

SYNTHESE - OM/1977-1978 02

GROUPE "MATIERES ORGANIQUES"

Synthèse des recherches sur les nutriments
(période 1977 - 1978)

par J.P. Mommaerts, W. Baeyens (Unité de Gestion
des Modèles Mer et Estuaire) et
G. Decadt (Laboratorium Analytische Scheikunde,
V.U.B.)

Cette synthèse emprunte ses données aux rapports suivants :

SURVEY/1978 : 02 : J.P. Mommaerts en I. Elskens. Seizoen-
variatie en ruimtelijke verspreiding van de nutriënten in
de Zuidelijke Noordzee.

SURVEY/1978 : 07 : L. Goeyens en G. Decadt. Seizoen-
variatie en ruimtelijke verspreiding van de nutriënten in
de Zuidelijke Noordzee.

OM/1978 : 15 : A. Bertels. Excretie en primaire productie-
bepaling in de Noordzee.

OM/1978 : 18 : J. Nijs en A. Bertels. Brutto resultaten van
de partikulaire en opgeloste primaire produktie voor Oostende-
Calais - Hansweert van 1978.

OM/1978 : 20 : M. Somville. Nitrification et dénitrification
dans l'estuaire de l'Escaut.

OM/1978 : 21 : M. Somville. Dosage de la nitrate réductase
en Mer du Nord et dans la partie aval de l'estuaire de l'Escaut.

PLAN

I. INTRODUCTION

II. RESULTATS

1. Régulation de l'activité phytoplanctonique

1.1. Rappel de quelques aspect théoriques

1.2. Recherche de l'élément limitant

1.2.1. Considérations théoriques

1.2.2. Variations saisonnières des principaux nutriments dans les trois zones

1.2.3. Expériences d'enrichissement faites en mer

1.2.4. Expériences d'enrichissement faites en réacteur

1.3. Interaction ammoniacale-nitrateréductase

2. Recherche de cohérences

2.1. Problématique

2.2. Discussion des méthodes analytiques

2.2.1. Rappel bref des techniques généralement utilisées

2.2.2. Aperçu des principaux problèmes soulevés par ces méthodes

2.3. Variations spatiales et temporelles des concentrations en nutriments dans la zone côtière belge

2.4. Flux de consommation nette et de régénération nette impliqués par les variations de concentration observées

2.5. Conclusions

"Sans l'azote, pas de 14 juillet !" (1)

I. INTRODUCTION

Lorsque le groupe "nutrients" a été créé en 1977, les problèmes étaient déjà clairement énoncés. Par la suite, ils ont été rappelés régulièrement, mais les progrès ne sont que très lents. Il en est ainsi d'une question fondamentale intéressant la dynamique de notre écosystème côtier et posée pour la première fois il y a 6 ans (!) dans le cadre du "Projet Mer" : Y a-t-il un nutriment limitant ? Quel est-il ? Comment limite-t-il la production planctonique ?

Il est évident qu'il existe ici une demande pour une recherche qui ne rencontre jusqu'à présent que trop peu de disponibilités.

C'est cependant aussi dans le cycle biogéochimique d'un élément tel que l'azote (plutôt que de celui du carbone) qu'apparaissent le plus clairement les translocations nettes entre compartiments biologiques.

Une grande partie des problèmes provient évidemment des difficultés techniques liées à la mesure des activités d'uptake et d'excrétion et des difficultés pratiques liées à la mesure des inputs aux frontières du système.

Les recherches entreprises dans la période 1977 - 1978 couvrent deux aspects principaux :

- 1) régulation de l'activité phytoplanctonique (voir aussi rapport du groupe "phytoplancton")

(1) Cri de guerre obligé du groupe "nutrients". La citation, aujourd'hui bien connue des initiés, est extraite de "l'Azote" de Obaldia.

- avec :
- a) examen des courbes saisonnières observées dans les trois milieux étudiés afin de repérer :
 - 1° - les périodes où les concentrations de certains nutriments tombent sous une valeur telle qu'on peut raisonnablement estimer qu'elles sont limitantes (limitation "cinétique").
 - 2° - les périodes où le rapport N/P est très écarté de sa valeur moyenne (~ 7 en poids) (limitation "stoechiométrique").
 - b) expériences d'enrichissement (réalisées en mer) afin de déterminer quel nutriment (donc limitant) peut stimuler la photosynthèse.
 - c) expériences d'enrichissement réalisées en réacteur afin de déterminer la nature de l'élément limitant et de préciser la relation nutriment - vitesse d'uptake.
 - d) dosages de nitrate-réductase dans le phytoplancton afin de déterminer s'il existe une capacité d'utilisation de NO_3^- , même en présence de NH_4^+ .

2) recherche de cohérence (voies de translocation)

Si les mesures directes (ou calculées) des flux de consommation et de régénération par les compartiments biologiques, plus les inputs et outputs aux frontières du système, sont corrects, alors les variations de concentration de nutriment observées dans le milieu doivent être cohérentes avec le flux résultant.

Les points suivants sont discutés :

- a) méthode d'analyse des nutriments.
- b) variations saisonnières (temps et espace) des nutriments dans la zone côtière belge.
- c) flux impliqués par ces variations.

II. RESULTATS

1. Régulation de l'activité phytoplanctonique

1.1. Rappel de quelques aspects théoriques.

De la même manière que la lumière contrôle l'intensité de la production primaire, les concentrations de un ou plusieurs éléments nutritifs (on pense généralement à NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{--} , Si(OH)_4 , mais il peut en être d'autres) influencent les taux de biosynthèse et jouent un rôle déterminant dans la compétition interspécifique au sein du phytoplancton.

Un modèle mathématique d'écosystème doit obligatoirement tenir compte de l'effet de régulation qu'exerce le nutriment limitant sur :

1°) la vitesse d'uptake (U) de ce nutriment (S) :

il est généralement admis que la relation a une forme hyperbolique, décrite par Michaëlis et Menten :

$$U = U_{\text{max.}} \cdot f(S) \\ \text{avec } f(S) = \frac{S}{K_S + S} \text{ variant entre 0 et 1}$$

2°) la vitesse d'uptake d'autres éléments (nutriments ou éléments constitutifs, tels que le carbone) avec deux approches :

1- approche simple : les vitesses sont dans les mêmes rapports que les constituants de la matière vivante (phytoplancton) :

$$41 : 7,2 : 1 \quad \text{pour C : N : P (en poids)}$$

Les rapports $\frac{C}{N} = 5.7$ et son inverse $(1/\text{Yield}) = Q = 0.18$ sont particulièrement utilisés.

2- approche complexe : plusieurs travaux indiquent qu'il convient de distinguer :

(a) entre les métabolismes du carbone (photosynthèse, principalement régulée par la lumière) et du nutrient limitant (uptake, principalement régulé par la concentration ambiante) ;

(b) entre les mécanismes d'uptake et de croissance. En effet, quoi qu'ait écrit Monod, l'équation qui décrit le mieux la croissance (cf. production nette particulaire) n'a pas nécessairement la même forme michaëlienne que celle qui décrit l'uptake : la croissance se ferait plutôt en puisant dans un réservoir interne qui se constitue en période de non-limitation. Droop (1973) a proposé une formulation nouvelle tenant compte d'études très fines menées sur chemostats :

- uptake :
$$U = U_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad (\text{ex.: en azote})$$

- croissance :
$$\mu = \mu_{\max} \left(1 - \frac{Q_0}{Q}\right) \quad (\text{ex.: en carbone})$$

où $Q = \frac{S}{C}$ dans la cellule (quota) (1)
avec $S = \text{azote, par ex.}$

$Q_0 = \text{valeur minimale du quota}$

- évolution du quota intracellulaire :

$$\frac{dQ}{dt} = u - \mu Q$$

(1) La forme sous laquelle est stockée la réserve de nutriment n'est pas précisée. Ce qui est important ici, c'est qu'il y a une approche par modèle qui tient compte de la composition biochimique du phytoplancton (voir les paragraphes consacrés aux stocks et à la spéciation dans le rapport du groupe "Phytoplancton").

Cette formulation ayant été établie pour un système à lumière constante et étant basée, en ce qui concerne la croissance, sur des nombres de cellules n'est donc pas directement utilisable dans un modèle d'écosystème.

Tenant également compte de la restriction évoquée en (a), Mommaerts (thèse, 1978) a proposé un modèle qui incorpore ces différents éléments de façon logique :

- production primaire brute (carbone) :

$$\frac{dC}{dt} \cdot \frac{1}{C} = U^C = U_{\max}^C \cdot f_1(I) \cdot f(Q)$$

où $U_{\max}^C$ = vitesse max. d'uptake de C (par unité de C)
 $f_1(I)$ = fonction de l'intensité lumineuse
 $f(Q)$ = fonction du pool interne d'azote (ex. $1 - \frac{Q_0}{Q}$)

- uptake d'azote (si limitant) :

$$\frac{dN}{dt} \cdot \frac{1}{C} = U^N = U_{\max}^N \cdot f(N) \cdot f_2(I)$$

où $U_{\max}^N$ = vitesse max. d'uptake de N (par unité de C)
 $f(N)$ = fonction de la concentration externe en azote
 $f_2(I)$ = fonction (à préciser) de l'intensité lumineuse (peut-être, fonction du stock d'ATP disponible)

- évolution du quota d'N intracellulaire :

$$\frac{dQ}{dt} = U^N - (U^C - r)Q$$

où r = taux de respiration

Remarque : Comme Q ne peut varier qu'entre certaines limites, le modèle prévoit une excrétion (azote au carbone; selon les cas) de l'excédent assimilé. En cela, il est cohérent avec les observations de Fogg (1971) qui écrit que l'excrétion est beaucoup plus importante en

milieu oligotrophe ou d'autres, plus récentes, en ce qui concerne la photoréduction de $1'O_2$ (avec libération de glycollate) qui peut être comprise comme moyen d'absorber un excès de pouvoir réducteur engendré par la photosynthèse (voir rapport de synthèse du groupe "Phytoplancton").

1.2. Recherche de l'élément limitant

1.2.1. Considérations théoriques

Il est utile de rappeler qu'il y a deux approches fondamentales à ce problème :

- 1) approche stoechiométrique : l'étude du rapport N/P (par ex.) dans l'eau permet de faire un pronostic sur la nature de l'élément limitant ou du moins celui qui serait limitant le premier en fin de consommation.
- 2) approche cinétique : en-dessous d'une certaine valeur saturante de concentration (en pratique, inférieure à $10 \times K_s$), la rétroaction négative sur le flux d'assimilation peut exister effectivement. Comme les valeurs les plus communément citées de K_s (différentes espèces phytoplanctoniques et différents biotopes) sont groupées autour de $1 \mu\text{g at/l}$ de N (14 mg/m^3) ou de P (31 mg/m^3), on voit que ces deux nutriments peuvent occasionnellement être limitants puisque les gammes observées en Mer du Nord varient entre 3 et $30 \mu\text{g at/l}$ pour N et 1.4 à $3 \mu\text{g at/l}$ pour P (voir aussi § 1.2.2.).

1.2.2. Variations saisonnières des principaux nutriments dans les trois zones

Calais et Hansweert

Le tableau ci-dessous rassemble les quelques données (en $\mu\text{M}/\ell$) qui proviennent soit du rapport OM/1978 : 21, soit du rapport OM/1978 : 15. Dans ce dernier cas, nous devons ces analyses à P. Mangelsdorf du Biologisch Anstalt Helgoland.

	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	NH_4^+	PO_4^{---}	SiO_2	Source
<u>Calais</u>					
04.04.78	5.45	3.18	0.50	2.2	OM/1978 : 15
07.04.78	4.40	3.75	0.73	1.0	"
11.04.78	19.33	3.76	0.88	3.2	"
17.04.78	8.48	0.40	0.40	3.5	"
18.04.78	11.08	2.81	0.51	3.0	"
<u>Hansweert</u>					
05.05.77	215	61	-	-	OM/1978 : 21
07.04.78	261	28.17	-	-	"
21.04.78	191-249	18.9-36.3	-	-	"

Tabl. I : Concentrations des nutriments à Calais et Hansweert

Région côtière belge

Les variations saisonnières des différents nutriments nous sont connues par les rapports SURV/1978 : 02 et SURV/1978 : 07. On y voit que les gammes de concentration sont grosso modo :

	<u>1977</u>	<u>1978</u>	
$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	: 0 - 850 (0 - 60)	100 - 2000 (7 - 143)	en $\mu\text{g N}/\ell$ en $\mu\text{M}/\ell$
NH_4^+	: 0 - 600 (0 - 43)	25 - 175 (1.8 - 12.5)	en $\mu\text{g N}/\ell$ en $\mu\text{M}/\ell$
PO_4^{---}	: 40 - 300 (1.3 - 9.7)	25 - 300 (0.8 - 9.7)	en $\mu\text{g P}/\ell$ en $\mu\text{M}/\ell$
SiO_2	: 300 - 3000 (10.7 - 107)	250 - 1000 (8.9 - 35.7)	en $\mu\text{g Si}/\ell$ en $\mu\text{M}/\ell$

Tabl. II : Gammes de concentration des principaux
nutrients dans la zone côtière belge

Ces résultats sont plus particulièrement discutés aux §§ 2.3 et 2.4 en ce qui concerne les précautions à prendre pour leur interprétation, les variations spatiales et temporelles et les flux qu'elles impliquent.

DISCUSSION :

Les quelques résultats rassemblés ici sont insuffisants pour établir une comparaison définitive des trois biotopes : disons que la présomption d'une plus grande richesse à Ostende qu'à Calais n'est pas infirmée. La plus grande richesse de l'Escaut n'est évidemment pas à mettre en doute. En ce qui concerne Ostende et Calais, on voit que l'azote et le phosphore sont susceptibles de tomber à des niveaux où ils sont cinétiquement limitants (si on admet que les K_s des organismes phytoplanctoniques des eaux eutrophes dépassent en général l'unité). Cela serait aussi le cas de la silice à Calais.

A Ostende, et en dehors des grands pics d'azote, le rapport N/P est toujours inférieur à 7, ce qui indique qu'en cas de consommation prolongée, l'azote serait épuisé en premier.

En conclusion, on ne peut donc définir la nature de l'élément limitant sans passer par une approche plus directe : expériences d'enrichissement, études en chemostat, etc...

1.2.3. Expériences d'enrichissement faites en mer

Un effet de stimulation de la production primaire par des ajoutes de NO_3^- (présupposé limitant) a été recherché à l'occasion de deux croisières :

- en octobre 1977, des stimulations positives ont été observées à Ostende et à Hansweert (Bertels & Nijs ; tech. rep. en préparation) (Fig. 1)
- en avril 1978, aucune stimulation n'a pu être mise en évidence (tech. rep. OM/1978 : 18).

DISCUSSION :

Il faut tout d'abord faire observer que ce type d'expérience est loin d'être parfait : contrairement à la vitesse d'uptake du nutriment testé, la vitesse de synthèse n'est qu'indirectement liée à la concentration en substrat limitant (voir § 1.1.). Falkowski et Stone (1975) ont notamment montré qu'une absence de stimulation peut résulter d'un effet de compétition entre le CO_2 et le NO_3^- pour l'ATP produit lors de la photophosphorylation cyclique.

L'absence de stimulation par le NO_3^- , observée au printemps, tant à Ostende qu'à Calais, pourrait aussi s'expliquer par le fait que d'autres éléments auraient été limitants à cette époque (notamment PO_4^{---}) :

	NH_4^+	NO_3^-	PO_4^{---}	SiO_2
Calais (4.4.78)	3.18	5.30	0.50	2.2
Ostende (5.4.78)	5.38	16.81	1.91	7.30

Tabl. III : Concentrations en $\mu\text{M}/\ell$

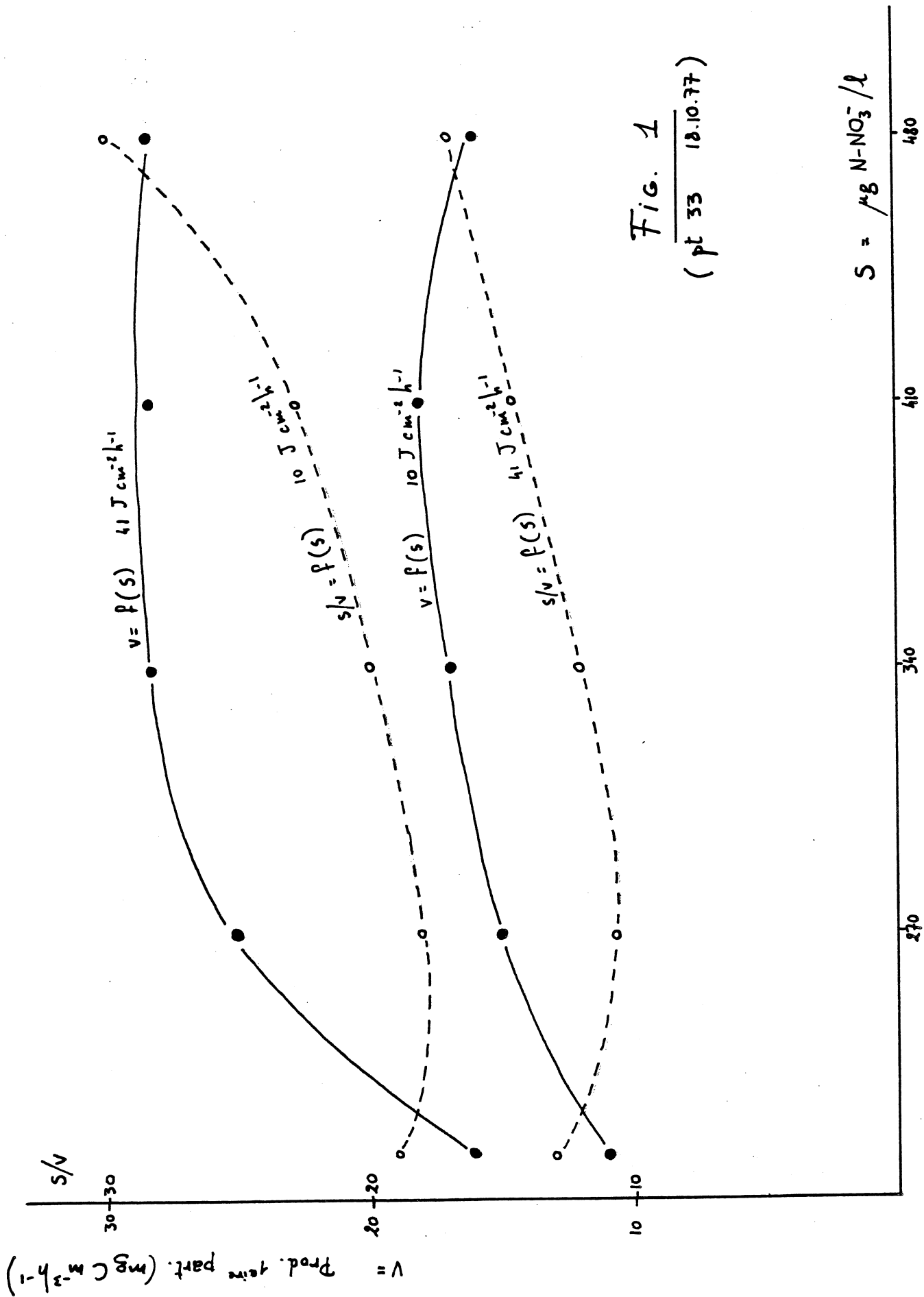


Fig. 1
 (pt 33 18.10.77)

La stimulation effectivement observée en automne ne se comprend cependant pas bien puisque les concentrations de tous les nutriments étaient élevées. De plus, on observe que les courbes obtenues ne sont pas du tout du type Michaëlis-Menten (voir les transformations linéaires en Fig. 1).

Ces quelques résultats nous laissent donc perplexes : on doit regretter que ces expériences ne se soient limitées qu'à un seul type de nutriment.

1.2.4. Expériences d'enrichissement faites en réacteur

Cette étude actuellement en cours, qui fait l'objet d'un contrat de recherche entre le Laboratorium van Analytische Scheikunde (V.U.B.) et l'Unité de Gestion des Modèles Mer et Escaut, vise à une détermination de l'élément limitant et à l'établissement des courbes cinétiques qui décrivent la régulation globale substrat-uptake pour des populations naturelles en Mer du Nord. Il s'agit d'une expérience en partie inspirée de l'expérience de Harrison & Davis (1977).

1.3. Interaction ammoniacale - nitrate - réductase

Le phytoplancton peut utiliser le nitrate et l'ammoniacale comme sources d'azote. Cette dernière forme serait cependant utilisée préférentiellement puisque les cellules font ainsi l'économie d'une réduction.

A cela s'ajoute qu'au-dessus d'un certain seuil de concentration ($\sim 1 \mu\text{M NH}_4^+$), la synthèse de la nitrate-réductase serait réprimée (ex. Eppley et al., 1969). Comme on observe couramment des concentrations d' NH_4^+ supérieures à $1 \mu\text{M}$ (voir § 1.2.2.), l'assimilation d' NO_3^- serait en théorie quasi-impossible dans les trois biotopes étudiés.

Pour contrôler cette hypothèse, des dosages de nitrate-réductase ont été régulièrement faits (rapports OM/1978 : 20 et 21) en testant des extraits cellulaires avec un coenzyme sous forme réduite (NADH en concentration non limitante) et en présence d' NO_3^- . Le nitrite apparu dans les extraits mesure le degré d'activité enzymatique de la nitrate-réductase.

RESULTATS :

En hiver, on ne réussit pas à doser d'activité enzymatique sauf pour quelques stations au large. Il semble bien qu'il s'agisse d'une question de détectabilité (très peu de phytoplancton) plutôt que d'une question de présence ou d'absence d'enzyme.

Au printemps et en été, on trouve de la nitrate-réductase à peu près partout et ce d'autant plus que l'on se rapproche des côtes, alors que le NH_4^+ est généralement présent et parfois même très abondant (ex. les plus fortes activités enzymatiques dans l'Escaut).

En conclusion, la capacité d'utiliser le NO_3^- même en présence d' NH_4^+ semble établie pour nos régions.

2. Recherche de cohérences

2.1. Problématique

En vertu du principe de conservation de la matière, les variations nettes des concentrations en nutriments dissous doivent être cohérentes avec les mesures directes des flux de consommation et de régénération (uptake par la production primaire et régénération par les processus microbiologiques surtout), ainsi que par les flux d'entrées et sorties aux frontières du système.

En ce qui concerne ces derniers, on a déjà vu, pour la Baie Sud de la Mer du Nord (Projet Mer, Rapport final, Vol. 8), que les "flows" d'entrée et de sortie sont quasi-égaux (soit $\approx 300 \cdot 10^3$ tonnes N/an) et que l'Escaut et la région côtière apportent une quantité de l'ordre de 10^4 tonnes N/an. Tant cet apport côtier que l'erreur probable sur le bilan des "flows" sont petits devant la circulation de matière exclusivement due aux processus biologiques : en se basant sur une production primaire nette d'environ $200 \text{ g C/m}^2 \text{ an}$, on calcule une consommation d'environ $200 \cdot 10^3$ tonnes N/an.

Il est donc fort utile de mettre les variations d'activités biologiques en parallèle avec les variations des nutriments dans les trois zones (Calais, Ostende et Hansweert) étudiées par le groupe "Matières Organiques".

Malheureusement, on se heurte actuellement à deux problèmes :

- 1°) hormis la zone côtière belge, régulièrement visitée dans le cadre du programme de surveillance de l'Unité de Gestion du Modèle Mathématique, la Manche et la zone de Calais ne nous sont connues que par des mesures assez espacées dans le temps et provenant de sources diverses (problème d'intercomparabilité) (voir § 1.2.2.). Quant à l'Escaut, cependant bien suivi en ce qui concerne l'azote (cf. tech. rep. OM/1978 : 20), les problèmes sont évidemment plus complexes en raison des mécanismes hydrodynamiques et des processus bactériens pélagiques inconnus en mer : nitrification et dénitrification. Le cas de l'Escaut ne sera donc pas traité dans cette synthèse.
- 2°) en ce qui concerne les variations spatiotemporelles des concentrations en nutriments dans la zone côtière belge, on a observé des phénomènes inattendus, jamais observés (ou dont on n'avait pas réalisé la signification) dans le réseau CIPS, qui était aussi

considérablement plus étendu et beaucoup moins fréquemment visité.

Ce double problème (signification des données provenant de différentes sources, phénomènes sans commune mesure avec des mécanismes biologiques connus) a suscité un effort de réflexion et de retour sur soi.

Le paragraphe qui suit démontre en effet qu'une grande prudence s'impose en ce qui concerne l'interprétation des résultats d'analyses de nutriments quand des relations fonctionnelles précises avec des compartiments biologiques sont étudiées.

Ce n'est donc pas tellement la fiabilité des analyses qui est en cause que la nécessité d'une interaction dynamique entre les biologistes et les analystes.

2.2. Discussion des méthodes analytiques

2.2.1. Rappel bref des techniques généralement étudiées

1) Techniques de conservation et de prétraitement

Dans tous les cas, les paramètres sont déterminés sur des échantillons ni filtrés, ni dialysés, qui sont conservés dans les récipients en plastique à - 20°C sauf pour le PO_4^{---} (récipient en verre, addition de chloroforme et stockage à froid).

2) Méthodes analytiques

a) Phosphore : l'analyse ne concerne que l'orthophosphate (dissous et particulaire). On provoque la formation d'un complexe phosphomolybdique à pH bien précis (H_2SO_4 0.6N), de manière à éviter l'interférence de la silice. On réduit ce complexe par de l'acide ascorbique, pour obtenir une coloration bleue qui absorbe particulièrement à 830 nm.

b) Ammoniaque : l'ammoniaque forme avec le phénolate de Na et de l'hypochlorite de Na un complexe bleu d'indophénol dont l'absorption dépend du pH et est mesurée à 625 nm. La précipitation d'hydroxydes de

Ca et Mg est évitée en ajoutant d'une part de l'EDTA et d'autre part un mélange de tartrate de Na et K et de citrate de Na. De l'eau de mer vieillie sert de contrôle.

- c) Nitrate + nitrite : il s'agit en fait de deux mesures :

1°) mesure directe du NO_2^- en utilisant une réaction classique de diazotation avec le sulfanilamide, couplée à une réaction avec du N-naphtyléthylène-diamine, de manière à provoquer un complexe coloré en pourpre, dont l'absorption est mesurée à 540 nm.
2°) mesure, par la même méthode, du total ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) après réduction en NO_2^- par passage sur une colonne de cupro-cadmium.

Le pH de l'échantillon ne joue pas un rôle essentiel tant qu'il se trouve entre 5 et 9.

- d) Silice : on provoque la formation d'un complexe silicomolybdique jaune à pH d'environ 1.6 tel que les phosphates n'interfèrent que très peu (de plus, l'ajoute d'acide oxalique diminue sensiblement la coloration due au phosphore, qui devient négligeable jusqu'à 5 parties pour 1 partie de silicium). Ce complexe est réduit par de l'acide amino-1 - naphthol-2 - sulfonique-4 ou de l'acide ascorbique de manière à obtenir une coloration bleue qui est mesurée soit à 815 nm, soit à 765 nm.

2.2.2. Aperçu des principaux problèmes soulevés par ces méthodes

En vue d'une interprétation plus correcte des résultats et notamment de leur signification du point de vue des relations fonctionnelles avec les compartiments biologiques, il convient plus particulièrement de discuter les problèmes suivants :

1) L'information obtenue est-elle celle qui est
précisément recherchée ?

En effet, les méthodes analytiques décrites plus haut donnent des concentrations totales de certaines formes de nutriments alors qu'une spéciation plus poussée pourrait être souhaitable.

Ex. :

- les orthophosphates totaux mesurés concernent les phases dissoutes et particulières (adsorbées ou solides). D'autre part, on ne mesure pas les polyphosphates ni les formes organiques qu'il pourrait être intéressant de mieux connaître.
- en ce qui concerne l'ammoniaque, il est certain que les formes facilement dégradables (ex. urée, amines) jouent un rôle important dans le cycle de l'azote. Dans quelle mesure ces formes peuvent-elles interférer dans l'analyse ? (Rem. : une étape d'irradiation aux U.V. a été récemment introduite par les Britanniques dans la méthode. Ne favorise-t-elle pas la formation d'ions NH_4^+ ?)
- en ce qui concerne la silice, on se trouve devant un problème assez particulier : considérant les valeurs de Si dissoute dans le milieu, on trouve toujours des valeurs inférieures à ce que prédisent les équilibres thermodynamiques entre les différentes formes solides (quartz, silice amorphe, frustules de diatomées, etc.) et la silice en solution. Cette situation résulte soit de l'absence de solides, soit des activités biologiques qui font que l'équilibre ne puisse s'installer, soit on peut se demander si les méthodes analytiques actuelles n'influencent pas cet équilibre de manière à fournir des résultats erronés. Inversement, la dialyse - qui est basée sur un tout autre principe d'analyse - ne donnerait-elle pas plus d'informations sur ce problème?

2) Une série de problèmes analytiques sont-ils effectivement rencontrés ?

Ex. :

- L'interférence de particules en suspension avec les déterminations spectrophotométriques est bien connue. Mais on peut perdre de vue que même dans les échantillons filtrés sur $0.8 \mu\text{m}$, il peut y avoir des micelles gênantes pour les analyses. Ne serait-il dès lors pas intéressant de comparer les techniques actuellement employées pour l'analyse des nutriments avec les techniques faisant intervenir une dialyse ?
- Dans presque toutes les méthodes, les problèmes suivants sont particulièrement présents :
 - contrôle du pH
 - connaissance du spectre d'absorption

2.3. Variations spatiales et temporelles des concentrations en NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_2 dans la zone côtière belge

Les rapports techniques SURV. 1978/02 et SURV. 1978/07 permettent de se faire une idée des variations importantes qui se produisent dans la zone côtière belge en 1974, 1977 et 1978.

On peut synthétiser l'information comme suit :

- les périodes de (mai-juin) et/ou d'(août-septembre) voient apparaître des pics parfois très importants de concentration en ce qui concerne le $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ et le NH_4^+ . Ces pics ne correspondent pas au schéma global de consommation estivale - régénération hivernale qu'on peut reconnaître pour les autres nutriments.
- les variations (tant spatiales que temporelles) de $(\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-)$ et NH_4^+ sont $\pm$ liées. Il en va de même de celles de PO_4^{3-} et de SiO_2 . Ces deux couples ont cependant des comportements radicalement différents.
- régionalement, les valeurs les plus fortes sont toujours observées près de l'embouchure de l'estuaire (secteur III) en dehors des périodes de pic. La tendance générale est celle d'un gradient côte-large décroissant. Inversement, quand il y a un maximum saisonnier (pic), les valeurs les plus fortes sont observées au large et à l'ouest (secteur II). Il n'y a plus de gradient côte-large, mais des noyaux de forte concentration situés plutôt au large qu'à la côte ou que dans l'estuaire.

2.4. Flux de consommation nette et de régénération nette impliqués par les variations de concentration observées

Les figures 2 et 2b, obtenues en calculant les dérivées premières des courbes de concentration, permettent de se rendre compte que les consommations nettes d'azote observées

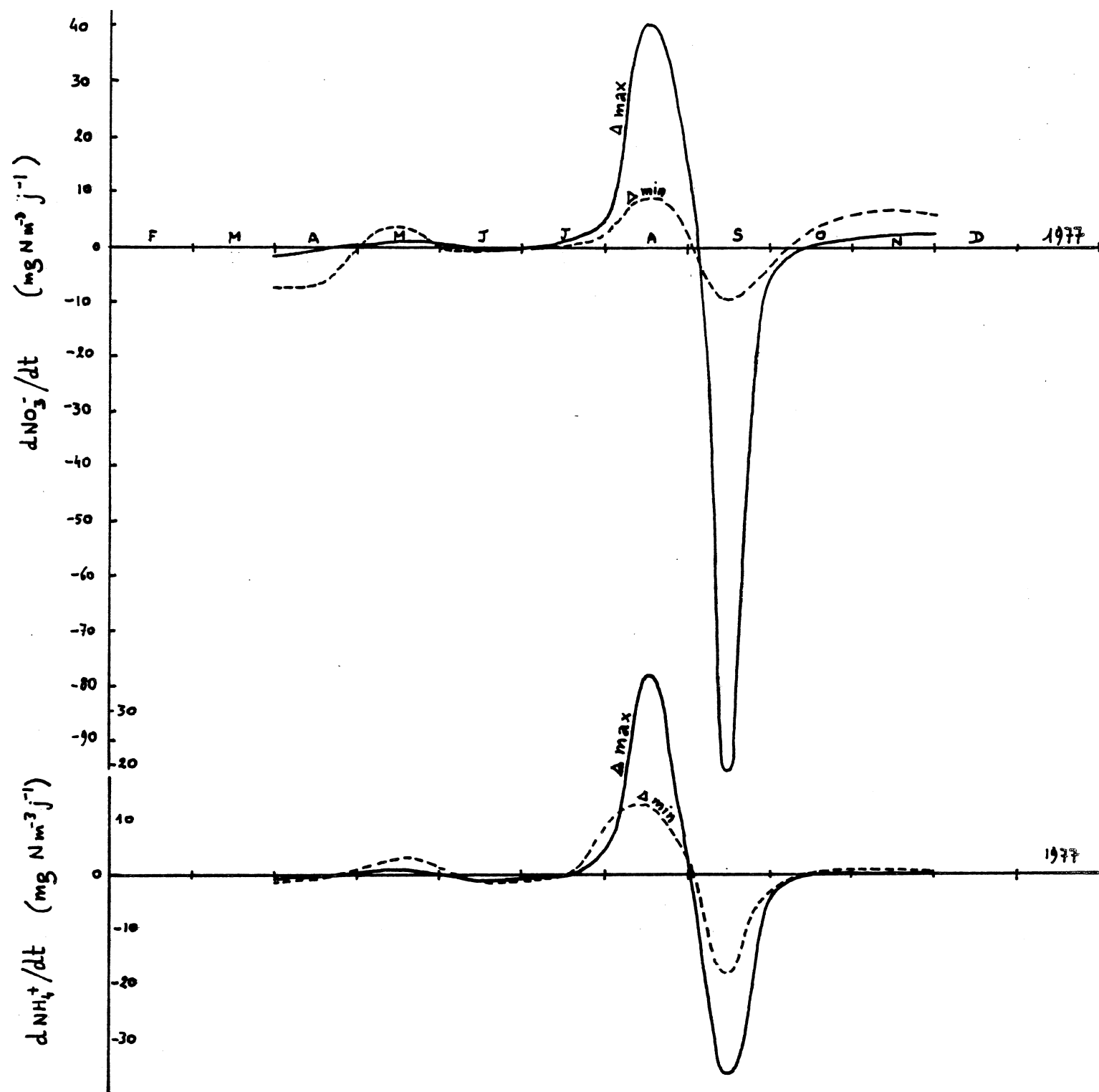


Fig. 2

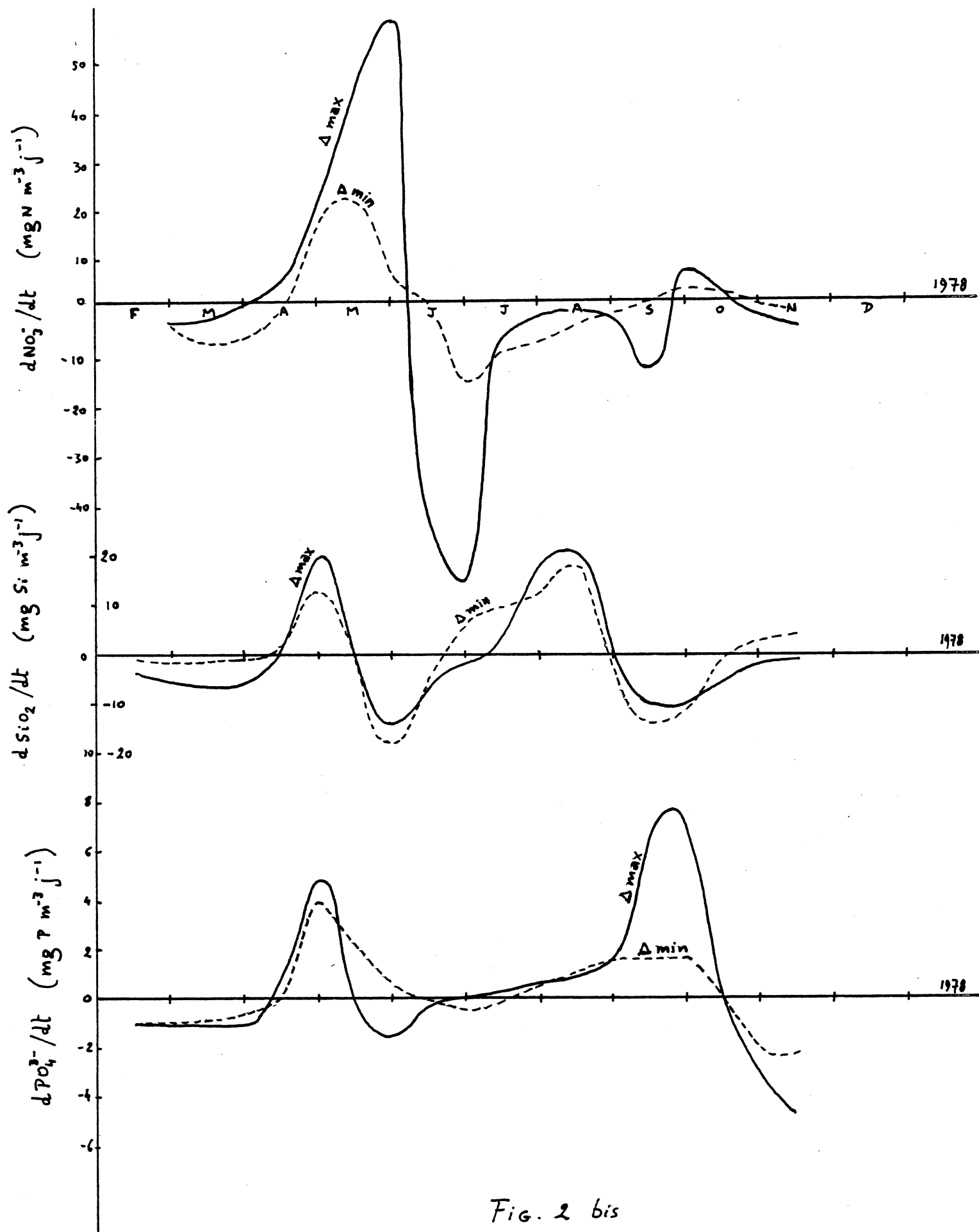


Fig. 2 bis

en 1977 et 1978 en dehors de la période printanière excèdent largement les productions primaires minimales qu'elles impliquent (ex. de 1977 : $95 \text{ mg N-NO}_3/\text{m}^3\text{j} + 35 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{m}^3\text{j} = 130 \text{ mg N}/\text{m}^3\text{j} \simeq 10.000 \text{ mg C}/\text{m}^2\text{j}$ (!) de production nette, alors que la biomasse phytoplanctonique est au plus bas).

Par contre, les flux de consommation d'N, P et Si observés dans la période printanière de 1978

- 1° impliquent des productions primaires tout à fait normales et
- 2° sont dans les rapports N : P : Si typiques de la matière vivante.

On n'observe, à l'époque des grands pics d'azote, rien dans la colonne d'eau (ex. turbidité, activité bactérienne anormale, chlorophylle) qui puisse éclaircir ce problème.

D'autre part, il est exclu que l'Escaut soit une source tellement importante d'azote à certains moments de l'année, ne serait-ce qu'en raison de la dilution importante qu'entraîne le mélange avec les eaux de la Mer du Nord.

2.5. Conclusion

En guise de conclusion à ce paragraphe, on peut penser à certaines recommandations (cette liste n'est sans doute pas exhaustive) :

- du point de vue analytique, il serait utile de donner une plus grande spécificité aux méthodes actuelles ;
- il serait également intéressant de recouper les résultats obtenus par ces méthodes avec les valeurs totales mesurées par d'autres méthodes dans les phases dissoute et particulaire. Ceci est particulièrement vrai pour l'azote (méthodes actuellement mises au point).

- du point de vue de la stratégie de prélèvement, il faudrait pouvoir réduire le délai d'analyse, de manière à pouvoir adapter la fréquence des prélèvements chaque fois qu'un phénomène spécial serait observé.

o - o

- du point de vue de la stratégie de prélèvement, il faudrait pouvoir réduire le délai d'analyse, de manière à pouvoir adapter la fréquence des prélèvements chaque fois qu'un phénomène spécial serait observé.

O - O

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Droop, N.R., 1973. Some thoughts on nutrient limitation in algae. J. Phycol., 9, 264 - 272.
- Fogg, G.E., 1971. Extra-cellular products of algae in freshwater, Ergebnisse der Limnologie, V, (Ed. Elster & Ohle), Schweizerbart, Stuttgart.
- Eppley, R.W., Coatsworth, J.L. & Solorzano, L., 1969. Studies of nitrate reduction in marine phytoplankton. Limnol. and Oceanogr., 14, 184 - 195.
- Harrison, P.J. & Davis, C.O., 1977. Use of the perturbation technique to measure nutrient uptake rates of natural phytoplankton populations. Deep-sea Research, 24, 247 - 255.
- Falkowski, P.G. & Stone, D.P., 1975. Nitrate uptake in marine phytoplankton : energy sources and the interaction with carbon fixation. Marine Biology, 32, 77 - 84.
- Mommaerts, J.P., 1978. Systeembenadering van een gesloten marien milieu, met de nadruk op de rol van het fytoplankton (these, V.U.B.).
- Nihoul, J.C.J. & Polk, P. (éditeurs) : Chaînes trophiques et cycles des nutriments. Rapport final du Projet Mer (Vol. 8).

$V = \text{Prod. 1}^{\text{e}} \text{re part. (mg C m}^{-3} \text{ h}^{-1})$

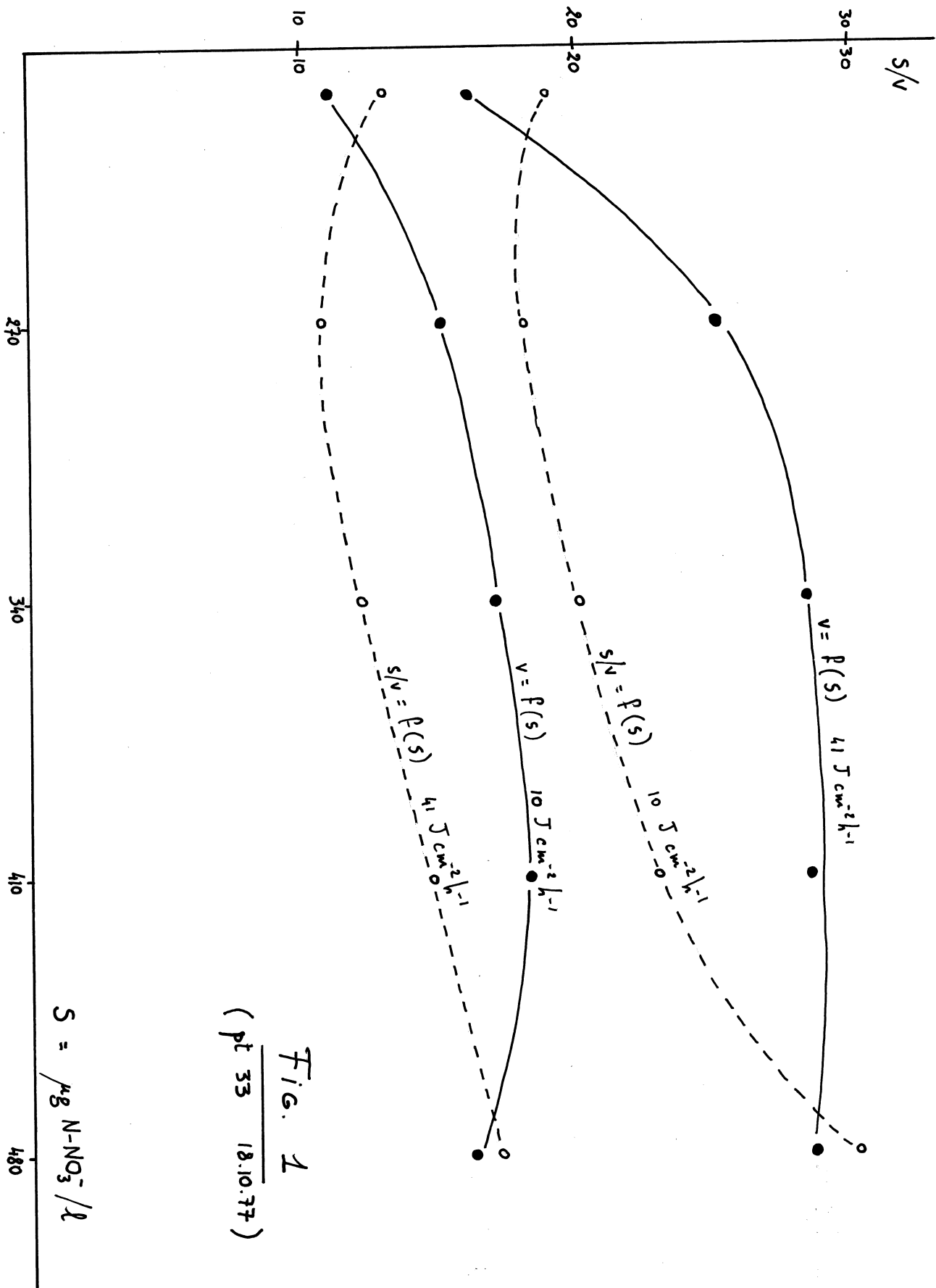


Fig. 1
(pt 33 18.10.77)

$S = \mu\text{g N-NO}_3^-/\text{l}$

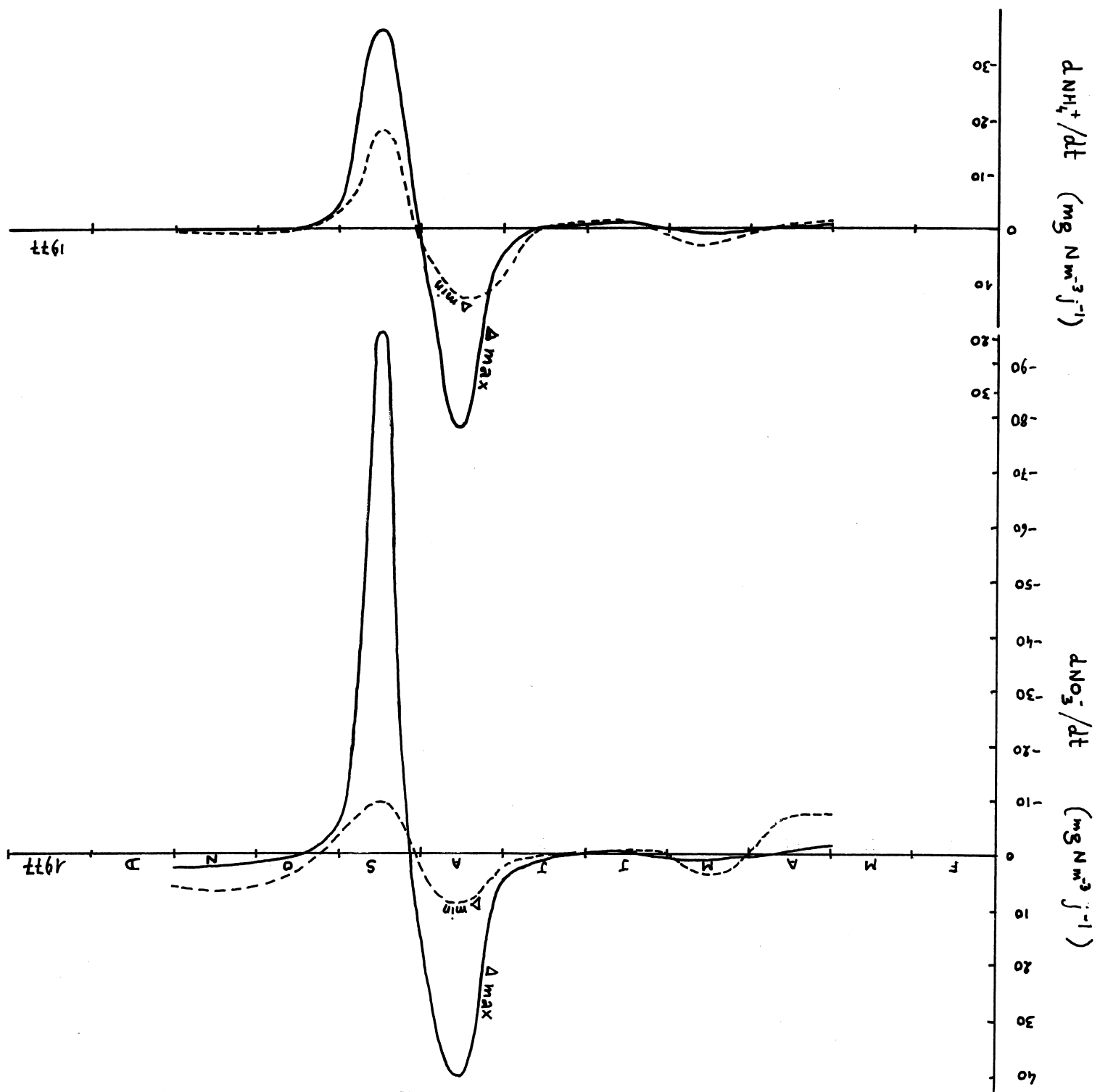


Fig. 2

Fig. 2 bis

