choc thermique et du réchauffemnt des eaux à la sortie des installations industrielles ne peut être séparée de celle de la pollution générale. Les études réalisées sur l'influence du chlore et des métaux lourds mettent en évidence l'action de la température, la toxicité propre des métaux ainsi que les effets conjugués de la température et des polluants sur la mortalité des espèces tests. Le plus souvent, l'action léthale des polluants ne se manifeste qu'au bout d'un certain temps de latence. Ils correspondent à des mortalités induites nulles ou négatives. Ces temps de latence tendent à diminuer lorsque la température expérimentale augmente et cela pour le chlore et les métaux lourds. La toxicité des polluants, marquée par une augmentation de la mortalité induite, se manifeste plus particulièrement par le preferendum thermique des espèces utilisées.

Dans le milieu naturel, les études réalisées (11, 14, 15, 41) montrent, entre autre, un effet favorisant de la tache thermique sur le développement de nombreuses espèces zooplanctoniques, tel que cela avait été observé pour le phytoplancton. Par synergie avec les autres facteurs du milieu, le réchauffement des eaux en période estivale entraine une réduction des effectifs.

- la réaction similaire des espèces indépendamment de leur groupe taxonomique et de la nature de la contrainte exercée. Les animaux sont plus sensibles à l'intensité d'un stress qu'à sa qualité,
- l'effet favorisant d'un stress sur la survie et le developpement de certaines espèces,
- le caractère en tant qu'élément de base de modèle descriptif et prévisionnel de la dynamique d'un écosystème littoral soumis à perturbation, du schéma évolutif identique *in situ* et *in vitro* pour un gradient croissant de perturbation du milieu expérimental ou naturel.

C/ Etudes expérimentales *in situ.*

Les possibilités de recolonisation ou de colonisation représentent le facteur primordial conditionnant la survie d'un écosytème perturbé ou sa réadaptation lorsque les conditions du milieu deviennent plus favorables. Les caractéristiques chimiques des sédiments par leur capacité de rétention de divers polluants peuvent empêcher de manière temporaire ou durable, toute forme de recolonisation. De même, associée à d'autres altéragènes, la modification physique des sédiments (dépôts de dragage, décharges de limons) peuvent par synergie provoquer un déséquilibre important de la faune de l'écosystème touché.
Les recherches sur l'influence de la nature physique et/ou chimiques des sédiments sur les processus de colonisation et la dynamique de peuplements ne sont pas envisageables *in vitro*. Seules des expérimentations *in situ* peuvent apporter des éléments de réponse sur l'incidence des facteurs altéragènes présent dans le substrat.

De telles études ont été réalisées dans le golfe de Fos et l'étang de Berre, par l'utilisation de modules permettant d'isoler des fractions de substrats. Dans un premier temps, le prélèvement de sédiment *in situ*, son dépeuplement artificiel par élévation de température, puis sa remise en place sur les lieux de récolte , ont permis de suivre l'influence de la méthode expérimentale utilisée et les processus de recolonisation de ce substrat "non perturbé" pour les peuplements SVMC et LEE (60).

Une étude dynamique, mois par mois, sur un an, comparée à des prélèvements *in situ*, montre qu'indépendamment de la nature des peuplements les conditions expérimentales utilisées permettent d'obtenir des portions représentatives de ces peuplements. Ces conditions de surcroît, n'altèrent pas la dynamique des peuplements expérimentaux qui est similaire à celle des peuplements *in situ.*

Il n'y a pas à proprement parler de succession établie d'espèces dans les processus de recolonisation, cette colonisation s'opère globalement à partir des espèces présentes *in situ* dont l'abondance est conditionné par les facteurs du milieu et s'effectue très rapidement.

Utilisant cette méthodologie, l'étude des processus de colonisation, en relation avec la cinétique des polluants d'un substrat fortement pollué provenant de l'étang de Vaïne et transplanté dans le golfe de Fos, a été effectuée (48).

L'étude préliminaire réalisée sur la faune malacologyque permet de constater qu'un substrat extrèmement pollué peut très rapidement, lorsque les conditions du milieu s'amèliorent, être colonisé par un peuplement structuré. L'absence de colonisation est donc rarement liée à un facteur limitant persistant, mais à un ensemble de facteurs pouvant être limitant, agissant par synergie. Cette étude montre d'autre part, les possibilités de relargage sélectif de certains polluants à des concentrations très importantes en fonction des conditions du milieu, constituent un stress très important et un facteur de dégradation pour la faune benthique.

Actuellement des expériences sont en cours dans le golfe de Fos sur des susbtrats non plus globalement contaminés provenant d'autres biotopes perturbés, mais artificiellement contaminés par divers polluant (Hydrocarbures, hydrocarbures + dispersants), permettant de suivre l'incidence particulière de la cinétique de ses polluants sur la dynamique des peuplements.

CONCLUSION

CONCLUSIONS

L'ensemble des études réalisées jusqu'à ce jour sur l'état de la pollution de l'étang de Berre et du golfe de Fos constitue une base non négligeable, mais purement descriptive et générale. Relativement abondantes pour l'eau et les sédiments, les données sur les organismes sont extrêmement réduites.

- Le point essentiel qui ressort de ces déterminations est l'extrême variabilité qualitative et quantitative de la pollution chimique en relation non seulement avec les fluctuations des apports mais aussi avec celles des conditions hydrodynamiques.

Il importe donc de fixer les modalités et les limites de cette variabilité par une connaissance approfondie des flux d'entrée des polluants et des mouvements des masses d'eau.

Cette étude devrait prendre plus particulièrement en compte les échanges entre les différentes unités que l'on peut différencier dans la région Fos-Berre.

- Une meilleure connaissance de la nature et de la dynamique de la pollution pourra être acquise en développant les recherches sur :

- la nature exacte des polluants rejetés dans le milieu.
- la nature exacte des polluants présents dans les 3 composantes du milieu.
- les interactions entre les produits chimiques de différentes origines (par exemple : formation de chlorophénols).
- les échanges entre les solutés et la charge solide déversée par le Rhône et les affluents de l'étang de Berre.
- l'évolution saisonnière de la charge organique des eaux et des sédiments et son incidence sur le milieu (accumulation-potentiel redox et charge métallique, dégradation des matrices minérales).
- le potentiel polluant des sédiments et les possibilités de relargage par remise en suspension, par mélanges granulométriques ou par modification du milieu surnageant.

- Dans le domaine de l'accumulation et du devenir des polluants dans les organismes, tout restant pratiquement à faire, il semble qu'il faille donner une priorité à l'appréciation de la qualité des espèces commercialisables et aux conséquences de la variabilité du milieu sur les processus d'assimilation et d'élimination(rôle de la concentration des polluants et rôle de l'état physiologique des peuplements subissant d'autres stress).

En ce qui concerne les effets et indépendamment des grands aménagements ayant amené de profondes transformations ou dégradations tant qualitative que quantitative de la faune et de la flore, les organismes du golfe de Fos et de l'étang de Berre sont soumis à de nombreux stress, engendrés par la dynamique des facteurs altéragènes présents dans le milieu. De nombreuses études écotoxicologiques à caractères écophysiologique, déméologique et synécologique ont été réalisées in situ et in vitro permettant d'apprécier l'impact prépondérant de quelques uns de ces stress. Plusieurs remarques peuvent être faites.

Si le benthos peut être le plus souvent considéré par sa composition et sa dynamique comme la résultance biologique des conditions du milieu et donc des stress ambiants, il apparait que l'appréhension de l'impact de ces stress est beaucoup plus délicate pour le plancton. Comme le souligne la plupart des auteurs, pour les études in situ, la difficulté tient essentiellement à la grande variabilité temporelle des populations planctoniques et à leur distribution hétérogène au sein de la masse d'eau. In vitro, la fragilité des espèces prélevées dans le milieu naturel entraine au laboratoire de fortes mortalités ne permettant d'apprécier que, sur des animaux physiologiquement affaiblis, l'influence d'un ou plusieurs stress. Enfin, dans les expérimentations in situ, si l'utilisation d'enceintes enfermant des fractions de populations est particulièrement intéressante, rapidement, la non dispersion de ces populations au sein de la masse d'eau entraine des conditions de confinement improbables in situ.

Les études réalisées montrent que la sensibilité des organismes n'est pas seulement conditionnée par les stress étudiés mais aussi par leur état physiologique au moment de l'application de ces stress. Du fait de la fluctuation des conditions du milieu, naturelle ou artificielle, cet état physiologique peut être extrêmement variable. Les effets synergiques qui en résultent peuvent entrainer une hypersensibilité des organismes ou tout au contraire une hyposensibilité aux stress étudiés. Cette importance de l'état physiologique et des effets synergiques rend délicate toute interprétation de sensibilité différentielle propre à l'espèce (sexe, taille) ou interspécifique si pour le stress étudié les animaux n'ont pas été prélevés dans le même état. Il en est de même pour la comparaison de la

sensibilité des espèces en fonction des saisons ou de sites différents. Dans un certain nombre de cas, il est bien évident que cette variabilité liée à l'état physiologique peut être compensée par la multiplication des observations et des expériences. Cependant, dans des milieux aussi perturbés que le golfe de Fos et l'étang de Berre, les différences de sensibilité de divers organismes à un stress particulier peuvent être liées aux conditions du milieu antérieure et non au stress lui-même.

Enfin, cette étude bibliographique montre d'une part que la majorité des travaux a été essentiellement axée sur les problèmes de pollution thermique et que d'autre part, pour l'ensemble des stress, ce sont essentiellement les effets léthaux qui ont été pris en compte par rapport aux effets sublethaux. Ces études sur les effets sublethaux conditionnant l'état physiologique des animaux doivent particulièrement être développées.

Pour pallier aux déficiences des enquêtes trop isolées effectuées jusqu'à ce jour, il importe d'envisager une coordination plus rigoureuse d'études intégrant un plus large éventail de disciplines et d'imposer une normalisation absolument indispensable de la méthodologie que ce soit lors des campagnes sur le terrain ou les expériences en laboratoire.

BIBLIOGRAPHIE

L'ETAT DU MILIEU

1- A.ARNOUX,J.L.MONOD,P.BOUCHARD,C.B.AIRAUDO - 1980 -Evolution et bilan de la pollution des sédiments de l'étang de Berre - Ve Journées Etud.Pollutions, Cagliari,CIESM,pp433-446.

2- A.ARNOUX,J.L.MONOD,J.TATOSSIAN,A.BLANC,F.OPPETIT -1980 - La pollution chimique des fonds du Golfe de Fos.- Ve Journées Etud.Pollutions ,Cagliari,CIESM, pp. 447-458.

3- M.AUBERT,J.AUBERT,J.Ph.BREITTMAYER,L.PETIT,D.PUEL - 1975 - Etude générale de la diffusion des polluants en mer - Ed.Monographies de l'INSERM -Paris - Tome 2 : Mediterranée).

4- M.AUBERT,P.REVILLON,G.FLATAU,J.AUBERT - 1979 - Métaux lourds en Méditerranée. RIOM ,Tomes LVI.- LVII.

5- M.AUBERT,P.REVILLON,G.FLATAU,J.AUBERT - 1982 - Métaux lourds en Méditerranée - RIOM ,Tome LXV.

6- H.AUGIER,G. GILLES,G.RAMONDA - 1976- Impact de la pollution par le mercure sur divers organismes vegétaux et animaux au niveau des biocénoses se succédant de la zone halophile à l'étage infra-littoral supérieur,à l'Auguette(Golfe de Fos,Mediterranée,France)- 95e Congrés de l'Association Française pour l' avancement des Sciences,"Expansion et Qualité de la Vie",5-10 Juillet 1976, Marseille.

7 -H.AUGIER,G.GILLES,G.RAMONDA - 1976 - Recherche sur la pollution par le mercure dans le Golfe de Fos :comportement des phanérogames marines de deux stations-tests par rapport à celles du Parc National de Port-Cros. - XXVe Congrés Assemblée Plen.CIESM,Split,22-30 Octobre 1976,2 pp.

8-H.AUGIER,G.GILLES,G.RAMONDA- 1978 - Recherche sur la pollution mercurielle dans le Golfe de Fos (Méditerranée,France) :degré de contamination par le mercure des phanérogammes marines Posidonia Océanica delile,Zostera Noltii(Horneman) et Zostera Marina (L.) - Rev.Intern.Océanogr.Med.,tome LI-LII,pp.55-67

9- C.BAJOLLE - 1982 - Pollution mercurielle du littoral méditerranéen français - Thèse Doctorat Pharmacie - Marseille .37 p. +tab. & fig.

10- C.BELLEMIN-GUYOT - 1982 - Bilan de la pollution par les polychlorobiphenyles du milieu littoral de la région marseillaise et des fonds de la Mediterranée occidentale. - Thèse Doctorat Pharmacie - Marseille , 56 P.

11- P.BENON,F.BLANC,B.BOURGADE,L.CHARPY,R.KANTIN,P.KERAMBRUN,M.LEVEAU,J.C.ROMANO, D.SAUTRIOT - 1976 - Golfe de Fos:Impact de la pollution - Suppl.n°1 Bull. Observ.de la Mer,N°3,13 p.

12- P.BENON,B.BOURGADE,R.KANTIN - 1977 - Impact de la pollution sur les écosystêmes méditerranéens côtiers.Aspects planctoniques - Thèse Doctorat 3° cycle , Université d'Aix-Marseille II - 400 p.

13- P.BENON,F.BLANC,B.BOURGADE,P.DAVID,R.KANTIN,M.LEVEAU,J.C.ROMANO,D.SAUTRIOT - 1978 - Distribution of some heavy métals in the gulf of Fos. , Mar.Poll.Bull. vol.9,n°3,pp. 71-75.

14- P.BOUCHARD - 1981 - Etude de la pollution des sédiments de l'Etang de Berre-ler partie : la pollution organique . - Thèse Pharmacie(Université) Marseille 184 p.

15- B.BOUTIER - 1981 - Synthèse des résultats de la surveillance des micropolluants dans la matière vivante en 1979 - Bulletin du RNO ,n° 17.

16- J.P.BRAUD - 1972 - Etude de la fixation et de la concentration des insecticides organochlorés par les algues pluricellulaires de l'étang de Berre - Téthys - 4,(1),pp. 41-50.

16- A.CATZIKI - 1980 - Contribution à l'étude de la contamination des peuplements benthiques de l'étang de Berre par les métaux(mercure,cuivre,zinc,plomb) - Thèse 3° cycle(Océanologie),Marseille ,

17- M.DALMAS - 1982 - Etude de la qualité des eaux de l'Etang de Berre - Thèse Pharmacie (Université) Marseille -2 tomes,261 p.

18- D.DELMAS - 1981 - Matière organique de sédiments lagunaires(Etang de Berre)- Etude des glucides entant qu'indicateurs de l'origine et de l'évolution de la matière organique - Thèse 3° Cycle(Océanologie)- Marseille.

19- C.DIANA - 1983 - Etude de la qualité des eaux du Golfe de Fos - Thèse Pharmacie (Université) Marseille , 2 tomes

20- S.W.FOWLER,B.OREGIONI - 1976 - Traces Metals in Mussels from the N.W.Mediterranean. - Marine.Poll.Bull. ,7 (2), pp. 26-29.

21- C.FROJET - 1965 - Les sources thermales sulfureuses de l'anse d'Arnette (W du Cap Couronne,Bouches du Rhône).Premières observations - Rec.Trav.St,Mar.End. Bull.36,Fasc.52.

22- R.GABRIEL - 1983 - Pollution par le plomb et le cuivre du littoral de la région marseillaise et de la Mediterranée occidentale - Thèse doctorat Pharmacie - Marseille - 56 p. +Tab.,cartes et fig.

23- C.GIORGETTI - 1981 - Etude de la pollution des sédiments de l'étang de Berre . 2eme partie : la pollution inorganique - Thèse Pharmacie(Université)-Marseille 147 p.

24- C.JEROME - 1982 - Contribution à l'étude de l'évolution de l'eau interstitielle des sédiments en milieux naturel et expérimental - Rapport DEA Océanologie - Marseille - 41p. + tab. et Fig.

25- MIAFEB - 1975 - Etang de Berre-Etat du milieu. Recueil de cartes(Document de travail).

26- M.MINAS - 1964 - Etude de la répartition de quelques facteurs géochimiques dans les sédiments de l'étang de Berre - Rec.Trav.St.Mar.End.,Bull.32,Fasc. 49, pp.5-57.

27- M.MINAS - 1964 -Contribution à l'étude de la substance organique dans les sédiments de l'Etang de Berre(1) - Ann.Inst.Pasteur,107,pp.223-230.

28- M.MINAS - 1973 - Sur la synthèse et la dégradation de la matière organique dans l'écosystème de l'étang de Berre.Dynamique et bilan.Rapport avec le régime hydrologique - Thèse Doctorat ès Sciences -Aix marseille II .

29- L.F.NIENCHESKI - 1982 -Utilisation de Mytilus galloprovincialis comme indicateur de pollution du littoral mediterraneen français par les composés organochlorés et les métaux lourds. - Thèse 3° Cycle (Océanologie) , Marseille , 153 p.

30-J.L.RINGOT,A.ADDED - 1980 - Utilisation de la normalisation des données en géochimi Notion de cartographie:la présence de méta lourds dans les sédiments marins du delta du Rhône - 105e Congrés National des Sociétés savantes, Caen,"Sciences",fasc.II,pp. 329-337.

31- J.L.RINGOT - 1980 - Détermination des zones d'impact de diverses sources de contamination des sédiments marins à l'aide des résultats de l'analyse sectorielle.- Contamination par les oligo-éléments métalliques des sédiments marins du Golfe de Cannnes -La Napoule et du delta du Rhône - 105e Congrés National des Sociétés Savantes ,Caen,"Sciences",fasc.II,pp. 339-349.

DOCUMENTS ET RAPPORTS

1 - C.E.E. - 1982 :Etude des écosystêmes aquatiques du golfe de Fos - Laboratoire d'Hydrologie -Faculte de Pharmacie - Marseille -111 p.

2 - ISTPM - 1973 - Observation sur le degré de pollution des eaux dans le Golfe de Fos.

3 - MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - 1976 -Contamination des côtes françaises par les polychlorobiphényles - A.ARNOUX et J.L.MONOD -Contrat n°73-54.

4 - MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT - 1983 - Evolution et repeuplement de sédiments pollués - Laboratoire d'Hydrologie-Faculté de Pharmacie ,Marseille.

5 - R.N.O. - Enquête Nationale sur l'état sanitaire des zones marines cotières. Dec.74 à Nov.1975 - 1976 -1977 - CERBOM - INSERM.

6 - R.N.O. - Bulletins trimestriels n° 1 (1975) à 18 (1981).
Recueil des observations de 1976 à 1981.

7 - R.N.O. - 1981 - Etude sédimentologique du Golfe de Fos.- Laboratoire d'Hydrologie ,Faculté de Pharmacie ,Marseille - 41p. + tab.,cartes et fig.

8 - S.P.P.P.I. - Informations S.P.P.P.I. n°1 oct. 1972
n°2 oct. 1973
n°3 nov. 1977

9 - S.P.P.P.I. - 1979 - Etude écologique de l'étang de Bolmon - ECOPOL - 90 p + annexe (70p)

10 - S.P.P.P.I. - 1976 - Etude sédimentologique de l'étang de Berre - Laboratoire d' Hydrologie,Faculté de Pharmacie et Laboratoire de Sédimentologie Marine,UER des Sciences de la Mer - Marseille

11 - S.P.P.P.I. - 1979 - Etat de pollution des eaux du Golfe de Fos et de l'Etang de Berre:étude physico-chimique et bactériologique - Laboratoire d'hydrologie, Faculté de Pharmacie ,Marseille.

LES EFFETS DE LA POLLUTION SUR LES ORGANISMES

1/ ANSELL A.D., BARNETT P.R.O., BODOY A., MASSE H., 1980a- Upper temperature tolerance of some European Molluscs. 1.- *Tellina fabula* and *T. tenuis*. *Mar. Biol.*, 58 : 33-39.

2/ ANSELL A.D., BARNETT P.R.O., BODOY A., MASSE H., 1980b- Upper temperature tolerance of some European Molluscs. 2.- *Donax vittatus*, *D. semistriatus* and *D. trunculus*. *Mar. Biol.*, 58 : 41-46.

3/ ANSELL A.D., BARNETT P.R.O., BODOY A., MASSE H., 1981- Upper temperature tolerance of some European Molluscs.3.- *Cardium glaucum*, *C. tuberculatum* and *C. edule*. *Mar. Biol.*, 65 : 177-183.

4/ ANSELL A.D., BODOY A., MASSE H., 1981- Incidence de la répartition géographique à l'échelle européenne sur la tolérance thermique de mollusques marins. *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979 ; E.D.F., Direction de l'équipement : 3-16.

5/ ARNAUD P.M., BELLAN-SANTINI D., HARMELIN J.G., MARINOPOULOS J., ZIBROWIUS H., 1981- Impact des rejets d'eau chaude de la centrale thermoélectrique E.D.F. de Martigues-Ponteau (Méditerranée nord-occidentale) sur le zoobenthos des substrats durs superficiels. *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979. E.D.F. Direction de l'équipement : 702-724.

6/ AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977- Recherche sur la pollution par le mercure dans le golfe de Fos : comportement des phanérogames marines de deux stations-tests par rapport à celles du parc national de Port-Cros. *C.I.E.S.M.*, Monaco : 93-94.

7/ AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1978- Recherche sur la pollution mercurielle dans le golfe de Fos (Méditerranée, France) : degré de contamination par le mercure des phanérogames marines *Posidonia oceanica* Delile, *Zostera noltii* Hornemau et *Zostera marina* (L.). *Rev. int. Océanogr. méd.*, (51-52) : 55-69.

8/ BELLAN-SANTINI D., DESROSIERS G., 1977- Action d'un rejet thermique sur le zoobenthos installé sur substrat dur (site de Ponteau). *E.D.F. Direction de l'équipement,* : 236-250.

9/ BELLAN-SANTINI D., DESROSIERS G., 1976-1977)- Action du rejet thermique de l'usine de Martigues-Ponteau sur les peuplements de substrats durs à dominance de zoobenthos dans la partie supérieure de l'étage infralittoral. *Téthys,* 8(1) : 83-92.

10/ BENON VON UNRUH P.. 1981- Etudes expérimentales de l'influence des échauffements et de divers rejets polluants sur les copépodes marins. *Contrats E.D.F.* n°247, 2386 et 2499.

11/ BENON P., 1976(1977)- Influence des rejets d'eau chaude de la centrale E.D.F. Martigues-Ponteau sur les populations zooplanctoniques. *Téthys,* 8(1) : 63-82.

12/ BENON VON UNRUH P., 1981- Influence du choc thermique sur quelques copépopodes pélagiques. Etude expérimentale. *Vè J. Etud. Poll.,* Cagliari, C.I.E.S.M.(1980) : 679-686.

13/ BENON VON UNRUH P.,1981- Etude expérimentale de la toxicité du chlore en relation avec la température sur un copépode pélagique (*Acartia clausi*). *Vè J.Etud. Poll.,* Cagliari, C.I.E.S.M. (1980) : 687-694.

14/ BENON P., BOURGADE B., KANTIN R., 1976- Les rejets d'eau chaude en mer : impact sur les populations zooplanctoniques. *IIIè J. Etud. Poll.,* Split, C.I.E.S.M. : 117-118.

15/ BENON P., BOURGADE B., KANTIN R., 1977- Impact de la pollution sur les écoystèmes méditerranéens côtiers. Aspects planctoniques. Thèse Doc. 3è cycle, Univ. Aix-Marseille II : 400 p.

16/ BENON VON UNRUH P., GAUDY R., 1981- Etude expérimentale de l'impact du choc thermique sur quelques espèces de copépodes pélagiques. *2è J. Thermo-Ecologie.* Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979. E.D.F. Direction de l'équipement : 433-476.

17/ BENON VON UNRUH P., GAUDY R., 1981- Toxicité du chlore et température.

Etude sur deux espèces de copépodes pélagiques. *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979, E.D.F. Direction de l'équipement : 457-476.

18/ BENON VON UNRUH P., GAUDY R., 1981- Approche expérimentale des phénomènes synergiques températures/métaux lourds sur *Acartia clausi* (copépode pélagique). *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979, E.D.F. Direction de l'équipement : 413-455.

19/ BENON VON UNRUH P., VON UNRUH B., 1980- Variation des activités enzymatiques du zooplancton total et d'*Acartia clausi* sous l'influence de chocs thermiques *in situ* et *in vitro*. *Vè J. Etud. Poll.*, Cagliari, C.I.E.S.M. : 841-846.

20/ BODOY A., 1976a-Etude de l'influence de la température liée à la pollution thermique sur la survie et la biologie de quelques mollusques de substrats meubles. Thèse Doc. 3è cycle, Univ. Aix-Marseille II : 95 p.

21/ BODOY A., 1976b- Etude de l'influence de la température liée à la pollution thermique sur la survie et la biologie de quelques Mollusques des substrats meubles. E.D.F. éd., Journée de la Thermo-Ecologie, Centre Océanologique de Bretagne, Brest 15-16/11/1976 : 251-266.

22/ BODOY A., DINET A., MASSE H., NODOT C., 1976(1977)- Incidence de l'acclimatation sur la tolérance thermique de *Cerithium vulgatum* (Mollusque Gastéropode) et d'*Asellopsis duboscqui* (Crustacé Harpacticoïdes). *Téthys*, 8(1) : 105-110.

23/ BODOY A., MASSE H., 1977- Etude sur la résistance à la température de quelques Mollusques marins des côtes de Provence. *Bull. Ecol.*, 8 (1) : 91-101.

24/ BODOY A., MASSE H., 1978- Etude expérimentale de l'influence de la température sur la survie et la biologie de quelques Mollusques bivalves marins endogés. *Haliotis*, 7(1976) : 131-132.

25/ BOURGADE B., 1976(1977)- Impact des rejets thermiques sur les populations phytoplanctoniques aux abords de la centrale thermique E.D.F.

Martigues-Ponteau. *Téthys*, 8(1) : 47-62.

26/ BOURGADE B., 1977- Effets de l'échauffement des eaux dû aux rejets de la centrale de Martigues-Ponteau sur les populations phytoplanctoniques. *J. Thermo-Ecologie*, C.O.B. 15-16/11/1976 : 97-100.

27/ BOURGADE-LÊ B., 1978- Impact du transit sur le phytoplancton. *Rapp. E.D.F.* E-1958.

28/ BOURGADE-LÊ B., 1981a-Impact différé du transit sur le phytoplancton étudié par suivi des populations dans les sacs dyalisants. *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979 ; E.D.F. Direction de l'équipement : 572-587.

29/ BOURGADE-LÊ B.. 1981b- Effets immédiats des chocs mécaniques, thermiques et chimiques sur le phytoplancton à la centrale de Martigues-Ponteau. *2è J. Thermo-Ecologie*. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979. E.D.F. Direction de l'équipement : 556-571.

30/ BOURGADE-LE B., 1981- Incidence de la chloration sur les populations phytoplanctoniques naturelles. *Vè J. Etud. Poll.*, Cagliari, C.I.E.S.M. (1980) : 701-708.

31/ BOURGADE-LÊ B., 1981c- Conséquences des chocs mécaniques et thermiques sur les populations phytoplanctoniques entrainées dans les circuits de refroidissement d'une centrale thermoélectrique. *Vè J. Etud. Poll.*, Cagliari, C.I.E.S.M. : 695-700.

32/ BOURGADE B., BENON P., KANTIN R., 1976- Les rejets d'eau chaude en mer : impact sur les populations phytoplanctoniques. *IIIè J. Etud. Poll.*, Split, C.I.E.S.M. : 119-120.

33/ BOURGADE-LE B., RAMADE A., 1981- Synthèse des études concernant l'incidence du fonctionnement de la centrale de Martigues-Ponteau sur l'échelon primaire. *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermique sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979. E.D.F. Direction de l'équipement : 610-620.

34/ BRAUD J.P., 1972- Etude de la fixation et de la concentration des insecticide organochlorés par les algues pluricellulaires de l'étang de Berre. *Téthys*, 4(1) : 41-50.

35/ CATSIKI A., 1980- Contribution à l'étude de la contamination des peuplements benthiques de l'étang de Berre par les métaux (Mercure,

Cuivre, Zinc, Plomb). Thèse Doc. 3è cycle, Univ. Aix-Marseille II : 181 p.

36/ DESROSIERS G., 1977- Contribution à l'étude de l'influence de la pollution sur les peuplements de substrats durs dans le golfe de Fos. Thèse 3è cycle, Univ. Aix-Marseille II : 93 p.

37/ DESROSIERS G., BELLAN-SANTINI D., BRETHES J.C., 1982- Evolution spatio-temporelle des peuplements de substrats rocheux superficiels dans un golfe soumis à de multiples pollutions (golfe de Fos, France). *Téthys*, 10(3) : 245-253.

38/ DINET A., NODOT C., VITIELLO P., VIVIER M.R., 1982- Impact d'un effluent thermique sur une communauté de Copépodes harpacticoïdes benthiques. *Téthys*, 10(4) : 355-364.

39/ GAUDY R., 1977- Etude des modifications du métabolisme respiratoire de populations d'*Acartia clausi* (Crustacea. Décapoda) après un passage dans le circuit de refroidissement d'une centrale thermoélectrique. *Mar. Biol.*, 39 : 171-190.

40/ GAUDY R., 1981- Mortalité du zooplancton transitant dans les circuits de refroidissement de la centrale de Martigues-Ponteau. *2è J. Thermo-Ecologie.* Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979, E.D.F. Direction de l'équipement : 725-743.

41/ GAUDY R., BENON P., 1976- Impact du rejet thermique sur le zooplancton dans le voisinage de la centrale de Martigues-Ponteau. *J. Thermo-Ecologie*, C.O.B. : 167-176.

42/ GAUDY R., MOATTI B., 1978- Etude de la mortalité du zooplancton transitant dans les circuit de refroidissement d'une centrale thermoélectrique. *IVè J. Etud. Poll.*, Antalya, C.I.E.S.M. : 399-403.

43/ GAUDY R., MOATTI B., GILLET D., NODOT C., 1980- Etude de l'impact du transit sur le zooplancton. *Contrat n°E-2333.*

44/ HARMELIN-VIVIEN M.L., HARMELIN J.G., VACELET J., 1976(1977)- Etude de l'ichtyofaune de la zone de rejet d'eau chaude de la centrale électrique de Martigues-Ponteau. *Téthys*, 8(1) : 105-114.

45/ HAX-NIENCHESKI L.P., 1982- Utilisation de *Mytilus galloprovincialis* comme indicateur de pollution du littoral méditerranéen français par les composés organochlorés et les métaux lourds. Thèse de 3è cycle Univ. Aix-Marseille II : 164 p.

46/ I.S.T.P.M., 1973- Observations sur le degré de pollution dans le golfe de Fos. *Rapp. ISTPM* :17 p. +annexes.

47/ I.S.T.P.M., 1979- Contamination de la matière vivante par les micropolluants rémanents, métaux, composés, organochlorés, hydrocarbures. *Rapp. ISTPM* : 17 p.

48/ LABORATOIRE D'HYDROLOGIE ET MOLYSMOLOGIE AQUATIQUE, 1983- Evolution et repeuplement de sédiments pollués. *Rapp. Minist. Environ. qualité Vie, Contrat "Mer"*, n°81215 : 75 p.

49/ MASSE H., GUERIN J.P., 1981- Etude expérimentale de la résistance de larves d'invertébrés marins benthiques à des températures élevées. *2è J. Thermo-Ecologie.* Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire, Nantes 14-15/11/1979, ISTPM. E.D.F. Direction de l'équipement :

50/ MASSE H., NODOT C., MACE A.M., 1978- Influence de la température sur la reproduction et la survie de quelques *Nassanidae* (*Mollusca Gasteropoda).*Physiology and behaviour of marine organisms. Proceed. of the 12th European Symposium on marine biology stirling Scotland September 1977, Mc Lusky and Berry Pergamon Press oxforland N.Y. 1978.

51/ MINAS M., 1976(1977)- Rapport sur les travaux effectués durant l'année 1975 sur le site de Martigues-Ponteau. Hydrochimie, production primaire. *Téthys*, 8(1) : 11-18.

52/ PERES J.M., 1976- Pollution thermique des milieux marins côtiers. *IIIè J. Etud. Poll.*, Split, C.I.E.S.M. : 109-115.

53/ PERES J.M., 1977- Modifications des écosystèmes côtiers par les rejets thermiques. *J. Thermo-Ecologie*,C.O.B. 15-16/11/1976. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. E.D.F. Direction de l'équipement : 53-64.

54/ PERES J.M., 1981- Reflexions sur les progrés récent réalisés en France dans

le domaine de la thermologie. *2è J. Thermo-Ecologie*. ISTPM Nantes 14-15/11/1979. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. E.D.F. Direction de l'équipement : 854-868.

55/ RAMADE A., 1978- Hydrochimie et impact du transit sur la production primaire- Controle thermique de Martigues-Ponteau-1. *Rapp. E.D.F.*, E-1958.

56/ RAMADE A., 1981- Impact du transit sur la prodution primaire dans les circuits de refroidissement de la centrale thermique de Martigues-Ponteau. *Vè J. Etud. Poll.*, Cagliari, C.I.E.S.M. (1981) : 709-714.

57/ RAMADE A., 1981- Impact du transit sur le production phytoplanctonique et certains paramètres de Ia biocénose dans les circuits de refroidissement de la centrale de Martigues-Ponteau. *2è J. Thermo-Ecologie*. Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. ISTPM, Nantes 14-15/11/1979, E.D.F. Direction de l'équipement : 589-607.

58/ STORA G., 1980a- Etude de l'évolution de sensibilité d'un crustacé Amphipode (*Echinogamarus stocki* Kar.) soumis aux effets synergiques de diverses combinaisons d'altéragènes. *Vè J. Etud. Poll.*, Cagliari, C.I.E.S.M. : 761-768.

59/ STORA G., 1980b- Influence des variations combinés de température et de salinité sur la sensibilité d'un crustacé Amphipode soumis à un altéragène léthal. *J. fr. Hydrol.*, 11(3), 33 : 225-240.

60/ STORA G., 1982- Recherches de bionomie descriptive et expérimentale (*in vivo* et *in vitro*) dans quelques biotopes littoraux soumis à des variations naturelles ou artificielles des conditions du milieu (notamment dans l'étang de Berre et le golfe de Fos). Thèse Etat Sc., Univ. Aix-Marseille II : 227 p + annexes.

61/ STORA G., ARNOUX A., 1983- Effects of large freshwater diversions on benthos of a Mediterranean lagoon. *Estuaries*, 6(2) : 115-125.

62/ VERLAQUE M., 1976(1977)- Impact du rejet thermique de Martigues-Ponteau sur le macrophytobenthos. *Téthys*, 8(1) : 19-46.

63/ VERLAQUE M., 1977- Etude du peuplement phytobenthique au voisinage de la centrale thermique de Martigues-Ponteau (golfe de Fos, France, Méditerranée). Thèse 3è cycle, Univ. Aix-Marseille II : 172 p.

64/ VERLAQUE M., GIRAUD G., BOUDOURESQUE C.F., 1981- Le peuplement algal au voisinage de la centrale de Martigues-Ponteau (golfe de Fos, France) : Etude de la zone de décollement de la tâche thermique.