

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RECHERCHES OCEANIQUES

HYDROLOGIE, ELEMENTS NUTRITIFS ET MATIERE ORGANIQUE DISSOUE EN MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE

(Campagne RNO-INTERSITE II, 14-26 septembre 1984)

Alain AMINOT, Roger KEROUEL, Michel JOANNY
et Anne-Marie LE GUELLEC

NP	7155	INFO												
DATE	23/10/86	P. D. G.												
		D. G. D.												
		D. S. A.												
		D. R. V.												
		D. E. R. U.												
		D. I. T.												
		D. R. E. C.												
		D. T. M.												
		D. S. M.												
		H. S. M.												
		C. Y. M.												
		C. M. N.												
		D. S. M.												
		D. I. M.												
		D. S. M.												
		D. I. L.												
		D. P. M.												

Septembre 1986



IFREMER Centre de BREST SDP
BP 337 - 29273 BREST CEDEX
Tél 98 22 40 40 - Télex 940627 F

DERO-86.26-EL

IFREMER
Centre de BREST
S.D.P.
B.P. 337
29273 BREST CEDEX
Tél. : 98.22.40.40
Télex 940 627

DIRECTION ENVIRONNEMENT
ET RECHERCHES OCEANIQUES

DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

AUTEUR(S) : Alain AMINOT, Roger KEROUEL, Michel JOANNY et Anne-Marie LE GUELLEC.	CODE : N° <u>DERO-86.26-EL</u>
TITRE : HYDROLOGIE, ELEMENTS NUTRITIFS ET MATIERE ORGANIQUE DISSOUE EN MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE (Campagne RNO-INTERSITE II, 14-26 septembre 1984)	Date : Septembre 1986 Nb tirages : 24 Nb pages : 83 Nb figures : 35 Nb photos : 0
CONTRAT (intitulé) : N° _____	DIFFUSION : Libre <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte <input type="checkbox"/> Confidentielle <input type="checkbox"/>

RESUME : Les éléments nutritifs ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$ et $Si-Si(OH)_4$) et la matière organique dissoute (COD, NOD, POD, urée, amines primaires libres) mesurés en septembre 1984 en Méditerranée nord-occidentale sont interprétés en fonction de l'hydrologie. Les résurgences d'eaux subsuperficielles influencent plus les concentrations des éléments nutritifs que celles de la matière organique. La composition globale (en C, N et P) de la matière organique a pu être donnée : on note des différences entre les masses d'eau.-

ABSTRACT : Nutrients ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$ and $Si-Si(OH)_4$) and dissolved organic matter (DOC, DON, DOP, urea, free primary amines), measured in September 1984 in the north-western part of the Mediterranean Sea, are described in relation with hydrological data. It appears that nutrients concentrations are more influenced by upwellings than are the organic matter concentrations. The global formula of the organic matter (related to C, N and P) are given : some differences appear between the water masses.

Mots-clés : Eléments nutritifs, matière organique dissoute, Méditerranée.

Key words : Nutrients, dissolved organic matter, Mediterranean Sea.

IFREMER
Centre de Brest

Département Environnement Littoral

HYDROLOGIE, ELEMENTS NUTRITIFS ET MATIERE ORGANIQUE DISSOUE

EN MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE

(Campagne RNO-INTERSITE II, 14-26 septembre 1984)

par

Alain AMINOT, Roger KEROUEL, Michel JOANNY

et Anne-Marie LE GUELLEC.

Septembre 1986

SONMAIRE

I - INTRODUCTION

II - HYDROLOGIE

1. La Méditerranée nord-occidentale : caractéristiques générales

2. Matériel et méthodes

3. Résultats

3.1. Climatologie

3.2. Température

3.3. Salinité

3.4. Relations température-salinité

4. Conclusion

III - ELEMENTS NUTRITIFS MINERAUX DISSOUS

1. Matériel et méthodes

2. Description générale : distribution spatiale

3. Différenciation des caractéristiques nutritives des différentes masses d'eaux

3.1. Dilution des eaux du Rhône

3.2. Les remontées d'eaux profondes

3.3. Nitrate, phosphate, silicium

3.4. Ammonium, nitrite

4. Conclusion

IV - MATIERE ORGANIQUE DISSOUE

1. Matériel et méthodes

2. Description générale

2.1. Distribution spatiale

2.2. Comparaison avec les résultats d'autres auteurs

3. Différenciation des caractéristiques organiques des différentes masses d'eaux

3.1. Composition de la matière organique : carbone, azote, phosphore

3.1.1. Le carbone organique dissous

3.1.2. L'azote organique dissous ; relation azote-carbone

3.1.3. Le phosphore organique dissous ; relations phosphore-carbone et phosphore-azote

3.1.4. Formules globales de la matière organique dissoute

3.2. Les composés spécifiques

3.2.1. L'urée

3.2.2. Les amines primaires libres dissoutes

4. Conclusion

V - DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

1. Objectifs généraux

2. Résultats d'ensemble

3. Conclusion

BIBLIOGRAPHIE

I. INTRODUCTION

La campagne INTERSITE II s'insère dans une série de campagnes effectuées dans le cadre du RNO afin d'étendre géographiquement la connaissance des paramètres de surveillance sur une bande continue le long du littoral français.

Cette campagne s'est déroulée, du 14 au 26 septembre 1984, à bord du N/O LE SUROIT, le long du littoral méditerranéen français. Environ 70 stations ont été réalisées avec prélèvement d'eau en surface. Un profil vertical a été effectué à la station 52 (N42 E05) jusqu'à 1 500 m. La figure 1 situe les stations de prélèvement.

Nous présentons ici les résultats d'hydrologie (salinité, température), des éléments nutritifs minéraux dissous (nitrate, nitrite, ammonium, phosphate, silicium) et de la matière organique, à l'exception de ceux obtenus auprès du rejet urbain de Marseille qui seront traités séparément.

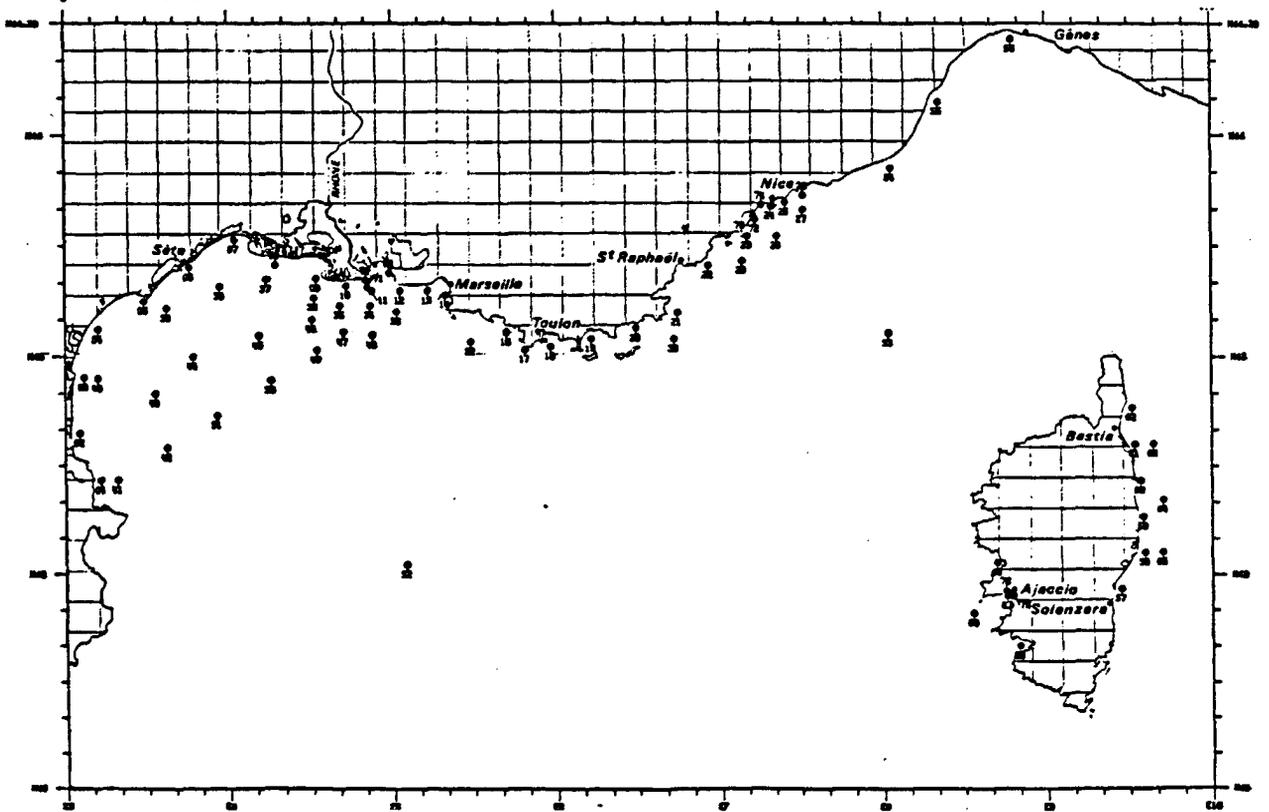


Figure 1 :

Emplacement des stations lors de la campagne INTERSITE II.

II. HYDROLOGIE

II.1. La Méditerranée nord-occidentale : caractéristiques générales

La côte méditerranéenne française comporte deux zones distinctes correspondant à des morphologies sous-marines différentes :

- le Golfe du Lion, de la frontière espagnole à Marseille, qui se caractérise par la présence d'un plateau continental d'environ 60 km de largeur, de la côte à l'isobathe 100 m ;

- la Provence-Côte d'Azur et la Corse où l'isobathe 200 m est fréquemment à moins de 10 km de la côte.

La circulation générale océanique s'effectue d'est en ouest le long de la Côte d'Azur et de la Provence (courant liguro-provençal) puis, au niveau du plateau continental du Golfe du Lion, le courant principal prend la direction sud-ouest vers l'Espagne (fig. 2).

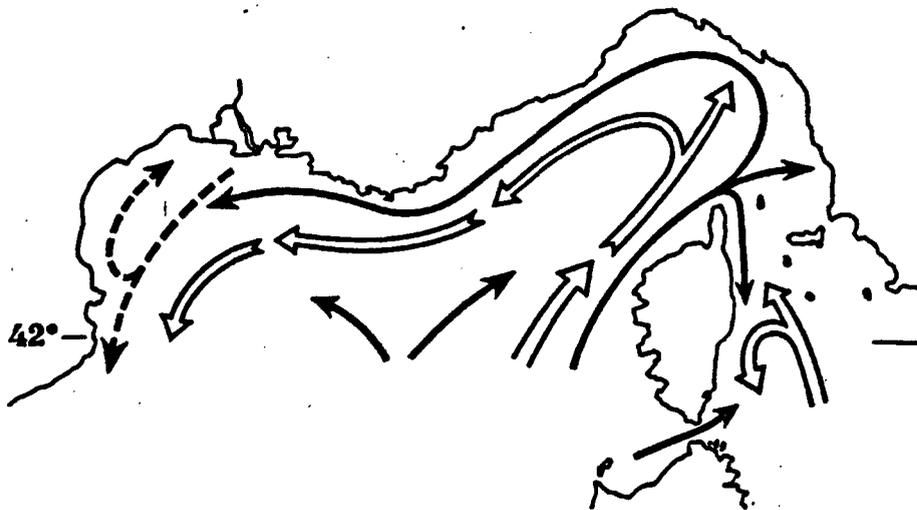


Figure 2 :

Carte très schématique montrant l'orientation des courants principaux ;
double trait eau orientale, trait plein courant atlantique, trait
interrompu courant du Rhône. D'après FURNESTIN et ALLAIN, 1962.

On remarque que le Golfe du Lion se distingue à nouveau, restant à l'écart de la circulation générale. De ce fait, il s'y établit une circulation complexe qui semble toutefois dominée par une rotation des courants en sens inverse du courant liguro-provençal.

L'hydrologie du Golfe du Lion s'en trouve influencée car les eaux continentales, en particulier celles du Rhône, ont tendance à s'y accumuler. La dessalure rhodanienne progresse tout d'abord vers le sud-ouest, puis se trouve en grande partie rejetée vers le nord, le long des côtes du Languedoc-Roussillon (ALLAIN et FURNESTIN, 1969). D'autres observations montrent également un écoulement des eaux du Rhône vers l'ouest, dès la sortie du delta, le long de la côte (ALLAIN, 1963).

En Méditerranée nord-occidentale, la circulation superficielle peut être notablement influencée par le vent. Ainsi, les vitesses du courant liguro-provençal peuvent être réduites ou accrues selon que le vent souffle de terre ou de mer (RNO, 1981). En outre, les vents de secteur nord-ouest, chassant vers le large les eaux de surface, créent un courant de compensation ascendant qui amène en surface, près de la côte, des eaux profondes, phénomène appelé "upwelling" ou résurgence (MINAS, 1968).

La circulation en Méditerranée nord-occidentale sera donc à l'origine de caractéristiques hydrologiques sensiblement différentes entre le littoral Provence-Côte d'Azur-Corse et le Golfe du Lion. Le courant liguro-provençal en effet, mélange des eaux de dérive atlantique et des eaux orientales de moyenne profondeur, se trouve à des salinités généralement supérieures à 38 ‰. Notons que dans la bande la plus côtière (10-20 km), on observe habituellement une salinité inférieure de 0,1 à 0,2 ‰ par rapport aux eaux du large dans l'axe du courant liguro-provençal (NYFFELER et al., 1980).

Dans le Golfe du Lion, la salinité est généralement plus basse (< 38 ‰ et souvent < 37 ‰) en raison de l'influence continentale (TOURNIER, 1969). Les influences saisonnières sont plus marquées et l'extension des eaux du Rhône dépend à la fois des débits (étiage d'août à octobre) et de la profondeur de la thermocline. Cette dernière située à 15-25 m seulement en été (JACQUES et al., 1968, 1969) peut être, en étiage, à l'origine d'un étalement important des eaux moins salées et chaudes (TOURNIER, 1969).

Comme nous venons de le voir, la zone étudiée au cours de la campagne INTERSITE II présente une certaine diversité hydrologique et il nous a donc paru nécessaire de préciser exactement les conditions pendant la campagne pour aider à l'interprétation des paramètres chimiques.

II.2. Matériel et méthodes

Les échantillons ont été prélevés à l'aide de bouteilles NISKIN de 5 litres ou 8 litres.

La température des prélèvements de surface a été immédiatement mesurée dans la bouteille de prélèvement à l'aide d'un thermomètre de laboratoire gradué au dixième de degré. Pour les prélèvements profonds, des thermomètres à renversement ont été utilisés.

Les échantillons pour la mesure de salinité ont été soutirés dans des cannettes en verre classiques, puis mesurés à terre avec un salinomètre Guildline Autosal 8400 dont la précision est de $\pm 0,002$ ‰. Ce matériel a été mis à notre disposition par le Département DIT/QE du Centre de Brest de l'IFREMER. Les mesures ont été faites par Véronique POROT.

II.3. Résultats

II.3.1. Climatologie

A partir des données de la Météorologie Nationale (Ministère des Transports, 1984), nous avons retenu les valeurs concernant la température de l'air et le vent dans un certain nombre de localités représentatives de la zone côtière étudiée. Le tableau I rassemble ces données.

Par ailleurs, la figure 3 présente les directions et vitesses du vent sur une période couvrant la campagne de mesure en trois stations météorologiques respectivement représentatives du Golfe du Lion, de la Provence et de la Côte d'Azur.

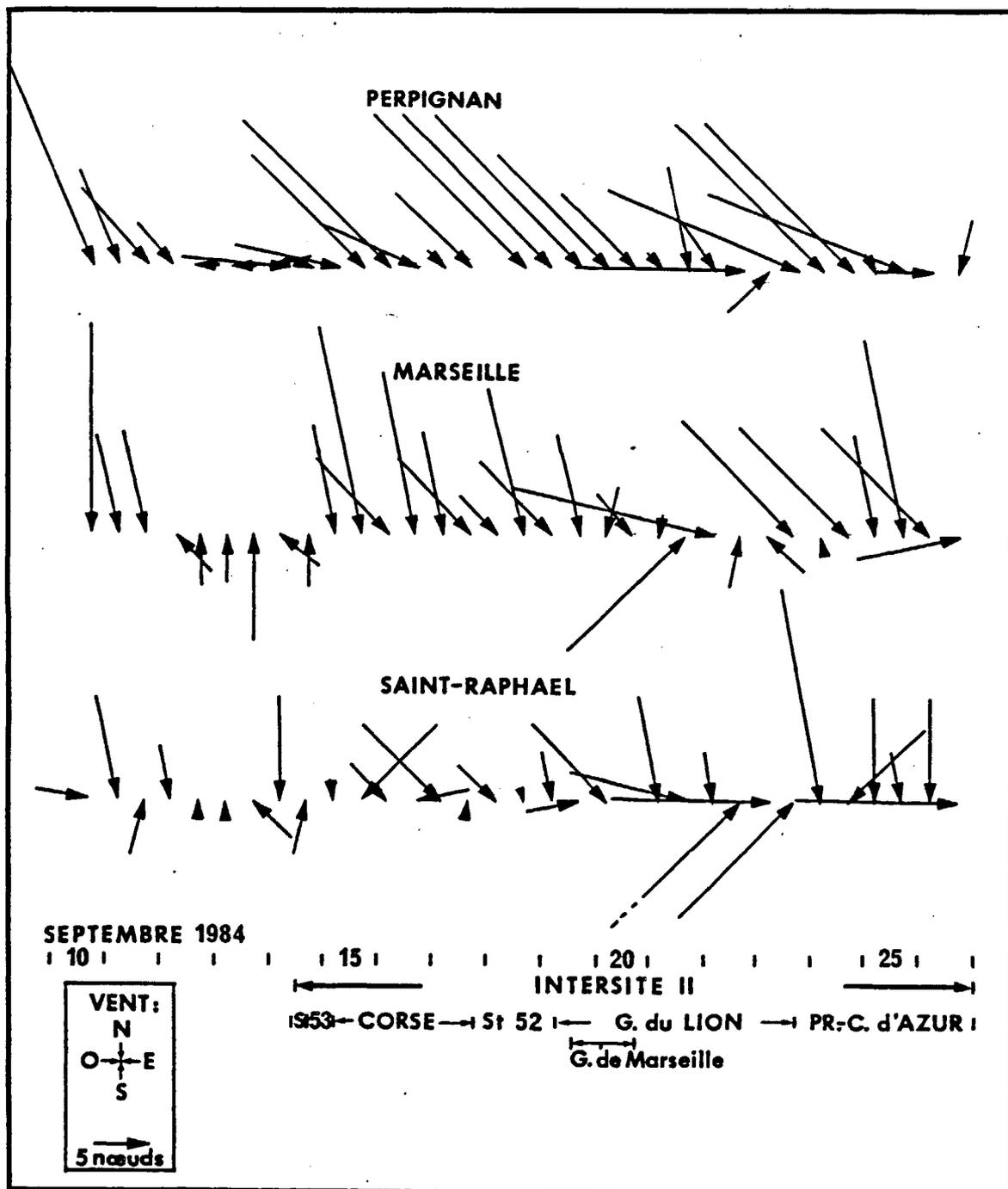


Figure 3 :

Directions et vitesses du vent en trois points du littoral méditerranéen
au cours de la campagne INTERSITE II.

moyenne journalière ?

Tableau I :

Données climatologiques durant la campagne INTERSITE II (septembre 1984).

LIEU D'OBSERVATION	TEMPERATURE MOYENNE DE L'AIR			VENT			
	du 1er au 10	du 11 au 20	du 21 au 30	Vitesse moyenne (m/s)*	Maximum		
					m/s	Direction	Date
<u>GOLFE du LION</u>							
. Perpignan	20,2	20,0	17,4	5,1	29	ONO	23.9
. Carcassonne	18,8	16,9	15,3	4,5	21	NO	23.9
. Montpellier	19,6	19,0	16,5	4,9	27	NO	23.9
. Nîmes	20,1	19,1	16,2	3,2	23	ONO	23.9
<u>PROVENCE- COTE D'AZUR</u>							
. Salon	18,5	18	15,4	4,0	24	NNO	16.9
. Marseille	19,7	18,5	16,8	5,3	22	NO	6.9
. Toulon	21,1	19,8	17,2	5,3	26	ONO	10.9
. St Raphaël	20,2	18,3	17,3	5,2	23	ONO	10.9
. Nice	20,8	19,6	18,5	3,5	27	E	15.9
<u>CORSE</u>							
. Bastia	20,9	19,1	18,2	2,7	24	O	23.9
. Solenzara	19,4	17,9	17,7	3,4	17	NO	23.9
. Ajaccio	21,5	19,7	20,6	3,2	22	ONO	10.9

* 1 m/s = 3,6 km/h = 2 noeuds.

Ces données font ressortir la présence de vents forts dont la direction prédominante est le secteur nord-ouest pour le Golfe du Lion et la Provence. A Marseille, on note un peu plus fréquemment une orientation nord-nord-ouest qu'à Perpignan où, à l'inverse, on note plus de vents d'ouest-nord-ouest qu'à Marseille. Sur la Côte d'Azur, les vents sont plus faibles et moins stables mais avec également une prédominance de vents d'ouest à nord.

Dans l'ensemble, les vitesses des vents restent élevées (environ 5 m/s soit # 20 km/h) et les maximums, atteignant 20 à 30 m/s, sont tous de secteur nord-ouest (ONO à NNO), à l'exception de Nice.

Cette longue période de vents de nord-ouest a eu pour effet d'abaisser légèrement la température moyenne de l'air (de 3 à 4 °C) entre la première et la troisième décade de septembre.

Une telle situation climatologique est connue pour engendrer des résurgences d'eau froide profonde le long des côtes. Ce refroidissement des eaux, consécutif au mistral et à la tramontane, bien connu des habitants de la côte, a pu être étudié depuis quelques années de façon fine grâce aux thermographies par satellites (MILLOT, 1979 ; MILLOT et WALD, 1981).

Ces observations ont montré que les remontées d'eaux froides en surface se produisaient très rapidement après le début du coup de vent (moins de 12 h) et qu'en 24 h, la situation est déjà bien établie.

II.3.2. Température

La distribution des températures au cours de la campagne INTERSITE est assez complexe en raison de la situation météorologique qui a provoqué des résurgences d'eaux froides profondes le long de la côte (fig. 4).

Les températures de surface les plus élevées sont mesurées autour de la Corse (21,5 à 23 °C) et au large, aux stations 52 et 53, où elles sont voisines de 19 °C. Ces températures sont normales pour la saison ; les moyennes d'août, septembre et octobre s'établissant, en effet, à environ 22 °C pour la Corse et 20,5 °C pour la station 53 (NYFFELER et al., 1980).

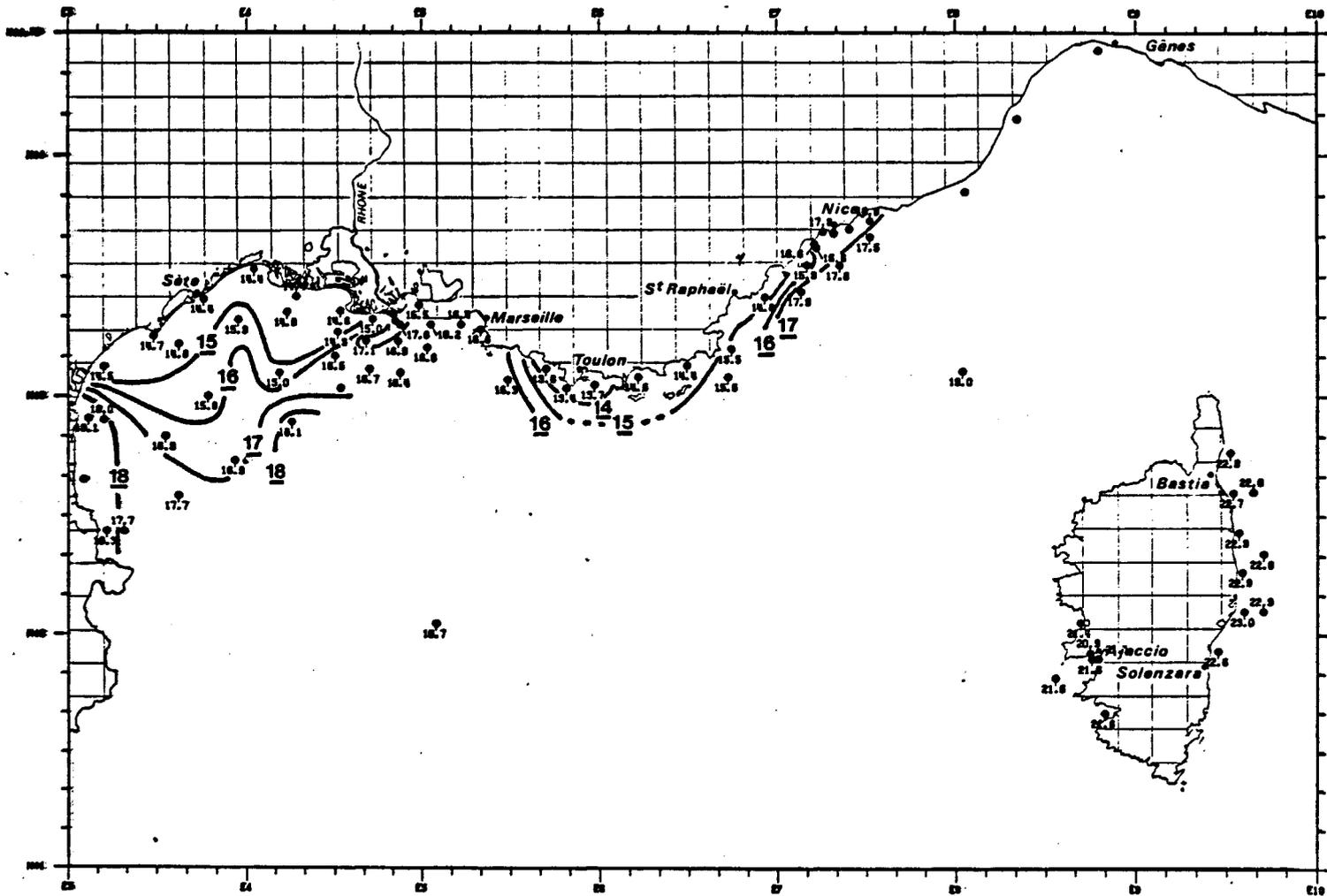


Figure 4 :

Répartition des températures lors de la campagne INTERSITE II.

D'est en ouest, le long de la côte, la température s'abaisse de 17-18 °C près de l'Italie à 13,5 °C dans la région de Toulon. On remarque l'accroissement de température vers le large, conformément à une structure thermique de résurgence. Si l'on considère que les moyennes sont de 21-22 °C, selon NYFFELER et al. (1980), l'abaissement est donc de l'ordre de 5 °C à Nice et 8 °C à Toulon.

Dans la région de Marseille (de Cassis à Fos), les températures sont un peu plus élevées, 16 à 17 °C, puis de la Camargue à Sigean, elles sont à nouveau plus basses (14,5 °C). Elles remontent ensuite très rapidement et restent à 18 °C de Leucate à l'Espagne.

De la côte vers le large, les températures du Golfe du Lion s'élèvent régulièrement pour atteindre environ 18 °C au delà du niveau du plateau continental (isobathe # 200 m).

Cette structure thermique du Golfe du Lion correspond tout à fait à ce qui a été observé par MILLOT et WALD (1981) en présence de résurgences d'eaux profondes. Peu après le début du coup de vent, les eaux froides sont d'abord localisées en quelques points précis de la côte (Valras, Sète, Les Saintes Maries, Faraman, Méjean, Cassis). Par la suite, lorsque le vent persiste plusieurs jours, la côte est alors baignée en continu par une bande d'eau froide qui s'étire vers le large avec formation de langues irrégulières. La côte sud est épargnée par les eaux froides comme nous le constatons également au cours de la campagne INTERSITE II. La structure thermique du Golfe du Lion peut ensuite devenir très complexe du fait des courants de surface, variables en direction, qui induisent des cellules de circulation horizontale (MILLOT, 1979).

II.3.3. Salinité

La distribution des salinités au cours de la campagne INTERSITE II (fig. 5) n'est pas conforme au schéma général évoqué en introduction. Avec les résurgences d'eaux profondes, une modification s'est opérée sur toute la zone côtière au point que l'on n'observe plus la dessalure habituelle du Golfe du Lion. Les salinités sont toutes supérieures à 38 ‰, à l'exception d'un couloir nord-sud, devant l'embouchure du Rhône, dans lequel les eaux du fleuve sont bien identifiées. Contrairement également au schéma classique, on observe une décroissance des salinités vers le large

tout au long de la côte. Les salinités s'élèvent ensuite à nouveau dans l'axe du courant liguro-provençal (38,24 et 38,38 aux stations 52 et 53) et en Corse (38,16 à 38,35).

II.3.4. Relations température-salinité

La relation température-salinité (fig. 6) permet d'identifier les différentes masses d'eau en présence. On peut rapprocher ce diagramme de celui obtenu par ALLAIN et FURNESTIN (1969), à l'automne 1963, dans le Golfe du Lion, ainsi que de celui obtenu en septembre 1971, lors d'une campagne de l'Origny (HENAFF, 1974). Nous y retrouvons, en particulier, les caractéristiques des eaux profondes (orientale et septentrionale) froides (# 13 °C) et à forte salinité (# 38,5 ‰). Puis sur deux segments parallèles, à très forte pente, se distribuent les eaux du Golfe du Lion et de Provence-Côte d'Azur : à salinité égale, les eaux du Golfe du Lion sont plus chaudes que celles de Provence-Côte d'Azur. Ces deux ensembles de points caractérisent, dans chaque région, l'ensemble des eaux froides qui remontent et des eaux de surface plus chaudes et moins salées (# 0,1 ‰), ainsi que leur mélange.

Dans le Golfe du Lion, les eaux remontant le long des côtes ont une température de 14,5 °C, soit 1 °C de plus que celles que l'on observe dans la région de Toulon. D'après les travaux de JACQUES et al. (1969) et CAHET et al. (1972), des températures très proches de cette valeur sont mesurées en août-septembre, juste au niveau inférieur de la thermocline (ces auteurs fixent d'ailleurs à 15 °C ce niveau de référence). Les salinités correspondant aux eaux de 14-15 °C sont comprises entre 38,10 et 38,20 ‰ (CAHET et al., 1972), valeurs également mesurées lors de la campagne INTERSITE II (# 38,15). La limite inférieure de la thermocline se situant normalement à 30-40 m en août-septembre et la bathymétrie n'influençant pas la profondeur de la thermocline (JACQUES et al., 1969), on peut en déduire que les eaux sont remontées d'environ une quarantaine de mètres de profondeur. Ces eaux ne se trouvaient qu'à une dizaine de kilomètres de la côte avant leur remontée. La température de l'eau exclut en effet la possibilité d'une remontée d'eau plus profonde. HENAFF (1974) indique en effet que la température sur le plateau continental, vers 70 m, est de 13,2 °C en septembre 1971 : il n'est donc pas envisageable que l'eau soit remontée d'aussi profond.

Dans la région de Toulon, les eaux de résurgence présentent les caractéristiques de l'eau de transition hivernale définies par ALLAIN et FURNESTIN (1969), c'est-à-dire $13,5^{\circ}\text{C}$ et $38,15\text{ ‰}$. Cette eau se trouve normalement vers 100 m à proximité du plateau continental. L'étroitesse du plateau dans cette zone facilite la remontée des eaux de cette profondeur à la surface comme l'ont confirmé les observations de MINAS (1968) dans le Golfe de Marseille. Dans le Golfe de Marseille, toutefois, on n'observe pas, lors de la campagne INTERSITE II, de températures aussi basses que près de Toulon : elles restent à plus de 16°C . Ces températures sont cependant inférieures à celles que l'on relève normalement à cette même époque ($> 21^{\circ}\text{C}$; MINAS, 1968) et les fortes salinités permettent de penser qu'il s'agit de remontées d'eaux d'une faible profondeur ou d'un mélange des eaux de fond avec les eaux de surface.

Pour compléter cette analyse des masses d'eau à l'aide du diagramme T-S, on remarquera d'une part la dilution des eaux du Rhône, d'autre part les eaux de Corse très chaudes et relativement salées.

Notons, au débouché du Rhône, les stations 9 et 36 qui correspondent à un mélange d'eau froide et d'eau de dilution du Rhône.

II.4. Conclusion

Les résultats d'hydrologie de la campagne INTERSITE II montrent une situation de la Méditerranée nord-occidentale caractérisée par d'importantes résurgences d'eaux profondes le long des côtes du Golfe du Lion et de Provence-Côte d'Azur. Ceci est la conséquence des vents de nord à nord-ouest qui ont soufflé à cette période, chassant vers le large les eaux de surface. Ces dernières sont remplacées par des eaux froides des niveaux inférieurs : # 40 m dans le Golfe du Lion, 100 m près de Toulon, moins de 100 m ailleurs (il s'agit donc plus exactement d'eaux subsuperficielles que d'eaux profondes). L'examen des concentrations des divers paramètres chimiques doit tenir compte de ce phénomène car les eaux susceptibles d'être contaminées par des polluants ont été chassées au large. S'éloignant des côtes, elles subissent des mélanges horizontaux et verticaux d'une part en raison des courants, d'autre part du fait du brassage superficiel provoqué par l'agitation de la mer. D'une façon générale, on devrait donc voir s'estomper les gradients côte-large, si ce n'est les voir s'inverser pour certains paramètres.

III. ELEMENTS NUTRITIFS MINERAUX DISSOUS

III.1. Matériel et méthodes

Les échantillons pour les éléments nutritifs ont été préparés de la manière suivante :

- pour NO_2^- et Si(OH)_4 , préfiltration directe à $10 \mu\text{m}$ en sortie de bouteille NISKIN dans des flacons de polypropylène ou polyéthylène ;

- pour NO_3^- , NH_4^+ et PO_4^{3-} : 500 ml sont soutirés de la bouteille NISKIN dans un flacon de verre puis filtrés, à l'aide d'un ensemble tout en verre, sur membrane GF/F en fibre de verre ($\# 0,7 \mu\text{m}$) préalablement pyrolysée à 450°C pendant plusieurs heures. Le filtrat est placé dans des flacons de verre (préalablement pyrolysés comme les filtres) munis d'un bouchon vissé en polyéthylène. Le système de filtration et les flacons sont rincés plusieurs fois par de petites quantités d'échantillon avant la filtration ou la récupération de l'échantillon proprement dit. Les échantillons sont immédiatement placés au congélateur pour être analysés à terre.

Les mesures sont faites à l'aide d'un Autoanalyzer II TECHNICON selon les procédures décrites par TREGUER et LE CORRE (1975) mais avec des amplifications plus importantes des signaux pour accroître la sensibilité.

III.2. Description générale : distribution spatiale

Les concentrations en éléments nutritifs minéraux dissous (N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} , Si-Si(OH)_4) sont cartographiées sur les figures 7 à 11.

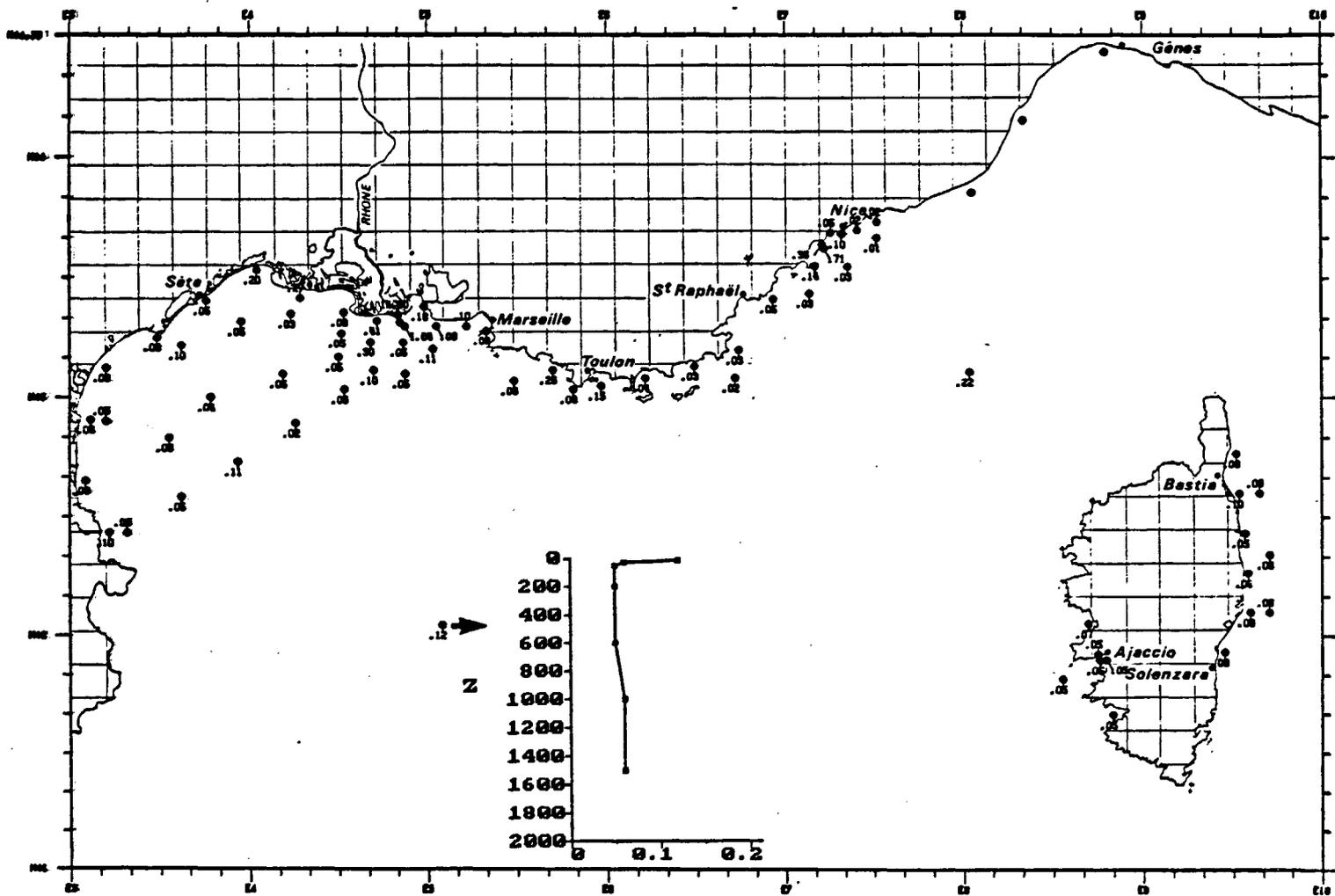


Figure 7 :

Répartition des concentrations en $N-NH_4^+$ ($\mu\text{mol/l}$)
lors de la campagne INTERSITE II.

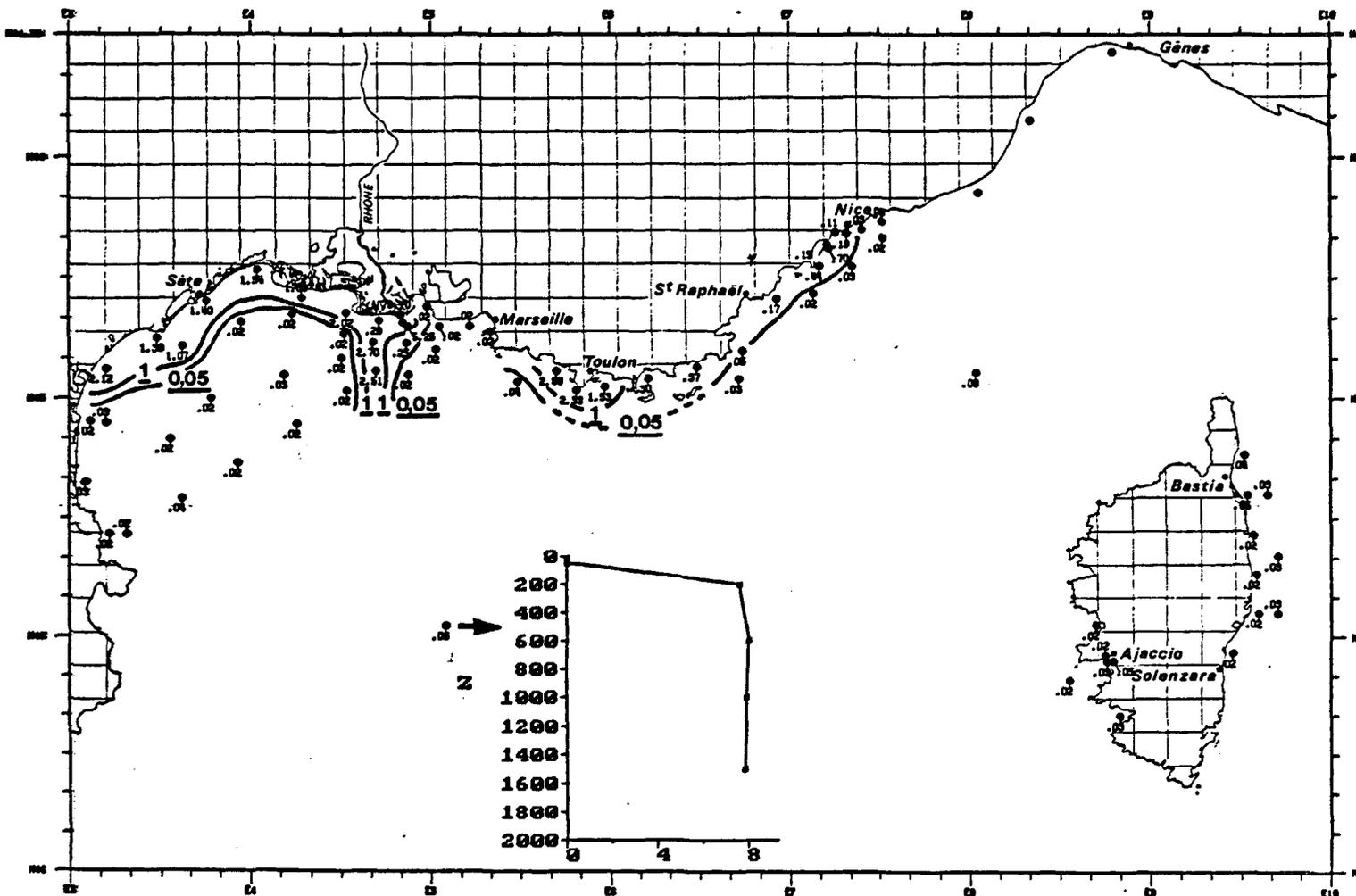


Figure 9 :

Répartition des concentrations en N-NO_3^- ($\mu\text{mol/l}$)
lors de la campagne INTERSITE³ II.

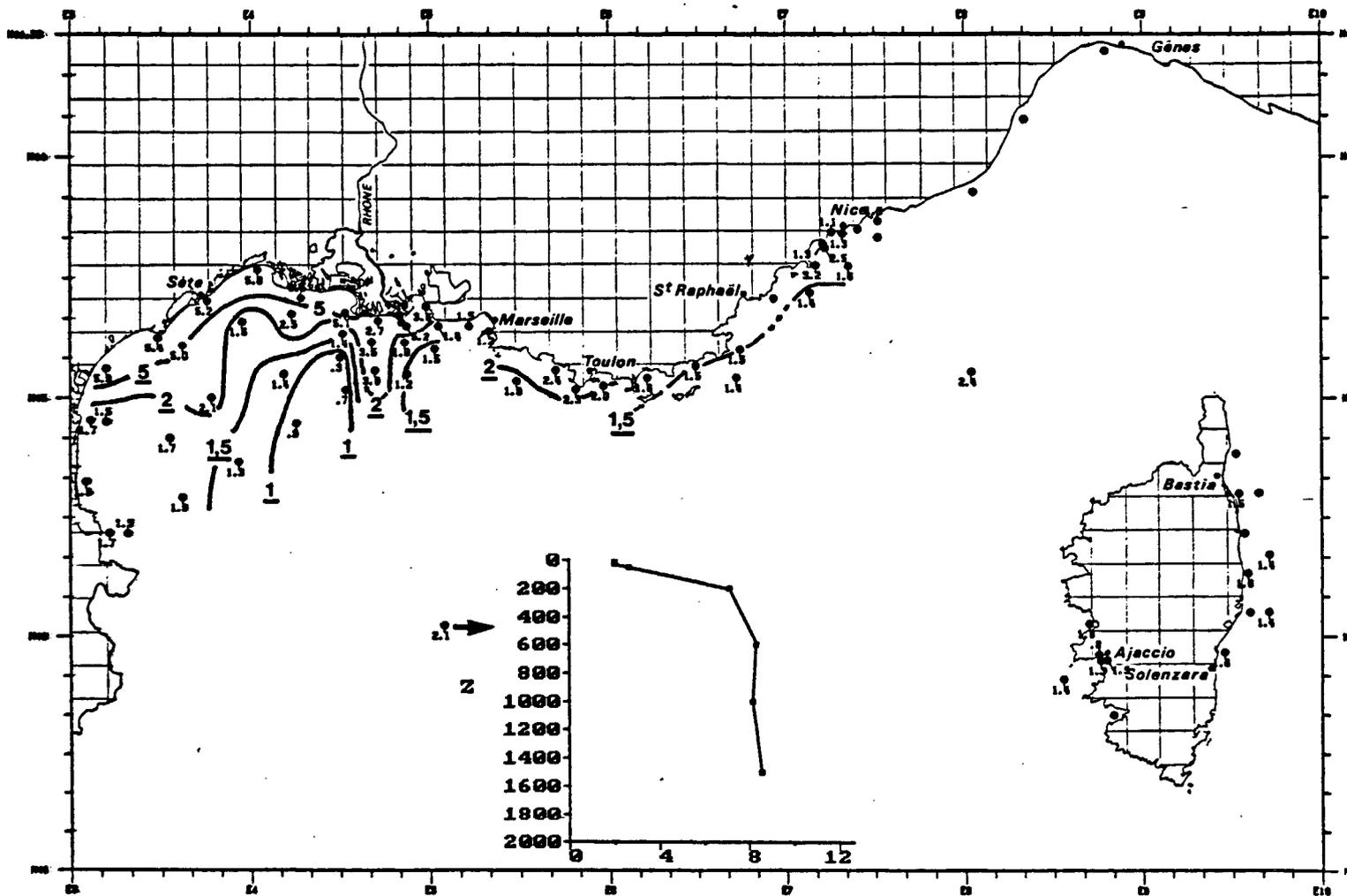


Figure 11 :

Répartition des concentrations en Si-Si(OH)_4 ($\mu\text{mol/l}$)
lors de la campagne INTERSITE II.

Ces concentrations sont extrêmement basses comme l'ont déjà montré de nombreux travaux antérieurs tels que ceux de Mc GILL (1963), de COSTE et MINAS (1967), de CAHET et al. (1972), du Groupe MEDIPROD (1974) ainsi que les campagnes PHYCEMED (DELMAS, 1984) par exemple.

Toutefois, le travail à proximité de la côte nous a permis de mettre en évidence les accroissements de concentrations résultant d'un phénomène de remontées d'eaux profondes, parfaitement identifié par les mesures hydrologiques.

Ainsi, le long des côtes du Golfe du Lion et dans la région de Toulon où les concentrations côtières dues à ce phénomène sont les plus élevées, il s'établit de très forts gradients horizontaux qui s'apparentent à des fronts.

Outre ces apports profonds, on identifie également le couloir d'écoulement des eaux du Rhône, riches en éléments nutritifs, qui est bien délimité.

Le tableau II synthétise les données afin de fixer les ordres de grandeur des concentrations dans les secteurs principaux de la zone étudiée. N'y sont pas prises en compte les eaux soumises aux apports continentaux [dilution du Rhône, du Var (st. 23), du rejet urbain de Marseille (st. 15)].

III.3. Différenciation des caractéristiques nutritives des différentes masses d'eaux

Nous avons voulu caractériser de façon plus précise les différentes masses d'eaux et interpréter plus en détail les concentrations en éléments nutritifs. Pour cela, nous avons utilisé deux types de relations : d'une part les relations entre un composé nutritif et un paramètre hydrologique (salinité, température, densité), d'autre part les relations entre deux composés nutritifs.

↳ une approche multidimensionnelle aurait peut-être permis de gagner du temps

Tableau II :

**Fourchettes de concentrations ($\mu\text{mol/l}$) des éléments nutritifs minéraux dissous
dans les eaux de surface des principaux secteurs étudiés au cours de la campagne INTERSITE II.**

SECTEUR	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	P-PO ₄ ³⁻	Si-Si(OH) ₄
<u>CORSE</u>	0,05 - 0,10	< 0,005	0,01 - 0,05	0,01 - 0,04	1,3 - 1,6
<u>COURANT LIGURE</u> (St. 52-53)	0,12 - 0,21	< 0,005	0,06 - 0,08	0,01 - 0,04	2,2 - 2,4
<u>PROVENCE-COTE D'AZUR</u>					
. Stations du large	0,01 - 0,03	< 0,005	0,02 - 0,03	0,01 - 0,12	1,3 - 1,6
. Stations côtières	0,02 - 0,09	< 0,01 - 0,06	0,03 - 0,37	0,02 - 0,12	1,4 - 1,6
. Remontée TOULON	0,09 - 0,26	0,06 - 0,10	1,5 - 2,7	0,07 - 0,09	2,0 - 2,4
<u>GOLFE du LION</u>					
. Stations du large	0,03 - 0,11	< 0,005	0,01 - 0,03	0,01 - 0,04	0,7 - 1,9
. Remontée côtière	0,08 - 0,41	0,11 - 0,20	1,1 - 2,1	0,06 - 0,17	5,0 - 6,5
<u>RHONE</u> (eau douce)	14,5	2,51	79	7,64	48

Par expérience, nous avons constaté que ces analyses peuvent donner de bonnes informations sur les sources ou les consommations d'éléments nutritifs et sur les mélanges de masses d'eaux, mais aussi sur d'éventuelles anomalies (mesures aberrantes inexplicables).

Nous présentons sur les figures 12 et 13 les relations entre les éléments nutritifs et les paramètres salinité et température.

La salinité permet de distinguer les deux grands phénomènes marquants dans les eaux de surface : d'une part la dilution des eaux du Rhône (accroissement des teneurs avec la baisse de salinité), d'autre part les remontées d'eaux profondes (accroissement des concentrations et de la salinité parallèlement). Nous étudierons donc ces deux phénomènes séparément, ci-dessous.

Auparavant toutefois, nous considérerons l'intérêt des relations interparamètres dans la validation des résultats en examinant le cas du phosphate.

La comparaison des différentes relations sel nutritif-température fait apparaître la grande similitude de distribution des points dont les regroupements correspondent à des zones distinctes. Ce n'est que dans le cas du phosphate qu'apparaissent certaines incohérences dues à de trop fortes valeurs par rapport à celles que l'on attendrait par comparaison avec les autres sels nutritifs. Un examen détaillé fait ressortir que les stations concernées se limitent pour la plupart (19 à 30) à un trajet parcouru en moins de 48 heures. Or, nous avons noté, dès les premières stations de ce trajet, que l'équipage avait entrepris un traitement de la rouille par un produit à base d'acide phosphorique. Malgré l'arrêt immédiat de cette opération à notre demande, il est fort probable que des contaminations ont pu se produire durant une certaine période par suite d'un lessivage progressif du produit.

Nous ne retiendrons donc pas pour l'interprétation les données paraissant suspectes, à savoir :

stations	:	19	20	21	24	25	28	29	30
concentrations ($\mu\text{mol/l}$)	:	0,27	0,10	0,07	0,07	0,12	0,80	0,12	0,07

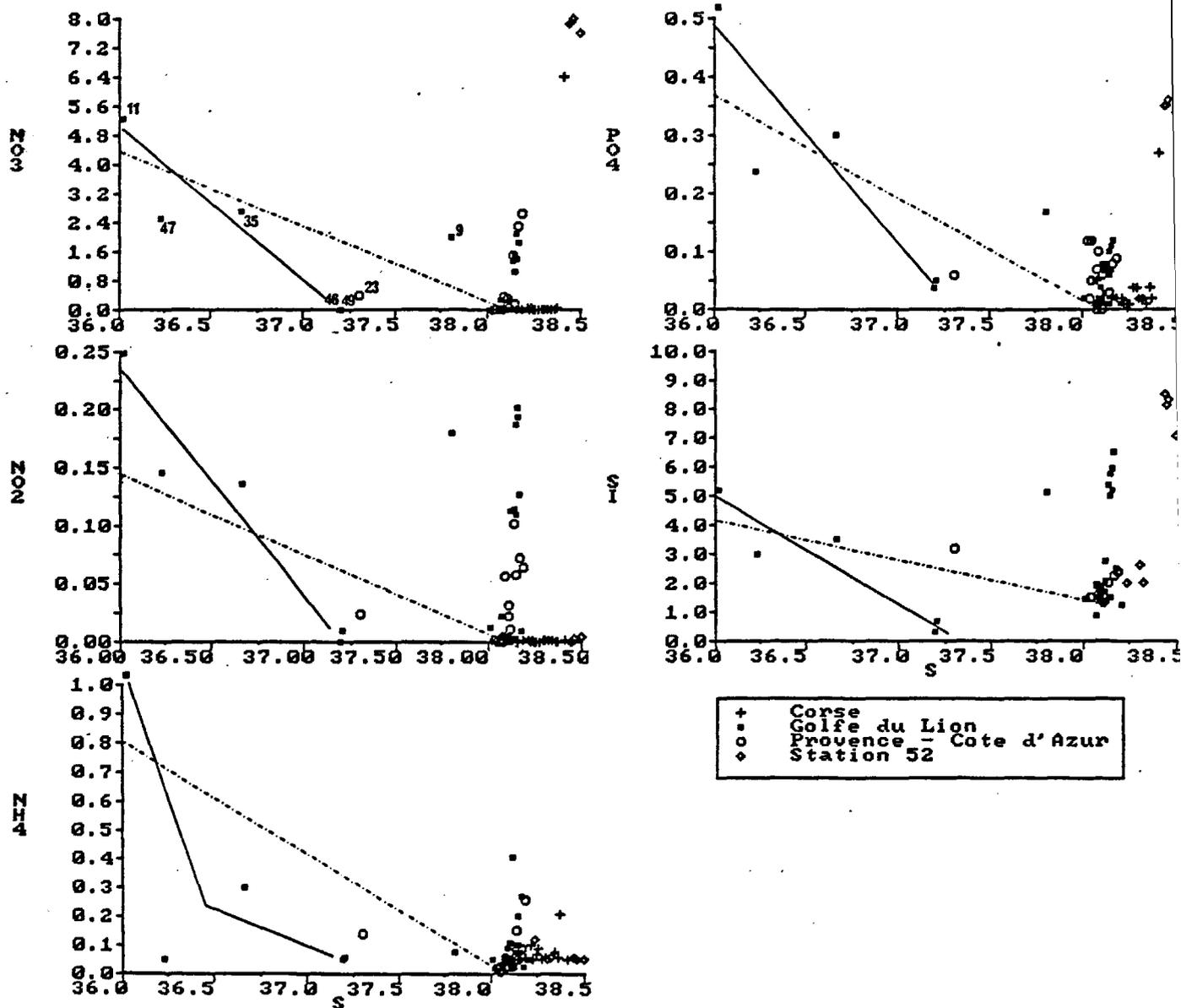


Figure 12 :

Relation entre les éléments nutritifs minéraux dissous et la salinité.

Noter la similitude de comportement entre les différents éléments.
La dilution théorique du Rhône est matérialisée en pointillés ;
la "dilution" observée, en traits pleins.

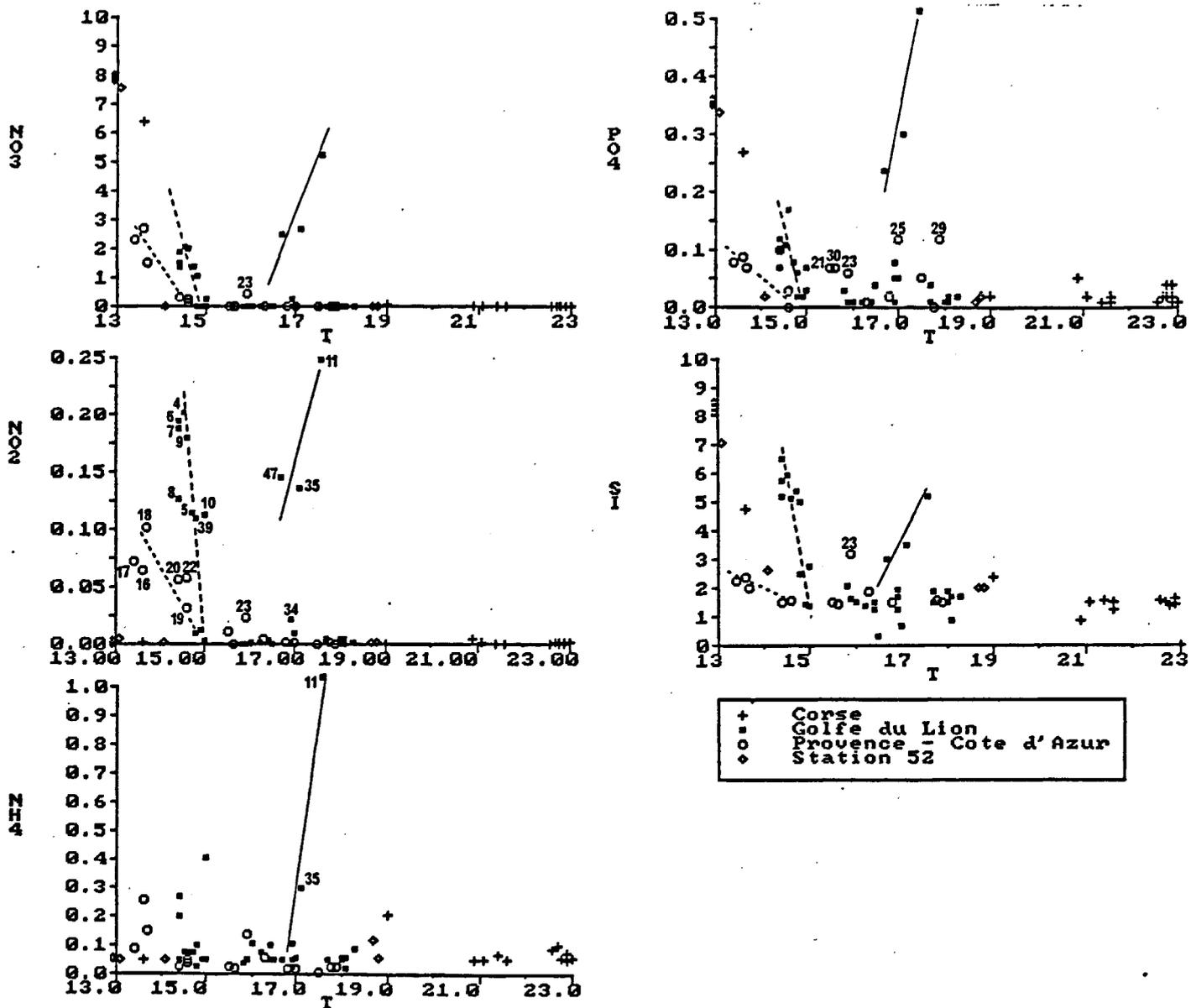


Figure 13 :

Relation entre les éléments nutritifs minéraux dissous et la température.

Les comportements présentent une certaine similitude : on reconnaît la zone de dilution du Rhône et les résurgences du Golfe du Lion et de Provence.

L'ammonium est particulier et le phosphate révèle quelques anomalies (voir texte).

III.3.1. Dilution des eaux du Rhône

Nous avons défini comme eau marine de surface, dans laquelle se diluent les eaux du Rhône, une eau dont les caractéristiques sont celles des eaux de surface du Golfe du Lion et du Golfe de Marseille, non perturbées par les phénomènes d'upwelling. On peut ainsi lui attribuer une salinité de 38,1 ‰ et une valeur négligeable pour les composés nutritifs minéraux dissous, à l'exception du silicium à la concentration de 1,6 $\mu\text{mol/l}$.

Les caractéristiques de l'eau douce du Rhône sont données dans le tableau II.

A partir de ces valeurs, nous avons fait apparaître en pointillé sur la figure 12 les droites de mélange théoriques correspondant à ces eaux-types.

On constate une différence de pente importante entre ces droites théoriques et la relation obtenue en considérant les points situés dans le panache du Rhône, c'est-à-dire les stations 11, 35, 47, 46, 49 déterminées par leurs salinités. Ceci s'explique par une consommation assez importante des éléments nutritifs aux salinités élevées, simultanément à un enrichissement par les remontées d'eau à la station 11.

La consommation des éléments nutritifs est confirmée par la présence de phytoplancton mis en évidence dans la région du delta du Rhône à la fois par l'observation visuelle en fort éclaircissement (lors des mesures de turbidité) et par les mesures de chlorophylle. L'observation révèle, aux stations 11, 35, 46, 47, 49, un grand nombre d'éléments filiformes qui sont selon toute vraisemblance des diatomées du genre *Nitzschia*, fréquentes à cette époque, mais se développant souvent au niveau de la thermocline (JACQUES et al., 1969). Par ailleurs, les mesures de chlorophylle donnent des concentrations de 2,4, 1,4 et 0,8 mg/m^3 aux stations 47, 35 et 11 respectivement, ce qui traduit un développement notable de plancton. Aux stations 46 et 49, malgré l'absence de mesures de chlorophylle, on note la chute de toutes les concentrations et particulièrement du silicium, preuve qu'il s'agit, en effet, d'une forte poussée de diatomées.

L'anomalie positive de silicium par rapport à la dilution des eaux du Rhône à la station 11, proche de l'embouchure, ne peut que résulter d'un enrichissement par mélange avec une eau remontant des couches sous-jacentes. Pour cet élément, en effet, il n'y a pas d'autre explication biologique (par ex. régénération) ou physico-chimique (par ex. désorption) satisfaisante, alors que ce pourrait être le cas pour les autres éléments nutritifs.

Remarquons également qu'à la station 9, face à la Camargue, les concentrations montrent qu'on se trouve en présence d'un mélange d'une forte proportion d'eau de remontée avec des eaux du Rhône, déjà vraisemblablement mélangées aux eaux côtières de surface présentes avant la remontée. Cela est tout à fait en accord avec la circulation des eaux au voisinage du delta : d'une part une partie des eaux du Rhône s'écoule le long de la côte vers l'ouest (ALLAIN, 1963), d'autre part les remontées d'eaux profonde sont courantes face à la Camargue comme nous l'avons indiqué au chapitre précédent (MILLOT et WALD, 1981).

Pour résumer la situation dans la panache des eaux du Rhône, nous pouvons dire que les concentrations en éléments nutritifs résultent de trois phénomènes simultanés :

- dilution des eaux du Rhône,
- apport par mélange avec les eaux sous-jacentes remontant en surface,
- consommation par le phytoplancton.

La quantification de la part de chacun de ces phénomènes n'est pas possible avec les seules données disponibles.

III.3.2. Les remontées d'eaux profondes

Dans les eaux remontant des couches sous-jacentes, on observe des valeurs plus élevées de sels nutritifs dont l'accroissement est lié à l'augmentation de salinité et à la baisse de température (fig. 12 et 13). Bien que cette relation paraisse applicable à l'ensemble des cinq espèces nutritives minérales étudiées, nous traiterons séparément le cas des

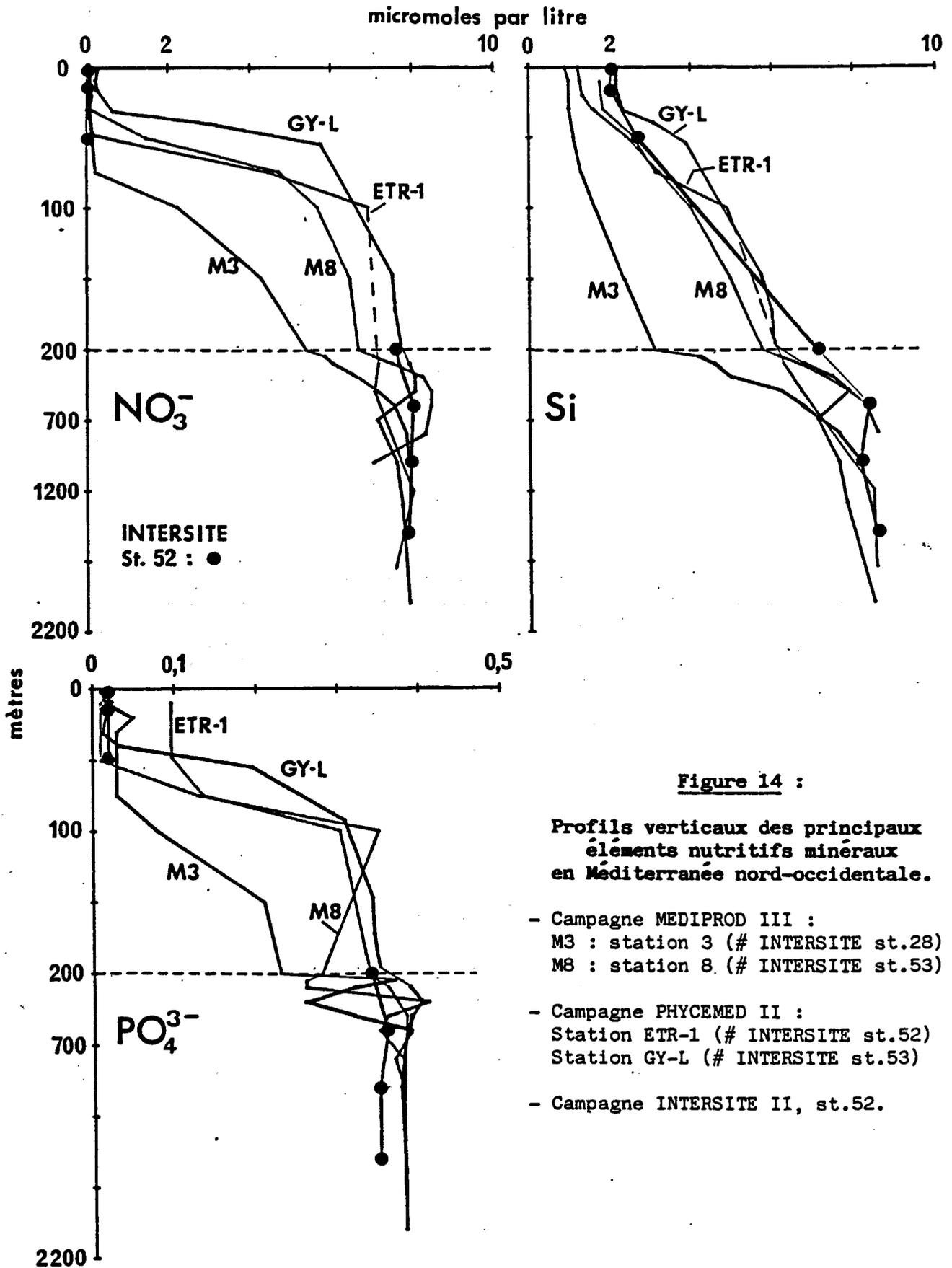
nitrate, phosphate et silicium (paramètres mesurés simultanément par la plupart des autres auteurs) de celui du nitrite et de l'ammonium (rarement mesurés).

III.3.3. Nitrate, phosphate, silicium

Les caractéristiques des eaux remontant en surface peuvent être appréhendées par l'étude de profils verticaux effectués en Méditerranée nord-occidentale. Dans ce but, nous avons regroupé sur la figure 14 des profils effectués par nous-mêmes ou de précédents auteurs en différents points de la zone étudiée.

Nous constatons l'augmentation des concentrations avec la profondeur, vers des valeurs à peu près constantes et très proches, pour toutes les stations, à partir de 500 à 1 000 m selon les composés. Mais, nous nous intéresserons plus particulièrement aux eaux superficielles des 200 premiers mètres dont sont issues les remontées côtières. C'est dans cette zone que les gradients importants font la transition entre la couche de surface (épaisseur : 25 à 75 m), très pauvre en éléments nutritifs, et les eaux profondes. On remarque que les gradients de concentration présentent des caractéristiques différentes (profondeur, intensité) selon le paramètre ou le lieu considéré. Ainsi, les gradients de phosphate et de nitrate sont plus intenses que ceux de silicium. En outre, au voisinage de la côte (st. M3, fig. 14), les gradients verticaux sont moins marqués qu'au large.

Les concentrations en composés nutritifs, mesurées en surface après une résurgence d'eau subsuperficielle, peuvent donc être assez différentes selon la profondeur ou le lieu d'où provient l'eau. Les rapports entre ces composés peuvent également être très variables compte tenu des différences de gradients mis en évidence. Les graphes sel nutritif-température (fig. 13) font déjà apparaître une différence importante entre la résurgence du Golfe du Lion et celle des environs de Toulon : pour une même chute de température, l'accroissement des concentrations est beaucoup plus important dans le Golfe du Lion. Ce fait semble confirmer les forts gradients déjà signalés par CAHET et al. (1972).



La différenciation des caractéristiques nutritives peut être précisée par les relations entre deux composés. Ainsi, la figure 15 présente les relations $\text{NO}_3^- - \text{Si}$ et $\text{NO}_3^- - \text{PO}_4^{3-}$ pour la campagne INTERSITE II et, à titre de comparaison, quelques résultats de la campagne MEDIPROD III. Les eaux remontant dans le Golfe du Lion ressortent comme beaucoup plus riches en silicium pour une même concentration de nitrate que les eaux remontant près de Toulon. Ces dernières ont des caractéristiques très similaires à celles relevées dans le courant liguro-provençal, lors de la campagne MEDIPROD III. L'enrichissement en silicium des eaux du Golfe du Lion peut être relié à l'existence du plateau continental. Ce dernier, en effet, représente la zone de profondeur maximale de redissolution de la silice biogénique que l'on retrouve donc dans les eaux susceptibles de remonter en surface. Dans cette hypothèse, la plus forte productivité de cette zone de la Méditerranée nord-occidentale ne peut qu'accentuer l'enrichissement constaté.

A l'aide des mesures de sels nutritifs, il était intéressant de recouper les conclusions de l'hydrologie selon lesquelles l'eau remontant dans la région de Toulon proviendrait d'environ 100 m de profondeur. A l'aide des résultats des campagnes PHYCEMED II et MEDIPROD III, nous avons cherché à établir une relation entre les concentrations en nitrate et silicium et la profondeur dans le courant liguro-provençal. Le procédé a consisté à déterminer, pour certaines concentrations données de nitrate (1,5, 2, 3 et 4 $\mu\text{mol/l}$), les valeurs de silicium et la profondeur correspondante (ces valeurs ont été obtenues par interpolation sur les profils verticaux).

Les graphes $\text{Si} = f(z)$, pour les différentes concentrations de nitrate, font apparaître une relation qui permet de fixer un niveau approximatif de remontée des eaux (fig. 16). Ainsi, aux stations 16 et 18, l'eau observée en surface proviendrait respectivement de profondeurs d'environ 75 m (± 15 m) et 65 m (± 15 m). Ces niveaux sont légèrement inférieurs à la centaine de mètres déduite des mesures d'hydrologie. Ils nous paraissent toutefois plus rigoureux puisqu'ils reposent sur des relations établies à l'aide de nombreuses mesures. Remarquons que les relations $\text{Si} = f(z)$ font apparaître un second niveau plus profond auquel on retrouve des valeurs identiques de silicium. Nous avons exclu, a priori, la possibilité de remontée d'eau de profondeurs aussi grandes (> 150 m) lors de résurgences côtières engendrées par le vent.

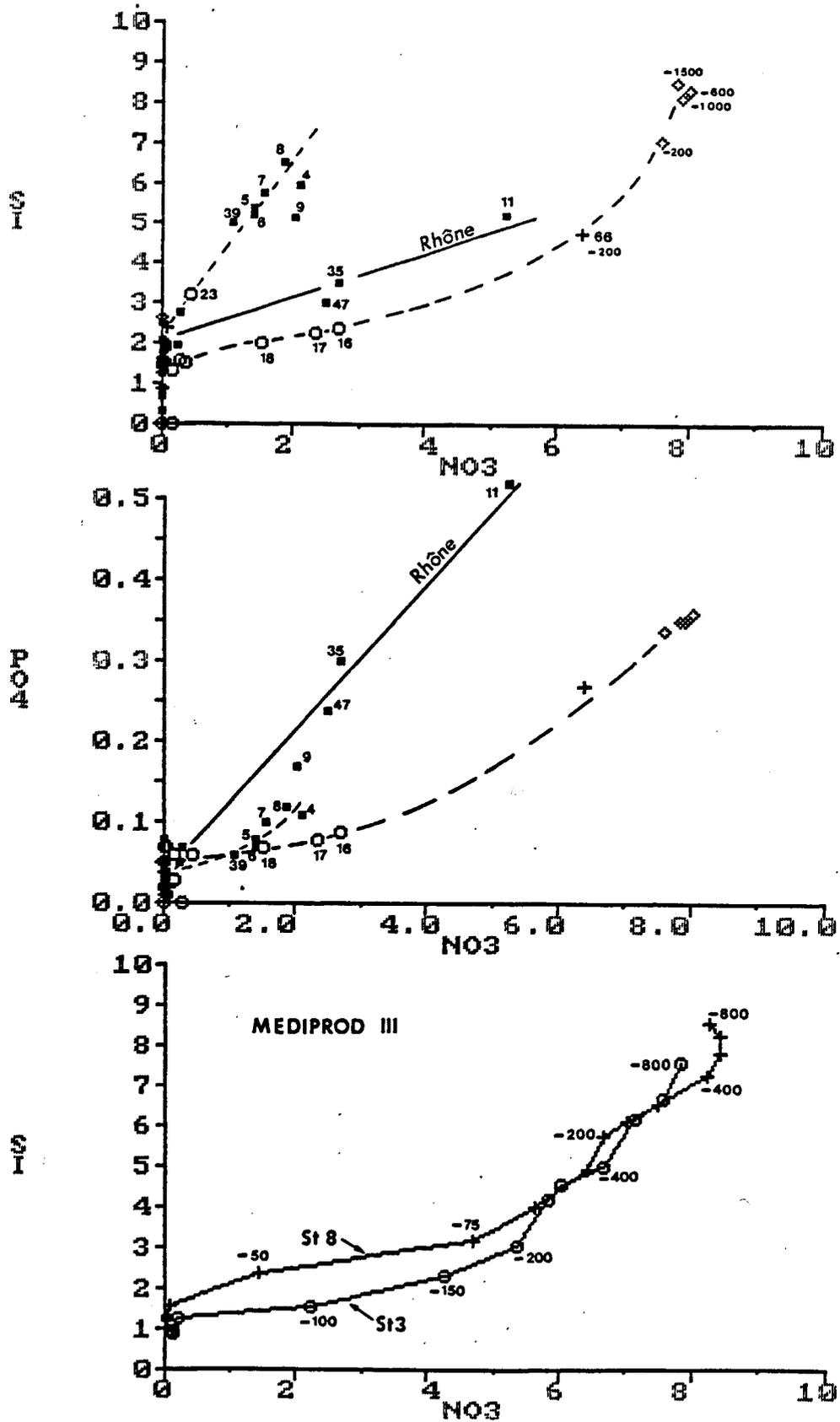


Figure 15 :

Relations $\text{Si}-\text{NO}_3$ et PO_4-NO_3 au cours de la campagne INTERSITE II.

Comparaison avec les relations $\text{Si}-\text{NO}_3$ aux stations 3 et 8 de la campagne MEDIPROD III
(st. 3 # INTERSITE st. 28 ; st. 8 # INTERSITE st. 53).

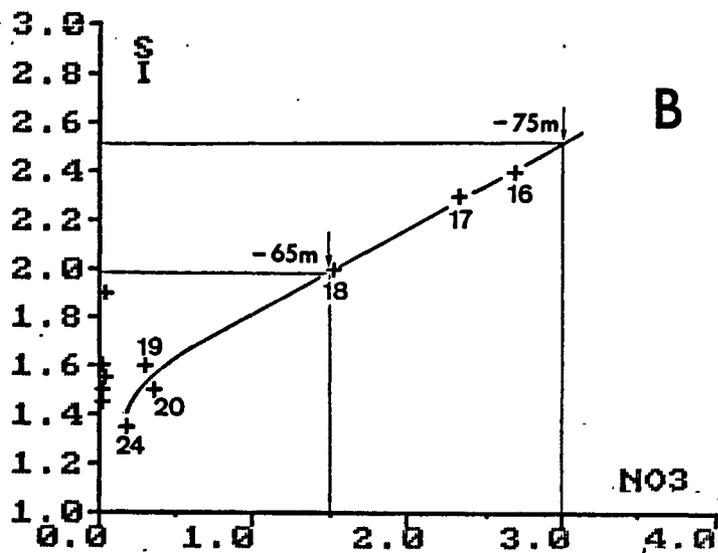
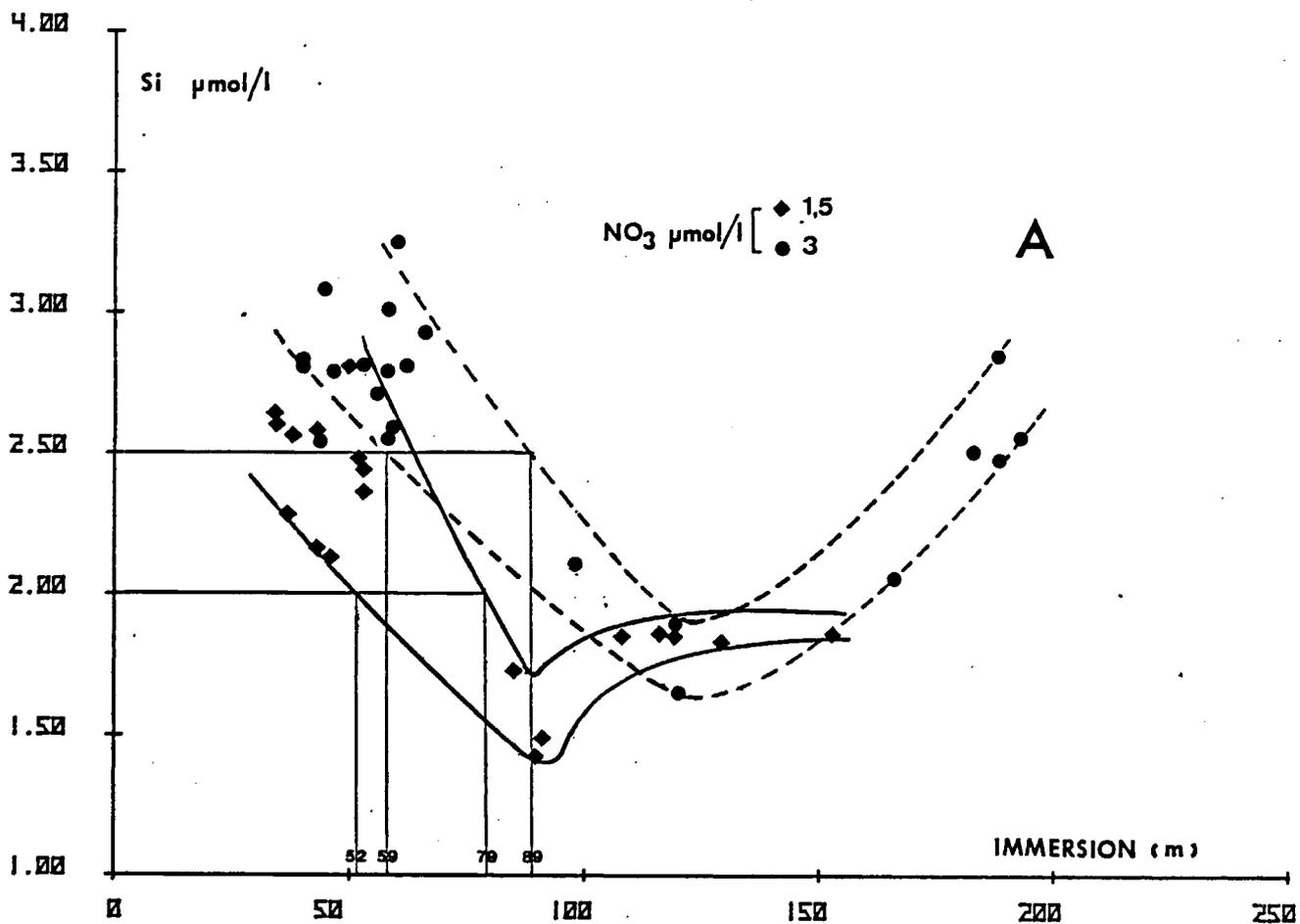


Figure 16 :

Relation entre les concentrations en silicium et nitrate et la profondeur.

A : Relation entre les concentrations de silicium et l'immersion pour deux concentrations de nitrate (1,5 et 3 $\mu\text{mol/l}$), d'après les résultats des campagnes PHYCEMED II et MEDIPROD III.

B : Détermination de la profondeur de remontée des eaux de Provence lors de la campagne INTERSITE II (d'après A).

III.3.4. Ammonium, nitrite

Ces deux paramètres n'ont pas fait l'objet de mesures systématiques au cours des campagnes effectuées en Méditerranée. Généralement, en milieu océanique, ces deux composés du cycle de l'azote sont à des concentrations extrêmement faibles.

L'ammonium en particulier, première étape de la minéralisation de l'azote organique est rapidement oxydé en nitrite puis nitrate. En outre, c'est un composé préférentiellement assimilé par le phytoplancton.

Les mesures réalisées pendant la campagne INTERSITE montrent que les eaux remontant à la surface ne présentent guère de concentrations supérieures à 0,15 $\mu\text{mol/l}$. Ceci doit être considéré comme une valeur faible et tout à fait comparable aux concentrations normales des eaux de surface de Corse (0,05 à 0,12 $\mu\text{mol/l}$) ou du large (0,12 et 0,21 $\mu\text{mol/l}$).

Seules quatre stations (7, 8, 10 et 16), très proches de la côte, présentent des teneurs supérieures (0,20 à 0,40 $\mu\text{mol/l}$). Plusieurs interprétations ont été données pour expliquer des maximums subsuperficiels d'ammonium dans les zones de résurgence : régénération rapide de l'azote organique, apport par le zooplancton ou le benthos (COSTE et MINAS, 1982 ; MINAS et al., 1982). Dans le cas présent, trois des stations concernées (7, 8 et 10) sont situées dans une zone de faible profondeur (9 à 20 m) à l'ouest du delta du Rhône. La productivité biologique de cette zone est plus importante qu'ailleurs et on pourrait envisager l'hypothèse d'une excrétion zooplanctonique. Toutefois, remarquons qu'à ces stations on trouve une turbidité élevée (2 à 5 mg/l de matières en suspension) qui peut s'expliquer soit par une remise en suspension des sédiments benthiques superficiels, soit par une remontée en surface, avec l'eau de fond, du néphéloïde profond (ALOÏSI et al., 1982). Dans l'une ou l'autre de ces deux hypothèses, il faut s'attendre à un enrichissement en ammonium. En effet, l'eau interstitielle des sédiments superficiels est en général enrichie en ammonium par l'activité hétérotrophique et il est logique de penser qu'il en est de même du néphéloïde profond dont la forte teneur en matière organique a été prouvée (ALOÏSI et al., 1982). Quant à la valeur relevée à la station 16 (0,26 $\mu\text{mol/l}$), elle ne peut pas être attribuée à un effet sédimentaire mais plus vraisemblablement à la reminéralisation qui se produit au niveau du gradient de nitrate, c'est-à-dire vers l'immersion 80 m où se trouvait l'eau avant sa remontée.

Les concentrations en nitrite paraissent plus spécifiquement associées aux remontées d'eaux à la côte. On note de plus fortes concentrations dans le Golfe du Lion qu'au voisinage de Toulon (tableau II). Les travaux de CAHET et al. (1972) dans le Golfe du Lion font état de concentrations de nitrite de 0,1 à 0,2 $\mu\text{mol/l}$ dans les eaux situées juste sous la thermocline, soit vers 40-50 m, dont les salinités sont de 35,10 à 35,20 ‰. Ces valeurs correspondent tout à fait à celles que nous avons mesurées dans les eaux de résurgence côtière. Les eaux très pauvres ($< 0,01 \mu\text{mol/l}$), habituellement observées au-dessus de la thermocline, ne sont retrouvées que plus au large où elles ont été repoussées.

Dans le secteur de Toulon, les concentrations de nitrite (0,03 à 0,10 $\mu\text{mol/l}$) sont significativement supérieures au "bruit de fond" des eaux superficielles ($< 0,01 \mu\text{mol/l}$). En outre, la relation nitrite-température (fig. 13) confirme qu'il ne s'agit pas d'une pollution mais de valeurs naturellement trouvées dans les eaux subsuperficielles. Les nitrites ayant rarement été mesurés au cours des campagnes antérieures en Méditerranée, nous n'avons confirmation de l'existence d'un maximum de nitrite à la limite inférieure de la zone euphotique que grâce aux mesures de MARGALEF et al. (1966). Ce maximum est couramment observé en milieu océanique (VACCARO et RYHER, 1960 ; KIEFER et al., 1976). Le processus principal responsable de la présence de nitrite est l'excrétion de ce composé par le phytoplancton placé dans de mauvaises conditions d'éclairement et disposant de nitrate en abondance. Il a en outre été montré que la nitrification contribue aussi à ce maximum de nitrite (MIYAZAKI et al., 1973). Dans le cas présent, le profil effectué au large (st. 52) présente un espacement trop important des niveaux échantillonnés pour mettre en évidence un maximum de nitrite dont on peut supposer qu'il est très limité verticalement. Faute de profils verticaux satisfaisants, nous avons cherché à en donner une image en traçant, pour les deux zones de résurgence, l'évolution du nitrite en fonction de la densité (fig. 17). Cette analyse fait l'hypothèse d'un maintien des caractéristiques physico-chimiques (température, salinité) dans les eaux échantillonnées en surface et initialement situées en profondeur. Elle permet de reconstituer une structure verticale relative à partir des seules mesures de surface.

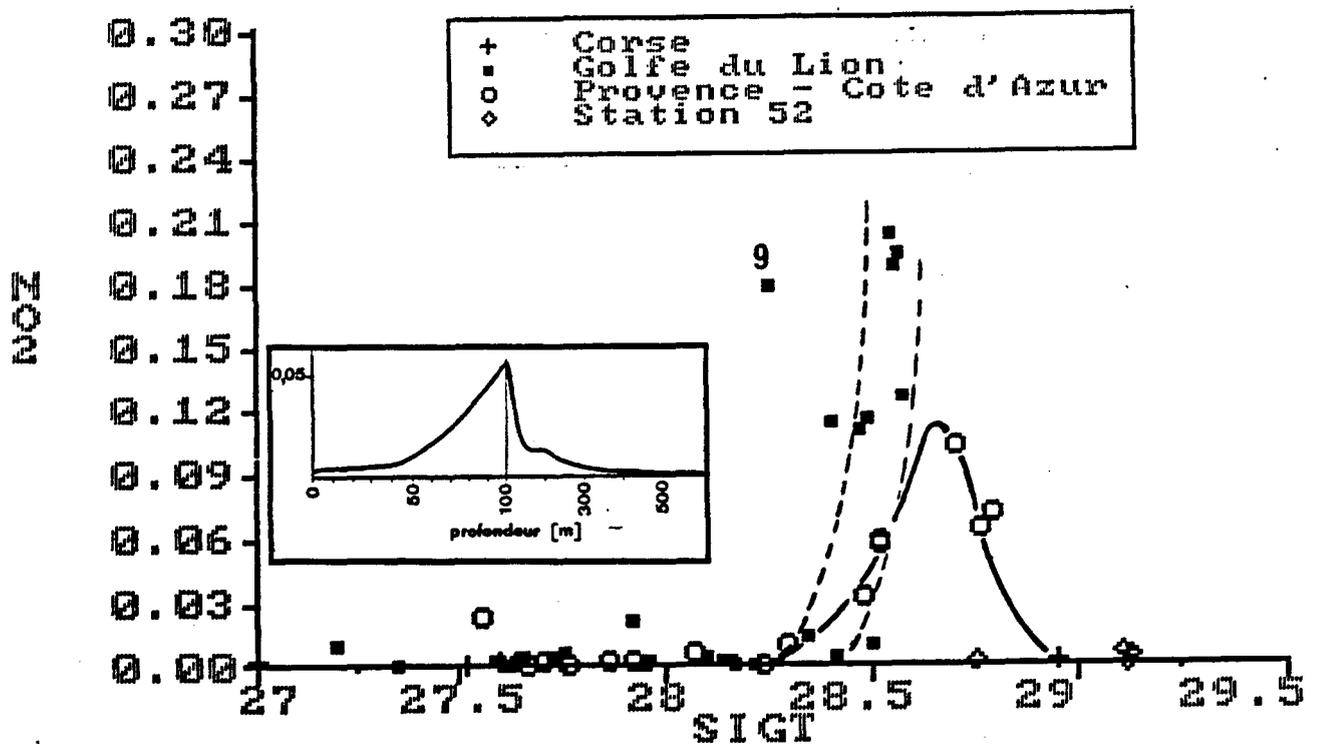


Figure 17 :

Concentrations de nitrite en fonction de la densité
(représentée par "sigma t").

En encadré : profil vertical de nitrite en mer tyrrhénienne
(MARGALEF et al., 1966).

On constate, en particulier pour la résurgence de Toulon, que l'on met bien en évidence un maximum de nitrite à une certaine profondeur. Faute d'un nombre suffisant de points sa situation ne peut pas être exactement précisée, mais nous pouvons le placer légèrement au-dessus du niveau de remontée des eaux à la station 18. Comme l'interprétation des données de nitrate et silicium indiquait à cette station une remontée du niveau 65 m, nous situerons le maximum de nitrite dans les 10 mètres supérieurs, soit vers 55-65 m. Quant à la zone de présence de nitrite, elle s'étale sur plusieurs dizaines de mètres, comme le montre également (fig. 17) le profil effectué par MARGALEF et al. (1966).

Dans le Golfe du Lion, le gradient de nitrite paraît plus important par rapport à la variation de la densité. Toutefois la transposition par rapport aux profondeurs, comme nous l'avons fait pour le secteur de Toulon, n'est pas réalisable ici. Les mesures ne permettant pas la mise en évidence d'un maximum à une profondeur déterminée, avec retour à de faibles valeurs au-dessous de ce niveau. Il semblerait plutôt qu'il s'agisse d'une augmentation rapide et régulière de nitrite au voisinage du fond sur le plateau continental.

III.4. Conclusion

Les mesures des formes nutritives sont en accord avec les caractéristiques hydrologiques de la zone étudiée. Les deux faits marquants sont bien identifiés : dilution des eaux du Rhône et résurgences côtières des eaux profondes.

Dans le panache du Rhône, nous avons pu mettre en évidence une zone de productivité importante où les sels nutritifs étaient consommés.

L'interprétation des concentrations dans les deux principales zones de résurgence (Golfe du Lion, secteur de Toulon) a mis en évidence des caractéristiques différentes de ces eaux. Il s'agit d'une richesse plus importante des eaux du Golfe du Lion en silicium et en nitrite. Ce fait est attribué à la plus forte productivité de cette région associée à la présence du plateau continental, zone d'accumulation et de régénération de la matière biogénique.

A l'aide des éléments nutritifs, nous avons également pu confirmer ou préciser les niveaux de remontée des eaux dans les deux secteurs concernés (40-50 m dans le Golfe du Lion, 70-80 m près de Toulon). En outre, la mise en évidence d'un maximum de nitrite au niveau du gradient de nitrate a été établie et sa profondeur estimée à 60-70 m, en nous appuyant sur des données hydrologiques acquises antérieurement par d'autres auteurs.

IV. MATIERE ORGANIQUE DISSOUE

L'étude de la matière organique dissoute a été abordée sous une forme globale par les mesures du carbone, de l'azote et du phosphore organique dissous. En outre, les amines primaires totales (dont les acides aminés) et l'urée ont été également mesurés.

IV.1. Matériel et méthodes

Les échantillons prélevés pour l'analyse des nitrate, phosphate et ammonium servent également à l'analyse du carbone organique, de l'azote organique et des amines primaires. Un second échantillon, traité dans les mêmes conditions, sert à l'analyse du phosphore organique.

L'urée est analysée dans l'échantillon prélevé également pour nitrite et silicium.

Le carbone organique dissous (COD) est analysé par une méthode automatisée, dérivée de celle de SCHREURS (1978).

L'azote organique dissous (NOD) est analysé sous forme de nitrate après oxydation totale selon la méthode de SOLORZANO et SHARP (1980). La différence entre les concentrations, avant et après oxydation, déduction faite de l'ammonium, donne l'azote organique.

Le phosphore organique dissous (POD) est analysé par une méthode automatique basée sur l'oxydation UV du phosphore organique en phosphate (KEROUEL et AMINOT, non publié). On mesure donc la somme $PO_4 + POD$ dont on soustrait le phosphate pour obtenir le POD. Les polyphosphates minéraux ne sont pas hydrolysés ; les polyphosphates organiques ne sont que partiellement hydrolysés (ex : ATP # 60 %).

L'urée est mesurée par une méthode automatique (AMINOT et KEROUEL, 1982).

Les amines primaires totales sont mesurées par la méthode automatique de JOSEFSSON et al., 1977, après formation d'un dérivé fluorescent obtenu par réaction avec l'orthophtaldialdéhyde (OPA). Certains auteurs préfèrent parler de "composés réactifs à l'OPA" car le coefficient de réponse des fonctions aminées peut varier selon la structure moléculaire. La réponse est corrigée de celles de l'ammonium et de la fluorescence naturelle.

IV.2. Description générale

IV.2.1. Distribution spatiale

Les figures 18 à 22 présentent les distributions spatiales des différents paramètres de la matière organique.

Une assez grande homogénéité étant constatée en surface, nous avons synthétisé dans le tableau III les niveaux de concentration dans les différents secteurs étudiés.

Nous avons vu, avec les paramètres précédents, que les eaux de résurgence se caractérisaient par leurs différences significatives de concentration par rapport aux eaux trouvées normalement en surface. Cette identification n'est pas aussi évidente avec les paramètres de la matière organique pour lesquels les différences sont inexistantes ou faibles. Toutefois, pour le COD, les plus faibles valeurs de surface sont systématiquement trouvées dans les eaux de résurgence. Dans le Golfe du Lion, c'est le seul paramètre qui distingue ces eaux du point de vue organique. Dans la résurgence du secteur de Toulon, l'eau se caractérise, en outre, par les plus faibles valeurs de NOD et d'amines primaires. Dans la zone de dilution des eaux du Rhône, les concentrations ne s'élèvent pas non plus de façon importante. En effet, les concentrations dans le fleuve ne sont que 2 à 8 fois plus élevées que les concentrations marines ce qui, aux salinités rencontrées, ne correspond pas à un enrichissement très significatif. Seule l'urée se distingue avec un niveau fluvial environ 50 fois supérieur au niveau marin.

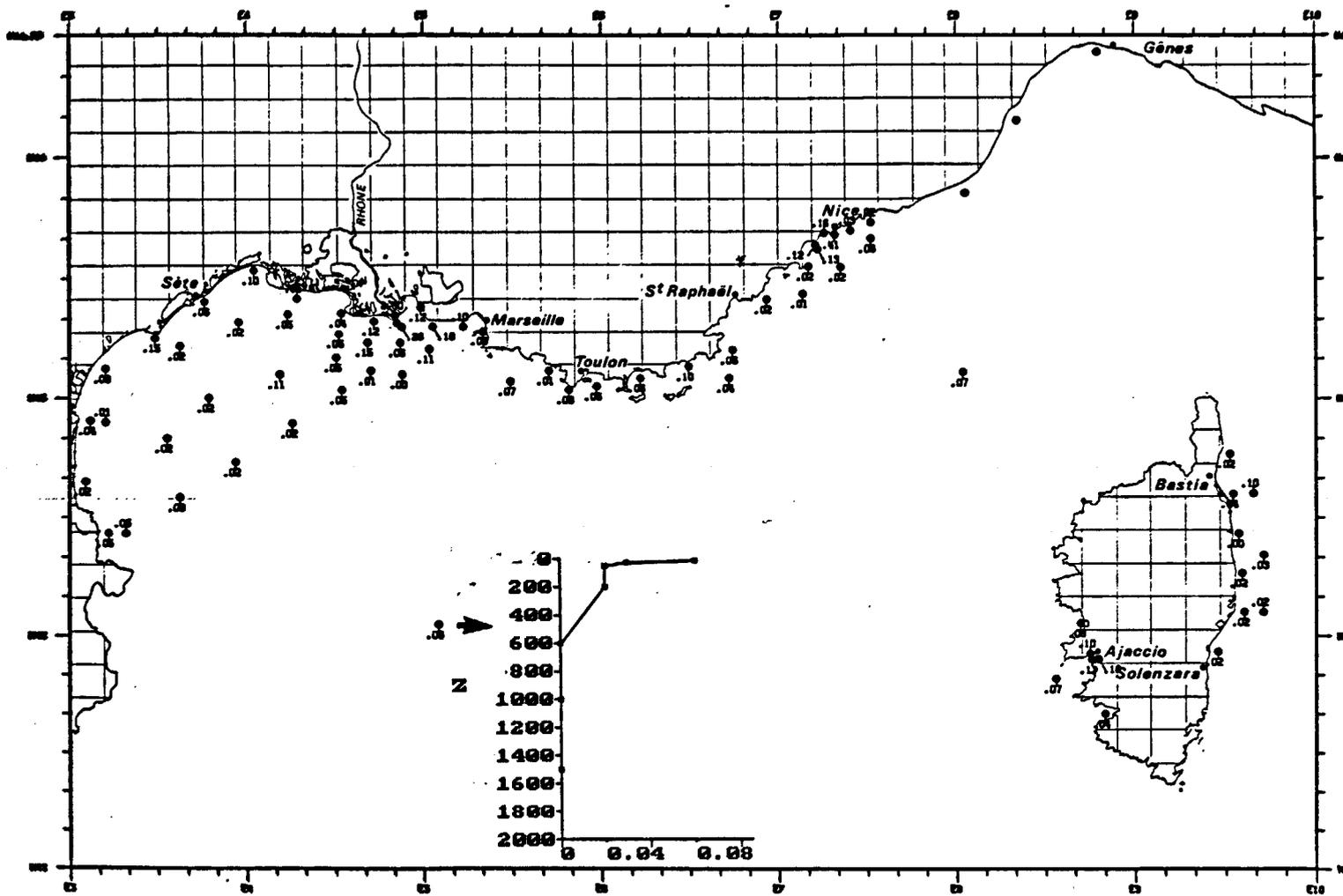


Figure 18 :

Répartition des concentrations en urée ($\mu\text{mol/l}$ d'azote)
lors de la campagne INTERSITE II.

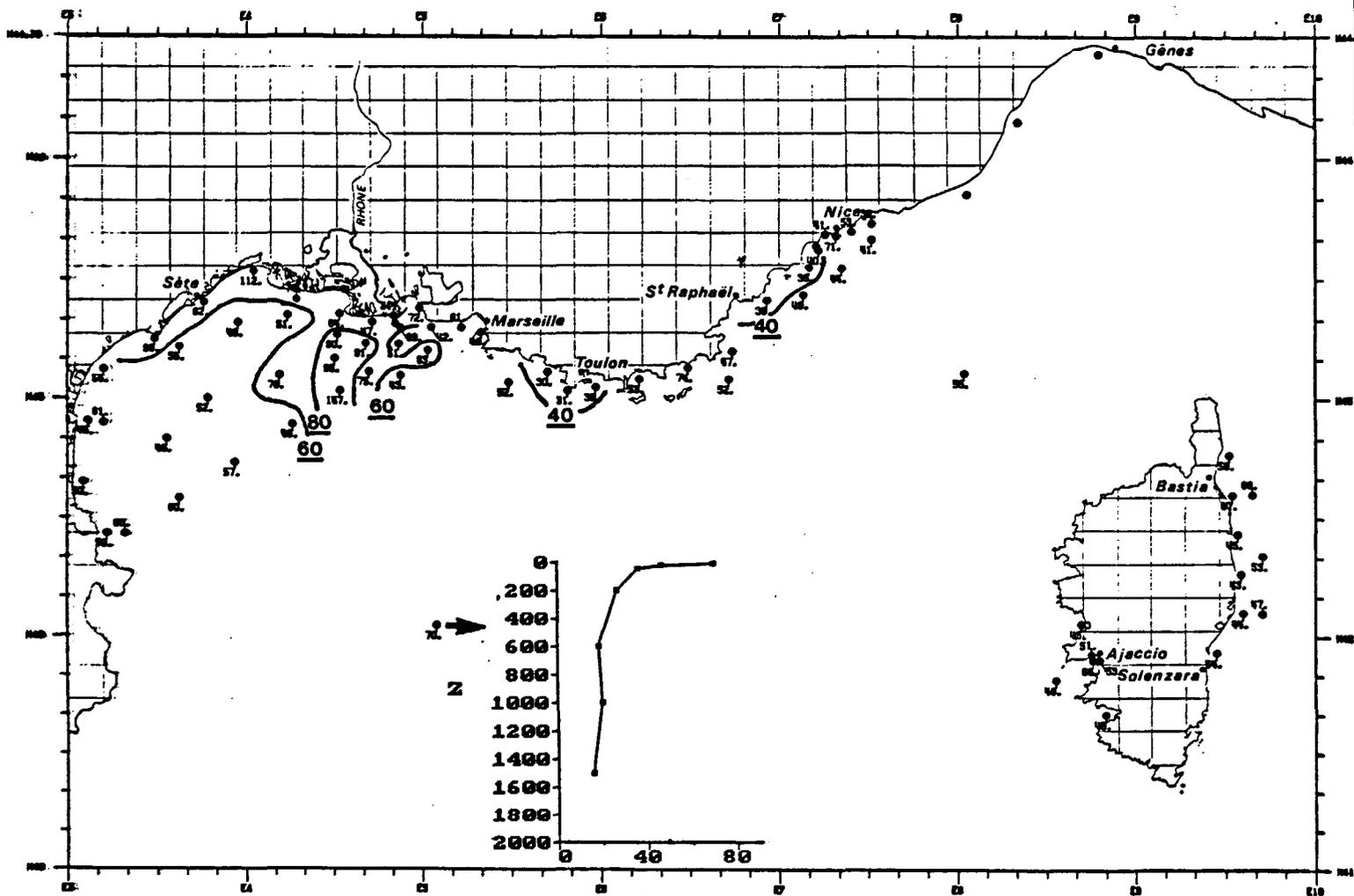


Figure 19 :

Répartition des concentrations en amines primaires (nmol/l)
lors de la campagne INTERSITE II.

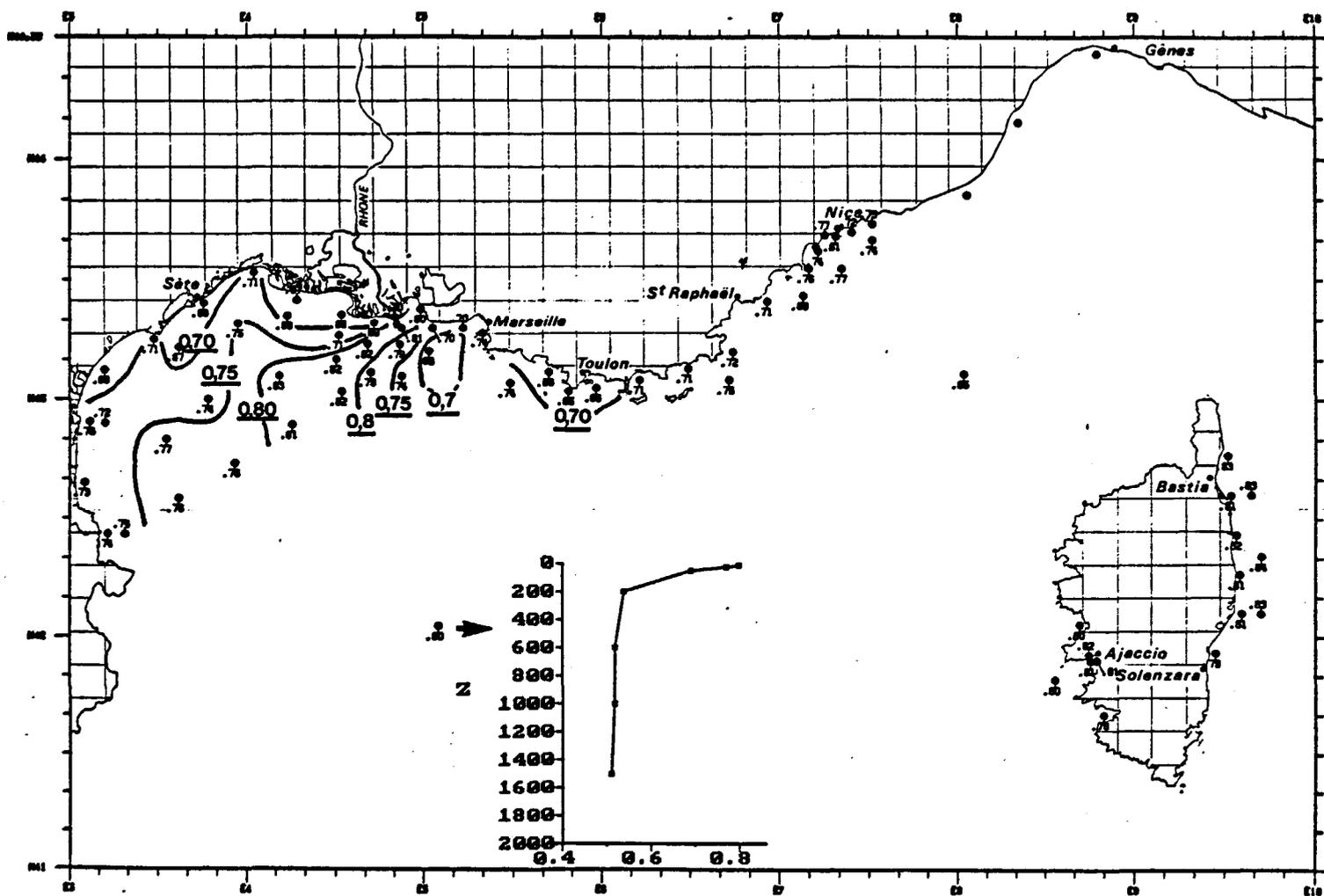


Figure 20 :

Répartition des concentrations en COD (mg/l)
lors de la campagne INTERSITE II.

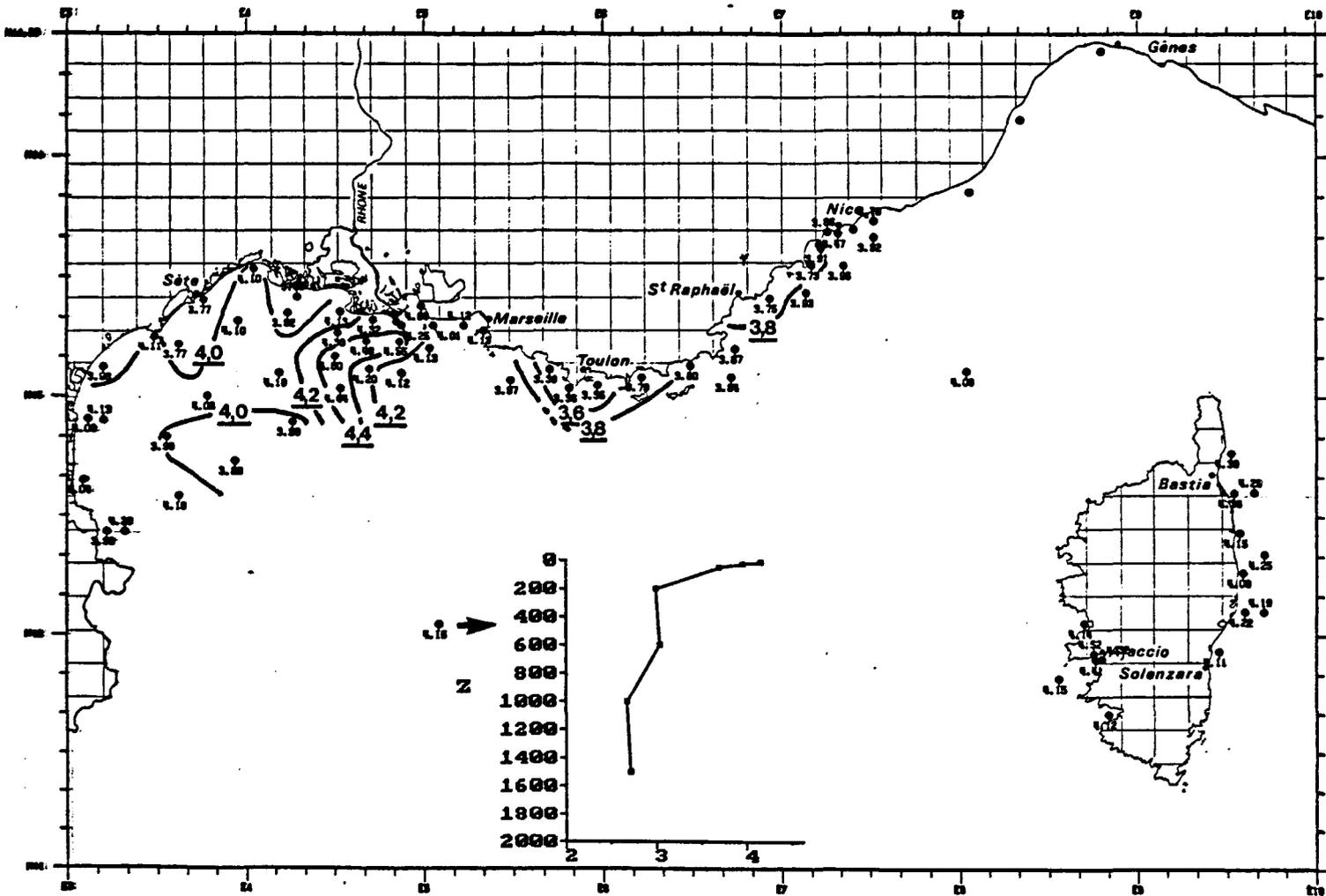


Figure 21 :

Répartition des concentrations en NOD ($\mu\text{mol/l}$)
lors de la campagne INTERSITE II.

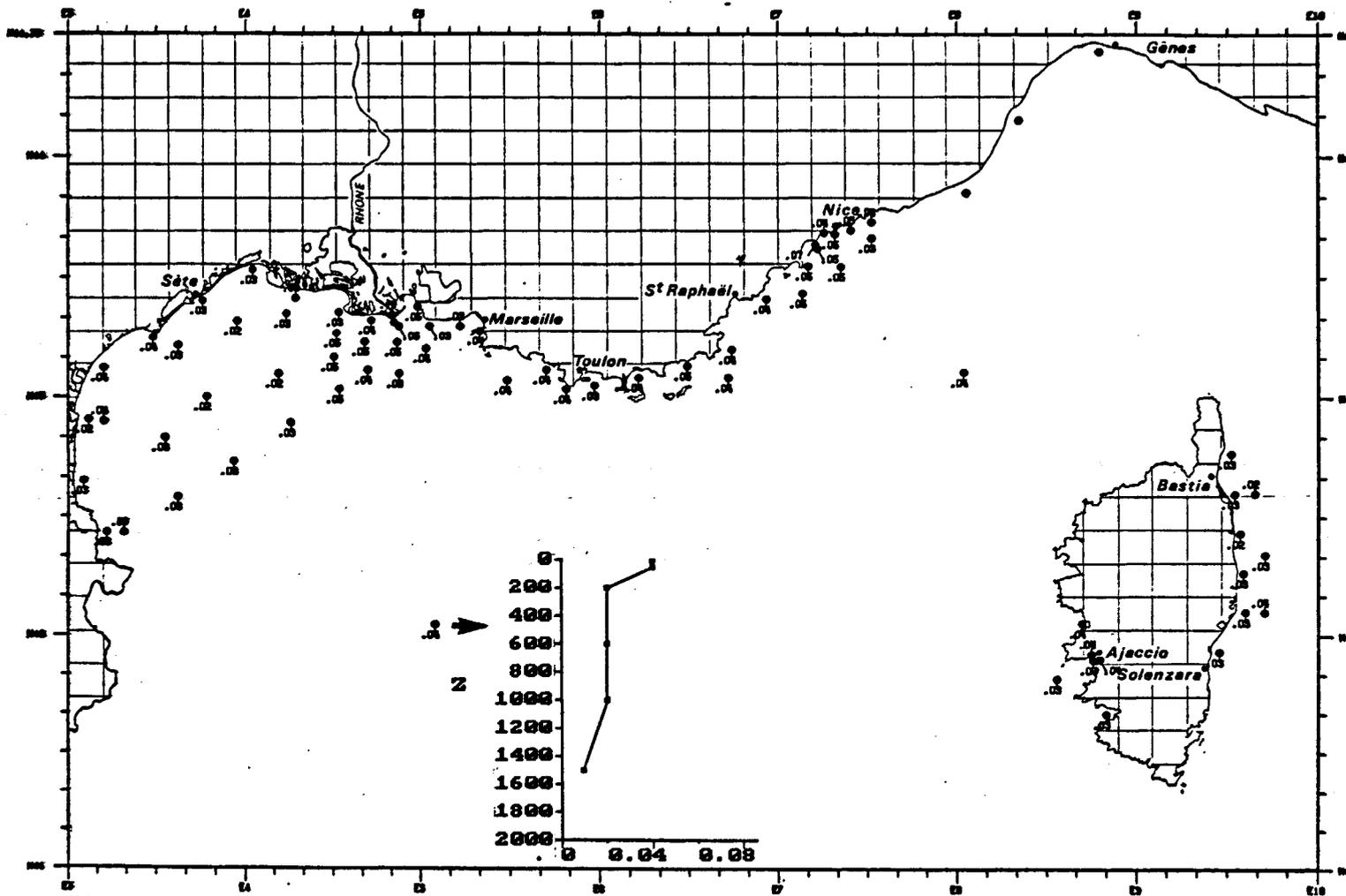


Figure 22 :

Répartition des concentrations en POD ($\mu\text{mol/l}$)
lors de la campagne INTERSITE II.

Tableau III :

**Fourchettes de concentrations des différents paramètres de la matière organique
dans les eaux de surface des principaux secteurs étudiés au cours de la campagne INTERSITE II
(expressions en $\mu\text{mol/l}$, sauf indication spéciale).**

SECTEUR	Urée (en N)	Amines primaires (en N)	POD	NOD	COD	COD (mg/l)
<u>CORSE</u>	0,00 - 0,11	0,043 - 0,069	0,02 - 0,04	4,09 - 4,52	65 - 70	0,78 - 0,84
<u>COURANT LIGURE</u> (St. 52-53)	0,06 - 0,07	0,055 - 0,070	0,04 - 0,05	4,09 - 4,16	66,5 - 71	0,80 - 0,85
<u>PROVENCE-COTE D'AZUR</u>						
. Stations du large	0,01 - 0,06	0,041 - 0,052	0,03 - 0,05	3,84 - 3,96	61,5 - 66,5	0,74 - 0,80
. Stations côtières	0,02 - 0,10	0,035 - 0,074	0,04 - 0,05	3,73 - 3,93	59 - 63,5	0,71 - 0,76
. Résurgence TOULON	0,01 - 0,06	0,030 - 0,039	0,03 - 0,04	3,36 - 3,55	54 - 55	0,65 - 0,66
<u>GOLFE du LION</u>						
. Stations du large	0,02 - 0,11	0,046 - 0,078	0,02 - 0,03	3,89 - 4,18	61,5 - 69	0,74 - 0,83
. Résurgence côtière	0,02 - 0,15	0,048 - 0,112	0,02 - 0,04	3,77 - 4,13	56 - 59	0,67 - 0,71
<u>RHONE</u> (eau douce)	2,5	0,211	0,19	# 10	108	1,30
<u>EAU PROFONDE</u> (St. 52, 1 000 m)	0,00	0,020	0,02	2,68	43	0,52

IV.2.2. Comparaison avec les résultats d'autres auteurs

Bien que la matière organique ait intéressé les océanographes depuis de nombreuses années, il n'existe cependant qu'un nombre assez faible de résultats sur la Méditerranée occidentale (les difficultés analytiques en sont vraisemblablement responsables).

Pour l'urée, nous n'avons pas connaissance d'autres résultats publiés dans cette zone.

Pour les amines primaires, des mesures d'acides aminés libres dissous ont été faites par DAUMAS (1976) à une station située au centre du Golfe de Marseille (à 2 milles de la côte), au cours d'un cycle annuel. Ses résultats montrent des concentrations de surface comprises entre 80 et 800 nmol/l, avec une moyenne de l'ordre de 500 nmol/l. Au cours de la campagne INTERSITE II, les mesures faites aux stations 13 et 14, situées de part et d'autre du Golfe de Marseille, indiquent respectivement des concentrations de 61 et 49 nmol/l. Il y a donc pratiquement un ordre de grandeur de différence entre les deux séries de mesures. Nous ne pouvons pour le moment pas apporter d'explication à cette différence. Notons seulement que toutes les valeurs de surface de la campagne INTERSITE II sont dans une même gamme (30 à 110 nmol/l).

Concernant le carbone organique dissous, nous disposons de mesures effectuées sur des profils verticaux en Méditerranée occidentale par ROMMETS (in DUURSMA, 1963) à 15 milles au sud de Toulon, par SKOPINTSEV (1966) entre la Sardaigne et l'Italie, par BANOUB et WILLIAMS (1972) le long d'une radiale Gibraltar-Sardaigne et par CAUWET (1985) dans toute la Méditerranée occidentale (campagnes PHYCEMED). La figure 23 montre les stations où le COD a été analysé. Les résultats sont présentés sur la figure 24. La disparité de ces résultats peut surprendre. En milieu océanique, on s'attend en général à une décroissance progressive de la surface vers le fond avec une relative homogénéité au-dessous de 500 m environ (MACKINNON, 1981). Les concentrations sont en général de 1 à 1,5 mg/l en surface et de 0,6 à 0,7 mg/l dans les eaux profondes. Dans le cas de la Méditerranée, il est difficile de fixer des niveaux de concentration sur la base des divers travaux. La très grande variabilité des mesures de CAUWET laisse soupçonner une contamination potentielle et empêche de les retenir, tout au moins pour la Méditerranée nord-occidentale

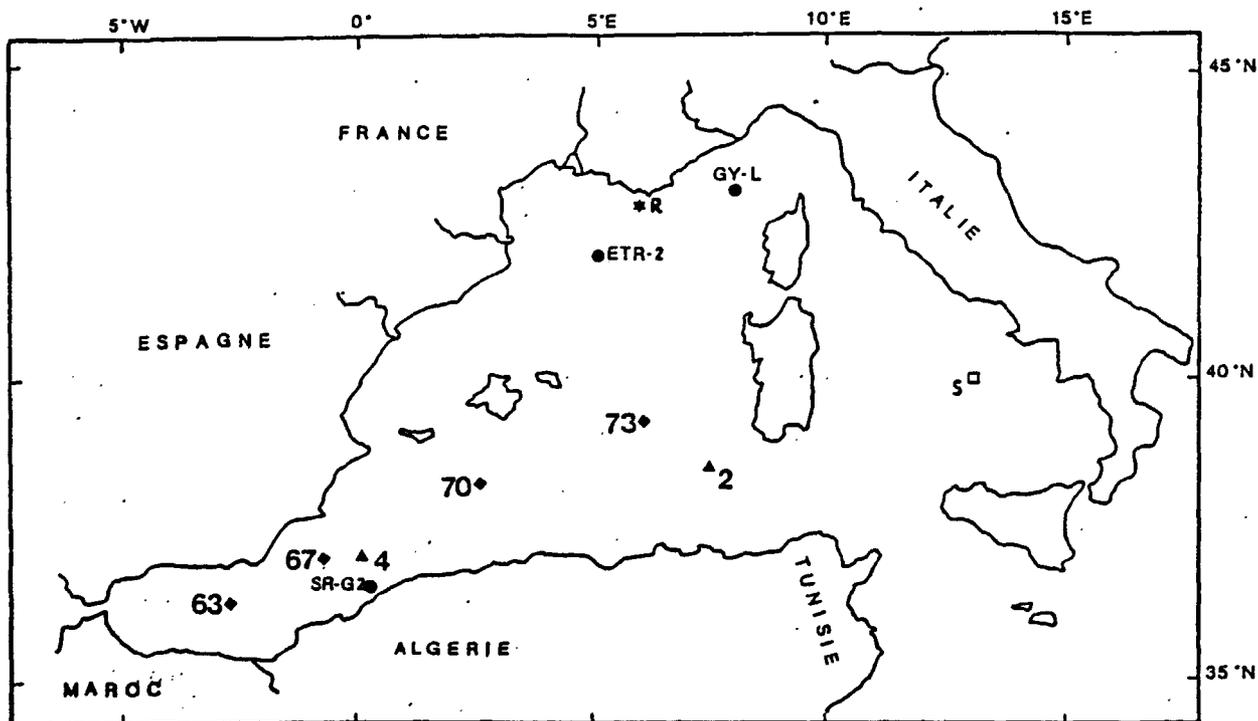


Figure 23 :

Stations de Méditerranée occidentale où des mesures de matière organique dissoute ont été réalisées par différents auteurs.

2 et 4 : BANOUB et WILLIAMS (1972) ; ETR-1, GY-L et SR-G2 : CAUWET (1985) ; 63, 67, 70 et 73 : LE CORRE et al. (1981) ; R : ROMMETS (in DUURSMA, 1963) ; S : SKOPINTSEV (1966).

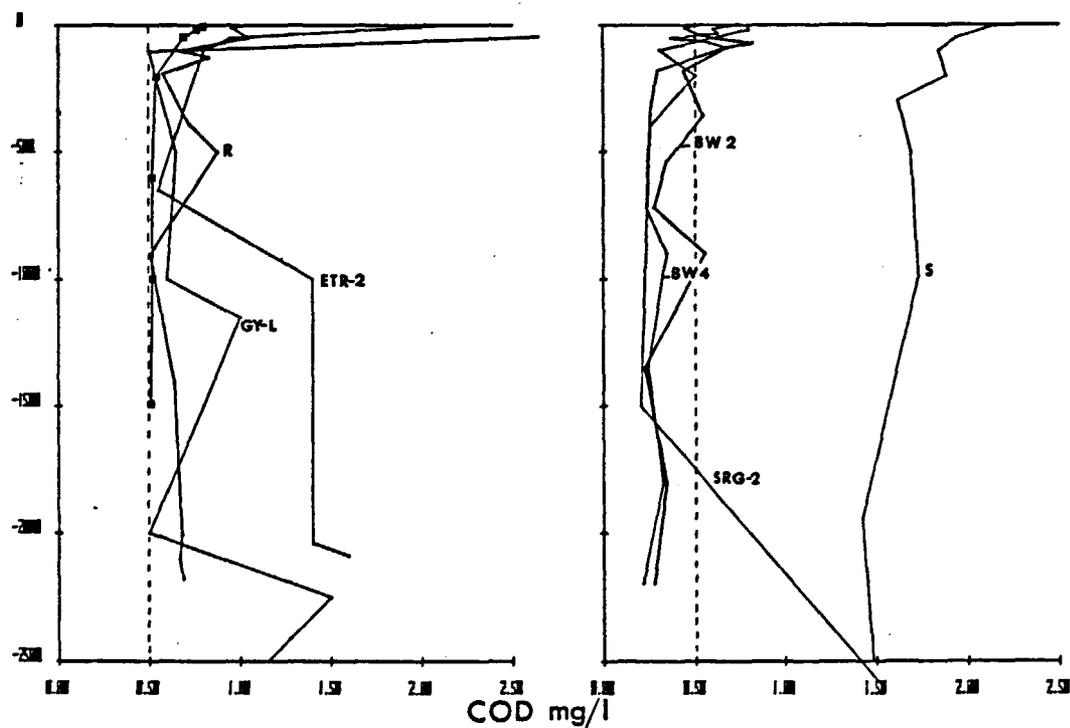


Figure 24 :

Profils verticaux de carbone organique dissous en Méditerranée occidentale.

Les références renvoient aux stations indiquées sur la figure 23.

Carrés pleins : station 52, INTERSITE II (# ETR-2).

qui nous intéresse. En Méditerranée sud-occidentale, les mesures de BANOUB et WILLIAMS coïncident approximativement avec celles de CAUWET, indiquant des valeurs assez faibles : 0,5 à 0,8 mg/l en surface, 0,2 à 0,4 mg/l en profondeur. En revanche, ces mesures sont très inférieures à celles de SKOPINTSEV qui apparaissent comme cohérentes mais indiquent des niveaux proches de 2 mg/l en surface et 1,5 à 1,6 mg/l en profondeur. Notons que les mesures de SKOPINTSEV ont toujours été très supérieures à celles de tous les autres auteurs (MACKINNON, 1981) et, malgré leur homogénéité, semblent devoir être écartées.

Pour la Méditerranée nord-occidentale, il ne reste comme point de comparaison que les mesures de ROMMETS (in DUURSMA, 1963). Ces mesures ont été obtenues avec une méthode très laborieuse (DUURSMA, 1961), ce qui peut expliquer certaines fluctuations sur le profil vertical, simplement du fait de la précision. Les concentrations sont de 1 mg/l environ en surface, tandis qu'en profondeur elles sont de 0,6 à 0,7 mg/l. Comme le montre la figure 24, les valeurs que nous obtenons sont du même ordre, mais inférieures de 0,1 à 0,2 mg/l à celles de ROMMETS. L'évolution des techniques de prélèvements et d'analyse a peut-être permis une moindre contamination et une meilleure reproductibilité, ce que semblerait confirmer la stabilité des concentrations que nous obtenons en profondeur. Les mesures de surface étant plus sujettes à des variations d'origine biologique, on peut s'attendre à des différences selon l'époque et le lieu d'échantillonnage.

A propos de l'azote organique dissous, nous disposons d'encore moins de données que pour le carbone et uniquement en Méditerranée du sud-ouest. Il s'agit des résultats de BANOUB et WILLIAMS (1972), aux mêmes stations que pour le COD, et de ceux de LE CORRE et al. (1984) au cours de la campagne MEDIPROD IV (fig. 23). Nous avons comparé, sur la figure 25, les profils verticaux obtenus par nous-mêmes et ces différents auteurs. A l'examen de ces résultats, nous pensons que les fluctuations importantes le long des profils effectués par BANOUB et WILLIAMS traduisent très vraisemblablement une maîtrise insuffisante des problèmes de contamination. A l'opposé, les mesures de LE CORRE et al. paraissent très cohérentes, non seulement entre elles, mais également si on les rapproche de l'hydrologie. En effet, selon FURNESTIN et al. (1962), on distingue plusieurs couches d'eau : l'eau de surface atlantique puis, vers 200-300 m les eaux d'origine septentrionale, vers 500-1 000 m l'eau orientale, enfin les eaux de fond. On retrouve sur les profils de LE CORRE et al. des variations correspondant

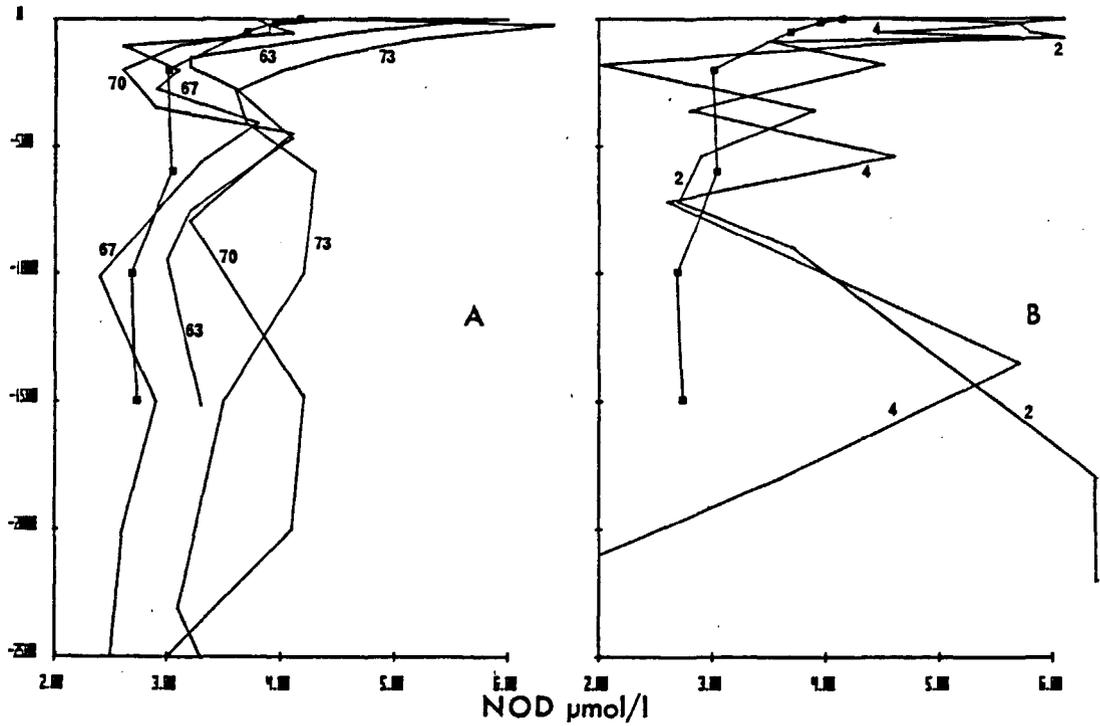


Figure 25 :

**Profils verticaux d'azote organique dissous
en Méditerranée nord-occidentale.**

A : résultats de LE CORRE et al. (1984)

B : résultats de BANOUB et WILLIAMS (1972), voir stations fig. 23

Carrés pleins : station 52, INTERSITE II.

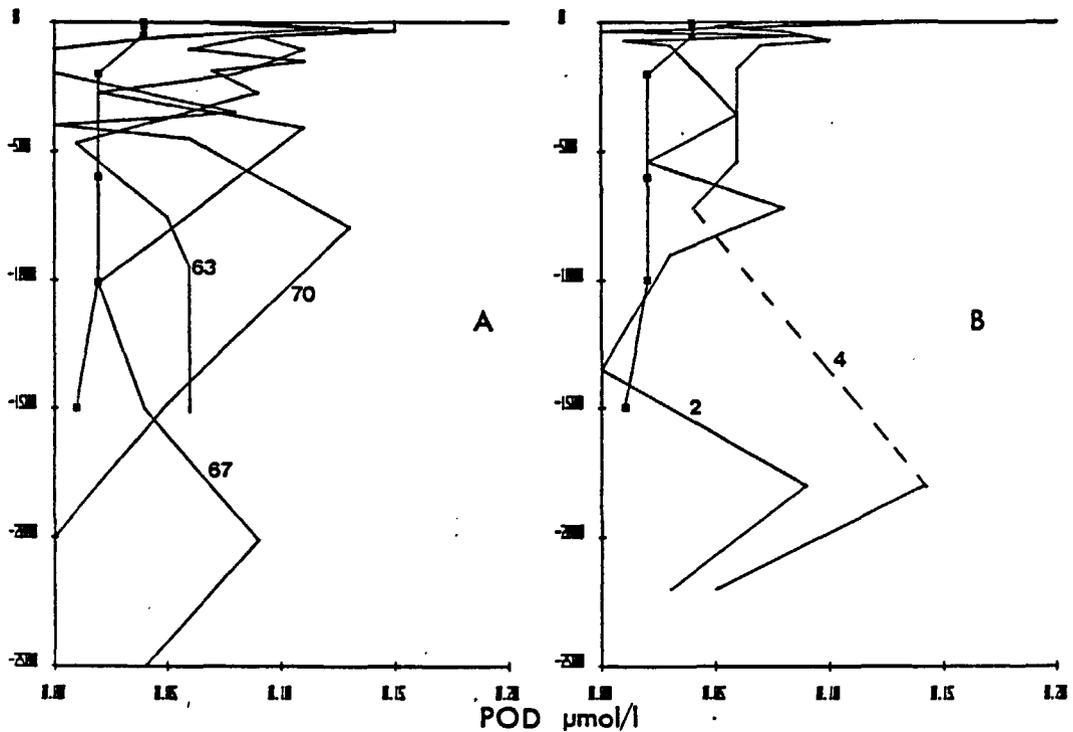


Figure 26 :

**Profils verticaux de phosphore organique dissous
en Méditerranée nord-occidentale.**
(symboles : voir fig. 25).

à ces niveaux, variations qui montrent notamment que l'on pourrait utiliser l'azote organique dissous comme traceur. Cette validation hydrologique des mesures de LE CORRE et al. ne nous permet pas cependant une comparaison directe avec nos résultats, justement en raison de la différence de structure hydrologique entre les bassins nord et sud de la Méditerranée occidentale. Nous constatons seulement d'une part qu'il n'y a pas d'incohérence entre nos résultats et ceux de LE CORRE et al., et d'autre part que nous obtenons une variation régulière de la concentration avec la profondeur, ce qui est en général considéré comme un gage de fiabilité.

En ce qui concerne le phosphore organique dissous, nous ne disposons également comme éléments de comparaison que des résultats de BANOUB et WILLIAMS (1972) et de LE CORRE et al. (1984), toujours en Méditerranée sud-occidentale. Les résultats sont comparés sur la figure 26. Il en ressort une variabilité très importante des résultats des auteurs sus-cités, apparemment sans relation avec les autres paramètres hydrologiques ou chimiques. Sans plus d'éléments d'appréciation, nous ne pouvons considérer ces valeurs comme correctes et nous ne disposons donc pas de point de comparaison avec nos mesures. Remarquons également que nos mesures décrivent un profil régulier tout à fait similaire à celui des autres paramètres NOD et COD.

En conclusion, la comparaison des données de matière organique avec celles d'autres auteurs s'avère difficile. Notons plus particulièrement à propos de nos mesures une certaine régularité, d'apparence logique, dans les profils verticaux de COP, NOP et POP.

Contrairement à ce que l'on pourrait supposer à propos de données de ce type, il apparaît donc que :

- 1) Les données de matière organique dissoute ne sont pas disponibles en grand nombre en Méditerranée.
- 2) On trouve rarement chez un même auteur une large panoplie de paramètres complémentaires.
- 3) Une quantité importante de résultats paraît difficilement interprétable, voire crédible, en raison de leur incohérence.

IV.3. Différenciation des caractéristiques organiques des différentes masses d'eaux

IV.3.1. Composition de la matière organique : carbone, azote, phosphore

IV.3.1.1. Le carbone organique dissous

L'utilisation des paramètres hydrologiques permet d'approfondir la répartition des concentrations. Nous commenterons, en premier lieu, les concentrations de COD, pour donner une vue d'ensemble de la "matière organique dissoute" en général. En effet, le carbone est l'élément majoritaire qui entre pour un pourcentage élevé (# 50 %) et relativement constant dans la matière organique prise globalement ; il peut donc en être considéré comme le meilleur traceur.

L'examen du graphe COD-salinité (fig. 27) fait ressortir plusieurs ensembles de points aux caractéristiques distinctes. On différencie, en premier lieu, les eaux subissant l'influence continentale (impact du Rhône) et les autres, c'est-à-dire, en termes de salinité, celles qui sont inférieures ou supérieures à 38,0 ‰ .. .

Aux salinités supérieures à 38 ‰ .. , deux types d'eaux sont identifiables : d'une part l'eau de Corse et du large (st. 52) à plus forte salinité, d'autre part l'eau côtière de Provence-Côte d'Azur et l'eau du Golfe du Lion, à salinité plus basse. Rappelons que l'étude des paramètres hydrologiques et des éléments nutritifs nous a montré que sur l'ensemble des eaux prélevées il y en avait qui, du fait de la résurgence des eaux subsuperficielles, se trouvaient initialement jusqu'à 70 à 80 m de profondeur. L'ensemble des points de Provence-Côte d'Azur-Golfe du Lion correspond en fait à la tranche d'eau superficielle et cette zone côtière ne présente donc pas de différence significative de concentration par rapport à l'eau du large (st. 52).

Les deux ensembles de points, qui ne se distinguent donc que par la salinité, caractérisent néanmoins les eaux côtières de Provence-Côte d'Azur (- 0,2 ‰ ..) par rapport aux eaux du large du courant liguro-provençal. Ceci serait en accord avec le schéma de circulation

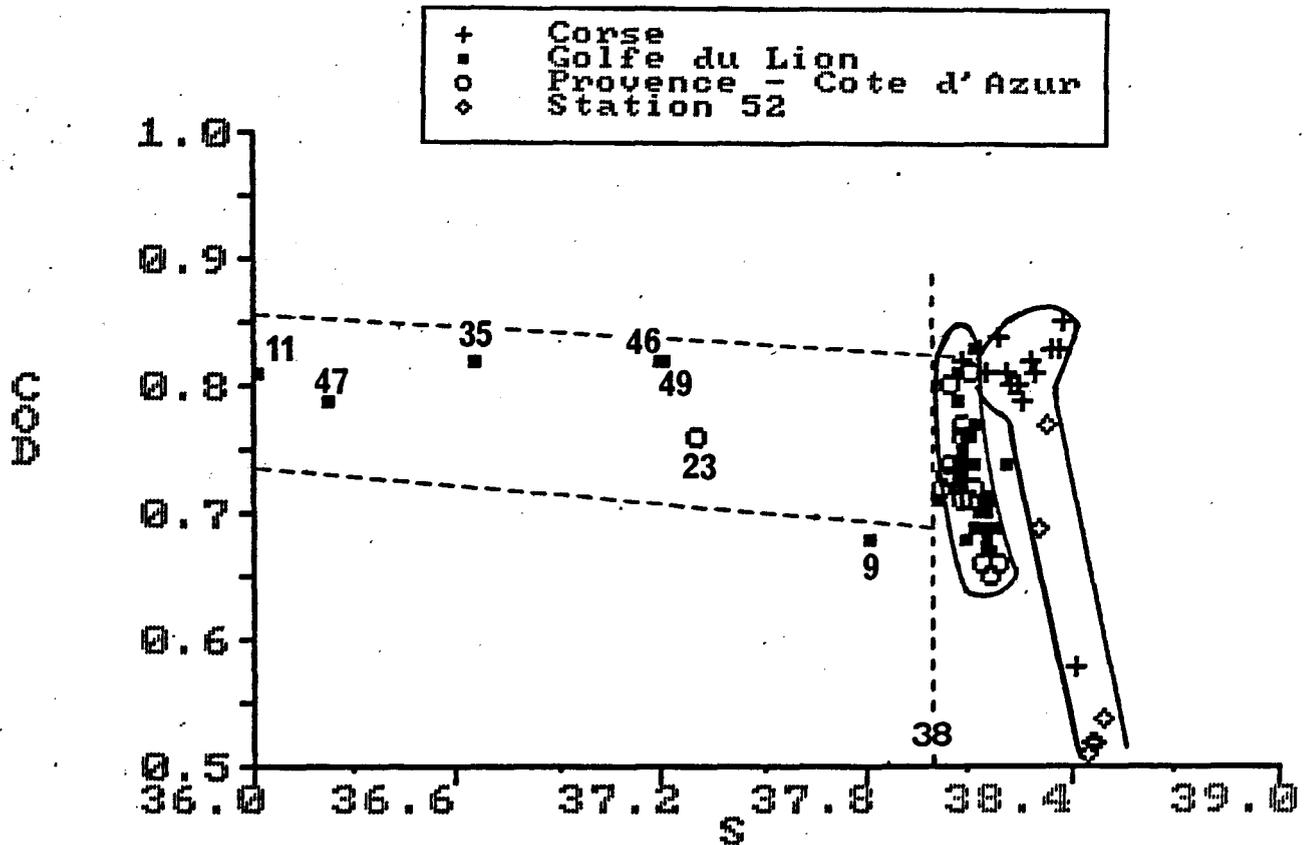
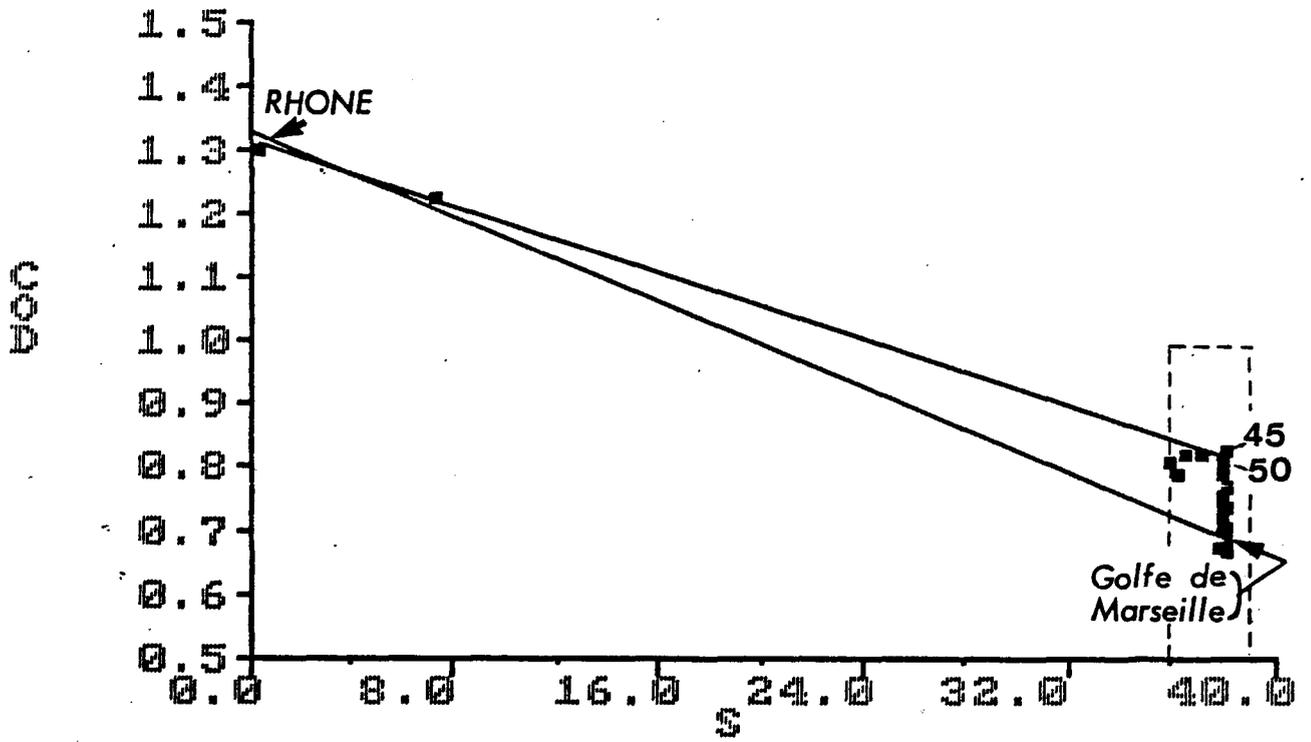


Figure 27 :

Relation entre le carbone organique dissous et la salinité lors de la campagne INTERSITE II.

A : Mélange des eaux du Rhône et du Golfe du Lion.

B : Détail des eaux marines (les droites de mélange théorique avec les eaux du Rhône sont représentées en pointillé).

proposé par FURNESTIN et ALLAIN (1962), figure 2, selon lequel les eaux de Corse et du large du courant liguro-provençal seraient d'origine orientale tandis que les eaux côtières subirait l'influence atlantique.

Du point de vue des concentrations, notons que les eaux de surface de Corse sont les plus riches de la zone étudiée avec des concentrations de 0,80 à 0,85 mg/l.

Aux salinités inférieures à 38 ‰, nous nous situons dans le panache d'influence directe du Rhône. Les mesures faites dans l'embouchure montrent une concentration de 1,30 mg/l en eau douce (S # 0,4 ‰), ce qui est relativement faible et inférieur à ce que l'on pouvait attendre en nous référant à d'autres fleuves. Par exemple, en Loire, CAUWET (1985) trouve environ 4,5 mg/l en septembre (minimum : 2 à 3 mg/l en été) et en Garonne, AMINOT et KEROUEL (non publié) mesurent 3 à 5 mg/l en mars et 1,5 à 2 mg/l en juillet.

Les eaux du Rhône se mélangent avec les eaux superficielles proches du delta, Golfe de Marseille à l'est, Golfe du Lion à l'ouest. Ces eaux ont une salinité bien caractéristique ($38,1 \pm 0,05$ ‰) mais il n'en est pas de même de la teneur en COD : la concentration de COD des eaux les plus proches du delta va en effet de 0,68 - 0,70 mg/l, dans le Golfe de Marseille, à 0,82 - 0,83 mg/l à l'ouest du panache rhodanien (st. 45 et 50). En prenant ces extrêmes comme référence, on peut tracer deux droites de dilution entre lesquelles se placent effectivement les stations du panache (st. 11, 47, 35, 46, 49). Il est alors bien mal aisé de déterminer quel est l'impact des poussées planctoniques (mises en évidence par les anomalies d'éléments nutritifs) sur les concentrations en matières organiques : ont-elles été responsables d'une production ou d'une consommation de matière organique ou, plus exactement, quel a été le processus prédominant ?

S'il n'est pas possible de mettre en évidence un effet à court terme du phytoplancton sur le COD, l'effet d'enrichissement à long terme apparaît si l'on compare les concentrations des eaux de surface chaudes à celles des eaux de résurgence. Les concentrations des eaux superficielles sont en effet supérieures à 0,75 mg/l tandis que celles des eaux froides, initialement sous-jacentes, se situent au-dessous de cette valeur.

Ceci nous conduit à considérer la température comme critère de référence, comme le montre la figure 28. On constate que les concentrations sont bien corrélées à la température mais en deux domaines distincts, de part et d'autre de la température $14,5^{\circ}\text{C}$: l'un correspond aux eaux situées au-dessous de la thermocline et présente une forte pente ($0,16\text{ mg/l}$ par degré C), l'autre correspond à la couche d'eau située au-dessus de la thermocline avec une pente très faible ($0,015\text{ mg/l}$ par degré C). Pour les eaux froides, la corrélation COD-température reflète, en fait, l'origine des eaux profondes et leur évolution à long terme ; ces deux paramètres peuvent alors être considérés comme conservatifs car, en profondeur, le COD est résistant à la dégradation. Pour les eaux de surface, la corrélation COD-température peut s'interpréter simplement comme résultant du mélange des eaux de surface chaudes et plus riches en COD avec les eaux de résurgence froides et plus pauvres. Cette interprétation, en accord avec l'étude des données d'hydrologie, n'est cependant valable que pour la Provence-Côte d'Azur et le Golfe du Lion. En revanche, les eaux de Corse ne participent pas à ce mélange mais s'intègrent à ce schéma général selon lequel plus l'eau est chaude, plus elle est riche en COD.

En complément, nous avons examiné la relation COD-densité (fig. 29) pour constater que la majorité des mesures se regroupent selon une courbe, dans une fourchette de $0,05\text{ mg/l}$ au-dessous d'une courbe maximale. Vers la concavité de la courbe, deux groupes de points du Golfe du Lion se distinguent : l'un correspondant au Golfe de Marseille (st. 12, 13, 33), l'autre à la côte sud du Golfe du Lion (st. 1, 2, 40, 41). La situation de ces points sur le graphe peut s'expliquer soit par un abaissement des concentrations en COD, soit par une augmentation de la température. Nous pensons qu'il s'agit de la seconde hypothèse. Dans le Golfe de Marseille, l'eau plus pauvre et plus froide, provenant de la résurgence des couches sous-jacentes, se sera sans doute réchauffée par mélange avec l'eau de surface (l'anomalie de densité correspond à un accroissement de $1,5^{\circ}\text{C}$ environ). Toutefois, le long de la côte sud du Golfe du Lion, il nous semble qu'il s'agit d'une situation normale correspondant à la dérive et au réchauffement en surface des eaux, initialement en profondeur, issues de la divergence située au sud-est du Golfe du Lion (COSTE et MINAS, 1967).

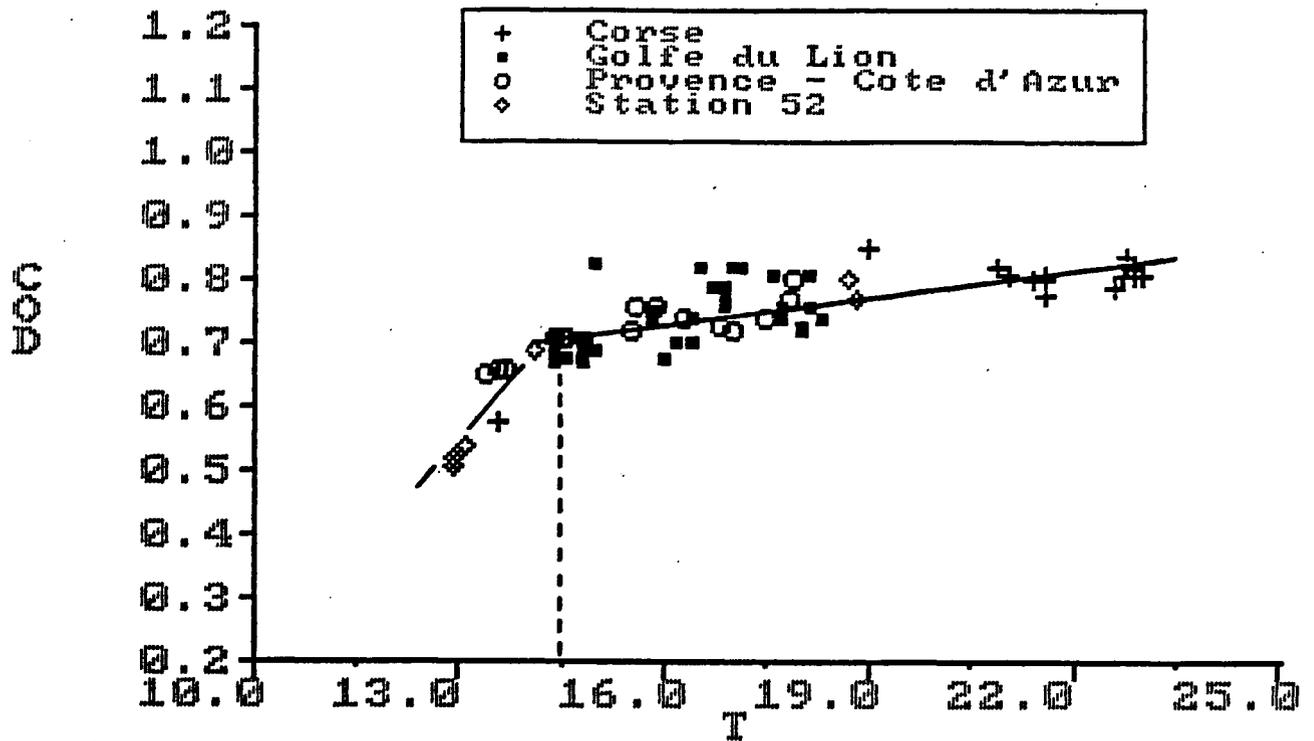


Figure 28 :

Relation entre le carbone organique dissous et la température lors de la campagne INTERSITE II.

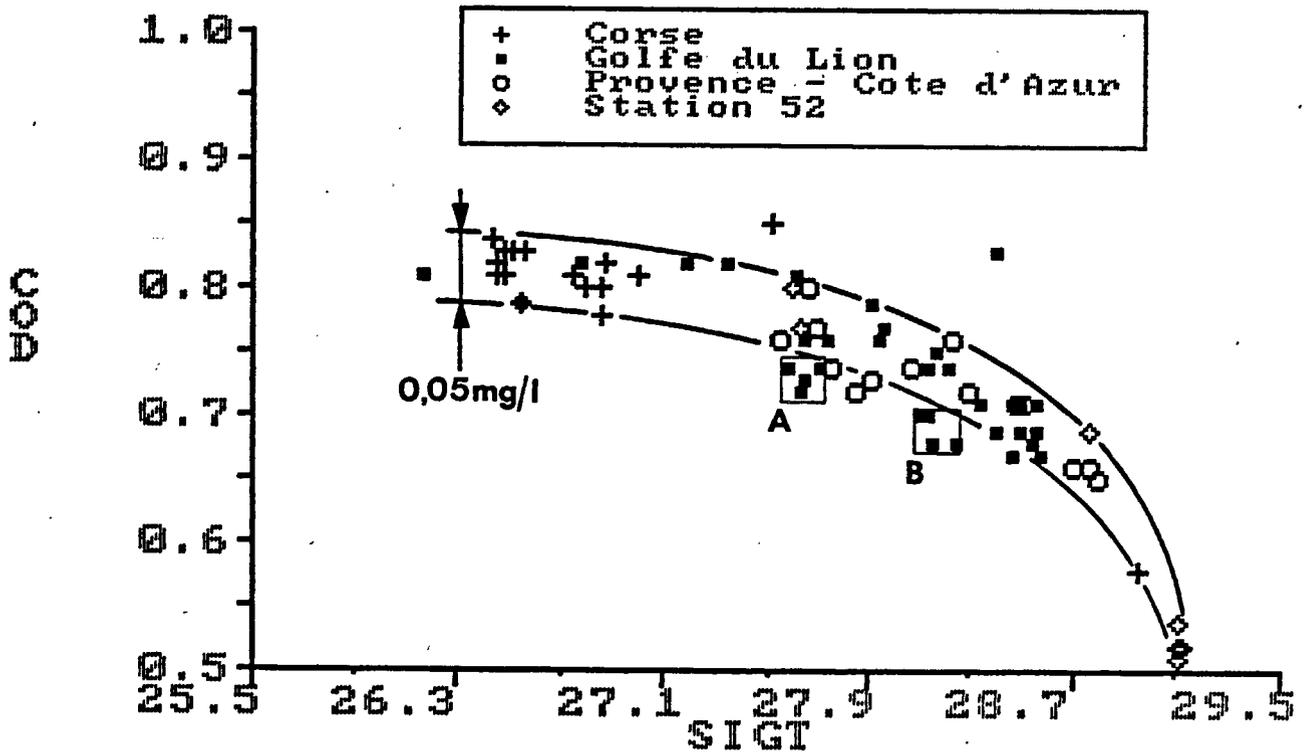


Figure 29 :

Relation entre le carbone organique dissous et la densité (représentée par "sigma t") lors de la campagne INTERSITE II.

A : points de la côte sud du Golfe du Lion
B : points du Golfe de Marseille

IV.3.1.2. L'azote organique dissous ; relation azote-carbone

En ce qui concerne l'azote organique dissous, nous ne reprendrons pas l'interprétation effectuée ci-dessus pour le COD car on retrouve les mêmes informations. Toutefois, dans le panache de dilution du Rhône, l'examen de la relation NOD-salinité (d'après les mêmes critères que pour le COD) montre à l'évidence une production de matière organique (fig. 30), ce que ne permettait pas de constater le COD. On sait en effet que la matière organique néo-formée est relativement plus riche en azote que la matière organique ancienne (ROMANKEVICH, 1984). Cette production de composés dissous est particulièrement nette aux stations 46 et 49, là où l'azote minéral a été très fortement consommé par le phytoplancton. La relation NOD-COD (fig. 31) nous permet de mettre en évidence la plus grande richesse relative en azote de la matière organique dans le Golfe du Lion. Cette particularité, qui se retrouve également dans les eaux des résurgences côtières de cette zone, ne peut être que le reflet de la plus forte productivité de cette région. En excluant donc le Golfe du Lion, nous avons calculé la relation $NOD = f(COD)$ pour les 40 autres mesures (Provence, Côte d'Azur, Corse, st. 52) :

$$NOD (\mu\text{mol/l}) = 4,66 \text{ COD (mg/l)} + 0,42$$

ou :

$$NOD (\text{mg/l}) = 0,0652 \text{ COD (mg/l)} + 0,0059$$

avec un coefficient de corrélation $r^2 = 0,921$. Si l'on ne prend pas en compte les formes labiles que sont les amines primaires et l'urée (qui représentent 2 à 4 % de l'azote et une proportion négligeable du carbone), la relation devient : $NOD (\mu\text{mol/l}) = 4,46 \text{ COD (mg/l)} + 0,518$. La relation ne change pas significativement mais la corrélation s'améliore légèrement ($r^2 = 0,937$ au lieu de 0,921).

Cette forte corrélation entre le carbone et l'azote nous paraît refléter :

- 1) du point de vue analytique, la bonne reproductibilité des mesures, donc un certain niveau de fiabilité ;
- 2) du point de vue de la matière organique, une relative homogénéité de composition dans les eaux à productivité faible ou nulle.

L'examen du rapport C/N (en masse) fait ressortir cette homogénéité dans toute la zone Provence-Côte d'Azur-Corse, avec un C/N moyen de 13,5 (tableau IV). En revanche, dans le Golfe du Lion la matière organique, plus riche en azote, présente un C/N moyen de 12,7. Ces valeurs

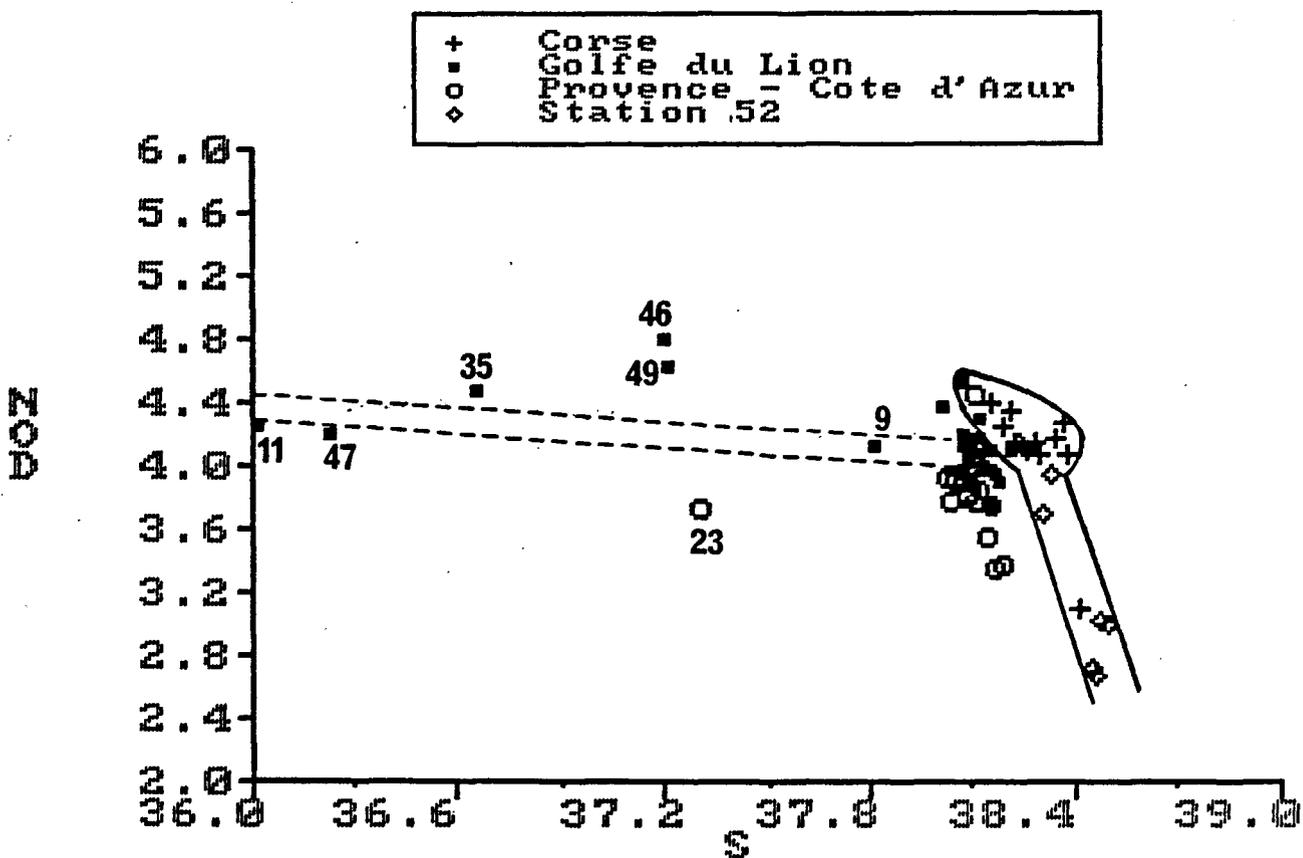
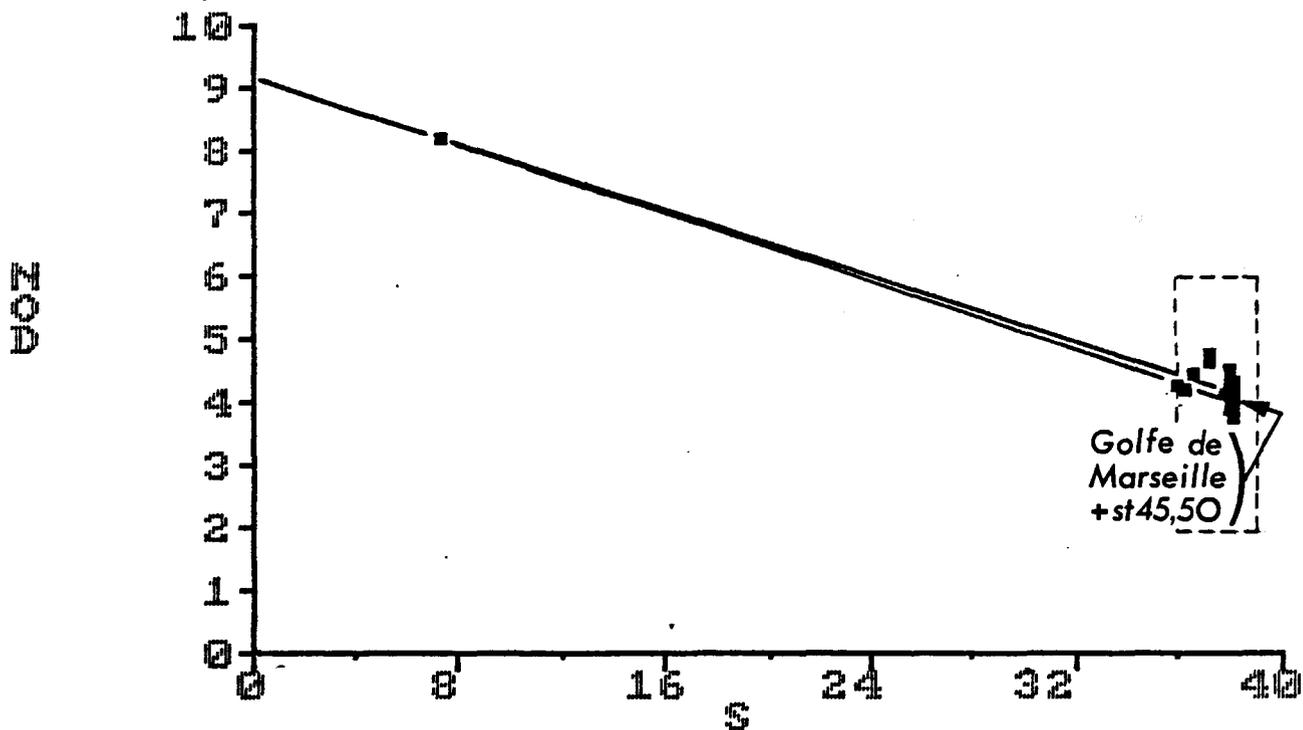


Figure 30 :

Relation entre l'azote organique dissous et la salinité lors de la campagne INTERSITE II.

- A : Mélange des eaux du Rhône et du Golfe du Lion
 B : Détail des eaux marines (les droites de mélange théorique avec les eaux du Rhône sont représentées en pointillé)

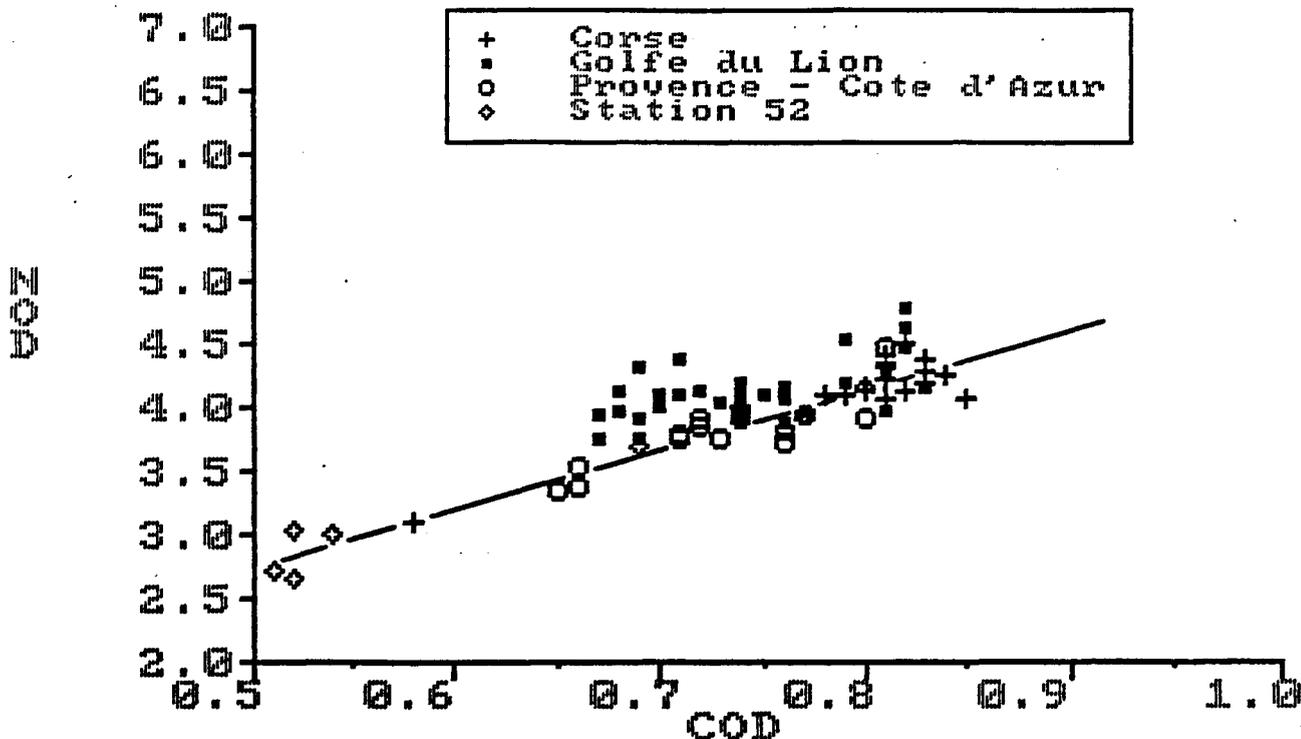


Figure 31 :

Relation entre l'azote et le carbone organique dissous lors de la campagne INTERSITE II.

La droite de corrélation pour les mesures faites hors du Golfe du Lion est représentée.

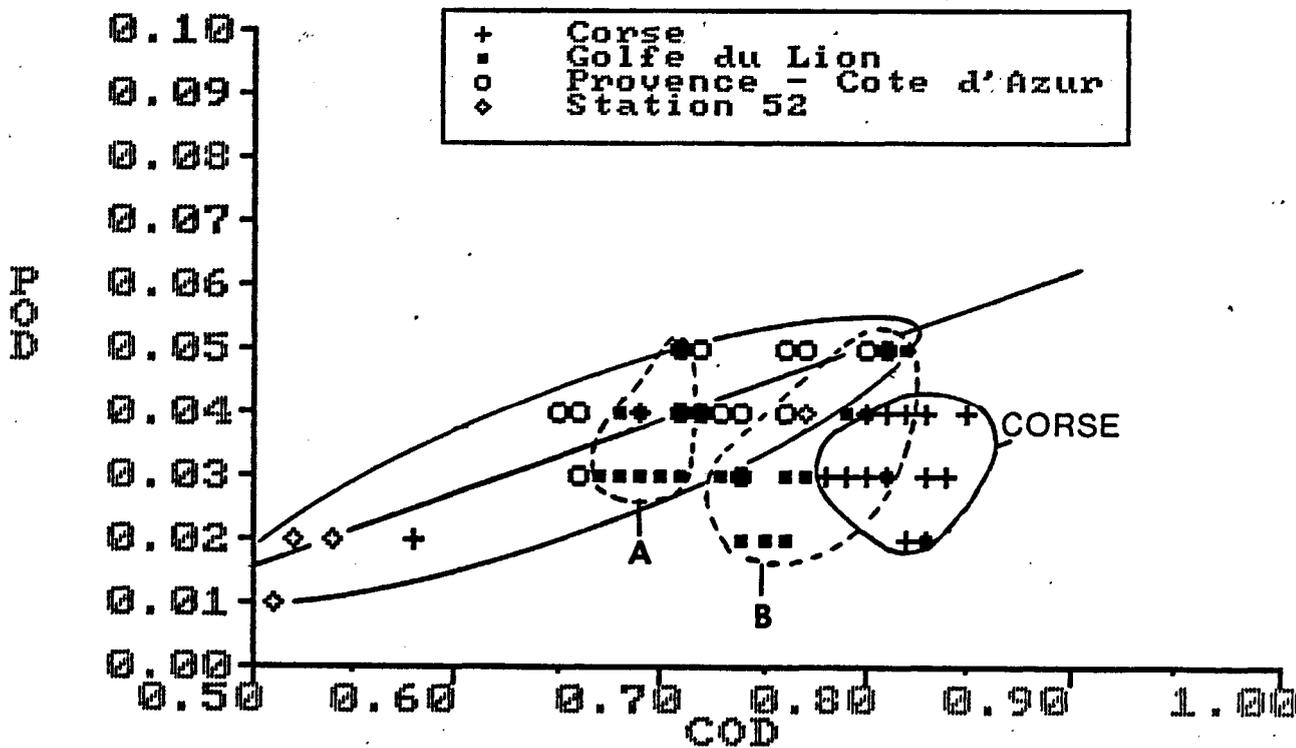


Figure 32 :

Relation entre le phosphore et le carbone organique dissous lors de la campagne INTERSITE II.

La droite de corrélation pour la Provence-Côte d'Azur et le large est représentée.

Les pointillés identifient, pour le Golfe du Lion, les eaux de résurgence (A) et les eaux chaudes de surface (B).

élevées du rapport C/N sont l'indice d'une matière organique complexe à un stade d'humification avancé et donc assez agée. Par comparaison, la matière organique des organismes vivants présente un C/N voisin de 5, par exemple pour les diatomées 5,2 et pour les péridiniens 6,1 (ROMANKEVICH, 1984).

Tableau IV :

**Valeurs du rapport C/N (en masse)
dans la matière organique dissoute.**

Zone	Moyenne	Mini.	Maxi.
Golfe du Lion	12,7	11,4	14,5
Provence-Côte d'Azur	13,6	12,9	14,6
Corse	13,7	12,9	14,8
Large (st. 52)	13,3	12,2	13,9
Ensemble	13,2	11,4	14,8

Par ailleurs, ROMANKEVICH (1984) a rassemblé toutes les mesures de carbone et d'azote organiques dissous effectuées par différents auteurs dans l'océan mondial, présentant ainsi une gamme de C/N allant de 2 à 23,3.

En ce qui concerne les acides humiques, de nombreuses mesures ont été réalisées sur les sédiments marins superficiels (ROMANKEVICH, 1984), indiquant un rapport moyen C/N de 13,8 (mini. : 9, maxi. : 45). Pour l'eau marine, peu de mesures ont été réalisées mais la variation du rapport C/N est très importante. Voisin de 7 selon GILLAM et RILEY (1982, in ILAHUDE 1984), il peut atteindre 100 (NISSENBAUM and KAPLAN, 1972). Ces derniers auteurs constatent que le rapport C/N varie dans une gamme beaucoup plus large que le rapport C/H et serait donc plus intéressant comme marqueur des acides humiques. Toutefois, dans les sédiments marins, les rapports C/N qu'ils trouvent se situent pour la plupart entre 9 et 14,2. Les C/N que nous avons mesurés sont donc proches des valeurs trouvées pour les matières humiques sédimentaires, mais peuvent difficilement être situées par rapport aux matières humiques des eaux marines dont la gamme des C/N est très large. Néanmoins, parmi les données les plus récentes sur la matière organique dissoute en milieu océanique, SHARP (1983) fait état de rapports C/N voisins de 13, valeur relativement plus élevée que celles

antérieurement admises, mais proche de celles que nous présentons. Cet auteur précise que de nouvelles informations sont nécessaires concernant la valeur de ce rapport, ce qui nous paraît également souhaitable.

Nous pouvons illustrer l'intérêt du rapport C/N pour la connaissance et le suivi des masses d'eaux en profondeur à l'aide du profil vertical de la station 52. Il montre, en effet, que dans la couche 1 000 - 1 500 m, l'azote organique dissous chute de 10 % par rapport à la couche 200 - 600 m tandis que le carbone ne chute que de 2 à 3 %, d'où un accroissement sensible du C/N moyen de 12,5 à 13,6 (tableau V).

Tableau V :

Profil vertical de COD, NOD et COD/NOD à la station 52.

Profondeur (m)	COD mg/l	NOD		COD/NOD en masse
		µmol/l	mg/l	
0	0,80	4,16	0,0582	13,7
15	0,77	3,96	0,0554	13,9
50	0,69	3,70	0,0518	13,3
200	0,54	3,00	0,0420	12,8
600	0,52	3,04	0,0426	12,2
1 000	0,52	2,68	0,0375	13,8
1 500	0,51	2,73	0,0382	13,3

Ces mesures prendraient tout leur intérêt, par exemple, pour une couverture spatiale de la Méditerranée si l'on désirait y suivre les masses d'eaux à l'aide de paramètres chimiques complémentaires de l'hydrologie.

IV.3.1.3. Le phosphore organique dissous ; relations phosphore-carbone et phosphore-azote

Le phosphore organique dissous ne paraît varier que dans de faibles proportions puisque toutes les valeurs se situent entre 0,01 et 0,05 µmol/l (excepté pour le Rhône) avec une précision analytique de $\pm 0,01$ µmol/l. Toutefois, dans cette fourchette de variation, les résultats

ne se distribuent pas de façon aléatoire. On observe, en effet, une corrélation significative entre le POD et le COD, comme le montre la figure 32, pour la Provence-Côte d'Azur et le courant liguro-provençal :

$$\text{POD } (\mu\text{mol/l}) = 0,11 \text{ COD } (\text{mg/l}) - 0,038 \text{ (24 couples, } r^2 = 0,75)$$

ou :

$$\text{POD } (\text{mg/l}) = 0,0033 \text{ COD } (\text{mg/l}) - 0,0012$$

Remarquons que, dans le Golfe du Lion, les eaux froides remontant le long des côtes possèdent des caractéristiques qui les rapprochent des eaux provençales, tandis que les eaux de surface chaudes s'en distinguent nettement. Dans ces eaux de surface du Golfe du Lion et, de façon encore plus marquée, dans celles de Corse, la matière organique dissoute est donc moins riche en phosphore que dans le reste de la zone étudiée.

Le rapport moyen POD/COD (en masse) été calculé pour les cinq zones distinctes identifiées sur le graphe POD-COD :

Golfe du Lion (surface)

eaux de résurgence.....0,0015

eaux chaudes.....0,0014

Provence-Côte d'Azur (surface).....0,0018

Corse (surface).....0,0012

Eaux profondes (200 - 1 500 m).....0,0010

Ces résultats permettent de distinguer les eaux selon la richesse relative de leur matière organique dissoute en phosphore. On constate que, dans les eaux profondes, la matière organique s'appauvrit en phosphore. Toutefois, les eaux de surface de Corse sont également très pauvres et leur rapport POD/COD est proche de celui des eaux profondes.

L'examen de l'évolution du rapport POD/COD avec la profondeur montre une décroissance progressive vers le fond. Ainsi, à la station 52, les valeurs sont les suivantes :

0 - 50 m : 0,0017

200 - 1 000 m : 0,0012

1 500 m : 0,0006

Cet appauvrissement relatif de la matière organique dissoute en phosphore avec la profondeur a été également mis en évidence par IVANENKOV (1979, in ROMANKEVICH 1984) dans les zones productives du Pacifique et de l'Atlantique orientaux. Cet auteur, qui n'a pas mesuré le COD mais uniquement NOD et POD, obtient une décroissance progressive du rapport massique POD/NOD depuis 0,08 - 0,10 entre 0 et 200 m, à 0,05 - 0,04 vers 500 - 1 000 m et 0,03 - 0,02 au-delà de 1 000 m. A titre comparatif, à la station 52, les rapports que nous avons obtenus sont de 0,023 entre 0 et 50 m, 0,015 entre 200 et 1 000 m et 0,008 à 1 500 m. Remarquons que si les rapports POD/NOD trouvés en Méditerranée sont plus faibles que ceux d'IVANENKOV, la variation de ce rapport entre 0 et plus de 1 000 m reste similaire (appauvrissement relatif en POD d'un facteur 3).

D'une façon générale, nous constatons que les rapports POD/COD que nous avons obtenus sont significativement inférieurs à ceux que l'on trouve dans la littérature. En effet, alors que la plupart des rapports calculés par ROMANKEVICH sont de l'ordre de 0,005 à 0,010, ceux que nous avons déterminés sont environ cinq fois plus faibles (0,001 à 0,002). Cette différence peut être attribuée soit à une caractéristique locale, soit à des résultats systématiquement inférieurs pour le phosphore organique dissous par la méthode employée.

L'examen des résultats publiés antérieurement sur la Méditerranée nous a conduit à émettre certaines réserves sur la fiabilité des méthodes employées au niveau des concentrations mesurées. Ces méthodes comportent en effet une minéralisation du POD par irradiation UV en tubes de quartz et nécessitent donc des transvasements des échantillons, sources potentielles reconnues de contaminations en phosphates. Par opposition, nous employons une méthode entièrement automatique sans aucun transvasement d'échantillon puisque l'autoanalyseur a été modifié pour prélever l'eau à analyser directement dans le flacon d'échantillonnage. Nous pensons donc avoir réduit les contaminations aléatoires qui, aux niveaux rencontrés (0,01 à 0,05 $\mu\text{mol/l}$) prennent une importance considérable en majorant de façon significative les concentrations.

Néanmoins, abstraction faite de ces problèmes analytiques, on constate que les rapports POD/COD obtenus en Méditerranée par BANOUB et WILLIAMS (1972) sont parmi les plus bas présentés par ROMANKEVICH (1984), ce qui tend à accréditer l'hypothèse d'une réelle pauvreté de la matière organique méditerranéenne en phosphore.

IV.3.1.4. Formules globales de la matière organique dissoute

Les mesures de COD, NOD et POD permettent de déterminer les formules globales $C_x N_y P_z$ de composition de la matière organique dissoute. Comme nous l'avons vu précédemment, la faible précision relative des mesures de phosphore ne permet pas de cartographier finement la zone étudiée. De ce fait, nous avons préféré identifier un certain nombre de zones types pour lesquelles la moyenne des concentrations prend une signification réelle.

Les résultats sont les suivants :

Golfe du Lion :

Eaux de Résurgence $C_{1000} N_{70} P_{0,57}$

Autres eaux $C_{1000} N_{66} P_{0,54}$

Provence-Côte d'Azur : $C_{1000} N_{63} P_{0,70}$

Corse : $C_{1000} N_{63} P_{0,47}$

Large (St. 52) :

Eaux de surface (0 - 15 m) $C_{1000} N_{62} P_{0,61}$

Eaux profondes (> 200 m) $C_{1000} N_{65} P_{0,40}$

IV.3.2. Les composés spécifiques

IV.3.2.1. L'urée

Les concentrations en urée restent très basses dans toute la zone étudiée : excepté à quelques stations influencées par les apports continentaux, les concentrations sont inférieures à $0,15 \mu\text{mol/l}$ et pour 80 % d'entre elles inférieures à $0,10 \mu\text{mol/l}$. De ce fait, il n'est pas possible de mettre en évidence de différences notables entre les grandes régions précédemment caractérisées dans la zone étudiée. La figure 33 montre qu'il n'y a aucune relation entre l'urée et la matière organique dissoute représentée par le COD. Il s'agit là d'une constatation tout à fait logique dans la mesure où l'urée est une espèce chimique néo-formée, très liée à l'activité biologique et rapidement dégradable ou assimilable, alors que la majorité du stock de matière organique est constituée de substances biologiquement inertes. Notons que les concentrations s'abaissent vers le fond puisqu'à la station 52 elles passent de $0,06 \mu\text{mol/l}$ en surface à une valeur indétectable ($0,00 \mu\text{mol/l}$) à partir de 600 m de profondeur.

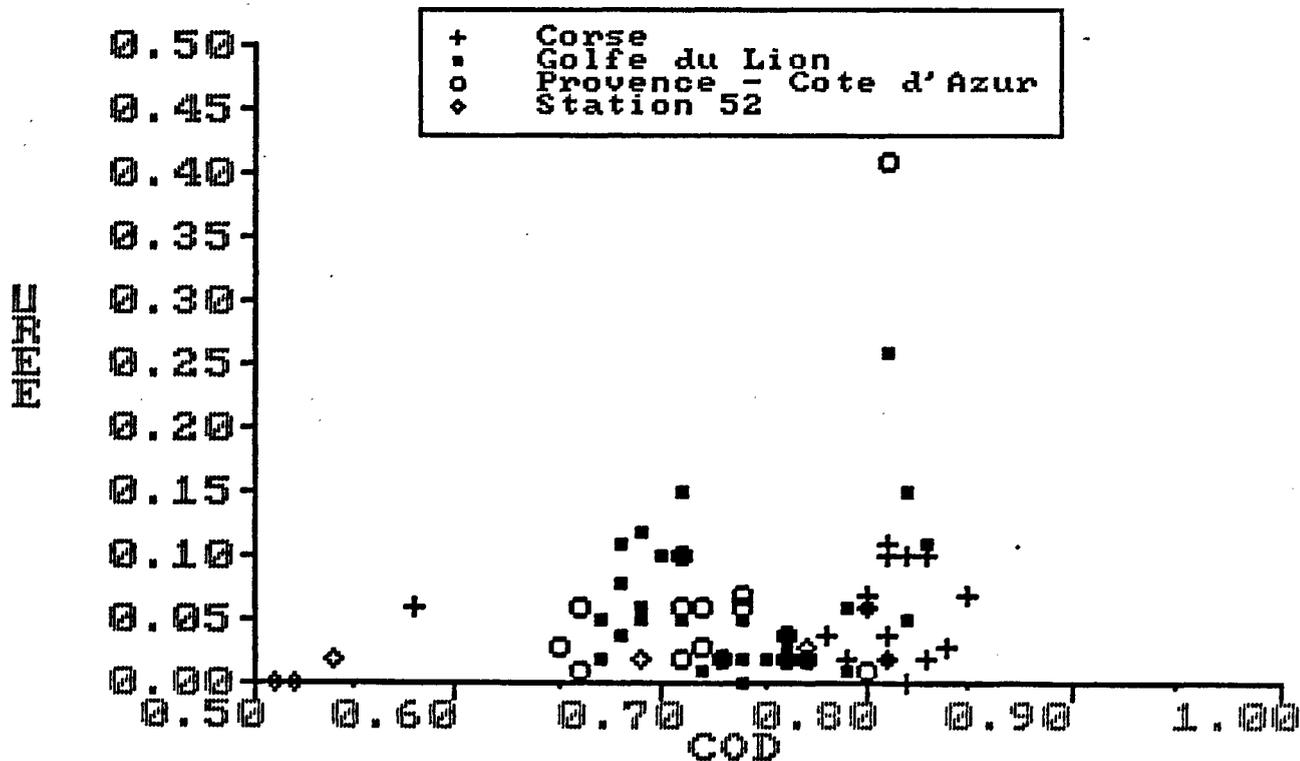


Figure 33 :

Relation entre l'urée et le carbone organique dissous lors de la campagne INTERSITE II.

IV.3.2.2. Les amines primaires libres dissoutes

Comme pour l'urée, la présence des amines primaires libres dissoutes (APLD), dont les acides aminés constituent vraisemblablement une part importante, est liée à l'activité biologique du milieu. Les faibles concentrations que nous avons mesurées sont donc le reflet de la faible productivité de la Méditerranée. Pour ce paramètre également, le Golfe du Lion se distingue par des concentrations plus élevées que dans les autres régions étudiées au cours de la campagne.

Si l'on fait abstraction des résultats du Golfe du Lion, on constate qu'il existe une corrélation entre les APLD et le COD (fig. 34 A). Ceci s'avère surprenant car l'origine et l'âge moyen des deux classes de composés caractérisés par ces deux mesures sont très différents. La seule interprétation plausible nous paraît être une interférence des fonctions aminées de la matière organique complexe (caractérisée par le COD) lors du dosage global des APLD. Il y aurait donc lieu, pour obtenir la mesure réelle des APLD, de soustraire aux résultats présentés précédemment une correction fonction de la concentration en COD. Pour cela, en nous appuyant sur la figure 34 A, nous avons choisi de calculer l'équation de corrélation pour les 27 couples (COD-APLD) représentant les plus faibles valeurs d'APLD dans toute la gamme de COD. L'équation est la suivante :

$$\text{APLD (nmol/l)} = 99 \text{ COD (mg/l)} - 32$$

et les concentrations corrigées sont calculées selon :

$$\text{APLD corr.} = \text{APLD mesurées} - (99 \text{ COD} - 32).$$

La figure 34 B représente les valeurs d'APLD corrigées, portées en fonction du COD. Le tracé obtenu se déduit du précédent en prenant la droite de corrélation comme axe des x.

Les amines primaires et l'urée étant des produits du métabolisme, on pouvait rechercher une relation entre ces deux espèces dissoutes. La figure 35 montre qu'il n'y a pas de corrélation nettement établie, même si globalement les deux paramètres varient dans le même sens.

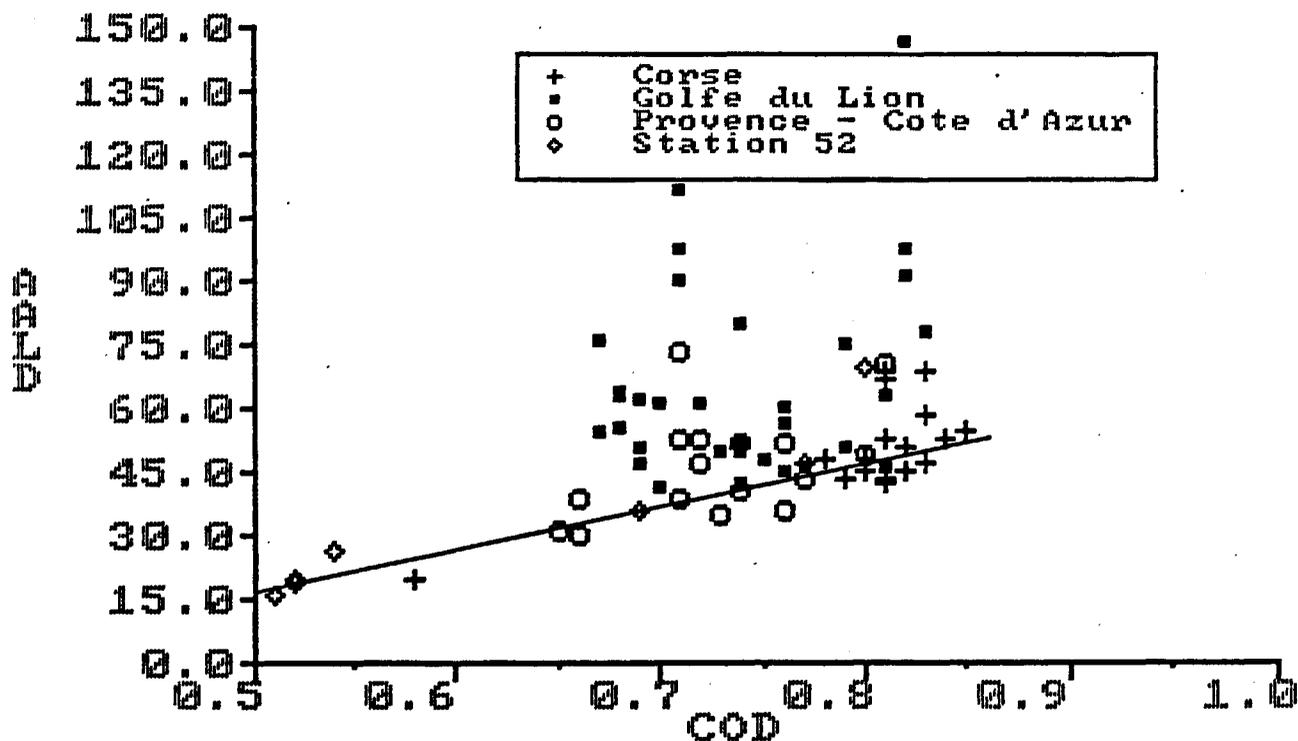


Figure 34 A :

Relation entre les amines primaires libres dissoutes et le carbone organique dissous.
 Résultats bruts ; la droite représente la corrélation des 27 mesures d'acides aminés les plus faibles sur toute la gamme de COD.

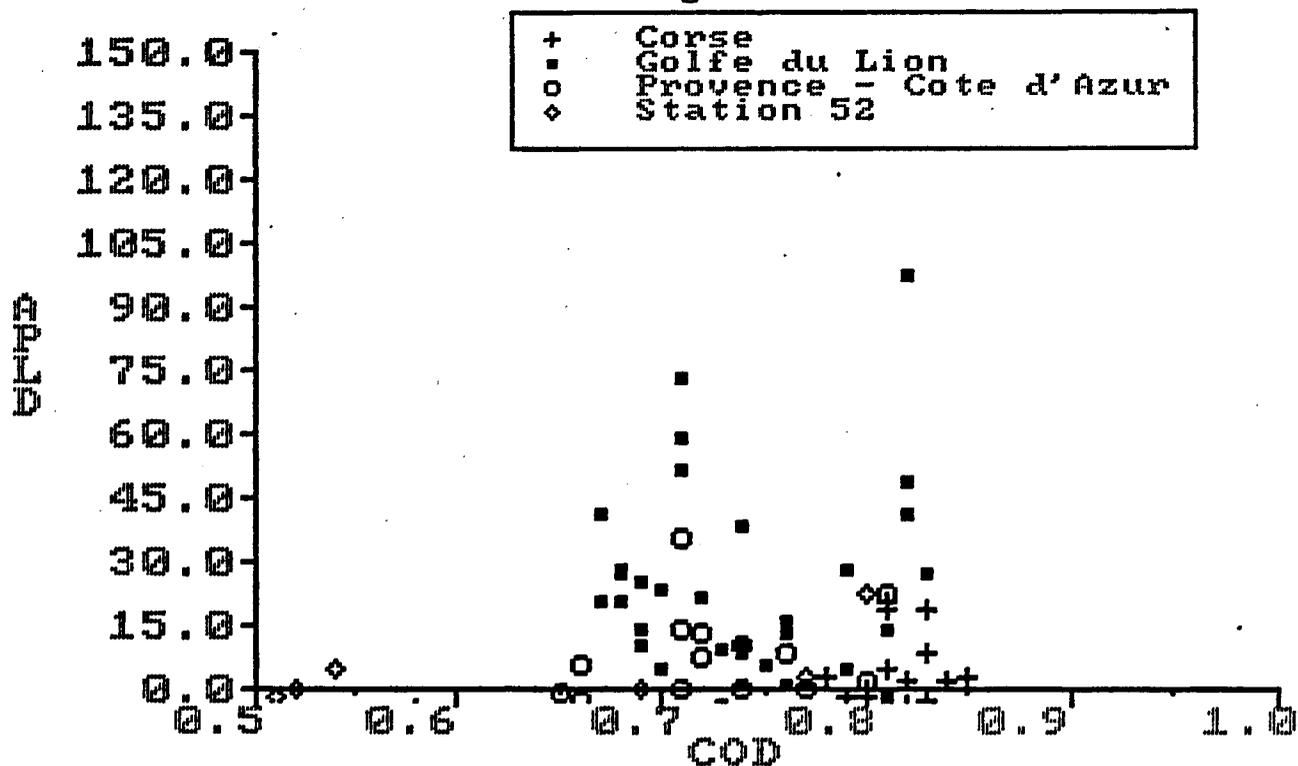


Figure 34 B :

Relation entre les amines primaires libres dissoutes et le carbone organique dissous.
 Résultats corrigés par changement d'axe : la droite définie en A devient l'axe des x.

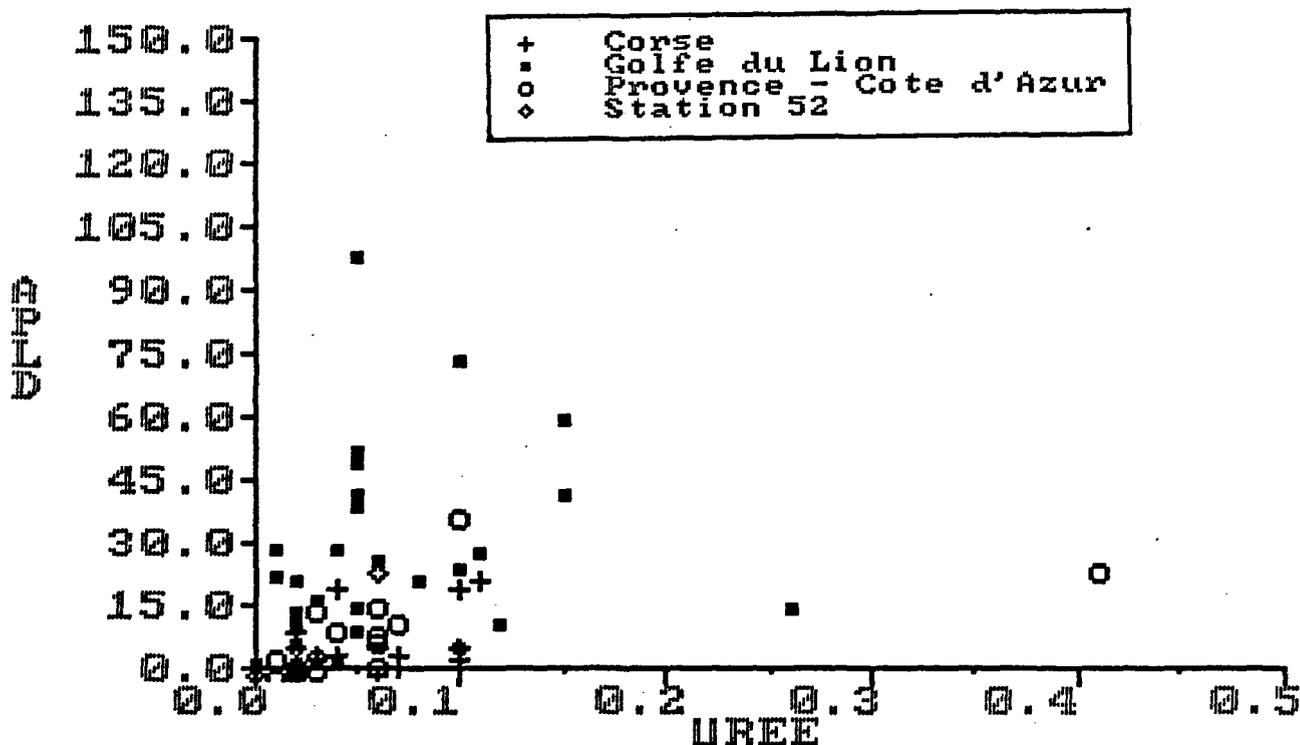


Figure 35 :

Relation entre l'urée et les amines primaires libres dissoutes lors de la campagne INTERSITE II.

IV.4. Conclusion

L'étude de la matière organique dissoute fait apparaître un manque de mesures dans ce domaine, en particulier en Méditerranée nord-occidentale. En outre, les mesures disponibles ne semblent pas, pour la plupart, présenter la fiabilité suffisante qui permettrait de donner une réelle information sur les variations de composition de la matière organique.

Nos résultats quant à eux montrent, sur l'ensemble de la zone, une relative homogénéité à la fois quantitative et qualitative, contrairement à ce qui a été observé pour les éléments nutritifs minéraux. L'existence du phénomène de résurgence d'eaux profondes, dû aux conditions météorologiques (vent de nord-ouest), n'est pas responsable de différences notables de concentrations en matière organique.

Nous avons toutefois réussi à mettre en évidence de faibles différences quantitatives, comme la plus grande richesse en COD des eaux de Corse (0,80 à 0,85 mg/l) par rapport aux eaux de résurgence littorales (0,65 à 0,70 mg/l), ou qualitatives, comme la pauvreté relative des eaux de Corse en POD.

De même, la plus forte productivité du Golfe du Lion se traduit par une plus grande richesse relative en azote.

Le rapport C/N élevé (13 à 14) montre toutefois que la matière organique est agée et complexe. Même dans le Golfe du Lion ce rapport ne s'abaisse pas à moins de 11,4. La faiblesse des concentrations en amines primaires et en urée confirme ce résultat global, en particulier pour les amines primaires dont la concentration moyenne est significativement plus forte dans le Golfe du Lion ; pour le reste de la zone étudiée, les concentrations très faibles ne permettent pas de faire de distinctions particulières.

V. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

V.1. Objectifs généraux

Les campagnes INTERSITE ont pour but premier de mettre en évidence, le long du littoral, des anomalies éventuelles de concentrations en polluant en des zones non régulièrement suivies dans le cadre du RNO.

En outre, elles permettent de déterminer, sur l'ensemble d'une zone, les niveaux de concentrations, obtenus pour chaque paramètre par un seul laboratoire, utilisant une méthode unique et des conditions opératoires identiques.

Ce second objectif a été atteint au cours de la campagne INTERSITE II le long des côtes méditerranéennes françaises. Ceci nous a permis, en particulier, de déterminer en de nombreux points les concentrations de plusieurs éléments ou composés rarement étudiés simultanément à cette échelle (diverses formes minérales et organiques de l'azote, du phosphore et du carbone dissous).

Toutefois, le premier objectif fixé à la campagne n'a pas été tout à fait atteint en raison des conditions météorologiques qui ont été à l'origine d'une résurgence d'eaux "profondes" au voisinage de la côte dans le Golfe du Lion et en Provence-Côte d'Azur. Ce phénomène est particulièrement bien mis en évidence par l'étude hydrologique car les eaux de résurgence sont plus froides que les eaux normalement situées à la surface. Il devenait alors évident que les mesures réalisées à la côte ne seraient plus représentatives de l'impact d'apports continentaux mais de celui des eaux de résurgence.

L'examen des résultats des paramètres chimiques confirme tout à fait ces observations comme l'a montré l'étude consacrée aux éléments nutritifs minéraux dissous. Cette situation particulière imprévue s'est néanmoins avérée intéressante car elle a permis de réaliser des mesures sur des eaux normalement situées en profondeur, uniquement à l'aide de prélèvements de surface. Par ailleurs, nous avons pu visualiser l'impact

d'une résurgence profonde, ce qui, compte tenu du caractère imprévisible du phénomène, se serait avéré très difficile à programmer. Notons que pour une bonne interprétation des données de surveillance, il est important de connaître l'effet de situations de ce type, qui se présentent plusieurs fois par an.

Au cours de la campagne INTERSITE II, comme nous l'avons indiqué, nous avons particulièrement mis l'accent sur l'étude de la spéciation des éléments nutritifs dans l'environnement côtier. Ceci répond à des préoccupations complémentaires de deux types. En premier lieu, il s'agit d'améliorer la connaissance qualitative et quantitative des diverses formes de l'azote, du phosphore et du carbone, en particulier dans la classe des composés organiques dont l'approche, analytiquement plus délicate, laisse encore subsister d'importantes lacunes. Cette connaissance s'inscrit dans le contexte des considérations sur la fertilité potentielle du domaine marin et sur les facteurs limitant la productivité. Nous citerons en particulier les travaux de synthèse de BERLAND et al. (1980) et BETHOUX (1981) dont il ressort clairement un manque de connaissance des concentrations d'azote et de phosphore sous des formes autres que nitrate et phosphate. De même, des travaux antérieurs (COSTE, 1971), s'appuyant uniquement sur des données d'éléments minéraux, d'oxygène et d'hydrologie, en sont réduits à des hypothèses sur la dégradation des matières organiques. Nous constatons donc l'importance que revêt la mesure des différentes formes sous lesquelles sont présents les éléments nutritifs pour mieux appréhender les mécanismes régissant leur évolution dans le milieu marin.

Les études de spéciation des éléments nutritifs dans le milieu marin visent en second lieu à une meilleure appréciation de l'impact des apports continentaux (naturels ou anthropogéniques) de ces éléments en mer. En effet, la distribution des espèces nutritives est extrêmement différente entre l'eau de mer et les apports. Pour la Méditerranée, le tableau VI montre pour l'azote combien ces différences peuvent être importantes. Ainsi, les formes prédominantes de l'azote sont l'ammonium dans le rejet domestique (65 %), le nitrate dans le Rhône (74 %) et l'azote organique dissous en mer (92 %). La disponibilité de l'azote pour la production de biomasse n'est évidemment pas identique selon qu'il se présente sous une forme ou une autre.

Tableau VI :

**Comparaison des différentes formes d'azote
dans les eaux méditerranéennes, les eaux fluviales
et les eaux usées domestiques.**

	Eau usée domestique non traitée (1)		Rhône (2)		Méditerranée (3) (St. 32)	
	µmol/l	%	µmol/l	%	µmol/l	%
NO ₃ ⁻	25	0,9	79	74	0,04	0,9
NO ₂ ⁻	14	0,5	2,5	2,5	0,006	0,1
NH ₄ ⁺	1 900	65	15	14	0,06	1,4
NOD	450	15,5	# 10	9	4,0	92
NOP	530	18	0,5	0,5	0,25	5,5
Total	2 920	100	107	100	4,4	100

(1) : Moyenne sur un cycle journalier à la station d'épuration de Toulon (AMINOT, KEROUEL et LE GUELLEC, non publié).

(2) : NOP # COP/10 avec COP # 0,005 MES (CAUWET, 1985) et MES = 15 mg/l

(3) : NOP # COP/10 avec COP # 0,35 MES (COPIN, 1974) et MES = 0,1 mg/l.

Les résultats que nous avons obtenus montrent que la matière organique dissoute en Méditerranée nord-occidentale paraît être très "humifiée" (C/N élevé) donc, pour une large part résistante à la biodégradation, et par conséquent peu disponible pour entrer dans la chaîne alimentaire. Si l'essentiel de l'azote marin se présente sous cette forme organique dissoute réfractaire, on réalise combien la connaissance précise de la spéciation de l'azote peut contribuer à une meilleure estimation de la fertilité, des facteurs limitants ou de l'impact des apports continentaux.

Du point de vue quantitatif, nous constatons que les concentrations totales d'azote dans les sources (tableau VI) sont très variables, c'est-à-dire, par exemple, que le Rhône est 25 fois plus concentré que l'eau de mer tandis que le rejet l'est près de 700 fois. Mais si l'on raisonne sur l'azote effectivement disponible, ces quantités

changent considérablement. En effet, si environ 90 % du NOD sont réfractaires en mer, 50 % du NOD dans le Rhône et 25 % du NOD et du NOP (d'après nos mesures) dans l'eau d'égout, les concentrations disponibles chutent à $0,75 \mu\text{mol/l}$ en mer et deviennent alors dans le Rhône et l'eau usée respectivement 130 et 3 500 fois plus fortes qu'en mer. Au voisinage de sources ponctuelles de ce type, on notera donc d'importantes perturbations du milieu, qualitativement et quantitativement, ce qui pourrait se traduire par des déséquilibres biologiques en faveur d'espèces opportunistes. A notre avis, la compréhension des mécanismes d'enrichissement côtier et d'eutrophisation passe par une meilleure connaissance des formes sous lesquelles se présentent les éléments nutritifs dans le milieu et de leur disponibilité. Le travail accompli sur les éléments nutritifs, au cours des campagnes INTERSITE, vise à contribuer à cette connaissance.

V.2. Résultats d'ensemble

D'un point de vue général, les résultats de la campagne ont été marqués par le phénomène de résurgence d'eau profonde provoqué par le vent. De ce fait, une grande homogénéité des salinités s'en est suivie avec une inversion du gradient habituel côte-large et des températures particulièrement froides à la côte ($13-14^\circ\text{C}$) alors que les eaux de surface étaient à 18°C ou plus.

Outre l'étude du phénomène lui-même à l'aide des éléments nutritifs, il serait intéressant de pouvoir déterminer la contribution relative des résurgences profondes à l'enrichissement des eaux de surface du Golfe du Lion en comparaison des apports continentaux.

De fait, le volume d'eau douce apporté annuellement par le Rhône, soit $5 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$, est du même ordre que le volume d'eau froide remontant le long de la côte du Golfe du Lion, environ $2 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$ ($100 \text{ km} \times 10 \text{ km} \times 20 \text{ m}$). Toutefois leurs concentrations sont très différentes, le Rhône étant, par exemple en nitrate, environ 50 fois plus concentré que les eaux de résurgence.

Comme les densités des eaux froides sont nettement supérieures à celles de surface, le mélange ne doit s'effectuer que difficilement et la retombée des eaux en profondeur intervient rapidement après l'arrêt du vent. La contribution à l'enrichissement par ce processus reste donc très certainement limitée. Il reste à prendre en compte la consommation par le plancton qui peut s'accroître dans les eaux froides brusquement portées à un niveau d'éclairement plus important. Mais là également la durée de maintien de ces eaux en surface est un facteur prépondérant pour que la consommation soit significative : cela nécessite des périodes de vent stable assez longues. En outre, il ne s'agit pas exactement dans ce cas d'un enrichissement des eaux de surface car, dès que cesse la résurgence, l'eau entraîne à nouveau le plancton en profondeur.

Il semblerait donc, au premier abord, que le Rhône joue un rôle significativement plus important dans la richesse des eaux de surface du Golfe du Lion que ne le feraient les résurgences.

Un autre aspect de la présence de ces résurgences concerne les polluants organiques qui ont été également mesurés lors de cette campagne (MARCHAND et al., 1985). Les résultats montrent en effet que les eaux côtières correspondant aux eaux de résurgence (stations 5, 6, 7, 37) sont les moins contaminées des eaux du Golfe du Lion. Elles présentent des concentrations plus faibles que les eaux de surface chaudes situées plus au large et qui, avant la résurgence, se trouvaient à la côte. Cette constatation concerne en particulier les hydrocarbures totaux et certains solvants chlorés (tableau VII).

On notera l'exception que représente le bromoforme (CHBr_3), composé formé lors de la chloration de l'eau de mer, mais également issu de la biosynthèse algale (MARCHAND et al., 1985). Sa présence dans les eaux de résurgence à un niveau légèrement supérieur à celui des eaux superficielles serait alors la preuve qu'il s'y trouve un phytoplancton actif.

En ce qui concerne les concentrations des éléments nutritifs, nous avons vu que les eaux de résurgence étaient beaucoup plus riches que les eaux de surface en formes minérales mais très légèrement plus pauvres en formes organiques. Cette constatation rejoint ce qui est communément admis sur l'évolution de ces éléments avec la profondeur.

Tableau VII :

**Incidence de la résurgence côtière du Golfe du Lion
sur les concentrations moyennes en polluants organiques**

(Calcul des moyennes : les valeurs inférieures au seuil sont prises égales à la moitié du seuil).

Stations	T °C	Hydro- carbures µg/l	CH ₃ -CCl ₃ ng/l	CCl ₄ ng/l	CHCl=CCl ₂ ng/l	CCl ₂ =CCl ₂ ng/l.	CHBr ₃ ng/l
Résurgence (St. 5, 6, 7, 37)	14,6	0,9	0,9	< 1	< 1	< 0,5	2,0
Eaux superficielles (St. 1, 3, 44, 50)	17,6	1,2	1,1	< 1	< 1 St 44 : 2,1	0,75	1,5

A propos de la matière organique, remarquons l'homogénéité des concentrations en surface dans toute la zone étudiée, avec une fourchette de 0,7 à 0,85 mg/l de COD. L'étude de la composition de cette matière organique montre un rapport C/N relativement constant et élevé, alors que le rapport C/P varie dans de plus larges proportions. Il semblerait donc que la matière organique dissoute atteigne un certain état de stabilité de sa structure en carbone et azote alors qu'il n'en serait pas de même en phosphore.

Nous avons constaté que dans les eaux superficielles de Corse, la matière organique était relativement pauvre en phosphore et qu'ainsi sa composition se rapprochait des eaux situées à moins de 200 m (st. 52). Si l'on évoque la remontée en surface des eaux méditerranéennes intermédiaires, cette hypothèse n'explique pas pourquoi les eaux de Corse sont les plus riches en matière organique de tout le bassin nord-occidental.

La comparaison des matières organiques du Golfe du Lion et de Provence-Côte d'Azur fait également apparaître, dans cette dernière région, une plus grande richesse en phosphore. Une hypothèse concernant cette particularité serait l'urbanisation très intense du littoral de Provence-Côte d'Azur, source d'importants rejets de phosphore le long de ce littoral.

V.3. Conclusion

L'étude de la spéciation des éléments nutritifs en Méditerranée nord-occidentale fait ressortir des différences entre les masses d'eaux, que ce soit horizontalement ou verticalement. Certaines différences, en particulier pour les formes minérales, sont aisément interprétables tandis que d'autres demanderaient à être approfondies. Les différences peuvent en effet avoir des causes diverses : âge et origine des masses d'eaux, productivité, apports telluriques.

La détermination de la fertilité potentielle des eaux marines passe par une meilleure connaissance de la matière organique dissoute disponible. Il semble, en fait, d'après l'étude des rapports C/N, qu'une très petite proportion de cette matière organique soit biodégradable, donc disponible pour un enrichissement important. Toutefois, si l'on considère les très faibles concentrations d'éléments nutritifs minéraux dans les eaux superficielles, cette part organique disponible peut n'être pas toujours négligeable. L'étude de la matière organique dissoute paraît donc constituer un complément indispensable à celle des éléments nutritifs minéraux pour une meilleure estimation des cycles des éléments vitaux.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAIN, C., 1963 - Topographie dynamique et courants généraux dans le bassin occidental de la Méditerranée au nord du 42^e parallèle. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 27(2), 127-135.
- ALLAIN, C. et J. FURNESTIN, 1969 - Hydrologie de la Méditerranée occidentale (secteur méridional et Golfe du Lion), en automne 1963. Campagne de la "Thalassa" du 12 octobre au 27 novembre. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 33(1), 5-78.
- ALOÏSI, J.C., J.P. CAMBON, J. CARBONNE, G. CAUWET, C. MILLOT, A. MONACO et H. PAUC, 1982 - Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion. Oceanol. Acta, 5(4), 481-491.
- AMINOT, A. et R. KEROUEL, 1982 - Dosage automatique de l'urée dans l'eau de mer : une méthode très sensible à la diacetyl-monoxime. Can. J. Aquat. Sci. 39, 174-183.
- BANOUB, M.W. and P.J. Le B. WILLIAMS, 1972 - Measurements of microbial activity and organic material in the western Mediterranean Sea. Deep-Sea Res., 19, 433-443.
- BERLAND, B.R., D.J. BONIN et S.Y. MAESTRINI, 1980 - Azote ou phosphore ? Considérations sur le "paradoxe nutritionnel" de la mer Méditerranée. Oceanol. Acta, 3(1), 135-141.
- BETHOUX, J.P., 1981 - Le phosphore et l'azote en mer Méditerranée, bilans et fertilité potentielle. Mar. Chem., 10, 141-158.
- CAHET, G., M. FIALA, G. JACQUES et M. PANOUSE, 1972 - Production primaire au niveau de la thermocline en zone neritique de Méditerranée nord-occidentale. Mar. Biol., 14, 32-40.

- CAUWET, G., 1985 - Dynamique de la matière organique dans les milieux halins et polyhalins : son rôle dans les processus géochimiques aux interfaces. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Perpignan, 178 p.
- COPIN, C., 1974 - Contribution à l'étude chimique des particules en suspension dans l'eau de mer. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Paris VI, 147 p.
- COSTE, B., 1971 - Les sels nutritifs entre la Sicile, la Sardaigne et la Tunisie. Cah. Oceanogr., 23(1), 49-83.
- COSTE, B. et H.J. MINAS, 1967 - Premières observations sur la distribution des taux de productivité et des concentrations en sels nutritifs des eaux de surface du Golfe du Lion. Cah. Oceanogr., 19, 417-429.
- COSTE, B. et H.J. MINAS, 1982 - Analyse des facteurs régissant la distribution des sels nutritifs dans la zone de remontée d'eau des côtes mauritaniennes. Oceanol. Acta, 5, 3, 315-324.
- DAUMAS, R.A., 1976 - Variations of particulate proteins and dissolved amino acids in coastal seawater. Mar. Chem., 4, 225-242.
- DELMAS, R., 1984 - Traitement des données de la campagne Phycemed II (sels nutritifs et oxygène dissous). Rapport de contrat CNEXO 83/2900.
- DUURSMA, E.K., 1961 - Dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus in the sea. Neth. J. Sea. Res., 1, 1-148.
- DUURSMA, E.K., 1963 - The production of dissolved organic matter in the sea, as related to the primary gross production of organic matter. Neth. J. Sea. Res., 2(1), 85-94.
- FURNESTIN, J. et C. ALLAIN, 1962 - Hydrologie de la Méditerranée occidentale au nord du 42^e parallèle en automne 1958 (Campagne du navire "Président-Théodore-Tissier" du 27 septembre au 18 octobre 1958). Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 26(2), 133-161.

- GILLAM, A.H. and J.P. RILEY, 1982 - Microscale functional group analysis of marine and sedimentary humic substances. *Anal. Chim. Acta*, 141, 287-299.
- Groupe MEDIPROD, 1974 - Résultats de la campagne Mediproduct III (13 juin-2 juillet 1972). Pub. CNEOX, Série Résultats des Campagnes à la Mer, n° 8.
- HENAFF, G., 1974 - Etude hydrologique du Golfe du Lion à partir des campagnes de l'Origny 1971-1972. Rapport n° 380, EPSHOM/E/OC, Brest, sept. 74, 36 p.
- ILAHUDE, A.G., 1984 - Fluorescence studies of humic materials in the Rade de Brest. Thèse de Doctorat en Chimie, Université de Bretagne Occidentale, 163 p.
- IVANENKOV, V.N., 1979 - General data on the nitrogen, phosphorus and silica ; in O.K. BORDOVSKY and V.N. IVANENKOV (eds) : Chemistry of the Ocean, Vol. 1 chemistry of ocean water (en russe). Nauka, Moscou, p 176-184.
- JACQUES, G., C. RAZOULS et A. THIRIOT, 1968 - Données météorologiques et hydrologiques de la région de Banyuls-sur-Mer, année 1966-1967. *Vie et Milieu*, 19(1-B), 185-195.
- JACQUES, G., C. RAZOULS et A. THIRIOT, 1969 - Climat et hydrologie à Banyuls-sur-Mer (Golfe du Lion), 1965-1968. *Vie et Milieu*, 20(2-B), 279-316.
- JOSEFSSON, B., P. LINDROTH and G. ÖSTLING, 1977 - An automated fluorescence method for the determination of total amino acids in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 89, 21-28.
- KIEFER, D.A., R.J. OLSON and O. HOLM-HANSEN, 1976 - Another look at the nitrite and chlorophyll maximum in the central North Pacific. *Deep-sea Res.*, 23, 1199-1208.

LE CORRE, P., P. MORIN et J.L. BIRRIEN, 1984 - Répartition de la matière organique dissoute (N et P dissous) ; in Groupe MEDIPROD, 1984. Propriétés hydrologiques et chimiques des eaux du bassin occidental de la Méditerranée (Campagne Mediproduct IV, 15 octobre-17 novembre 1981). Publ. CNEXO, Résultat des Campagnes à la Mer, n° 26.

Mc GILL, D.A., 1965 - The relative supplies of phosphate, nitrate and silicate in the Mediterranean sea. Comm. Int. Explor. Sci. Mer Médit. Rapp. P.V. Réunions, 18, 737-744.

MACKINNON, M.D., 1981 - The measurement of organic carbon in sea water ; in E.K. DUURSMA and R. DAWSON (eds) : Marine Organic Chemistry. Elsevier Oceanogr. Ser., 31, 415-443.

MARCHAND, M., J.C. CAPRAIS et P. PIGNET, 1985 - Hydrocarbures et hydrocarbures halogénés dans les eaux marines côtières de la Méditerranée occidentale (France). Rapport interne, IFREMER, Centre de Brest, DERO/EL.

MARGALEF, R., J. HERRERA, M. STEYAERT et J. STEYAERT, 1966 - Distribution et caractéristiques des communautés phytoplanctoniques dans le bassin tyrrhénien de la Méditerranée en fonction des facteurs ambiants et à la fin de la stratification estivale de l'année 1963. Bull. Inst. r. Sci. nat. Belg., 43(5), 1-56.

MILLOT, C., 1979 - Wind induced upwellings in the Gulf of Lions. Oceanol. Acta, 2(3), 261-274.

MILLOT, C. et L. WALD, 1981 - Upwelling in the Gulf of Lions, in F.A. RICHARDS, ed., Coastal upwelling, Coastal and estuarine sciences 1. American. Geophys. Union, Washington D.C.

MINAS, H.J., 1968 - A propos d'une remontée d'eaux "profondes" dans les parages du Golfe de Marseille (oct. 1964). Conséquences biologiques. Cah. Oceanogr., XX(8), 647-674.

MINAS, H.J., L.A. CODISPOTI and R.C. DUGDALE, 1982 - Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 180, 148-183.

- MINISTERE DES TRANSPORTS, DIRECTION DE LA METEOROLOGIE, 1984 - Résumé mensuel du temps en France, sept. 84 et Bulletins Quotidiens de Renseignements.
- MIYAZAKI, T., E. WADA and A. HATTORI, 1973 - Capacities of shallow waters of Sagami Bay for oxidation and reduction of inorganic nitrogen, *Deep-Sea Res.*, 20, 571.
- NISSENBAUM, A. and I.R. KAPLAN, 1972 - Chemical and isotopic evidence for the in situ origin of marine humic substances. *Limnol. Oceanogr.*, 17(4), 570-582.
- NYFFELER, F., J. RAILLARD et L. PRIEUR, 1980 - Le bassin liguro-provençal, étude statistique des données hydrologiques 1950-1973. *CNEXO, Rapp. Sci. Techn.*, n° 42, 163 p.
- ROMANKEVICH, E.A., 1984 - *Geochemistry of organic matter in the ocean.* Springer-Verlag, Berlin, 334 p.
- RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION, 1981 - Synthèse des travaux de surveillance 1975-1979 du RNO. *CNEXO-M.E.*, Centre Océanologique de Bretagne, 358 p.
- SCHREURS, W., 1978 - An automatic colorimetric method for the determination of dissolved organic carbon in sea water by UV destruction. *Hydrobiol. Bull.*, 12, 137-142.
- SHARP, J.H., 1983 - The distribution of inorganic nitrogen and dissolved and particulate organic nitrogen in the sea ; in E.J. CARPENTER and D.G. CAPONE (eds) : *Nitrogen in the marine environment.* Academic Press, New-York, 1-35.
- SKOPINTSEV, B.A., S.N. TIMOFYEVA and O.A. VERSHININA, 1966 - Organic carbon in the near equatorial and southern Atlantic and in the Mediterranean. *Oceanology*, 6, 201-210.
- SOLORZANO, L. and J.H. SHARP, 1980 - Determination of total dissolved nitrogen in natural waters. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 751-754.

- TOURNIER, H., 1969 - Hydrologie saisonnière du Golfe du Lion (Travaux de l'"Ichtyos" 1966-1967). Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 33(3), 265-300.
- TREGUER, P. et P. LE CORRE, 1975 - Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. LOC-UBO, Avenue le Gorgeu, 29283 Brest Cedex, France.
- VACCARO, R.F. and J.H. RYTHER, 1960 - Marine phytoplankton and the distribution of nitrite in the sea. J. Cons. int. Explor. mer., 25, 260.