

I.- Nutrients et paramètres biologiques associés

1.- Nutrients

Une première partie est consacrée à la validation des méthodes chimiques d'analyse utilisées et à la justification des processus d'échantillonnage.

Au stade actuel du développement du programme, les échantillons pour l'analyse des nutrients sont prélevés de façon synchrone avec les prélèvements hydrologiques (spatialement et temporellement parlant) et autant que faire se peut, de façon synchrone également avec les prélèvements pour la détermination de paramètres biologiques associés : la teneur en chlorophylle, en phéophytine et la productivité primaire. Après une légère évolution depuis la croisière 0 (janvier 1971), les échantillons pour la détermination du phosphore et de l'azote (sous toutes leurs formes particulières) sont prélevés à chaque maille du réseau expérimental (*cf. fig. 18*), à différentes profondeurs, à l'étale marée basse d'une part, à l'étale marée haute d'autre part.

Alors que les échantillons pour le dosage du phosphore (non ultra-filtrés à bord) sont conservés en bouteilles de pyrex et placés en frigo (à 4°C) après traitement au chloroforme dès le prélèvement, les échantillons pour le dosage de l'azote (non ultra-filtrés à bord) sont conservés en bouteilles de PE et placés immédiatement en *deep-freezer* (- 25°C).

Il a été tenu compte dans ce choix et cette procédure des impératifs de travail à la chaîne et de l'infrastructure existante à bord, de la nécessité de sauvegarder à la fois, une fiabilité suffisante aux échantillons et une cadence de prélèvement qui ne compromet pas les travaux des autres disciplines associées. La discussion des essais ayant conduit à ce choix (reproductibilité et analyse statistique de séries ultra-filtrées à bord, au laboratoire, dialysées au moment de l'analyse, etc.) fera l'objet d'un *Technical Report 1972*⁽¹⁾.

En principe, sauf indication dans le texte, les analyses de nutrients qui sont discutées dans ce paragraphe se rapportent au compartiment (ou

(1) Technical Report Chimie (à paraître début 1972).



fig. 18.

phase dans la définition adoptée pour le modèle mathématique) — en solution — ; il va de soi qu'ultérieurement, et dans le but de préciser les coefficients d'interaction entre phases, il faudra effectuer les mêmes

bilans dans les autres compartiments du modèle⁽¹⁾.

1.1.- Phosphore

Tous les résultats discutés ci-dessous globalement ont fait l'objet des *Technical reports*⁽²⁾ et se rapportent au phosphore total (après hydrolyse acide, donc sous forme de phosphates provenant des polyphosphates inorganiques, des orthophosphates inorganiques, des composés où le phosphore est lié sous forme P-O-P, à l'exclusion des composés où le phosphore est lié sous forme P-O-C et P-C)⁽³⁾. Les résultats sont exprimés en µg de phosphore (P) par litre d'eau de mer (décantée mais non filtrée).

1.1.1.- Hétérogénéité du milieu en fonction des marées

Pour toutes les mailles du réseau expérimental (de 01 à 72) – sauf pour les mailles 01, 06, 07, 11, 54 et 59 – l'écart maximum à la moyenne de concentration en phosphore entre deux marées est de l'ordre de grandeur de la précision (ou mieux) et de la reproductibilité *actuelle* de la technique des mesures (*1 loc. cit.*), exemple :

- croisière 1 (juin 1971) maille 03 24,9 ± 1,3 µg P/l (10 m)
maille 04 25,9 ± 0,6 µg P/l (10 m) etc.

TABLEAU 1

Phosphore en µg P/l (P total). Hétérogénéité du milieu en fonction des marées. Les valeurs données sont les moyennes arithmétiques de prélèvements surface, moyenne, fond.

Maille	Date	Marées			
		Heure	(P) µg P/l	Heure	(P) µg P/l
M 01	28-06-71	13 h 00	30	10 h 30	40
M 06	23-06-71	12 h 45	25,7	17 h 40	48,4
M 07	25-06-71	06 h 45	30,6	13 h 30	36,4
M 11	07-07-71	16 h 00	36,4	23 h 30	39
M 54	20-09-71	15 h 33	55,5	20 h 33	69,5
M 59	21-09-71	08 h 00	36,6	13 h 30	40,4
M 05	02-07-71	02 h 30	41,4	07 h 30	39,7

(1) Pour le compartiment "Sédiments", nous renvoyons à l'exposé d'ensemble du Prof. R. WOLLAST qui est repris en référence en page 138.

(2) Technical Report 1971/01 à 03, Chim. 01 et 02, Dosages Phosphates, ELSKENS & JANSSEN.

(3) HENRIKSEN, Analyst, 90, 29 (1965).

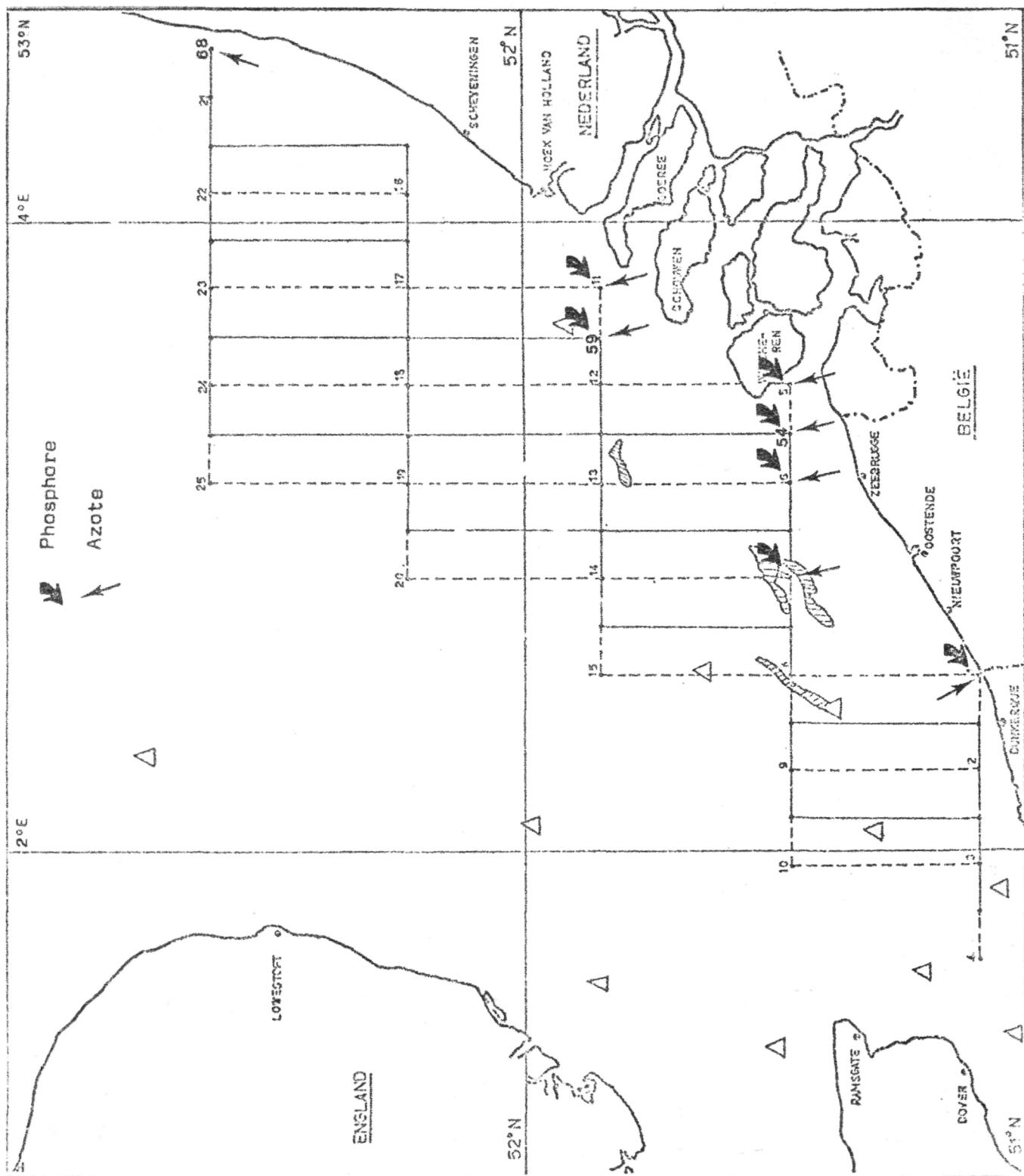


fig. 19.- Phosphore et azote, hétérogénéité du milieu en fonction des marées.

Pour les mailles anormales citées ci-dessus, voir figure 19 et tableau 1, il est à remarquer qu'il s'agit là de mailles à faible profondeur où l'effet de marée disparaît lorsqu'on calcule les moyennes intégrées réelles, compte tenu de Δh c'est-à-dire la différence de profondeur entre deux marées. Ceci revient à dire que la loi de conservation de la masse se vérifie dans la mesure où une turbulence excessive locale et où une consommation excessive locale (mais P n'est pas dans les conditions examinées un élément limitant) ne viennent pas perturber le système. Il y a lieu de mettre ces conclusions en rapport avec les travaux de J. Nihoul sur la composante hydrodynamique verticale⁽¹⁾.

La moyenne intégrée étant

$$\int_0^h C \times dh ,$$

la coordonnée temporelle à laquelle le prélèvement se fait n'a plus que peu d'importance pour peu que la profondeur réelle soit déterminée avec précision (voir *Technical reports navigation*). Il en résulte pour les croisières futures (à partir de la croisière 1971 n°4) une simplification considérable dans le prélèvement, celui-ci — en ce qui concerne les nutriments — n'étant plus limité à la période stricte des étales. Ces considérations seront à revoir lorsque, disposant de techniques plus raffinées, nous aurons à examiner de façon plus précise les processus de turbulence, les processus de mobilisation à partir des matières remises en suspension et d'une façon plus générale tout ce qui touche les coefficients d'interaction entre phases (cf. discussion des résultats colloque des 24-25 nov. 1971, remarque de R. Wollast). Au stade actuel et pour les besoins globaux, l'approximation faite est satisfaisante.

1.1.2.- Hétérogénéité du milieu en fonction de la profondeur (pour une même marée)

Toutes les mailles du réseau expérimental sont, dans les limites de la précision actuellement atteinte, relativement homogènes dans leurs profils surface-fond, sauf les mailles 05, 06, 07, 11 et 63 où l'on distingue

(1) Technical Report, à paraître 1972.

cette fois une influence compétitive entre la proximité de la côte (déchets ménagers et industriels) et du fond (mobilisation par turbulence). La combinaison des deux donne :

- un profil décroissant (surface chargée des effluents à courant rapide)
- un profil croissant (organismes reminéralisés au niveau du benthos proche)
- une combinaison des deux effets : maille 07, fond et courant (voir figure 20).

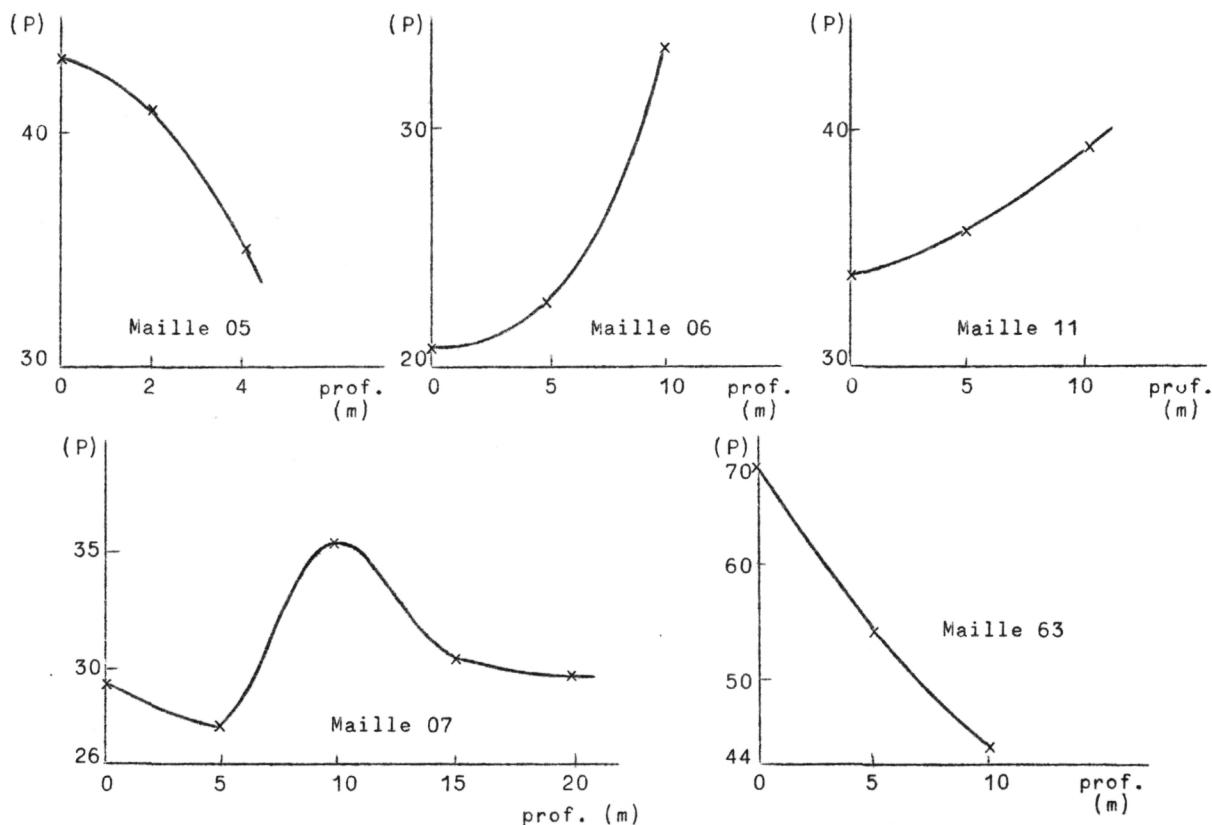


fig. 20.- Profils de concentration surface-fond pour le phosphore (phosphore total exprimé en $\mu\text{g P/l}$).

1.1.3.- Conclusions

a) Tous les éléments qui précèdent nous permettent, *à quelques exceptions près*, de dresser une carte complète pour la région étudiée, de la répartition du phosphore total, en ne tenant compte que des moyennes intégrées

sur la profondeur totale (eau libre) par maille. Cette première approche est d'autant plus justifiée que la région considérée — partie du *Southern Bight* — est du type *homohaline* et *homotherme*^(1,2).

Pour dresser une telle carte de répartition, nous avons adopté un code permettant, à la même échelle, de respecter tous les ordres de grandeur des données quantitatives détaillées dans les *Technical Reports*. Le code est

- soit un *code couleur* :

disques de mêmes dimensions divisés en secteurs de quart dont la couleur donne l'échelle de concentration *par rapport à une norme* prise comme référence, et caractéristique d'un état *normal non pollué*.

Exemple : disque bleu = norme ; disque vert = $4 \times$ la norme ; disque jaune = $16 \times$ la norme ; disque orange = $64 \times$ la norme etc. pour aboutir au disque noir, plus de $256 \times$ la norme.

- soit un *code géométrique* :

qui correspond aux mêmes caractéristiques d'appréciation mais ici c'est la forme qui détermine l'échelle des concentrations. Exemple : cercle = norme ; losange = $4 \times$ la norme ; ellipse = $16 \times$ la norme ; carré = $64 \times$ la norme. Cette deuxième définition moins réaliste au premier abord, est cependant plus simple pour des travaux devant être reproduits par procédés ordinaires.



N



4 N



16 N



64 N

Le choix de la norme, caractéristique de l'état non pollué — en tenant compte, le cas échéant des fluctuations saisonnières — est fixé par un examen critique des données de la littérature. Dans toutes les figures présentées, la valeur absolue prise comme référence est signalée et la source

(1) CUSHING, Productivity of the North Sea, Nato Science Committee Conference, North Sea Science Working Papers; Aviemore Scotland (15-20 nov. 1971), volume 1, fig. 1 (preprint) — Region A1(homohaline all year round), region A2 (homothermal, all year round), voir figure 21, p. 103.

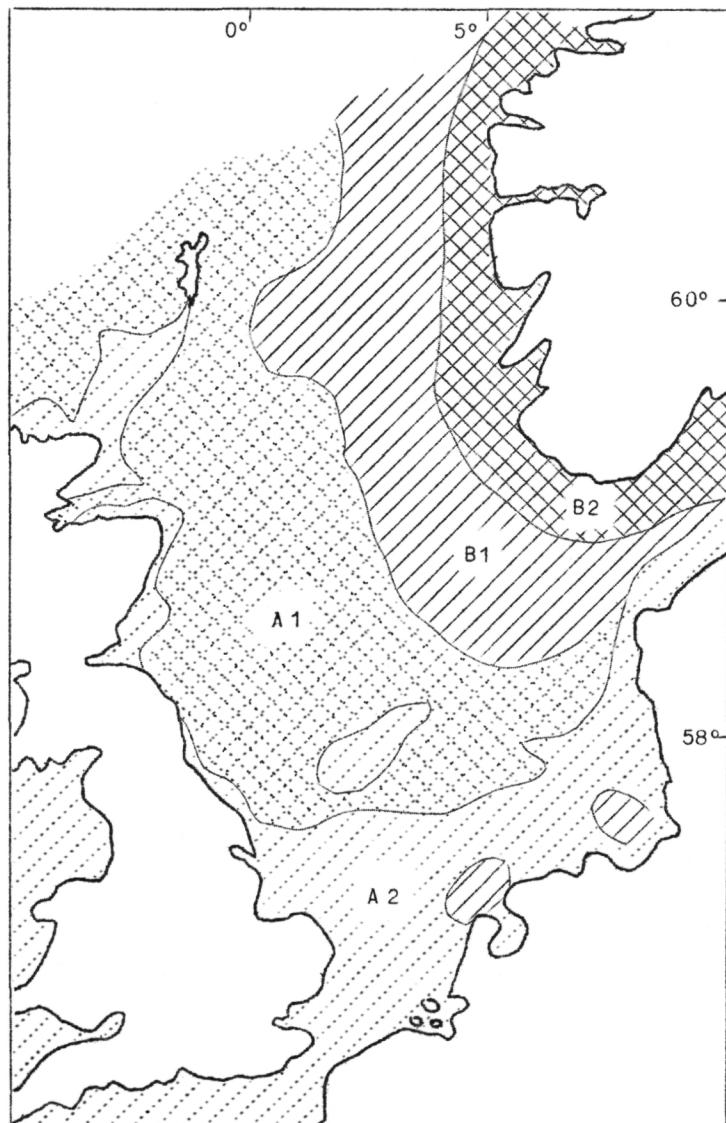
(2) HÖHN, On the climatology of the North Sea, Nato Science Committee Conference, cf. note (1), volume 1, maps 9-12 (preprint) — Répartition des températures de surface janvier, avril, juillet, octobre.

également. En ce qui concerne le phosphore total en solution, nous avons choisi, pour des régions où le P n'est pas un élément limitant, la valeur annuelle moyenne de 15 µg P/l⁽¹⁾.

b) Examen de la répartition du phosphore dans le modèle

L'examen des figures 22 (phosphore total, croisières 1-2) et 23 (phosphore total, croisière 3), montrent que de juin à novembre, le phosphore n'est certainement pas un élément limitant de la productivité. La concentration moyenne étant comprise entre 2 et 4 fois la norme, on

(1) JOHNSTON and JONES, Serial Atlas of the Marine Environment, folio 11, Am. Geogr. Soc., New York, 1969.



Suite de la note (1), page 102 :

fig. 21.- Division de la mer en "régions"

A1 : homohaline

A2 : homotherme

(Extrait de CUSHING, Productivity of the North Sea).

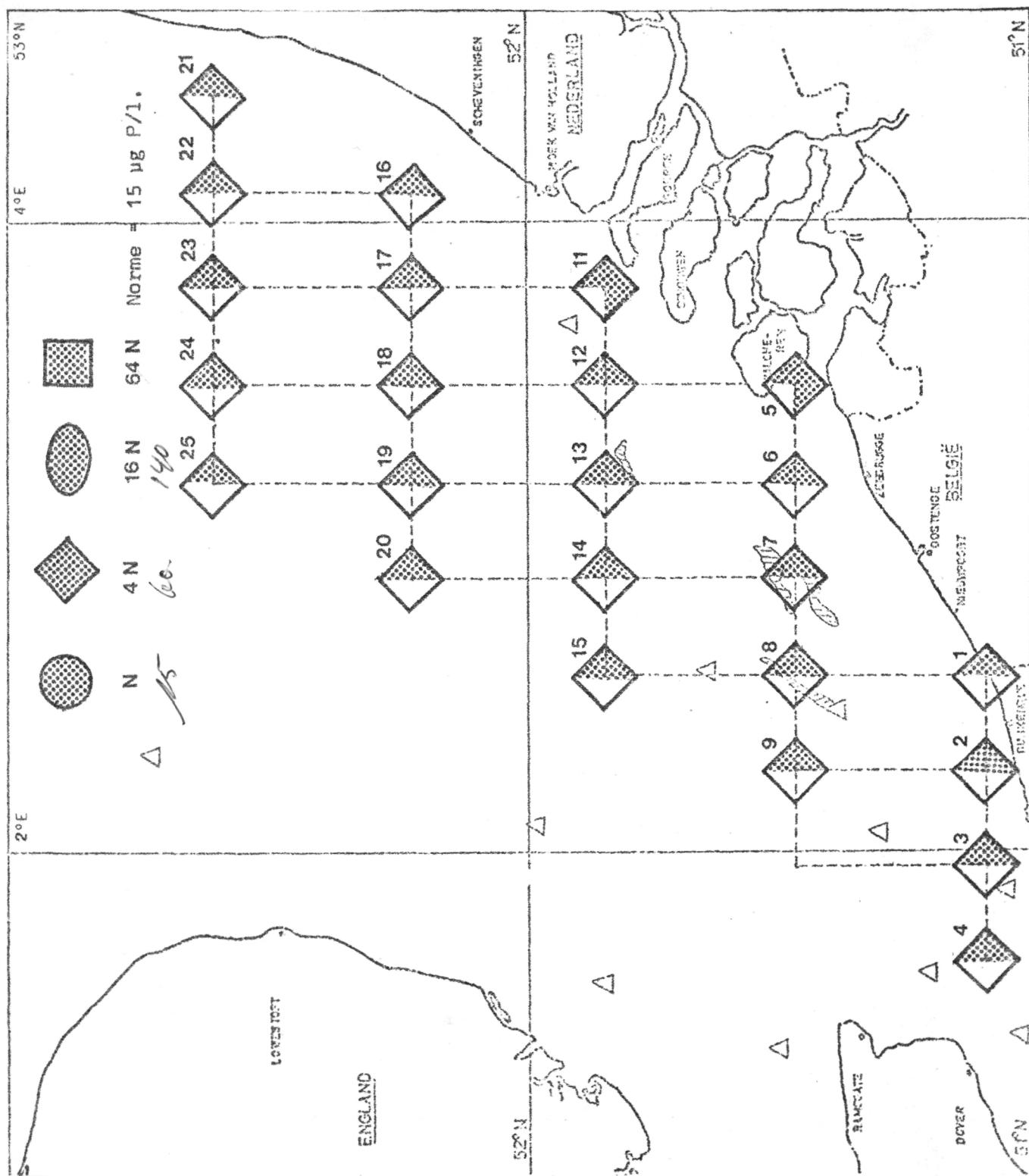


fig. 22.- Répartition du phosphore dans le modèle (croisières 1 et 2). Concentrations moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale.

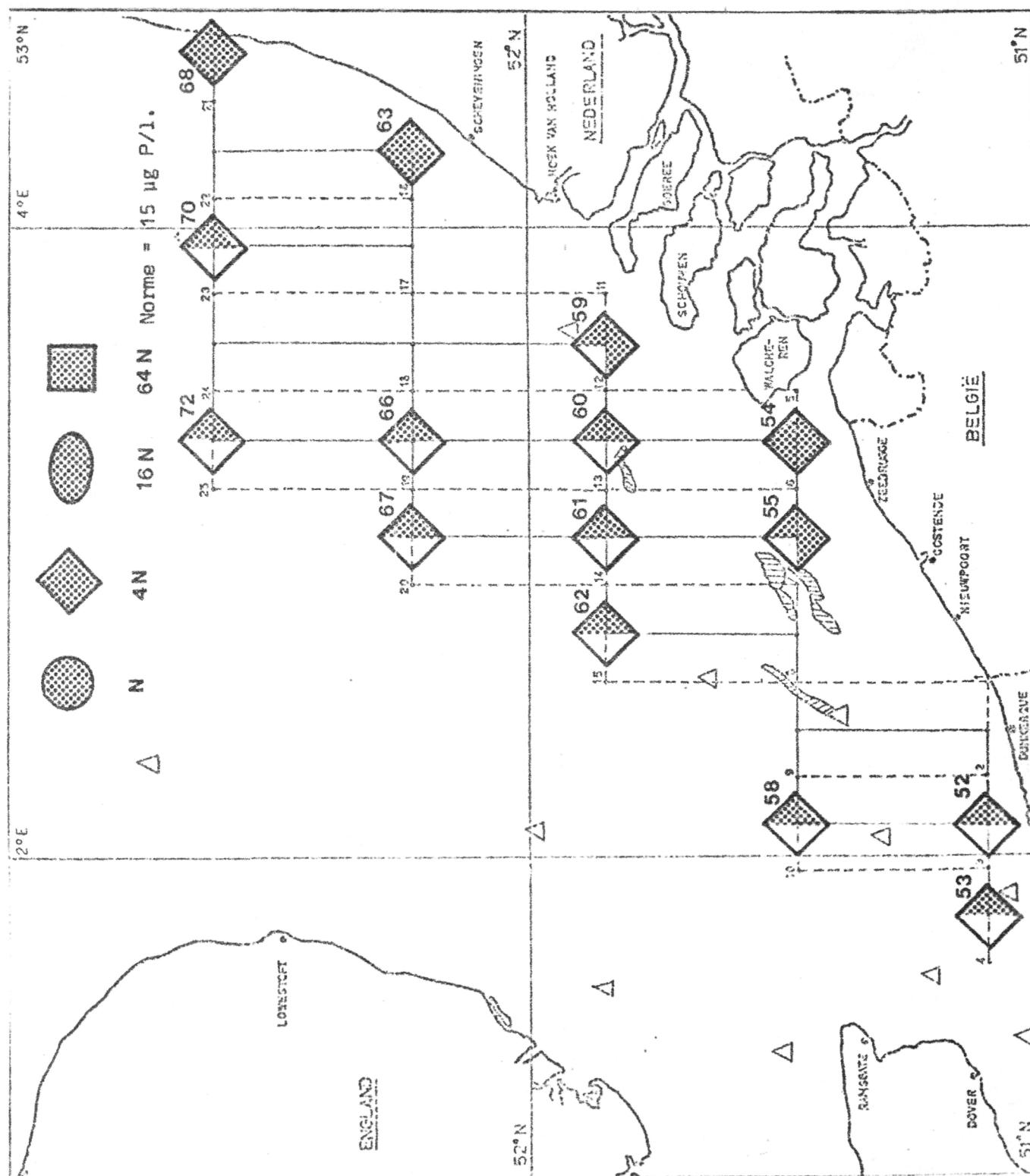


fig. 23.- Répartition du phosphore dans le modèle (croisière 3). Concentrations moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale.

peut même dire que le phosphore des effluents (déchets ménagers et industriels) joue un rôle de *promoteur de la productivité* par rapport à la situation existante dans un milieu équilibré. Nous reviendrons ultérieurement sur la signification précise et la portée du terme productivité en ce qui concerne la pollution.

Les profils de concentration en phosphore en fonction de la distance à la côte (source des effluents, estuaires, etc.) est décroissant (voir figure 24) ce qui indique bien une *consommation* du phosphore par la biomasse qui s'ajoute à l'effet de dilution bien moins important si l'on prend en considération une condition de stationnarité. Le cas exceptionnel des mailles 07 et 08 à proximité desquelles se font les déversements volontaires sera évoqué plus tard; les fortes concentrations aux mailles 63 et 68 sont dues aux effluents importants du Rhin et de l'Ems et à l'existence de courants de surface importants qui balayent la zone estuarienne vers le nord⁽¹⁾.

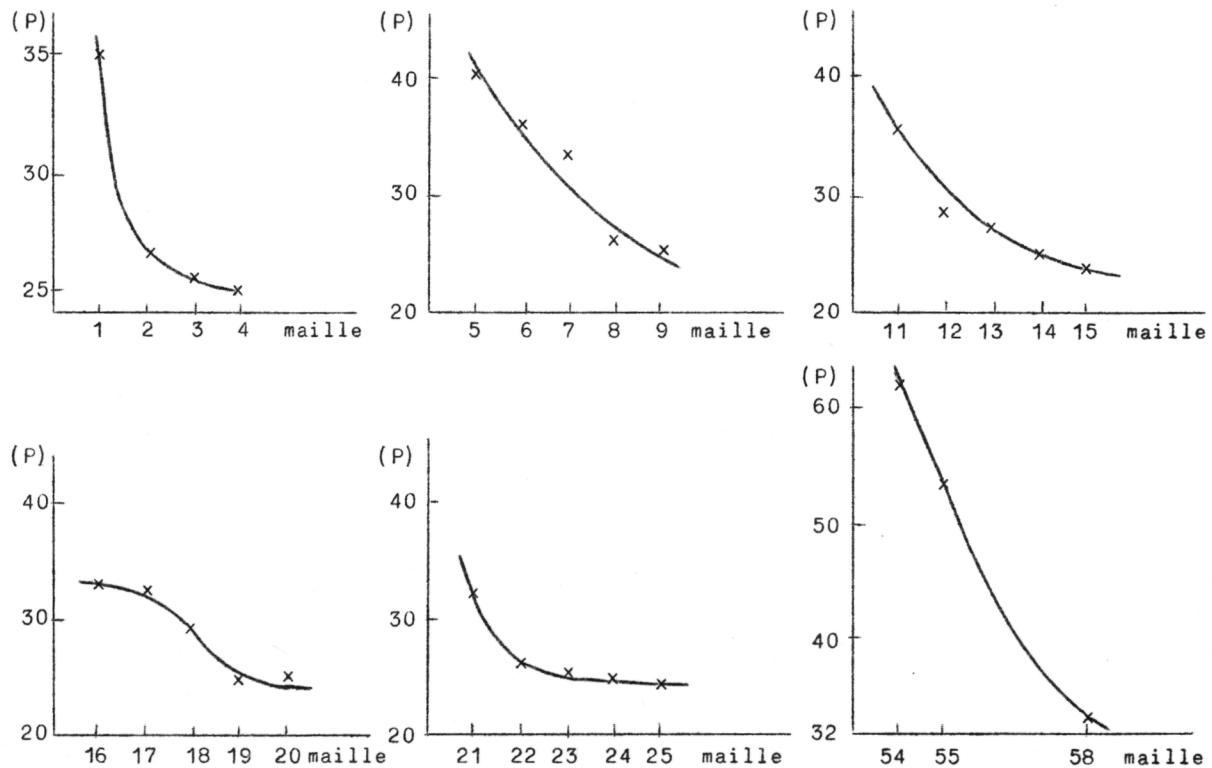


fig. 24.- Phosphore (total en µg P/l). Profils de concentration côte-large. Les valeurs sont les moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale.

(1) Voir carte des courants résiduels en Mer du Nord.

Nos résultats s'accordent quantitativement très bien avec ceux de la littérature dans la région considérée (compte tenu du fait que les courbes isoconcentrations présentées sont exprimées en microgrammes atomes de P dans le travail de Johnston⁽¹⁾ et que le réseau de points de prélèvements dans un document couvrant une région importante est forcément moins dense que dans les travaux entrepris dans le cadre du modèle mathématique belge).

(1) JOHNSTON, Nutrients and metals in the North Sea, Nato Science Committee Conference, North Sea Science Working Papers, Aviemore Scotland (15-20 novembre 1971), vol. II (preprint), p. 12, cf. fig. 25.

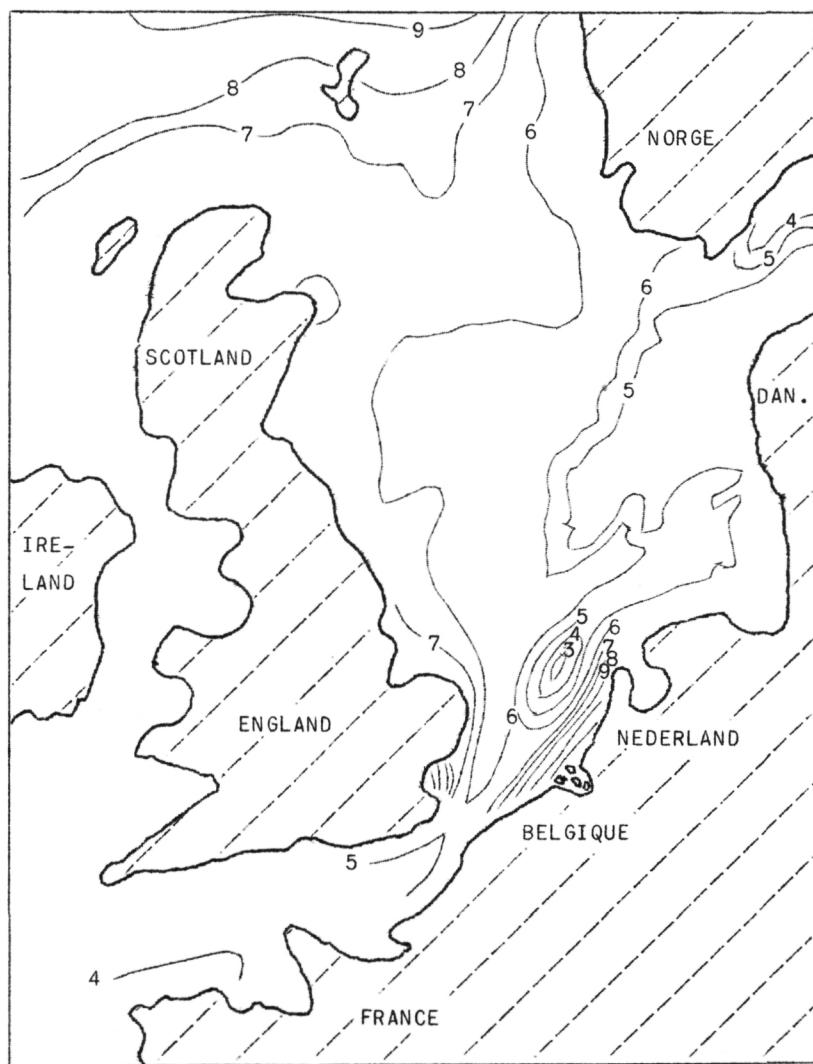


fig. 25.- Winter Inorganic Phosphate in 10^{-6} g at. P/1 (extrait de JOHNSTON).

Enfin, il est important de dire⁽¹⁾ que l'analyse simultanée du phosphore libre avant ou après hydrolyse acide ne donne que très rarement des différences mesurables dans le réseau expérimental de mailles étudiées. Cela revient à dire qu'à la sortie des estuaires, le phosphore se présente déjà quasi quantitativement hydrolysé (ou métabolisé un certain nombre de fois dans la chaîne alimentaire). Il n'en sera probablement plus de même dans les croisières déjà programmées et destinées à l'examen plus approfondi des eaux estuariennes (type Escaut) où rien que le phosphore avant hydrolyse représente déjà 500 à 600 µg P/l (soit 40 × la norme).

1.2.- Azote

Ce qui a été dit précédemment pour le phosphore à propos de l'hétérogénéité du milieu en fonction des marées et de la profondeur est – *stricto sensu* – valable pour la répartition des nitrates et des nitrites. Les mêmes anomalies se situent aux mêmes endroits (voir figure 19); une maille anormale supplémentaire 68 est soumise pour des raisons déjà exposées aux effluents directs de l'Ems et du Rhin. Le gradient de concentration surface-fond est quasi inexistant, mais il est à remarquer que les concentrations sont quantitativement très faibles – le nitrate est probablement l'élément limitant dans la région étudiée, peut-être associé à d'autres éléments; nous y reviendrons plus en détail⁽²⁾.

Conclusion : Examen de la répartition de l'azote dans le modèle

En ce qui concerne les nitrates⁽³⁾ il existe une différence quantitative assez sensible entre les cartes de répartition des croisières 1 et 2 (juin-juillet-août 1971) et de la croisière 3 (septembre 1971), voir figures 26 et 27. Cette différence existe aussi pour certains métaux lourds rapidement

(1) Technical report CIPS, Chimie, Formes particulières du phosphore, produits d'hydrolyse, phosphate libre et polyphosphates, à paraître 1972.

(2) Technical report 1971/00 - Chim. 01, Détermination des concentrations en nitrate et nitrite, by Prof. I. ELSKENS & D. JANSSEN, V.U.B.

Technical report 1971/01 - Chim. 01, Détermination des concentrations en nitrate et nitrite, by Prof. I. ELSKENS & D. JANSSEN, V.U.B.

Technical report 1971/03 - Chim. 03, Détermination des concentrations en nitrate et nitrite, by Prof. I. ELSKENS & D. JANSSEN, V.U.B.

(3) Norme prise en considération 70 µg N/l, référence RILEY et SKIRROW, Chemical Oceanography I (1965).

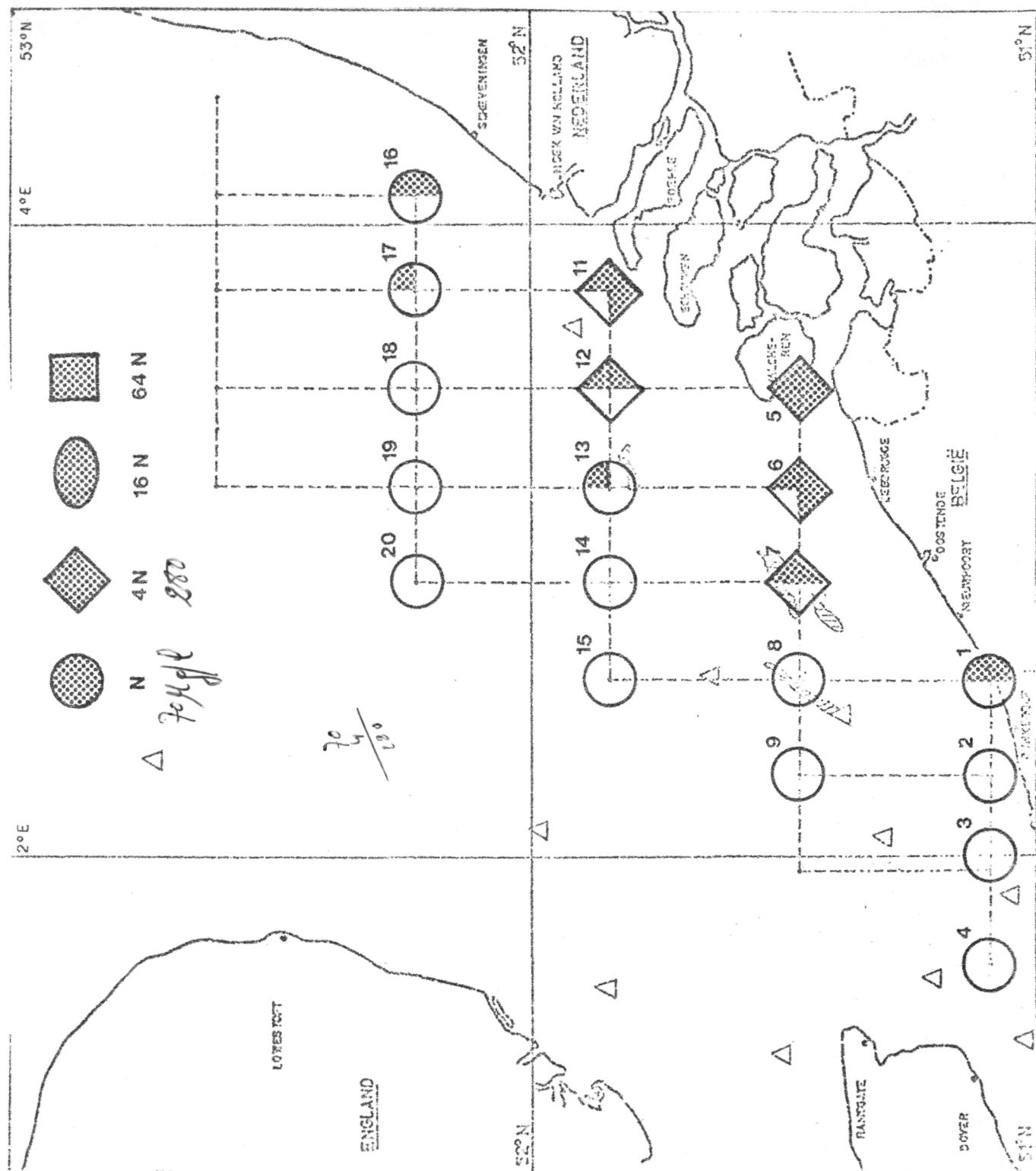


fig. 26.- Répartition du nitrate dans le rodale (croisières 1 et 2). Concentrations moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale. Norme = 70 µg N/l.

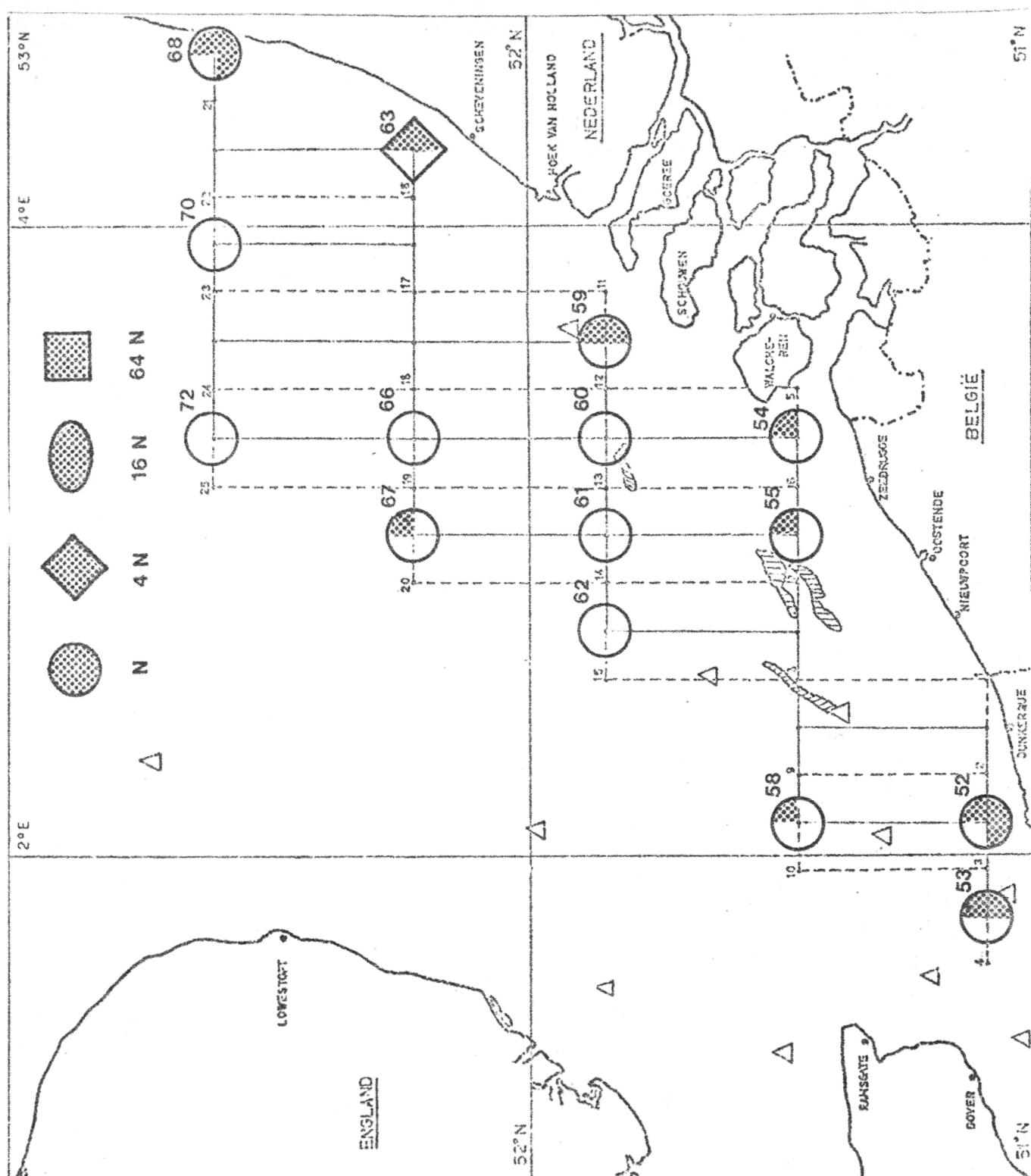


fig. 27.- Répartition du nitrate dans le modèle (croisière 3). Concentrations moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale. Norme = 70 µg N/l .

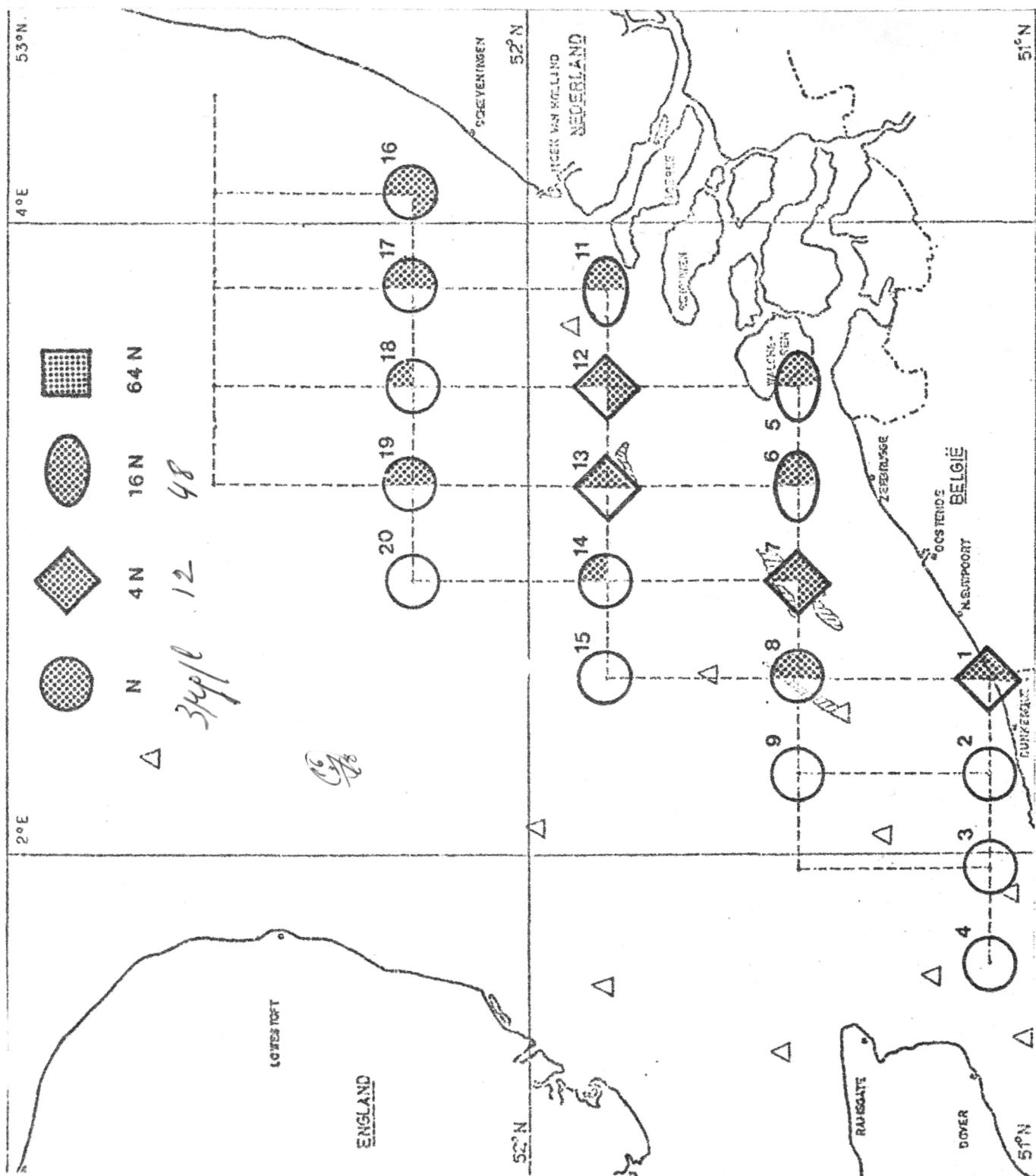


fig. 28.- Répartition du nitrite dans le modèle (croisières 1 et 2). Concentrations moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale. Norme = 3 µg N/l.

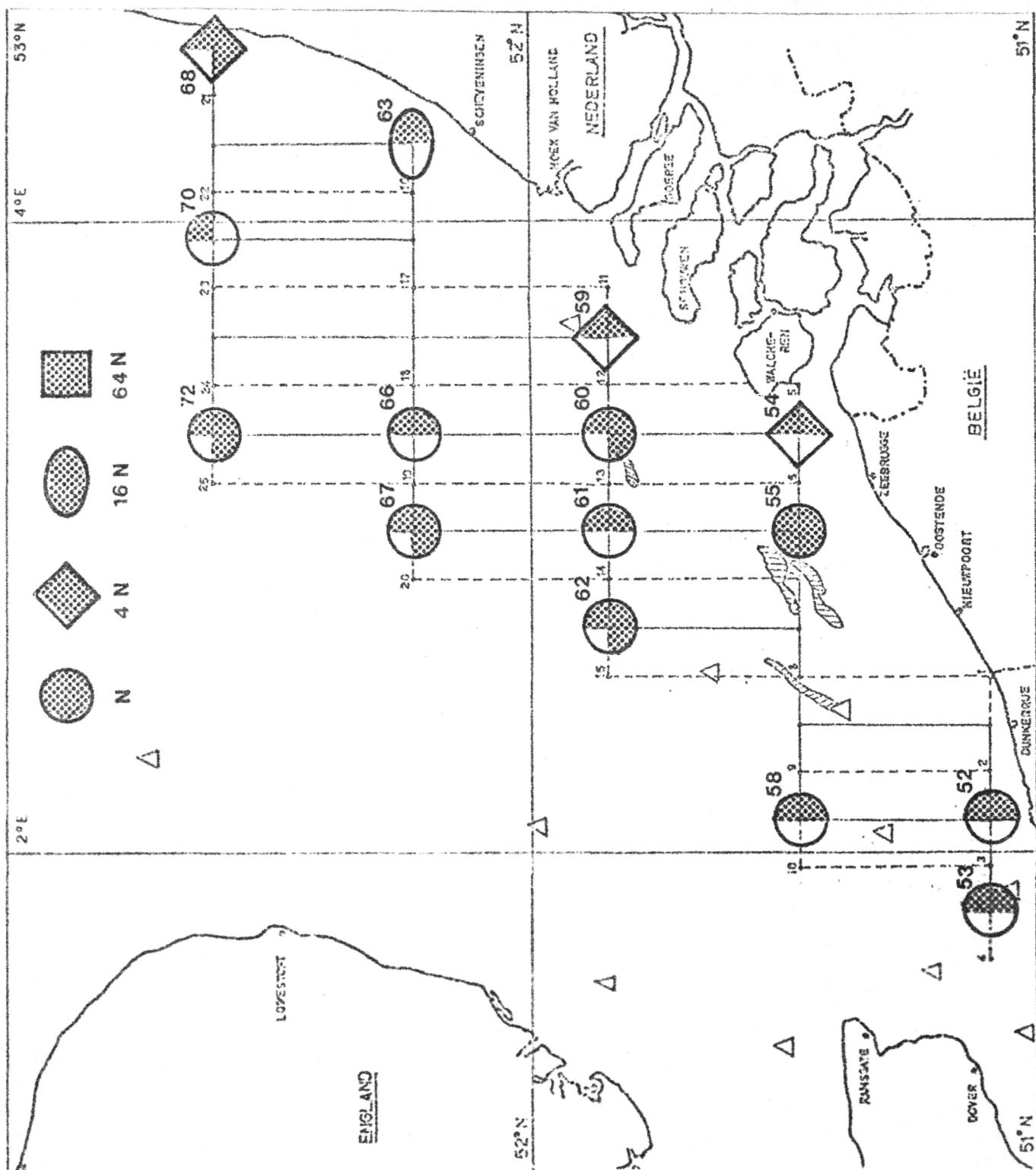


fig. 29.- Répartition du nitrite dans le modèle (croisière 3). Concentrations moyennes intégrées sur deux marées et la profondeur totale. Norme = 3 µg N/l .

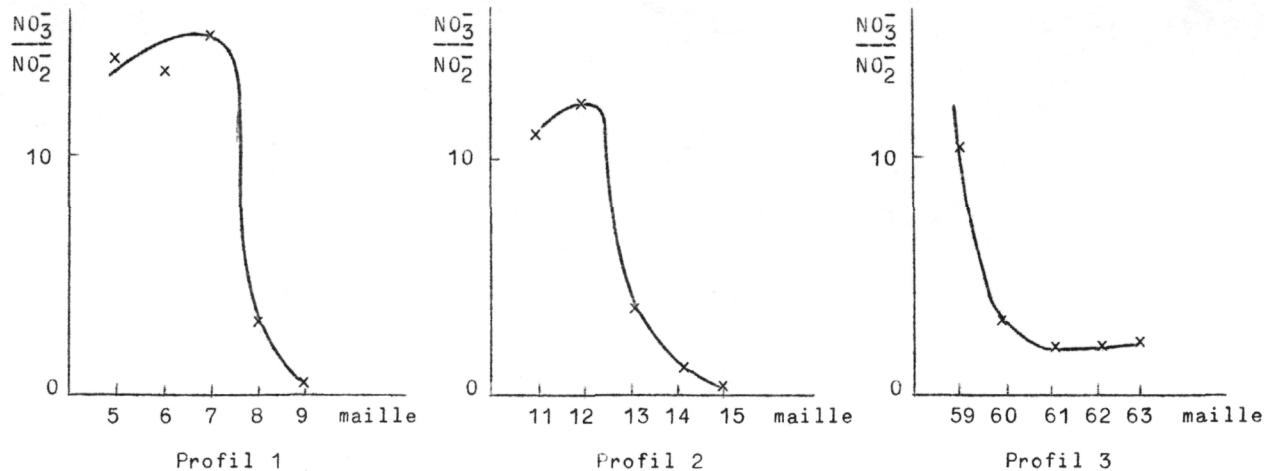


fig. 30.- Rapports NO_3^-/NO_2^- , profils côte - large. Les valeurs données sont les moyennes par maille.

métabolisés — comme le zinc — et indique probablement une variation saisonnière (printemps-été à fin été) dont les équations du modèle dynamique tiendront compte.

Les nitrites⁽¹⁾ sont des indicateurs de pollution au voisinage des côtes et des estuaires (voir figures 28 et 29). A quelques exceptions près⁽²⁾, les nitrites se diluent vers le large suivant une loi hydrodynamique normale.

Les nitrates sont consommés suivant un profil côte-large (*cf.* figures 26 et 27). Il ne s'agit pas là simplement d'un profil de dilution parce que le rapport nitrate/nitrite diminue simultanément (voir figure 30). Le fait que ces rapports passent à des valeurs nettement *en dessous des normes* aux mailles extrêmes et extérieures du réseau de mesure expérimental (voir figures 31 et 32), indique qu'il faut mettre cette consommation, peut-être exagérée, d'azote sur le compte de la *promotion à la productivité* due aux

(1) Norme prise en considération 3 µg N/l, référence RILEY et SKIRROW, Chemical Oceanography I (1965).

(2) Certains résultats des Technical Reports 1971/00-03 - Chim. 01 et 03 sont sujets à caution. Dans l'état actuel de la technique des prélèvements, des échantillons assez chargés en matières en suspension (après tempête, etc.) sont délicats à analyser. Une étude est en cours à ce sujet et fera l'objet d'un Technical Report dans le courant de 1972 puisque, si l'on peut dire, le modèle mathématique de la mer agitée nous intéresse presque plus que celui de la mer calme !

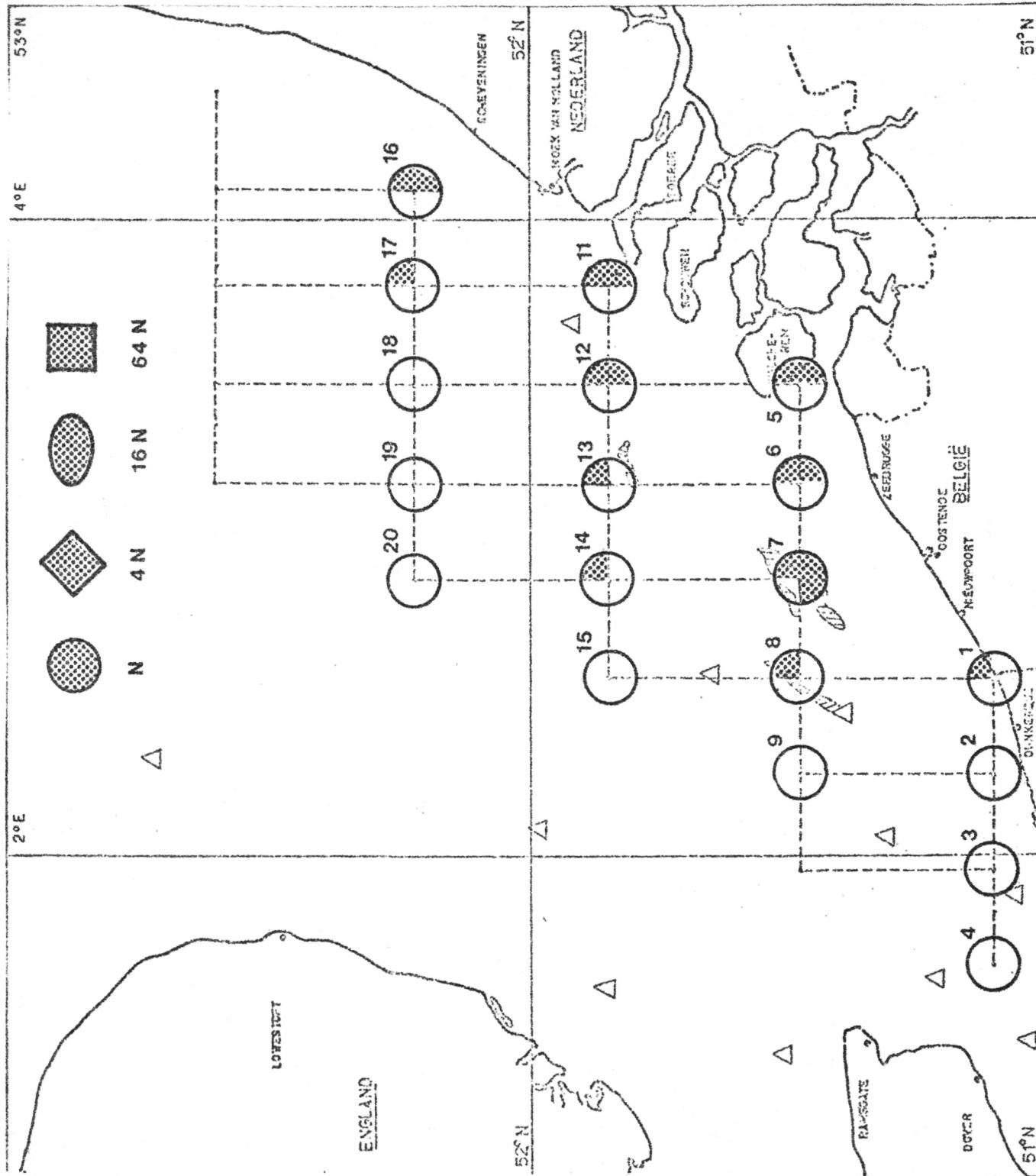


fig. 31.- Rapports nitrate/nitrite (croisières 1 et 2), moyennes intégrées. Norme = 23,3 .
Les cercles non pointillés sont des valeurs en dessous de 25 % de la norme.

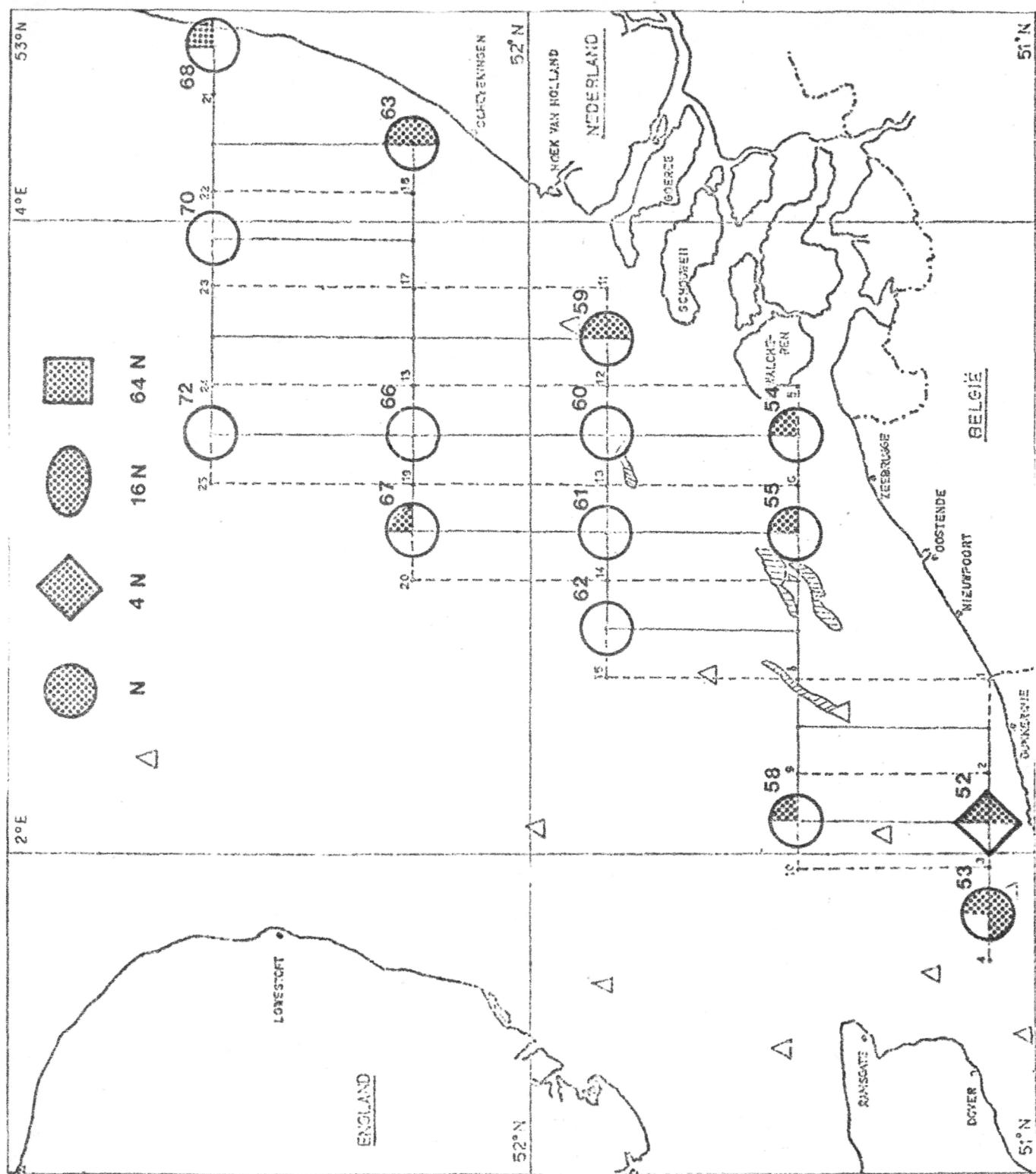


fig. 32.- Rapports nitrate/nitrite (croisière 3), moyennes intégrées. Norme = 23,3 .
Les cercles non pointillés sont des valeurs en dessous de 25 % de la norme.

phosphates⁽¹⁾. Il en découle comme conséquence que le nitrate semble jouer ici le rôle de l'élément limitant au développement de la biomasse, sans toutefois que l'on puisse affirmer qu'il est le seul élément limitant. A ce point de la discussion, il est utile de faire remarquer qu'il est dommage que des déterminations du même type ne soient pas faites en ce qui concerne la silice dissoute. Ce paramètre qui ne figure dans aucune fiche de l'actuel programme sera introduit dans le courant de l'exercice 1972⁽²⁾.

Il est évident qu'un bilan global de l'azote dans le modèle ne peut être fait actuellement puisque deux au moins des formes particulières importantes de l'azote (ammonium et urée) ne figurent pas dans les listes des paramètres routinisés, alors qu'on ne peut nier le rôle important que l'ammonium joue principalement dans les zones à faible profondeur à mobilisation importante au niveau benthique⁽³⁾. Cette situation résulte du compromis à trouver entre une méthode d'échantillonnage fiable mais routinisée et des techniques analytiques parfois très subtiles. Nous ne sommes pas les seuls à avoir rencontré des difficultés dans ce domaine puisque d'une part dans les recommandations finales de la *North Sea Science Conference*⁽⁴⁾, section chimie, le texte suivant a été adopté : « ... (iv) *Regarding the distribution of nutrients, we recognize the incompleteness of the range of substances studied. We draw attention to the availability of methods capable of giving extensive information on dissolved ammonia*

(1) Cette conception est par ailleurs corrélée très positivement avec les mesures de productivité primaire (voir Technical Reports, série Biol. 00). Tout se passe du point de vue azote, dans le cadre du réseau expérimental envisagé comme dans un système fermé : l'alternance des espèces étant la conséquence immédiate de l'épuisement du compartiment - non vivant ou vivant - qui leur sert de support (cf. communication au colloque CIPS des 24-25 novembre 1971 : C. JOIRIS, Nutrients et biomasse - preprint).

(2) Cette lacune a fait l'objet de discussions après présentation du rapport d'ensemble au colloque CIPS des 24 et 25 novembre 1971. R. Wollast a souligné qu'outre le nitrate, il se peut bien que la silice dissoute soit aussi un élément limitant et spécialement dans le cas de zones estuariennes (perte en silice par mobilisation chimique ou biologique). Ce paramètre est par ailleurs indispensable pour la discussion des corrélations entre nutriments et diatomées, cf. Technical Report 1971/Biol. 05, J. STEYAERT, Premier niveau trophique, détermination de la quantité totale des diatomées au cours de la croisière 0, Laboratoire d'océanologie, U.L.B.

(3) Nous donnons en figure 33 (page 117) un aperçu de répartition de l'azote ammoniacal extrait de la publication de JOHNSTON, Nutrients and metals in the North Sea, note 1, p. 107.

(4) Aviemore, Scotland (15-20 novembre 1971), Nato Science Committee (preprint).

and urea ...» et que d'autre part un texte à peu près semblable a été adopté au *Working Group Analytical Chemistry* au cours de la dernière réunion statutaire du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, Helsinki, septembre 1971. Nous espérons au cours de l'exercice 1972 entrer dans la chaîne des routines une détermination fiable de l'azote ammoniacal en utilisant une technique incrémentielle par type d'eau, associée à un programme de calcul qui tient compte des effets d'interférence ainsi mesurés⁽¹⁾.

2.- Paramètres biologiques associés

La productivité primaire, la teneur en chlorophylles et en phéophytines sont discutées en détail dans plusieurs rapports techniques⁽²⁾

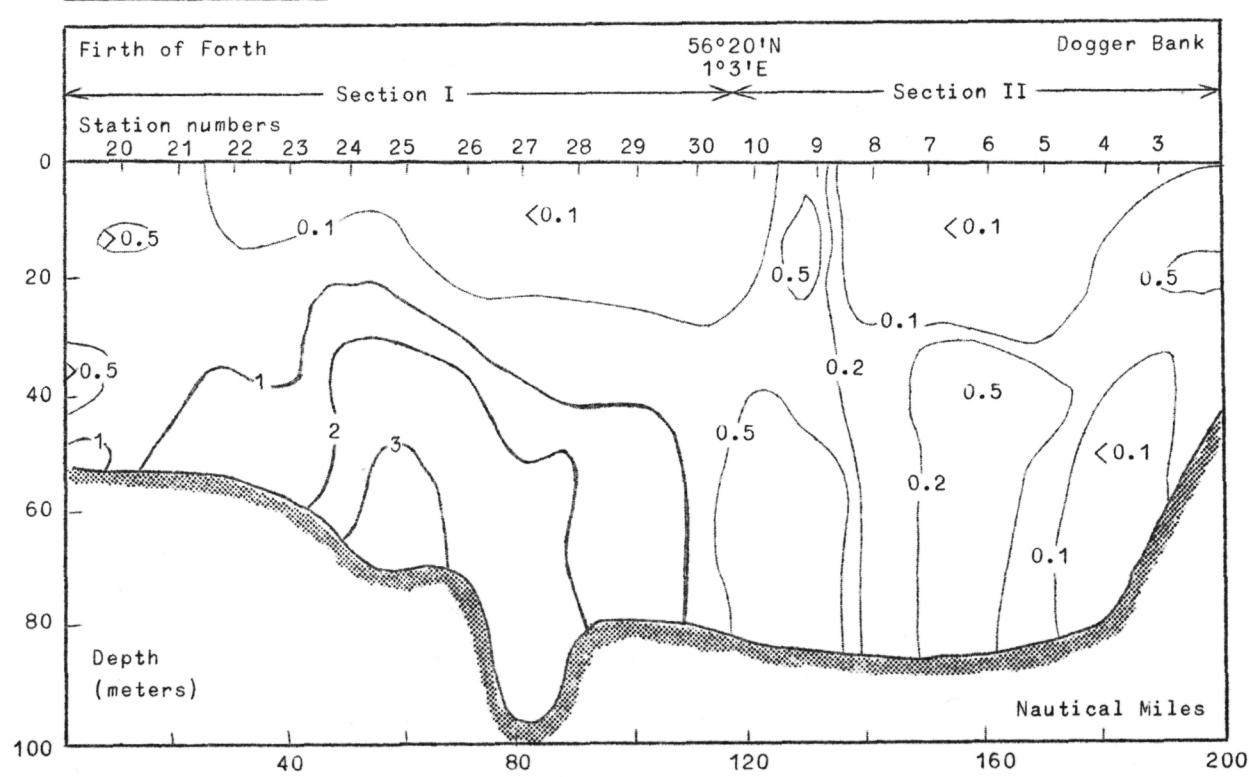


fig. 33.- Répartition de l'azote ammoniacal, profil vertical (extrait de JOHNSTON, op. cit.)

(1) Cette méthode fera l'objet d'un développement et d'un Technical Report, à paraître 1972.

(2) Ch. VAN BEVEREN, Distribution de la chlorophylle et des phéopigments au cours des campagnes de juillet-août et septembre 1971, Laboratoire d'océanologie U.L.B. (publication non encore présentée en Technical Report CIPS).

.../..

et dans le rapport du groupe biologie. Ils sont présentés dans le cadre de ce travail de façon sommaire afin qu'au stade actuel on puisse se rendre compte des corrélations possibles productivité-nutrients.

3.- Conclusion générale : Nutrients et productivité

Alors que l'analyse des nutrients avait été introduite originellement dans le programme du modèle mathématique comme paramètres informatifs à l'usage des spécialistes de la biomasse et dans le but de préciser certaines données relatives aux coefficients d'interaction, les résultats qui précèdent indiquent clairement qu'il faut les considérer désormais également comme des *indicateurs de pollution* au même titre que les autres éléments qui avaient été sélectionnés tels les métaux lourds, les métabolites de pesticides, les résidus d'hydrocarbures, etc.

La productivité en général (la productivité primaire en est un indicateur) est certainement augmentée considérablement par la présence en Mer du Nord des produits de l'activité humaine (déchets ménagers et industriels); la question se pose : jusqu'où pourra-t-on aller dans cette voie sans arriver à des développements erratiques, signes avant-coureurs de la catastrophe finale ?

Cette optique pessimiste mais réaliste a déjà été signalée par nos collègues anglais⁽¹⁾. Dans un paragraphe traitant des implications biologiques des décharges il est dit notamment : « ... *From the evidence presented in the paper it would appear that discharge of nutrients from estuaries into the North Sea can cause both local and general increases in concentration. As the productivity of shallow marine environments is*

Technical Report 1971/00, Biol. 01, J.P. MOMMAERTS, Primary Productivity, Ekologie en Systematiek, V.U.B.

Technical Report 1971/01, Biol. 01, J.P. MOMMAERTS en C. JOIRIS, Primary Productivity, Ekologie en Systematiek, V.U.B.

Technical Report 1971/03, Biol. 01, J.P. MOMMAERTS en C. JOIRIS, Primary Productivity, Ekologie en Systematiek, V.U.B.

(1) A. JAMES (University of Newcastle upon Tyne), Marine Pollution from estuaries, Nato Science Committee Conference, North Sea Science Working papers (preprint), Aviemore Scotland (15-20 nov. 1971), vol. II.

commonly limited by low concentrations of nutrients it would appear that these discharges could have important biological implications. It is intended that the next phase of this investigation will examine the effect on primary productivity ... »

Nous avons franchi ce pas, il reste maintenant à examiner les implications quantitatives de la promotion à la productivité. Il est assez aisément de calculer les quantités globales de nutriments déversés (déchets ménagers et industriels cumulés) et consécutifs à l'activité humaine, au moyen des techniques modernes du calcul numérique. Ce calcul a été fait par Johnston⁽¹⁾ pour des populations équivalentes à 65.000, 200.000, 650.000 et 2.000.000 d'habitants. Il apparaît ainsi que les activités cumulées de 2.000.000 d'habitants provoquent une décharge d'environ 100 tonnes d'azote soluble et de 10 tonnes de phosphore soluble, par jour. Si cette quantité de nutriments est répartie dans une zone de 3 km² par exemple, elle donne évidemment un accroissement de concentration en nutriments, avec bien entendu toute une série d'implications biologiques. Le tableau 2, extrait du travail de Johnston, nous classe les effets biologiques en 4 groupes distincts : (1) promotion générale, (2) écologie modifiée, (3) *Weeds and Worms*, (4) mort totale, qui se succèdent en ordre inverse en fonction du degré de dilution. Il apparaît ainsi clairement que les produits cumulés de l'activité humaine de 2.000.000 d'habitants tuent tout dans une zone de 3 km², que dans ces conditions, il faut 10 km² pour voir réapparaître le stade *Needs and Worms*⁽²⁾, 30 km² pour voir réapparaître le stade écologie modifiée et enfin 100 km² pour voir réapparaître une promotion générale équilibrée. On notera incidemment qu'au stade promotion, la concentration en P est de l'ordre de 51 µg P/l, soit environ 3 × la norme prise en considération dans nos travaux et environ la concentration moyenne en P répertoriée sur les cartes du modèle. On notera, en outre, que la croissance des plantes est multipliée dans ces conditions par un facteur 3 et celles des animaux par un facteur 2,1.

(1) JOHNSTON, *Nutrients and metals in the North Sea*, Nato Science Committee Conference, North Sea Science Working Papers, Aviemore Scotland (15-20 novembre 1971), vol. II (preprint).

(2) Terme délicat à traduire parce que sa portée dépend des conditions locales et qui, par ailleurs, est utilisé entre guillemets dans le travail de JOHNSTON.

TABLEAU 2

Effect of nutrient enrichment in a pollution situation
(Extrait de JOHNSTON)

	General enhancement	Altered ecological balance	"Needs and Worms"	Stagnation and kill off
Daily discharge Sol. N Sol. P	3×10^3 kg 3×10^2 kg	10^4 kg 10^3 kg	3×10^4 kg 3×10^3 kg	10^5 kg 10^4 kg
Approximation equivalent population	65.000	200.000	650.000	2.000.000
Winter max. N conc. in $\mu\text{g N/l}$	336	672	1.848	5.208
Winter max. P conc. in $\mu\text{g P/l}$	51	102	282	800
Plant growth	x 3 (original spp)	x 8 (selected spp)	x 5 (narrow range spp-intermittent)	no persistent growth-possible isolated blooms
Animal growth	x 2,1 (original spp)	x 1,3 (selected spp)	no estimate available	no stable animal communities
Area affected in each category	3 km^2 10 km^2 30 km^2 100 km^2	3 km^2 10 km^2 30 km^2	3 km^2 10 km^2	3 km^2

La parole est aux spécialistes de l'étude de la productivité pour le calcul de la production en g de C/ m^2 lorsqu'ils disposeront des éléments suffisants, ce qui ne pourrait tarder. Les valeurs estimées en Mer du Nord entre les années 1954 et 1956 d'après un document du *Marine Research U.K.* s'échelonnent suivant les conditions locales entre 45 et 110 g C/ m^2 .

Il est indispensable de noter ici que les travaux de Johnston n'ont volontairement pas tenu compte du fait que les décharges de l'activité humaine contiennent dans la réalité d'autres substances que des nutriments. La situation telle que décrite ci-dessus, n'est donc qu'un aspect du problème et pour en assurer une approche globale, il faudra encore tenir compte des effets inhibiteurs — parfois très spécifiques — dus à la présence de métaux lourds, de résidus d'hydrocarbures, de métabolites de pesticides, même en

concentrations très faibles, sur l'évolution de la répartition des espèces. De là l'existence de toute une série de travaux en cours du groupe physiologie qui ont fait l'objet de plusieurs rapports techniques discutés plus en détail dans le rapport général biologie. De toutes façons, il est clair que le groupe chimie doit dès à présent attacher plus d'importance à la détermination de paramètres liés à la masse de carbone (cellules vivantes et détritus ou produits de métabolisation) en équilibre avec les eaux étudiées⁽¹⁾. Nous espérons introduire dès l'exercice 1972 une mesure combinant la demande chimique en oxygène à la vitesse instantanée initiale de métabolisation de cette matière organique. Cette combinaison⁽²⁾ permet de tenir compte à la fois des quantités absolues à métaboliser et de la vitesse réelle de métabolisation naturelle compte tenu de la nature éventuellement polluée du milieu. Les paramètres auxquels il est fait allusion ici sont plus fondamentalement liés au mécanisme de dépollution naturelle que les mesures classiques parfois difficiles à interpréter TOD, COD, BOD.

Enfin disons que, pour l'interprétation de quelques anomalies locales, telles la maille 07 du réseau expérimental il serait souhaitable que nous soyons tenus au courant de la fréquence, de la nature et de l'importance des déversements autorisés, de façon tout à fait régulière. Ce facteur joue incontestablement un rôle capital dans la zone considérée, nous devons en tenir compte tout en ne négligeant pas l'autre aspect des anomalies locales auquel a fait allusion L. De Coninck dans son rapport général biologie et qui trouve confirmation dans la littérature⁽³⁾ à propos de la Mer du Nord : « ... Patches of the larger size range are often caused by topography which influences water movements and therefore the plankton, but also influences the habitat of the benthos ... »

En conclusion, on a l'habitude de considérer que tout ce qui se passe au large dans la Mer du Nord est normal; ce n'est strictement pas vrai

(1) Là également d'énormes difficultés surgissent. Elles ont été évoquées au cours du Symposium Int. Technicon, Maison de la Chimie à Paris, 8-10 nov. 1971, section I.4 Pollution : G. CATROUX, J.N. MORFAUX, J. SARRIS (INRA Dijon), Une nouvelle technique de la détermination de la BOD des eaux résiduaires.

(2) Technical Report, à paraître juin 1972.

(3) J.H. FRASER, Zooplankton of the North Sea, Nato Science Committee Conference, North Sea Science Working papers, Aviemore Scotland (15-20 nov. 1971), volume I (preprint).

quand on affine les représentations. S'il est vrai qu'il existe un problème côtier et local au niveau des décharges et des estuaires, il n'en est pas moins vrai que le problème du large est également préoccupant : l'ordre de grandeur des concentrations en nutrients est supérieur à la normale; il ne faut pas perdre de vue que cette *promotion à la productivité* permet — à court terme et de façon permanente — *l'entrée dans la pyramide alimentaire des éléments toxiques* et polluants (type métaux lourds pour se limiter à ceux-là) qui sont également présents dans les effluents et qui eux se présentent au large en concentrations beaucoup plus grandes que la norme. Cela nous ramène donc à une meilleure prise de conscience de la *philosophie à longue échéance* qui a été si justement rappelée par A. Distèche dans plusieurs interventions consacrées à l'établissement du programme.