

55696

F120 - LHE - E

PROGRAMME NATIONAL D'OCEANOGRAPHIE COTIERE

THEME "EUTROPHISATION"

**Etude des flux d'absorption des nitrates et de l'ammonium
par le phytoplancton dans le panache de la Seine**

L'HELGUEN S. & LE CORRE P.

**Laboratoire d'Océanographie Chimique
Université de Bretagne Occidentale /
Observatoire Océanologique de Roscoff (UPR 9042)**

**Contrat IREMER
N° : 94 2 43 2402**

IFREMER Bibliotheque de BREST



0EL05716

PROGRAMME NATIONAL D'OCEANOGRAPHIE COTIERE

THEME "EUTROPHISATION"

**Etude des flux d'absorption des nitrates et de l'ammonium
par le phytoplancton dans le panache de la Seine**

L'HELGUEN S. & LE CORRE P.

**Laboratoire d'Océanographie Chimique
Université de Bretagne Occidentale /
Observatoire Océanologique de Roscoff (UPR 9042)**

**Contrat IREMER
N° : 94 2 43 2402**

INTRODUCTION

Les quantités d'éléments nutritifs, en particulier d'azote, et de matière organique déversées par les fleuves dans les eaux côtières ont considérablement augmenté ces dernières années en raison d'une part d'une intensification des pratiques agricoles, d'autre part, d'une industrialisation et d'une urbanisation croissante des zones littorales. Ces apports peuvent, à une échelle locale ou à mésoéchelle, modifier de manière importante le fonctionnement des écosystèmes côtiers. Ils peuvent, en particulier, en enrichissant le milieu en azote intensifier les processus d'absorption du phytoplancton et déclencher des proliférations algales. La dégradation et la minéralisation de la matière organique ainsi produite et aussi de la matière organique directement importée dans le système aboutit fréquemment à un appauvrissement en oxygène dissous des masses d'eaux pouvant entraîner une mortalité importante de la faune marine. Les apports terrestres peuvent aussi, lorsqu'ils s'effectuent sous la forme d'ammonium (rejets urbains ou industriels), intensifier les processus de nitrification qui sont par ailleurs favorisés dans les milieux côtiers souvent turbides par le faible niveau moyen d'éclairement. Les eaux de la Baie de Seine se présentent, en Manche, comme un exemple d'eaux côtières sous l'influence d'importants apports terrigènes. Les quantités d'azote, en particulier, déversées par la Seine sont de l'ordre de 90 000 tonnes/an et ont tendance à augmenter environ de 2 % chaque année (Guillaud, 1993). La Baie de Seine est aussi fréquemment le siège de proliférations algales. Des travaux réalisés en 1993 au cours des campagnes Bioseine (Baie de Seine Orientale) ont montré que les populations phytoplanctoniques présentaient des caractéristiques différentes dans le panache de la Seine et dans les eaux marines adjacentes ; ils ont également mis en évidence des différences à l'intérieur même du panache, le long du gradient de salinité (Videau, 1994). Les relations pouvant exister entre ces développements phytoplanctoniques et les apports en éléments nutritifs par le Seine restent pour l'instant relativement peu connues.

Nos travaux ont eu comme objectif d'examiner l'influence des apports d'azote d'origine terrestre sur la nutrition azotée du phytoplancton dans le panache de la Seine. Les taux d'absorption des nitrates et de l'ammonium ont été déterminés (techniques ^{15}N) à deux époques de l'année (printemps et été) et à différents points du panache.

MATERIEL ET METHODES

L'absorption des nitrates et de l'ammonium a été étudiée au cours de deux campagnes à la mer (N.O. Thalia). La campagne Nutriseine I (25-29 avril 1994) a été réalisée à la fin de la période de crue de la Seine et en période de floraison printanière ; la campagne Nutriseine II (22-26 juin 1994) a été menée en période d'étiage et de floraison estivale. Elles ont été programmées en période de vives-eaux lorsque l'extension du panache est maximale.

Au cours de chaque campagne, 4 stations, réparties le long du gradient de salinité ont été examinées (Fig. 1). Les points de prélèvement ont été définis de manière à étudier un point proximal (26 P.S.U.), un point médian (30 P.S.U.), un point distal du panache (32 P.S.U.) et un point marin (> 34 P.S.U.). Pour simplifier la présentation, les résultats sont portés sur une coupe transversale fictive qui ne tient pas compte des distances respectives entre les stations. Les prélèvements ont été effectués, à pleine-mer, à 4 ou 5 niveaux photométriques répartis sur l'ensemble de la colonne d'eau. L'absorption des nitrates et de l'ammonium a été déterminée à chaque profondeur ; les concentrations en nitrates et en ammonium, la concentration en chlorophylle α ainsi que les teneurs en azote organique particulaire ont également été mesurées sur chacun des échantillons.

Les nitrates ont été déterminés avec un Auto Analyseur II Technicon suivant les procédures décrites par Tréguer et Le Corre (1975). Le dosage de l'ammonium a été réalisé manuellement par la méthode colorimétrique de Koroleff (1970). La méthode fluorimétrique de Yentsch et Menzel (1963) a été utilisée pour déterminer la chlorophylle α (fluorimètre Turner). Les teneurs en azote particulaire ont été déterminées à l'aide d'un analyseur CHN de type Perkin-Elmer (modèle 240).

Les échantillons destinés aux mesures des flux d'azote ont été préfiltrés à 200 μm . Les taux d'absorption ont été déterminés en suivant l'incorporation du traceur ^{15}N (Dugdale et Goering, 1967). Les échantillons ont été enrichis avec de l'azote-marqué sous la forme de nitrate ou d'ammonium à des teneurs voisines de 10 % de ces mêmes composés non marqués dans l'eau de mer. Au cours de la campagne à la mer Nutriseine II (point A, B, C) de fortes concentrations en azote-15 (5 $\mu\text{mol l}^{-1}$ pour l'ammonium et 20 $\mu\text{mol l}^{-1}$ pour les nitrates) ont été additionnées à une série supplémentaire d'échantillons prélevés à 50 % de l'éclairement incident de surface de manière à déterminer les taux d'absorption à saturation (ρ_{max}). Ils ont été déterminés aux points A, B et C pour l'ammonium et aux points A et B pour les nitrates. Les échantillons ont été incubés pendant trois à quatre heures dans des conditions simulées ; les incubations ont été réalisées de part et d'autre de midi solaire. A la fin de l'incubation, les échantillons ont été filtrés sur des filtres en fibre de verre (Whatman, GF/F). L'enrichissement en ^{15}N des échantillons a été mesuré par spectrométrie optique (modèle GS1 à réseau concave fixe) selon le protocole décrit par Guiraud et Fardeau (1980). Les taux d'absorption absolus (ρ) des nitrates et de l'ammonium ont été calculés en appliquant l'équation de Dugdale et Goering (1967).

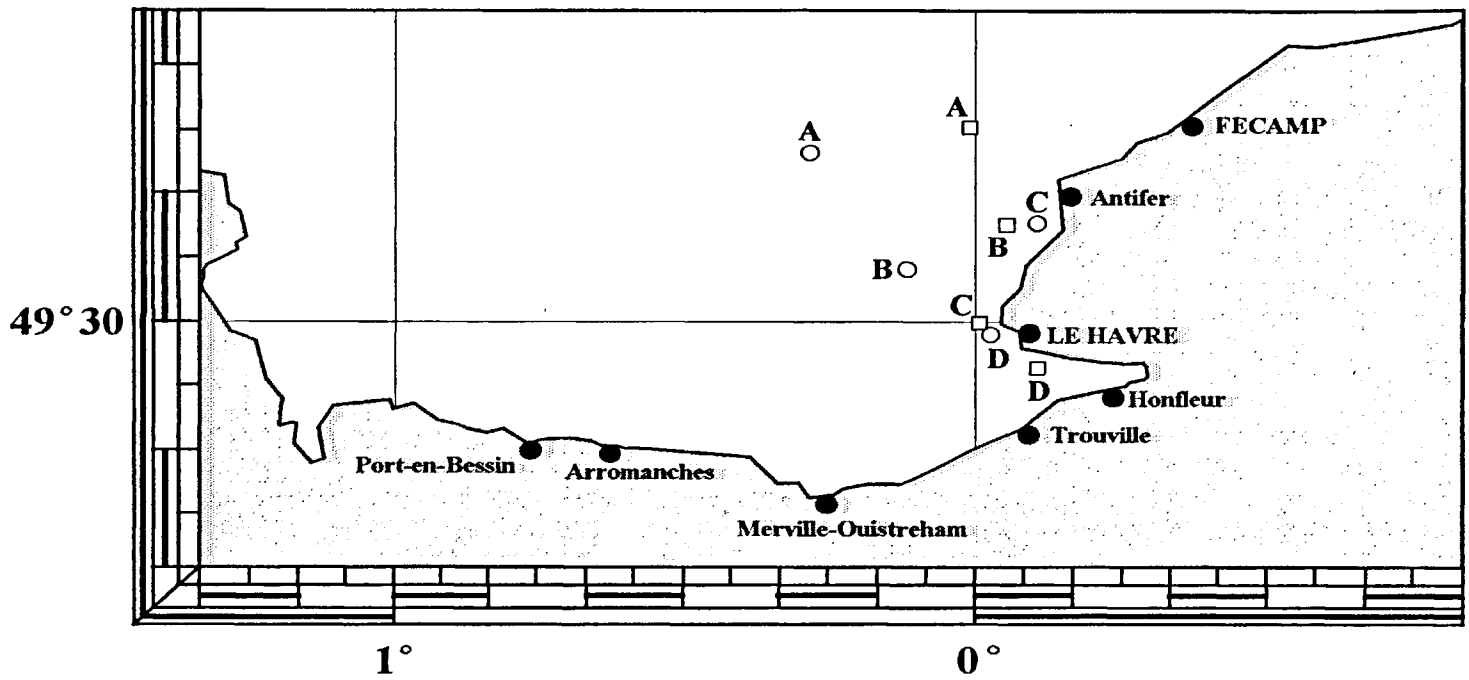


Figure 1 : Positions des stations de prélèvements au cours des campagnes à la mer Nutriseine I (cercle) et Nutriseine II (carré).

RESULTATS - DISCUSSION

1 - Période printanière (Nutriseine I)

1-1 Distribution verticale des concentrations en nitrates et en ammonium

La distribution verticale des concentrations en nitrates (Fig. 2a) suit celle de la salinité. Au point proximal, les nitrates présentent en surface, dans les eaux les plus dessalées (# 25 PSU), des concentrations très élevées (# 115 $\mu\text{mol l}^{-1}$) qui témoignent des quantités importantes de nitrates déversées par la Seine. Les concentrations diminuent de la côte vers le large et avec la profondeur dans la colonne d'eau au fur et à mesure que la salinité augmente. Elles demeurent néanmoins élevées dans l'ensemble des eaux du panache ; au point distal elles sont encore de 15 à 20 $\mu\text{mol l}^{-1}$. Les teneurs en nitrates dans les eaux marines sont nettement plus faibles (# 7 $\mu\text{mol l}^{-1}$) et sont réparties de manière homogène dans la colonne d'eau.

Des concentrations élevées en ammonium sont également relevées dans les eaux du panache (Fig. 2b). Les concentrations maximales (# 6 $\mu\text{mol l}^{-1}$) sont mesurées au point proximal et sont associées aux plus fortes dessalures. Ces fortes concentrations montrent que les apports de la Seine enrichissent les eaux côtières non seulement en nitrates mais aussi en ammonium. Les teneurs en ammonium sont néanmoins toujours très nettement inférieures à celles des nitrates. Les concentrations présentent des variations horizontales et verticales très marquées jusqu'au point médian du panache qui suivent celles de la salinité. Au point distal, la concentration en ammonium est environ de 0.7 $\mu\text{mol l}^{-1}$ dans toute la colonne d'eau. Des valeurs très proches (# 0.6 $\mu\text{mol l}^{-1}$) sont relevées dans les eaux marines.

1-2 Absorption des nitrates et de l'ammonium

1-2-1 Absorption des nitrates

Des taux d'absorption des nitrates très élevés sont mesurés dans les eaux superficielles du panache (Fig. 3a). Les valeurs maximales (# 90 $\text{nmol l}^{-1} \text{h}^{-1}$) sont relevées dans la partie médiane (Point C). Les taux diminuent fortement le long du panache ; dans les eaux marines, l'absorption des nitrates dans la couche de surface (30 à 40 $\text{nmol l}^{-1} \text{h}^{-1}$) est 2 à 3 fois plus faible que celle mesurée dans le panache.

Les activités d'assimilation, contrairement aux taux d'absorption, sont très proches dans les eaux du panache et dans les eaux marines (Fig. 3b). Ceci suggère que les variations des taux d'absorption de la côte vers le large sont dues pour une large part aux variations de la biomasse. Ce résultat montre également que l'absorption des nitrates n'est pas influencée par la forte diminution des concentrations.

Au point proximal du panache, les taux d'absorption et les activités d'assimilation présentent en surface des valeurs relativement faibles (# 40 $\text{nmol l}^{-1} \text{h}^{-1}$) comparées à celles mesurées à la même profondeur dans les autres parties du panache (Fig. 3). Les très fortes concentrations en ammonium relevées à ce niveau suggère que ceci est lié à l'effet inhibiteur de ce composé sur le processus d'absorption des nitrates (revue par Dortch, 1990).

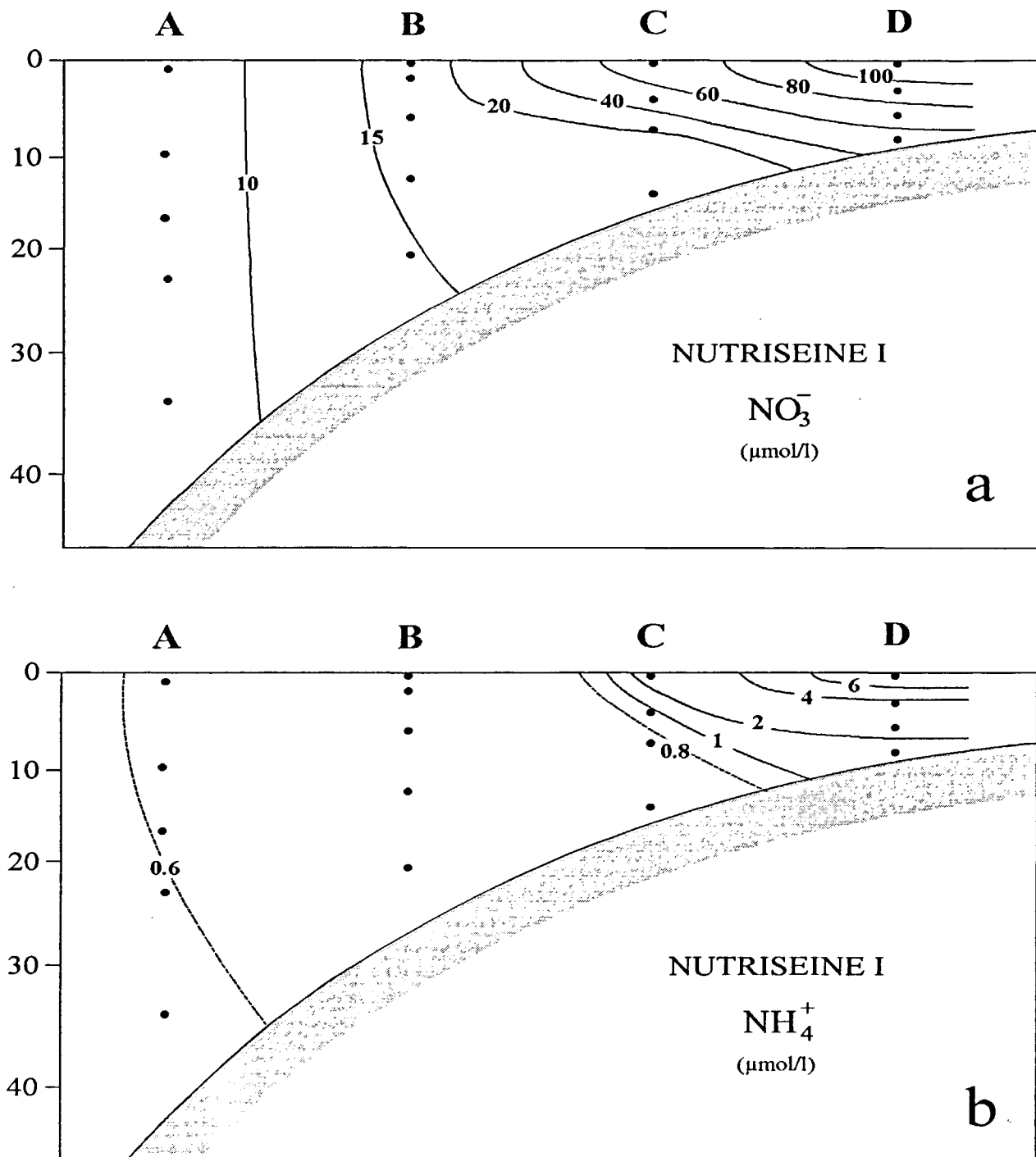


Figure 2 : Distribution verticale des concentrations a) des nitrates et b) de l'ammonium dans le panache de la Seine en période printanière (campagne à la mer Nutriseine I, avril 1994).

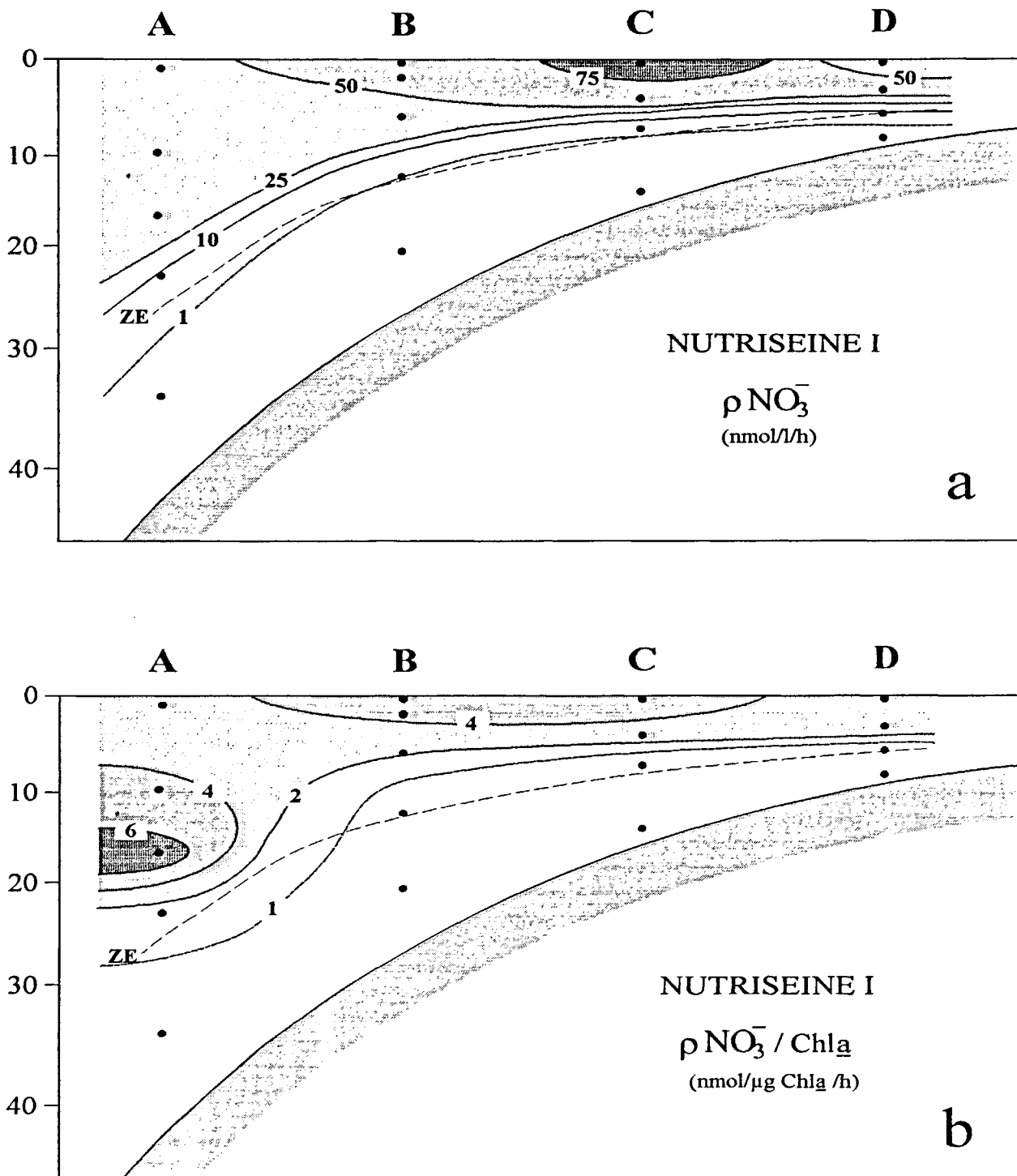


Figure 3 : Distribution verticale a) des taux d'absorption et b) des activités d'assimilation des nitrates dans le panache de la Seine en période printanière (campagne Nutriseine I, avril 1994).

Les taux d'absorption et les activités d'assimilation des nitrates, aux différents points étudiés, diminuent avec la profondeur et sont fortement réduits aux faibles intensités lumineuses ($\rho \# 1 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $\rho/\text{Chl}_a \# 1 \text{ nmol } \mu\text{g Chl}_a^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Fig. 3). Dans les eaux du panache, la zone euphotique est peu profonde (6 à 12 m) et l'absorption des nitrates est importante uniquement sur quelques mètres. Dans les eaux marines où la zone euphotique est nettement plus profonde, elle concerne une couche plus épaisse ; malgré des taux relativement faibles, l'absorption des nitrates, intégrée dans la colonne d'eau ($0.77 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), est 2 à 3 fois plus élevée que dans les eaux enrichies du panache ($0.25 - 0.45 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Tableau 1).

	Date	Z (m)	ZE (m)	Absorption NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Absorption NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Absorption Totale ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
POINT A	25/4	44	24	0.433	0.769	1.201
POINT B	26/4	25	12	0.386	0.448	0.833
POINT C	27/4	16	9	0.527	0.436	0.963
POINT D	28/4	9	5.5	0.468	0.251	0.719

Tableau 1 - Absorption de l'ammonium, absorption des nitrates et absorption azotée totale intégrées dans la colonne d'eau aux différents points d'étude en période printanière (campagne à la mer Nutriseine I - avril 1994).

1-2-2 Absorption de l'ammonium

Les taux d'absorption maximaux de l'ammonium ($\# 110 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) sont mesurés au point proximal du panache (Fig. 4a). Les taux présentent une diminution très marquée dans les eaux de surface ; ils sont près de dix fois plus faibles dans les eaux marines que dans la partie proximale du panache. Une diminution des activités d'assimilation de la côte vers la large est également observée (Fig. 4b). Elle s'effectue parallèlement à la réduction des concentrations en ammonium suggérant une limitation de plus en plus marquée de l'absorption de l'ammonium par sa concentration.

Les taux d'absorption et les activités d'assimilation de l'ammonium comme ceux des nitrates diminuent de manière importante avec la profondeur, en particulier dans les eaux du panache (Fig. 4). L'absorption de l'ammonium demeure néanmoins généralement relativement importante à la base de la zone euphotique (jusqu'à $13 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) comparée à celle des nitrates. Une utilisation significative d'ammonium ($2 \text{ à } 5 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) est également relevée dans la zone non éclairée.

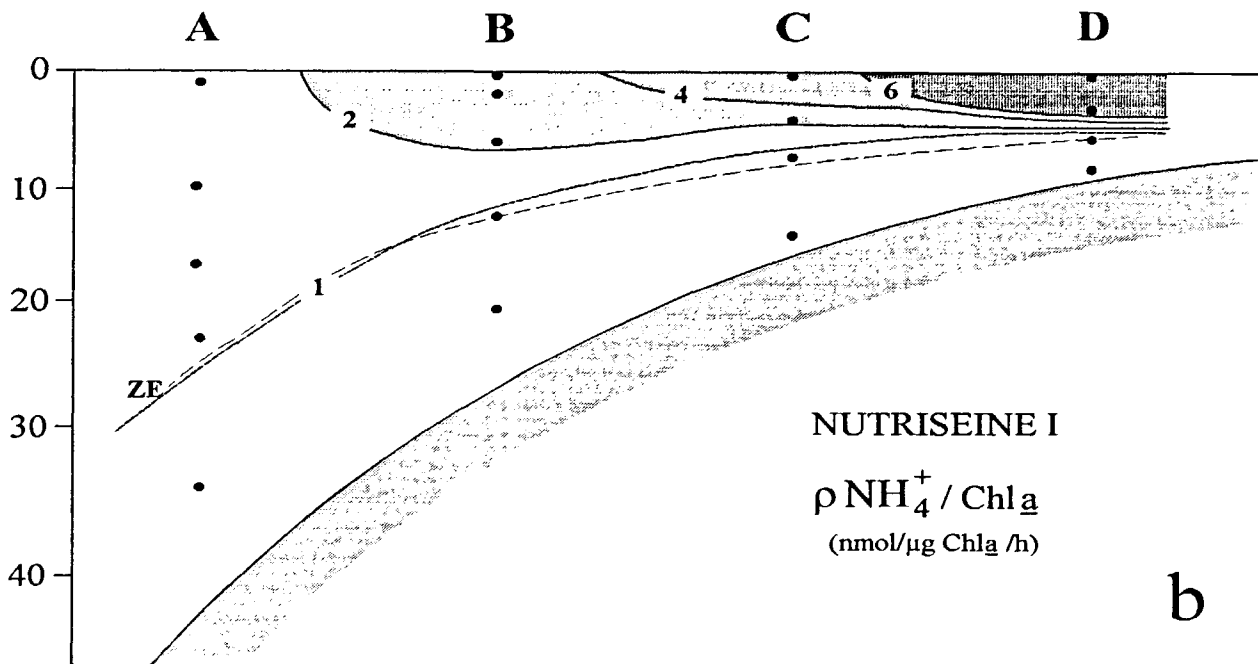
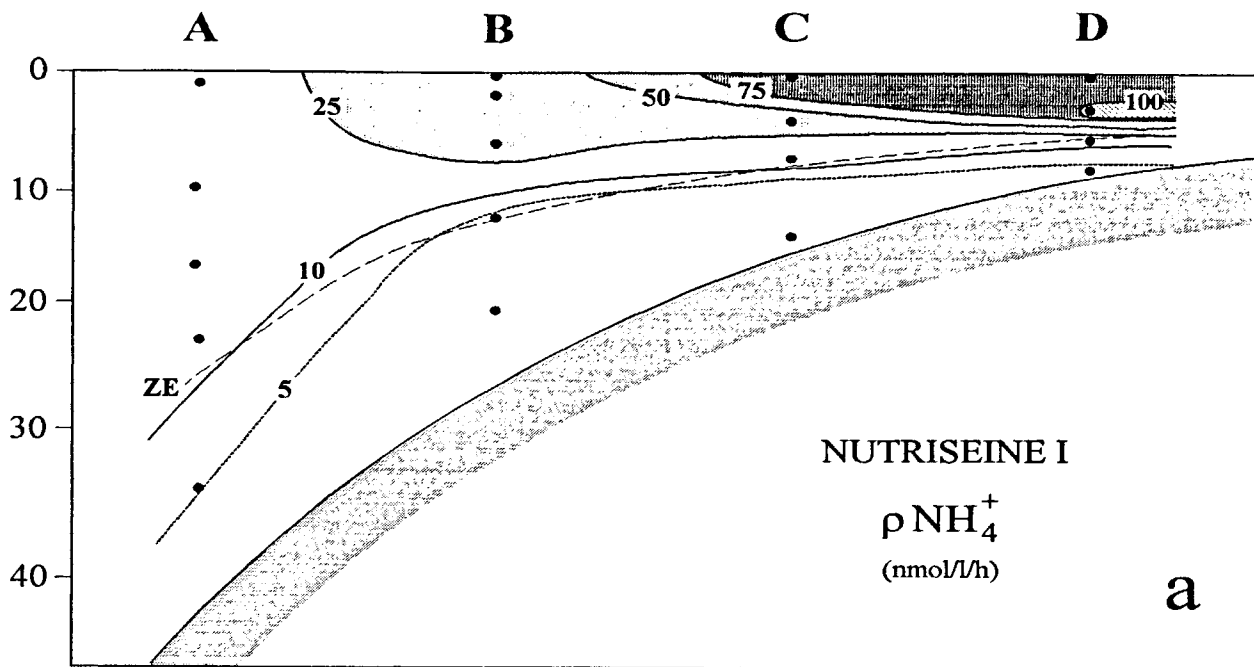


Figure 4 : Distribution verticale a) des taux d'absorption et b) des activités d'assimilation de l'ammonium dans le panache de la Seine en période printanière (campagne Nutriseine I, avril 1994).

Intégrée verticalement, l'absorption de l'ammonium est très proche dans les eaux du panache ($0.39 - 0.53 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) et dans les eaux marines ($0.43 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Tableau 1) ; la diminution des taux de la côte vers le large est compensée par une utilisation sur une plus grande épaisseur dans la colonne d'eau.

1-2-3 Contribution des nitrates et de l'ammonium à la nutrition du phytoplancton

La contribution des nitrates et de l'ammonium à la nutrition azotée du phytoplancton varie de manière importante entre les eaux marines et les eaux du panache et aussi au sein même du panache.

Dans la partie proximale du panache, l'ammonium représente la principale source d'azote pour le phytoplancton (65 % de l'azote utilisé), ceci alors que les concentrations en nitrates sont très élevées et que ce composé domine très largement le stock d'azote minéral disponible. Ce résultat est en accord avec l'idée généralement admise d'une utilisation préférentielle des formes réduites de l'azote par le phytoplancton (revue par Dortch, 1990). La contribution des nitrates dans la nutrition du phytoplancton augmente de la côte vers le large ; elle est environ de 50 % aux points médian et distal du panache et atteint 64 % dans les eaux marines.

Ce changement de source d'azote est lié vraisemblablement à la diminution des concentrations en ammonium ; dès le point médian du panache, la concentration en ammonium paraît limiter le processus d'absorption et la limitation semble s'accroître au point distal et dans les eaux marines. L'augmentation de la profondeur de la zone euphotique de la côte vers le large tend aussi à favoriser l'utilisation des nitrates par le phytoplancton qui dépend plus fortement de la lumière que l'absorption de l'ammonium comme le montre les variations verticales des taux d'absorption et des activités d'assimilation.

2 - Période estivale (Nutriseine II)

2-1 Distribution verticale des concentrations en nitrates et en ammonium

La distribution verticale des concentrations en nitrates (Fig. 5a), comme lors de la période printanière, suit celle de la salinité. Les concentrations en nitrates, pour une même valeur de salinité, sont inférieures à celles mesurées au printemps. Seules les eaux les plus dessalées, au point proximal du panache demeurent fortement enrichies en nitrates ($\# 100 \mu\text{mol l}^{-1}$ en surface). Dans la partie médiane et distale, les teneurs en nitrates sont 2 à 3 fois plus faibles qu'au printemps. Dans les eaux marines, les concentrations ont fortement diminuées et sont faibles dans toute la colonne d'eau ($\# 1 \mu\text{mol l}^{-1}$).

L'ammonium présente, en période estivale, une distribution verticale comparable à celle observée au printemps (Fig. 5b). Au point proximal du panache, les concentrations en ammonium ont augmenté de 1.5 à 3.5 $\mu\text{mol l}^{-1}$ dans toute la colonne d'eau. Dans la partie médiane, elles ont nettement diminué en surface (0.8 $\mu\text{mol l}^{-1}$ contre 2.2 $\mu\text{mol l}^{-1}$ au printemps) mais ont par contre légèrement augmenté dans le reste de la colonne d'eau (de 0.3 à

0.5 $\mu\text{mol l}^{-1}$). Les teneurs en ammonium, au point distal du panache et dans les eaux marines ont très peu variées.

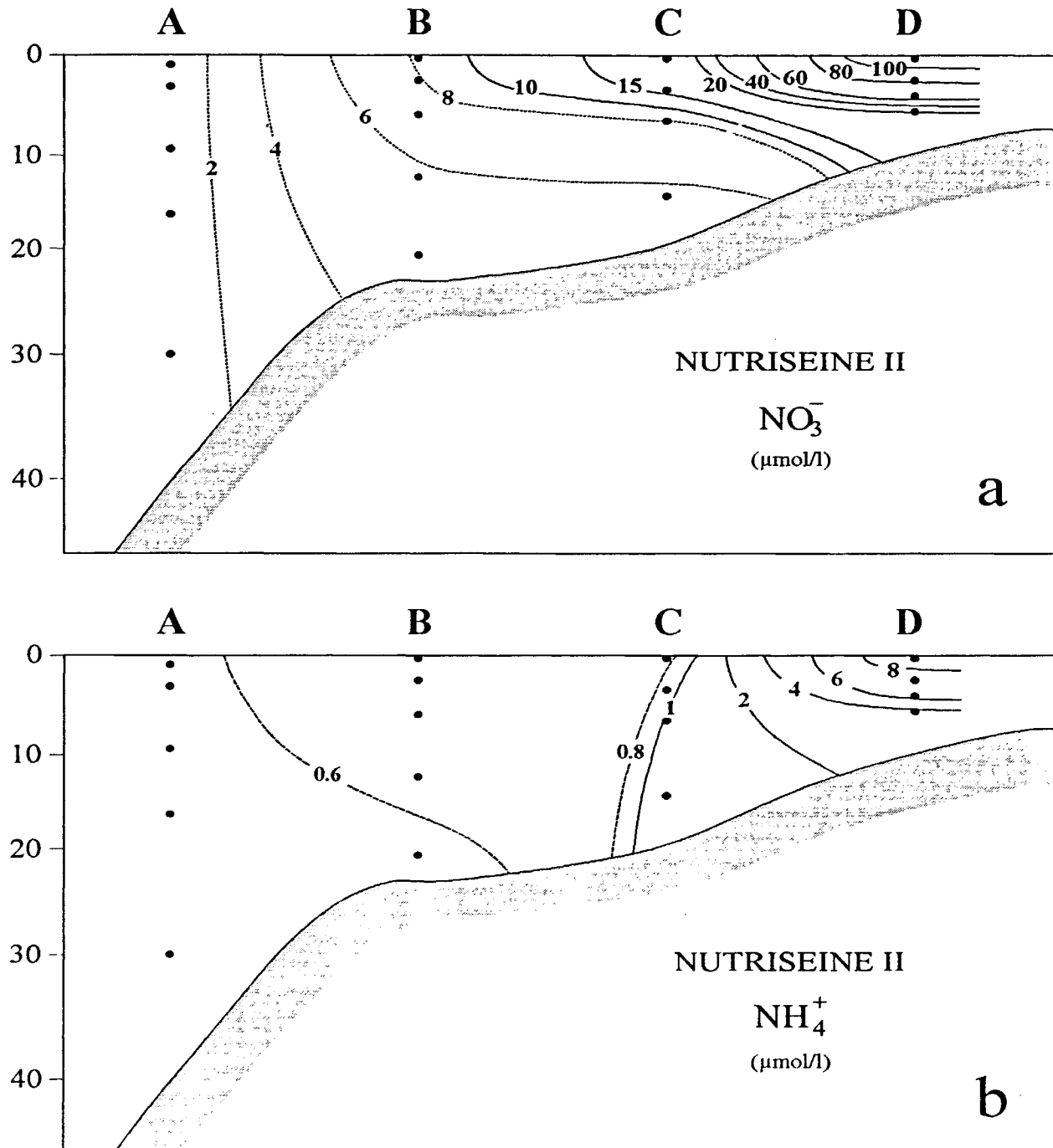


Figure 5: Distribution verticale des concentrations a) des nitrates et b) de l'ammonium dans le panache de la Seine en période estivale (campagne à la mer Nutriseine II, juin 1994).

2-2 Absorption des nitrates et de l'ammonium

2-2-1 Absorption des nitrates

Une utilisation importante de nitrates est mise en évidence dans les eaux superficielles du panache (Fig. 6a). Les taux d'absorption maximaux ($75-80 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) sont mesurés en surface aux points proximal et médian ; ils sont proches des taux maximum relevés au printemps. Dans la partie médiane du panache, ils sont associés à des valeurs maximales des activités d'assimilation ($\# 7.5 \text{ nmol } \mu\text{g Chl}_a^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Fig. 6b). Les activités d'assimilation sont par contre très faibles au point proximal (maximum $2.6 \text{ nmol } \mu\text{g Chl}_a^{-1} \text{ h}^{-1}$) ; l'utilisation importante des nitrates en surface est liée à une très forte biomasse phytoplanctonique ($\# 30 \mu\text{g Chl}_a \text{ l}^{-1}$) qui est environ trois fois plus élevée qu'au point médian. Les faibles valeurs des activités d'assimilation des nitrates dans cette partie du panache sont probablement liées à l'inhibition de l'absorption des nitrates par l'ammonium comme ceci a déjà été suggéré au printemps.

Dans les eaux marines, les taux d'absorption des nitrates n'excèdent pas $10 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$; les valeurs maximales sont près de dix fois inférieures à celles relevées dans la panache. Des valeurs nettement plus faibles sont également trouvées pour les activités d'assimilation ($< 2 \text{ nmol } \mu\text{g Chl}_a^{-1} \text{ h}^{-1}$). Les taux d'absorption à saturation (ρ_{max}) sont supérieures aux taux *in situ* dans les eaux superficielles ($\rho_{\text{max}}/\rho = 1.6$) (Tableau 2) indiquant que l'absorption des nitrates dans les eaux marines est limitée par sa concentration à cette époque de l'année. Le rapport ρ_{max}/ρ voisin de 1.0 obtenu au point proximal, dans les eaux les moins enrichies du panache, montre que les concentrations en nitrates ne sont pas, par contre, limitantes dans les eaux du panache.

	NO_3^-			NH_4^+		
	ρ_{max}	ρ	ρ_{max}/ρ	ρ_{max}	ρ	ρ_{max}/ρ
POINT A	0.0104	0.0066	1.6	0.0557	0.0337	1.7
POINT B	0.0328	0.0332	1	0.0942	0.0481	1.9
POINT C				0.1981	0.0866	2.3

Tableau 2 - Variations des taux d'absorption à saturation et des taux d'absorption *in situ* à 50 % de l'éclairement incident de surface au point marin (A) et aux points distal (B) et médian du panache (C) au cours de la campagne Nutriseine II (avril 1994).

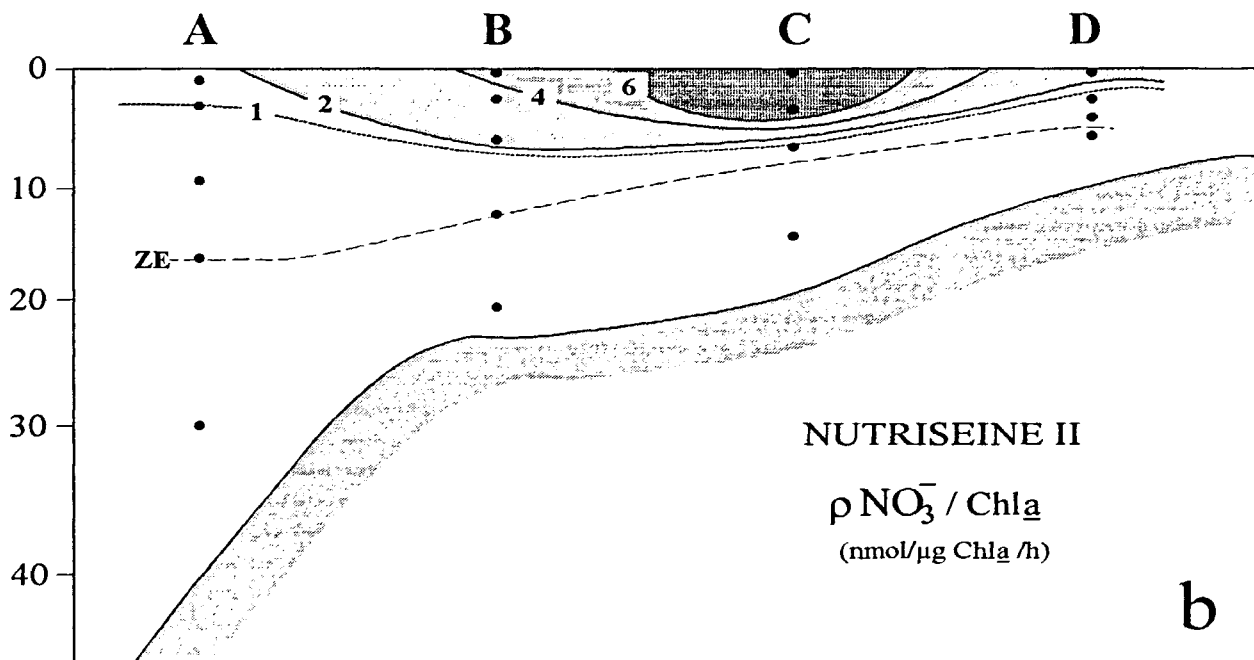
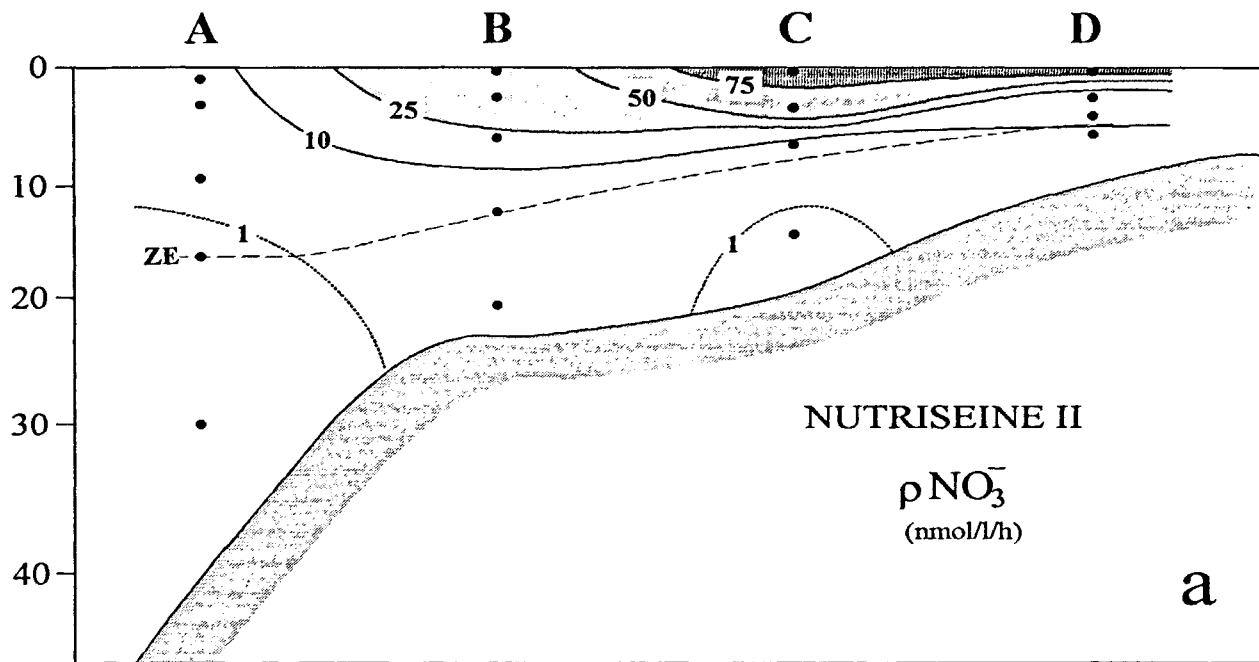


Figure 6 : Distribution verticale a) des taux d'absorption et b) des activités d'assimilation des nitrates dans le panache de la Seine en période printanière (campagne Nutriseine II, juin 1994).

Intégrée dans la colonne d'eau, l'absorption des nitrates est maximale aux point médian ($0.38 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) et distal du panache ($0.30 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) et minimale dans les eaux marines ($0.07 \text{ mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) (Tableau 3). Par rapport au printemps, l'utilisation des nitrates a peu varié dans la partie médiane du panache ; elle a, par contre, diminué de 30 à 40 % dans les parties proximale et distale du panache et elle a été réduite environ par 10 dans les eaux marines.

	Date	Z (m)	ZE (m)	Absorption NH_4^+ ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Absorption NO_3^- ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Absorption Totale ($\text{mmol m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)
POINT A	22/6	38	16	0.766	0.073	0.839
POINT B	23/6	23	12	0.924	0.305	1.229
POINT C	24/6	19	9	0.936	0.383	1.319
POINT D	25/6	9	5	1.041	0.153	1.193

Tableau 3 - Absorption de l'ammonium, absorption des nitrates et absorption azotée totale intégrées dans la colonne d'eau aux différents points d'étude en période estivale (campagne à la mer Nutriseine II - juin 1994).

2-2-2 Absorption de l'ammonium

Des taux d'absorption d'ammonium particulièrement élevés sont mesurés dans les eaux du panache (Fig. 7a). Les valeurs maximales ($\# 360 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) sont relevées au point proximal, dans les eaux les plus dessalées et les plus enrichies en ammonium. L'absorption de l'ammonium diminue dans les eaux superficielles le long du gradient de salinité ; les taux maximum sont environ de $100 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ au point médian du panache et de $55 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ dans la partie distale. Les taux d'absorption de l'ammonium présentent également un gradient vertical marqué dans les eaux du panache ; ils demeurent néanmoins élevés ($> 25 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) aux faibles intensités lumineuses et à l'obscurité. Une utilisation importante d'ammonium est également relevée dans les eaux marines ; les taux d'absorption dans la couche éclairée de surface ($17 \text{ à } 34 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) et dans la couche non éclairée ($\# 14 \text{ nmol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$) sont cependant nettement plus faibles que dans le panache.

Les activités d'assimilation de l'ammonium, comme les taux d'absorption, présentent un gradient horizontal marqué du point proximal du panache au point marin (Fig. 7b). Les rapports entre les taux d'absorption à saturation (ρ_{max}) et les taux d'absorption *in situ* sont supérieurs à 1 dans les parties médiane et distale du panache et dans les eaux marines (Tableau 2) mettant en évidence une limitation de l'absorption de l'ammonium par sa concentration. Dans la partie proximale du panache, la concentration en ammonium est nettement plus élevée

que dans ces secteurs et est très vraisemblablement suffisante pour saturer le processus d'absorption. Ceci peut expliquer l'activité d'assimilation de l'ammonium plus importante relevée dans cette partie du panache.

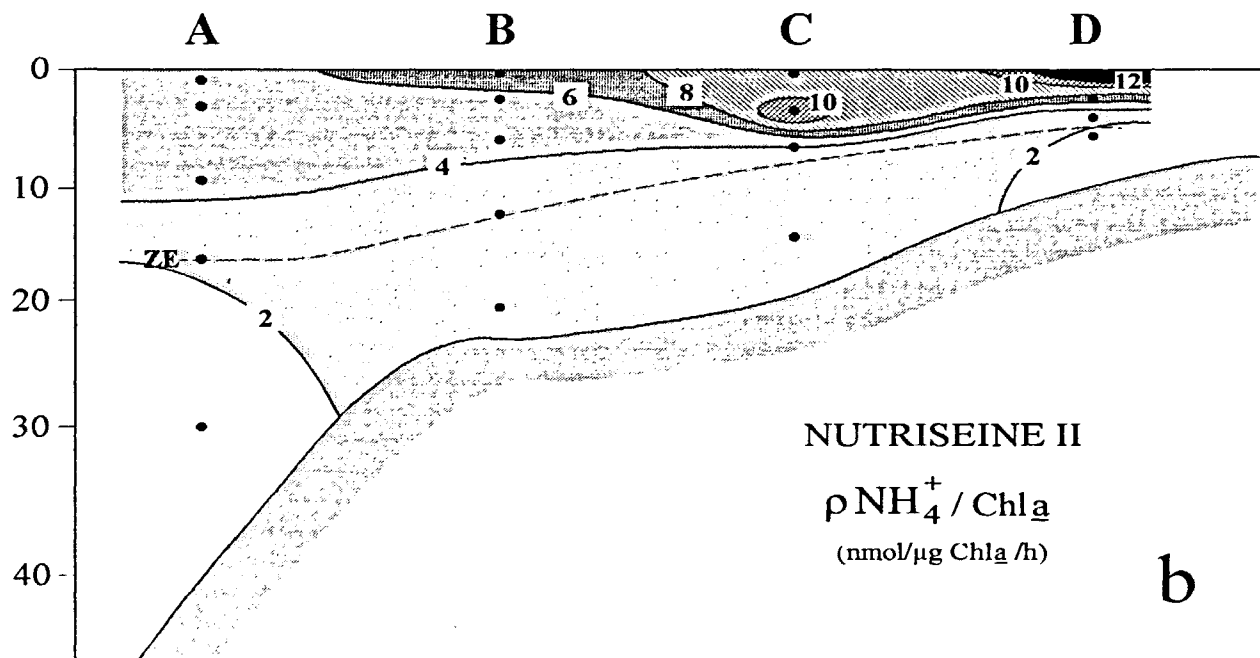
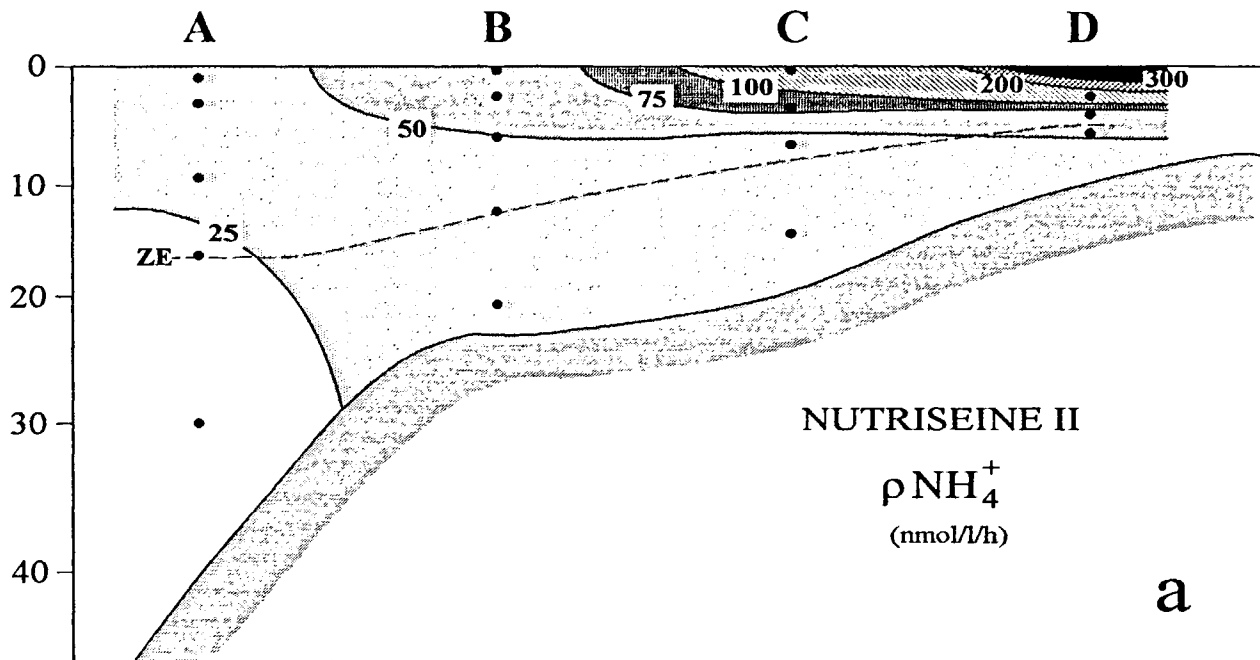


Figure 7 : Distribution verticale a) des taux d'absorption et b) des activités d'assimilation de l'ammonium dans le panache de la Seine en période printanière (campagne Nutriseine II, juin 1994).

La faible différence existant entre les valeurs du rapport ρ_{\max}/ρ (1.7 - 2.3) montre que le degré de limitation du processus d'absorption varie très peu du point médian au point marin malgré une diminution des concentrations. Par contre, les taux d'absorption à saturation (ρ_{\max}) présentent des valeurs très différentes (Tableau 2) ; ils sont maximum au point médian du panache et minimum dans les eaux marines. Ces variations traduisent des états physiologiques différents des populations phytoplanctoniques et peut expliquer la diminution des activités d'assimilation de la partie médiane du panache aux eaux marines.

L'absorption de l'ammonium intégrée verticalement est très proche dans les différentes parties du panache (0.92 - 1.04 mmol m⁻² h⁻¹) (Tableau 3), la diminution des taux étant compensée par une utilisation sur une plus grande épaisseur dans la colonne d'eau. Elle est un peu plus faible (0.77 mmol m⁻² h⁻¹) dans les eaux marines. Quelque soit le point étudié, l'absorption de l'ammonium est deux fois plus élevée en été qu'au printemps. Il est à noter que les valeurs estivales des activités d'assimilation de l'ammonium sont également deux fois plus élevées que les valeurs printanières.

2-2-3 Contribution des nitrates et de l'ammonium à la nutrition du phytoplancton

Le développement du phytoplancton en période estivale est basé principalement sur l'utilisation de l'ammonium à la fois dans les eaux du panache et dans les eaux marines. Au point proximal du panache, l'absorption de l'ammonium représente 87 % de l'absorption azotée totale malgré un enrichissement en nitrates toujours très important. Dans les parties médiane et distale du panache, l'ammonium, bien que sa concentration soit limitante, demeure la principale source d'azote pour le phytoplancton (71 % et 75 % de l'azote utilisé respectivement au point médian et distal). Dans les eaux marines, où l'absorption azotée est limitée à la fois par les concentrations en nitrates et en ammonium, la quasi-totalité (91 %) de l'azote utilisé par le phytoplancton est sous la forme d'ammonium. Le changement de source d'azote entre le printemps et l'été est directement lié dans les eaux marines à la chute des concentrations en nitrates ; dans les eaux du panache, ceci peut résulter de la proportion plus importante d'ammonium dans l'azote minéral disponible (4 à 22 % contre 1 à 5 % au printemps). Cette augmentation a pu entraîner un accroissement de la préférence du phytoplancton pour l'ammonium et aussi accentuer l'effet inhibiteur de l'ammonium sur l'absorption des nitrates.

CONCLUSIONS

Les résultats que nous avons obtenus montrent que les apports de la Seine influencent fortement l'absorption de l'azote dans les eaux côtières. Les taux d'absorption des nitrates et de l'ammonium, quelle que soit la saison, sont nettement plus élevés dans les eaux du panache que dans les eaux marines. Cette utilisation accrue de l'azote est directement liée à l'enrichissement du milieu en nitrates et en ammonium ; elle est également associée à une forte biomasse phytoplanctonique. L'absorption de l'azote est néanmoins limitée dans les eaux turbides du panache par la faible profondeur de la zone euphotique et, intégrée dans la colonne d'eau, elle est proche de celle relevée dans les eaux marines à la fois au printemps et en été.

Au printemps, la nutrition azotée du phytoplancton varie de manière importante entre le panache et les eaux marines. Dans les eaux du panache alors que les nitrates dominent très largement le stock d'azote minéral disponible, c'est l'ammonium qui est utilisé majoritairement par le phytoplancton ou à des taux comparables à ceux des nitrates. A l'inverse, dans les eaux marines, le développement du phytoplancton est basé principalement sur l'utilisation des nitrates. Ce changement de source d'azote est lié vraisemblablement à la diminution des concentrations en ammonium.

Le développement du phytoplancton en période estivale est basé principalement sur l'utilisation de l'ammonium à la fois dans les eaux du panache et dans les eaux marines. Quel que soit le point étudié, l'absorption de l'ammonium a doublé par rapport au printemps ; l'utilisation des nitrates a peu varié dans la partie médiane du panache mais elle a diminué de 30 à 40 % dans les parties proximale et distale du panache et elle est dix fois plus faible dans les eaux marines. Les valeurs des rapports entre les taux d'absorption à saturation et les taux d'absorption *in situ* montrent que l'absorption de l'ammonium, à l'exception du point proximal du panache, est limitée par sa concentration ; c'est aussi très vraisemblablement le cas au printemps où les teneurs en ammonium sont voisines. Les concentrations en nitrates ne sont pas limitantes dans les eaux du panache mais limitent par contre fortement l'absorption dans les eaux marines, expliquant le changement radical de source d'azote entre le printemps et l'été.

BIBLIOGRAPHIE

Dortch Q. (1990) The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series* **61**, 183-201.

Dugdale R.C. and Goering J.J. (1967). Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnol. Oceanogr.*, **12**, 196-206.

Guiraud G. et Fardeau J.C. (1980). Détermination isotopique par spectrométrie optique de composés faiblement enrichis en azote-15. *Analusis*, **8**, 148-152.

Guillaud J.F. (1993). Les apports en sels nutritifs dans l'estuaire de la Seine. Rapport interne IFREMER-DEL /93.04/ Brest, 32p.

Koroleff F. (1970). Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue, in: *Information on techniques and methods for seawater, Inter. Rep. Cons. Int. Explor. Mer*, **3**, 19-22.

Tréguer P. et Le Corre P. (1975). Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'Autoanalyser II. Technicon), 2ème édition. Université de Bretagne Occidentale, Brest, 110 pp.

Videau C. (1994). Facteurs limitant la production primaire en Baie de Seine - Résultats des campagnes Bioseine (1993). Rapport de contrat universitaire n°CR9 93 2 43 24 01 DEL/MCMN, 52p.

Yentsch C.S. and Menzel D.W. (1963). A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.*, **10**, 221-231.