

Production et Relations Trophiques dans les Ecosystèmes marins
2^e Coll. Franco-Soviétique. YALTA, 1984 - IFREMER Act. Coll. n° 5 - 1987 - p : 221-232

21

NUTRIMENTS ET BIOMASSE MICRO-ALGALE DE L'INTERFACE EAU-GLACE AU LARGE DE KUUJJUARAPIK, BAIE D'HUDSON, ARCTIQUE CANADIEN

*NUTRIENTS AND MICROALGAL BIOMASS OF THE ICE-WATER
INTERFACE OF KUUJJUARAPIK, HUDSON BAY, CANADIAN ARCTIC*

S.Y. MAESTRINI*, M. ROCHET**, L. LEGENDRE**, S. DEMERS***

* Centre de recherche en Ecologie marine et Aquaculture, L'Houmeau (CREMA)
Case 5, 17137 NIEUL-SUR-MER (FRANCE)

** Département de Biologie, Université Laval, Sainte Foy, Qué. G1k 7P4 (CANADA)

*** Centre Champlain de la Mer, Pêches et Océan, BP 15500, QUÉBEC, Qué. G1k 7Y7 (CANADA)

SUMMARY - On Spring 1983, nutrient analyses were done in melted ice, frazil and sea water of the upper part of the water column, where as major constitutive elements of micro-algae were analysed. Measurements of nutrient uptake were carried out with frazil algae incubated at -1.5°C in a field incubator. $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$ mean concentrations ranged from 5.2 to $9.4 \mu\text{M.l}^{-1}$ in the ice, from 5.3 to $4.0 \mu\text{M.l}^{-1}$ in the frazil, and from 1.6 to $3.3 \mu\text{M.l}^{-1}$ in the water column. From late March to mid May ΣN decreased in the frazil from $12 \mu\text{g-at.l}^{-1}$ to $1.3 \mu\text{g-at.l}^{-1}$; NO_3 reservoir was exhausted where as the one of NH_4 was not. Phosphorus concentration ranged from 2.30 to $3.09 \mu\text{g-at.l}^{-1}$ in ice water, 0.30 and $0.46 \mu\text{g-at.l}^{-1}$ in the underice water, and $0.90 \mu\text{g-at.l}^{-1}$ in the frazil. Si concentration was higher in underice water than in ice; mean values were $8.1\text{-}9.9 \mu\text{g-at.l}^{-1}$ respectively; it did not decreased in the frazil, but slightly increased.

Nutrient uptake rate calculated from in situ disappearance resulted to $0.38 \mu\text{g-at.l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ nitrogen and $0.046 \mu\text{g-at.l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ P. Measurements made with 8-h incubation at -1.5°C in a field incubator resulted in $0.99 \mu\text{g-at.l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ N. Comparison of 2 uptake rates indicated the rate of replenishment of the frazil reservoir compensated by 2/3 the uptake of micro-algae. Uptake activity of frazil algae was increased by 4.5 fold ambient NO_3 concentration was increased up to $29 \mu\text{M.l}^{-1}$; that led to the hypothesis that the K_s of epontic microalgae is higher than that of phytoplankton species, so that they cannot deplete the natural nutrient reservoir.

Biomass of frazil micro algae decreased due to grazing, thriving in the water column, sinking and perhaps migration in the ice. Analyses of POC, PON, Chl-a, ATP gave a mean C/N = 11.4 ($s = 3.5$), C/ATP = 520 ($s = 313$), C/Chl-a = 88 ($s = 22$), N/Chl-a = 75 (2.8), N = 17. It is stated 71 % of the frazil micro algae belonged to alive cells which thrive at a rather low physiological rate.

Differential-enrichment bioassays and mean N/P ratio (5.9) demonstrated that actual growth of the cultures was nutrient-limited. Nitrogen governed the algal yield when illumination and grazing allowed the microalgae to grow. The

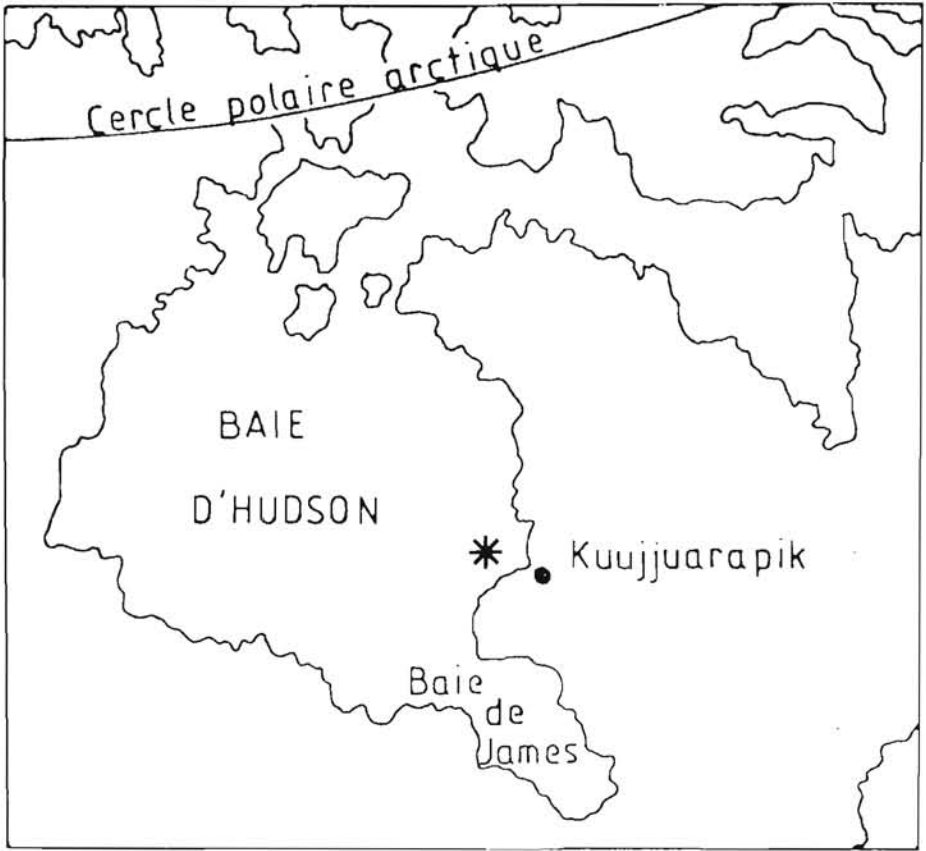


Figure 1 - Position de la station d'observation et d'expérimentation (indiquée par une étoile), en baie d'Hudson.

mean generation time of Arctic epontic microalgae is tentatively set between 8 and 17 days. It is concluded that the epontic dynamics is not only controlled from above, by the seasonal (climatic) changes in light intensity as generally assumed, but also from below, by the short-term (hydrodynamic) events of vertical mixing that replenish the ice-water interface in nutrients.

INTRODUCTION

Dans les mers subpolaires prises par les glaces plusieurs mois de l'année, un peuplement micro-algal, composé essentiellement de Diatomées, se développe à l'interface eau-glace (Apollonio, 1961; Bunt, 1963; Poulin *et al.*, 1983). Ces organismes sont adaptés à croître à des températures proches du point de congélation et des éclaircissements ne dépassant pas 1 % de la lumière incidente de surface (Bunt, 1968; Mc Grath-Grossi et Sullivan, 1984; Gosselin *et al.*, sous presse). La biomasse des espèces réparties dans la glace, le fraïsil et les micro-cavités est le plus souvent très dense (Mc Roy et Goering, 1974; Kutznetsov, 1980).

La plupart des recherches effectuées jusqu'ici ont mis l'accent sur les aspects liés aux conditions de température et d'éclaircissement, car il était admis que les nutriments sont toujours en concentration suffisante pour permettre aux algues épontiques de se développer sans limitation nutritionnelle (Horner, 1976; Clasby *et al.*, 1976). Ce concept ayant été fondé sur un nombre réduit de résultats, nous avons, néanmoins, entrepris une étude ayant pour but de vérifier si réellement les nutriments ne jouent aucun rôle dans le contrôle de la biomasse algale et, dans la négative, de déterminer quel élément biogène est le facteur limitant.

A cet effet, des observations et des expérimentations ont été effectuées de la fin mars à la mi-mai 1983, à une station ($\varphi = 55^{\circ} 25,4' N$; $G = 77^{\circ} 52,3' W$) située à dix milles nautiques au large de Poste-de-la-Baleine, en baie d'Hudson (Fig.1). La plupart des mesures et manipulations ont été effectuées sur le site même des prélèvements, grâce à un laboratoire construit sur la glace. Les opérations plus complexes ont été conduites à terre; le transfert rapide des échantillons a été rendu possible par l'utilisation d'un hélicoptère.

RICHESSSE EN NUTRIMENTS

Deux opérations différentes ont été effectuées simultanément: (1) comparaison à trois périodes différentes des teneurs en nutriments de la glace et la partie immédiatement sous-jacente de la colonne d'eau, à différents points distants d'une centaine de mètres l'un de l'autre, et (2) suivi de l'évolution en un point fixe des teneurs en nutriments du fraïsil, de la fin mars à la mi-mai.

Les nutriments de l'interface eau-glace sont dans l'ensemble trois fois plus concentrés que dans la colonne d'eau. La concentration moyenne en azote ($\Sigma N = NO_3 + NO_2 + NH_4$) varie de 5,2 à 9,4 $\mu g-at.l^{-1}$ dans la glace et seulement de 1,3 à 3,3 $\mu g-at.l^{-1}$ dans l'eau de mer sous-jacente (Tabl.1). Le fraïsil montre une situation intermédiaire; pendant la même période ΣN a varié de 5,3 à 4,0 $\mu g-at.l^{-1}$ (Fig.2).

La concentration en phosphore reflète une situation similaire: les valeurs moyennes varient de 2,30 à 3,09 $\mu g-at.l^{-1}$, dans la glace et de 0,30 à 0,46 $\mu g-at.l^{-1}$ dans l'eau de mer, alors qu'elle est de 0,90 $\mu g-at.l^{-1}$ dans le fraïsil. Dans le fraïsil, la concentration en azote diminue, de la fin mars à la mi-mai, de 12 $\mu g-at.l^{-1}$ à 1,3 $\mu g-at.l^{-1}$ (Fig.2). L'ion NO_3 et l'ion NH_4 sont absorbés simultanément, bien que la concentration initiale en ammonium ait été de 7 $\mu g-at.l^{-1}$ (Fig.3).

En cela les algues épontiques ressembleraient aux diatomées benthiques ou tychobenthiques des marais atlantiques (Maestrini *et al.*, 1982). La réserve naturelle en NO_3 a été épuisée alors que celle en NH_4 ne l'a pas été.

Pendant cette même période, la concentration en silicium du fraïsil n'a pas diminué mais, au contraire, a légèrement augmenté de 0,4 à 1,5 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$. Ainsi, une situation complexe s'était établie pour cet élément : concentration élevée dans la colonne d'eau (8,1-10,8 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$) ; concentration très faible dans le fraïsil (0,4-1,6 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$) ; et valeurs intermédiaires dans la glace (3,7 à 6,9 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$). Cette situation est certainement issue d'une absorption du silicium par les algues du fraïsil qui sont actives, alors que celles de la glace sont en état de dormance. Que, néanmoins, la teneur en silicium du fraïsil augmente très légèrement au cours de la période d'observation, alors que la réserve en azote est presque épuisée, tient à la grande richesse relative en silicium des eaux de la colonne sous-jacente à l'interface épontique : le rapport N/Si y est de 0,28 au lieu de 1,83 dans la glace ; situation d'ailleurs courante dans l'Arctique côtier (Apollonio, 1980 ; Legendre *et al.*, 1981 ; Harrison *et al.*, 1982) et sans doute liée à des apports fluviaux (Freeman *et al.*, 1982 ; Grainger et Evans, 1982).

Dans l'ensemble, la richesse en nutriments de l'interface eau-glace est légèrement plus faible à la station d'étude qu'à d'autres sites de l'Arctique où des teneurs de 8 à 17 $\mu\text{M.l}^{-1}$ NO_3 ont été relevées (Apollonio (1958) Oradovsky (1972) in Grainger, 1977 ; Alexander *et al.*, 1974) ; encore que bon nombre de valeurs faibles y aient également été obtenues (Mc Roy et Goering, 1974). La différence de richesse entre le milieu épontique et la colonne sous-jacente, en gros de 3 : 1, est également plus faible que celle (10 : 1) que l'on accepte comme ayant une portée générale (Horner, 1976).

ABSORPTION DES NUTRIMENTS PAR LES ALGUES DU FRAÏSIL

Les taux d'absorption de l'azote et du phosphore, calculés à partir de la décroissance in situ des teneurs en ions minéraux, sont de 0,36 $\mu\text{g-at.l}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et 0,046 $\mu\text{g-at.l}^{-1}.\text{j}^{-1}$, respectivement. Des mesures directes ont également été effectuées avec des populations naturelles maintenues pendant 7 à 8 heures, à $-1,5^\circ\text{C}$, sous un éclairage de 422 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. La prise d'azote s'est alors effectuée à un taux moyen de 0,99 $\mu\text{g-at.l}^{-1}.\text{j}^{-1}$ N-NO_3 . La comparaison des deux valeurs indique que les processus de régénération de la réserve en nutriments du fraïsil, aussi bien en adduction à partir de la colonne sous-jacente (Legendre *et al.*, 1981), transfert de la glace vers le fraïsil (Grainger, 1977) que par reminéralisation biologique, compensant pour environ 2/3 la prise des nutriments par les algues.

L'activité nutritionnelle est multipliée par 4,5 quand la concentration en azote minéral du milieu est augmentée jusqu'à 29 $\mu\text{g-at.l}^{-1}$. Un phénomène comparable a lieu avec le phosphore, mais les résultats obtenus sont trop dispersés pour que le facteur d'accroissement puisse être calculé.

NUTRIMENT LIMITANT LA BIOMASSE ALGALE

Des bioessais ont été effectués avec les algues du fraïsil de la mi-avril, pauvre en nutriments. Les cultures tests étaient incubées soit in situ, soit en laboratoire à $4-5^\circ\text{C}$. Les enrichissements différentiels apportaient des quantités de nutriments légèrement supérieures à la réserve naturelle ; il était ajouté, par exemple, 25 $\mu\text{M.l}^{-1}$ NO_3 .

La biomasse des cultures non-enrichies n'a toujours augmenté que faiblement, alors qu'en présence de plusieurs mélanges contenant de l'azote, elle était multipliée par 40. L'ensemble des résultats obtenus (Fig.4) montre que l'azote est l'élément nutritionnel qui contrôle l'accroissement de la biomasse algale, dès que l'éclaircissement et le broutage permettent une croissance intense. Le phosphore deviendrait limitant si la concentration en azote était accrue jusqu'à $15 \mu\text{g-at.l}^{-1}$. Le silicium était presque aussi peu abondant que le phosphore dans les échantillons utilisés, mais il est douteux qu'il puisse devenir limitant à l'interface eau-glace, à cause de la forte teneur en SiO_2 des eaux de la colonne sous-jacente. Les autres facteurs nutritionnels sont naturellement assez abondants dans le fraïsil pour permettre un accroissement important de la biomasse algale.

Le rôle respectif de l'azote et du phosphore a pour origine une richesse plus grande en phosphore du fraïsil. Le rapport N : P = 5,2 ($s = 2,45$, $N = 19$), ce qui est très inférieur au rapport de Redfield (1934) qui marque l'équilibre entre les deux éléments.

Dès lors, il est au premier abord surprenant que la réserve naturelle en azote ne soit jamais totalement épuisée (Fig.2). Toutefois, sur la base des diatomées tycho-benthiques de l'interface eau-sédiment (Robert *et al.*, 1979) avec lesquelles les algues épontiques présentent bien des similitudes (Poulin *et al.*, 1983), nous pensons que les algues du fraïsil prélèvent les nutriments à une vitesse trop faible pour les épuiser, les mécanismes de régénération étant plus rapides. Cela tient probablement à une affinité trop faible pour ces substrats (= K_s très élevés), reflétant des caractéristiques métaboliques permanentes ou résultant d'un processus de "slow or fast adaptation" (Droop, 1974) dit encore "Shift-up and shift down" (Conway *et al.*, 1976 ; Harrison *et al.*, 1976). Ainsi, quand au printemps l'éclaircissement est devenu suffisant pour que l'activité photosynthétique reprenne (Gosselin *et al.*, sous presse), les algues ne peuvent prélever rapidement les nutriments que dans la mesure où ceux-ci sont présents à des concentrations élevées.

TAUX DE CROISSANCE DES ALGUES DU FRAÏSIL

Les cultures incubées *in situ* pendant 19 ou 24 jours ont permis de calculer que le taux de génération moyen était de 17,6 jours ($s = 3,4$; $N = 6$) dans l'eau du fraïsil non enrichi, et 8,1 jours ($s = 2,9$; $N = 14$) en présence des meilleurs enrichissements. Ces valeurs sont élevées au regard du temps de génération de un jour prévu par le modèle de Eppley (1972) pour la croissance du phytoplancton à 0°C . Elles sont également plus fortes que les valeurs de Bunt (1968) citées dans la littérature pour les algues épontiques. Toutefois, si l'on examine attentivement les résultats originaux de cet auteur (Bunt, 1963), il apparaît que le temps de génération des organismes qu'il observait était de 10,5 jours. Si l'on écarte les mesures faites en laboratoire avec des souches unialgales cultivées dans des milieux pléthoriques, ces valeurs sont les seules connues à l'heure actuelle. Nous proposons donc, à titre d'hypothèse de travail, de considérer que le temps de génération *in situ* des algues de l'interface eau-glace est compris entre 8 et 17 jours.

EVOLUTION DE LA BIOMASSE ALGALE ; ETAT NUTRITIONNEL DES CELLULES

La biomasse des micro-algues du fraïsil ne s'est pas accrue pendant la période d'observation (Fig.5), alors que la réserve en nutriments était fortement diminuée.

Nous pensons que cette situation était le résultat des effets combinés du broutage et de la sédimentation qui retiraient de l'interface plus de cellules que la croissance n'en produisait. Les principaux brouteurs : des amphipodes (Rakusa-Suszczewski, 1972) et des copépodes (Fukuchi et Sasaki, 1981; Fukuchi et Tanimura, 1981) étaient très actifs sur le site d'étude, comme l'un d'entre nous (M.R.) a pu l'observer directement sous la glace, bien qu'aucun d'entr'eux n'ai été capturé avec le fraïsil; ceci tient à leur mobilité assez grande en regard du mode de prélèvement.

Les analyses de la composition cellulaire des populations naturelles (tableau 2) montrent que le rapport moyen POC : PON (at/at) = 11.4. Il est donc significativement différent de la valeur normale (7,1) établie par Redfield (1934) qui correspond à un taux de croissance maximal (Goldman et al., 1979) et confirme donc que l'azote était l'élément nutritionnel limitant la croissance algale.

Par ailleurs, en comparant les valeurs moyennes des rapports C : ATP (520) et C : chlorophylle-a (88) avec les valeurs considérées comme reflétant une vitalité moyenne de toutes les cellules (Holm-Hansen, 1970; Healey, 1975), et en tenant compte des variations apportées par une croissance à -1,5°C (Palmisano et Sullivan (1982), température du fraïsil étudié, nous avons calculé que 75 % des cellules algales étaient vivantes. Enfin, sur la base des résultats obtenus par Barlow (1982) qui démontrent qu'en situation de richesse en nutriments les algues présentent un rapport chlorophylle-a : ATP élevé, à cause d'un anabolisme actif, et qu'en situation de limitation sévère par les nutriments, la valeur de ce rapport s'accroît considérablement car les cellules synthétisent surtout des substances de réserve, il apparaît que l'activité des algues épontiques est peu intense.

Ce résultat corrobore l'estimation d'un temps de génération élevé dont il a été fait état ci-dessus et suggère de ne pas accepter l'idée que toutes les connaissances fondamentales acquises dans le domaine de la nutrition, avec des souches planctoniques, s'appliquent automatiquement aux algues de l'interface eau-glace des mers subpolaires et aux micro-algues benthiques en général. A notre avis, il faudra, au contraire, s'astreindre à un patient travail pour définir les particularités qu'engendrent aussi bien la vie benthique que l'adaptation à croître à température très basse et en éclaircissement très faible.

REMERCIEMENTS

Les recherches ont été rendues possibles par l'aide financière du "Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada", du Centre Champlain de Sciences de la Mer, du F.C.A.C., du N.S.E.R.C. et de la Société d'énergie de la baie de James. L'utilisation d'un hélicoptère a été rendue possible par "Pêches et Océans". Le programme de Coopération France-Canada a financé une mission à Poste-de-la-Baleine et une mission à Québec pour S.Y.M.

-
- Alexander V. Horner R., Clasby R.C., 1974. Metabolism of Arctic sea ice organisms. *Rep. Inst. mar. Sci. Univ. Alaska* R.74.4 : 1-120.
Apollonio S., 1961. The chlorophyll content of arctic sea-ice. *Arctic* 14 : 197-200.
Apollonio S., 1980. Primary production in Dumbell Bay in the Arctic Ocean. *Mar. Biol.* 61 : 41-51.
Barlow R.G., 1982. Phytoplankton ecology in the southern Benguela current. I.

- Biochemical composition. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 63 : 209-227.
- Bunt J.S., 1963. Microbiology of Antarctic sea-ice. Diatoms of Antarctic sea-ice as agents of primary production. *Nature* (London) 199 (49000) : 1254-1257.
- Bunt J.S., 1968. Some characteristics of microalgae isolated from Antarctic sea-ice. *Antarct. Res. Ser.*, 11 : 1-14.
- Clasby R.C., Alexander V., Horner R., 1976. Primary productivity of sea-ice algae. p. 289-304. In : D.W. Hood and D.C. Burrell, eds., Assessment of the Arctic Mar. Environ. : Selected Topics, Inst. mar. Sci., Univ. Alaska, Fairbanks.
- Conway H.L., Harrison P.J., David C.O., 1976. Marine diatoms grown in chemostat under silicate or ammonium limitation II. Transient response of *Skeletonema costatum* to a single addition of the limiting nutrient. *Mar. Biol.*, 35 : 187-199.
- Droop M.R., 1974. The nutrient states of algal cells in continuous culture. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 54 : 825-855.
- Eppley R.W., 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.*, 70 : 1063-1085.
- Fukuchi M., Sasaki H., 1981. Phytoplankton and zooplankton standing stocks and downward flux of particulate material around fast ice edge of Lützow-Holm Bay, Antarctica. *Mem. Nat. Inst. Polar Res.*, Ser. E. 34 : 13- 36.
- Goldman J.C., Mc Carthy J.J., Peavey D.G., 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. *Nature* (London) 279 : 210-215.
- Gosselin M., Legendre L., Demers S., Ingram R.G. Response of sea ice microalgae to climatic ad fortnightly tidal energy inputs (Mintounuk Sound, Hudson Bay). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (in press).
- Grainger E.H., 1977. The annual nutrient cycle in sea-ice. p. 285- 299. In : M.J. Dunbar, ed., Polar oceans. Proceed. SCOR/SCAP Polar Oceans Conference, Montreal, May 1974 ; Arctic Institute of North America, Calgary.
- Harrison P.J., Conway H.L., Dugdale R.C., 1976. Marine diatoms grown in chemostats under silicate or ammonium limitation. I. Cellular chemical composition and steady-state growth kinetics of *Skeletonema costatum*. *Mar. Biol.*, 35 : 177-186.
- Healey F.P., 1975. Physiological indicators of nutrient deficiency in algae. *Fish. mar. Ser. Res. Dev. tech. Rep.* N 585 : 30 p.
- Holm-Hansen O., 1970. ATP levels in algal cells as influenced by environmental conditions, *Pl. Cell Physiol.*, Tokyo, 11 : 689-700.
- Horner R.A., 1976. Sea ice organisms. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 14 : 167-182.
- Kuznetsov L.L., 1980 (1981). Chlorophylls and primary production associated with ice of Amur Bay, Sea of Japan. *Biologiya Morya*, 5 : 72-74 (1980, in Russian), *Soviet. J. mar. Biol.* 6 (5) : 297-299 (1981, in English).
- Legendre L., Ingram R.G., Poulin M., 1981. Physical control of phytoplankton production under sea ice (Manitounuk Sound, Hudson Bay). *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.*, 38 : 1385-1392.
- Maestrini S.Y., Robert J.-M., Truquet I., 1982. Simultaneous uptake of ammonium and nitrate by oyster-pond algae. *Mar. Biol. Lett.* 3 : 143- 153.
- Mc Grath Grossi S., Sullivan C.W., 1984. In situ growth rates and floristics for antarctic sea ice microalgae grown under various snow depths. Abstracts, Eighth symp. on living and fossil diatoms, Paris, august 27th september 1st 1984, p. 101.
- Mc Roy C.P., Goering J.J., 1974. The influence of ice on the primary productivity of the Bering sea. p. 403-421. In : D.W. Hood, ed., Oceanography of the Bering Sea. Occasional Publication N 2 , Institute of Mar. Sci., Univ. Alaska, Fairbanks.
- Palmisano A.C., Sullivan C.W., 1982. Physiology of sea ice diatoms. I. Response of

- three polar diatoms to a simulated summer-winter transition. *J. Phycol.*, 18 : 489-498.
- Poulin M., Cardinal A., Legendre L., 1983. Réponse d'une communauté de diatomées de glace à un gradient de salinité (baie d'Hudson). *Mar. Biol.* 76 : 191-202.
- Rakusa-Suszczewski S., 1972. The biology of *Paramoera walkeri* Stebbing (Amphipoda) and the Antarctic sub-fast ice community. *Pol. Arch. Hydrobiol.* 19 : 11-36.
- Redfield A.C., 1934. On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. p. 176-192. *In* : R.J. Daniel, ed., James Johnstone memorial volume, University Press, Liverpool.
- Robert J.-M., Maestrini S.Y., Bages M., Dreno P.-P., Gonzalez- Rodriguez E., 1979. Estimation, au moyen de tests biologiques, de la fertilité pour trois diatomées des eaux des claires à huitres de Vendée. *Oceanol. Acta*, 2 (3) : 275-286.

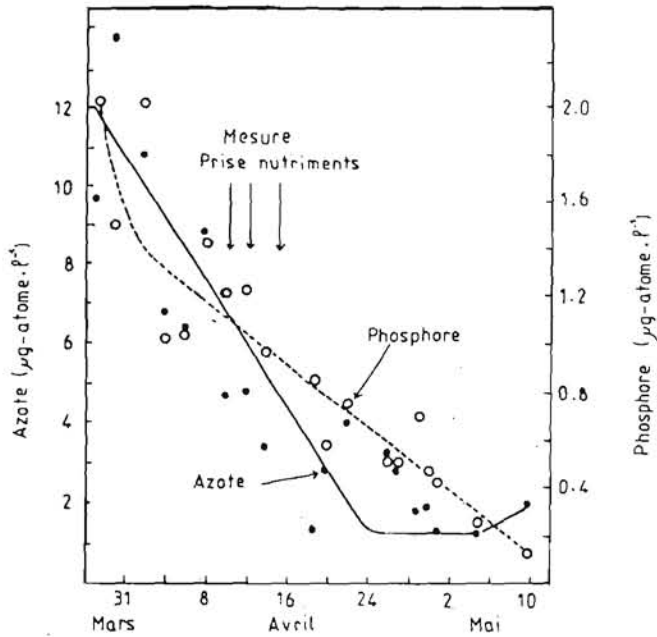


Figure 2 - Décroissance des teneurs en azote ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$) et en phosphore du foin, du 28 mars au 10 mai 1983. Les flèches indiquent les jours où ont été faites les mesures directes du taux d'absorption des nutriments. Les courbes ont été tracées par intégration visuelle.

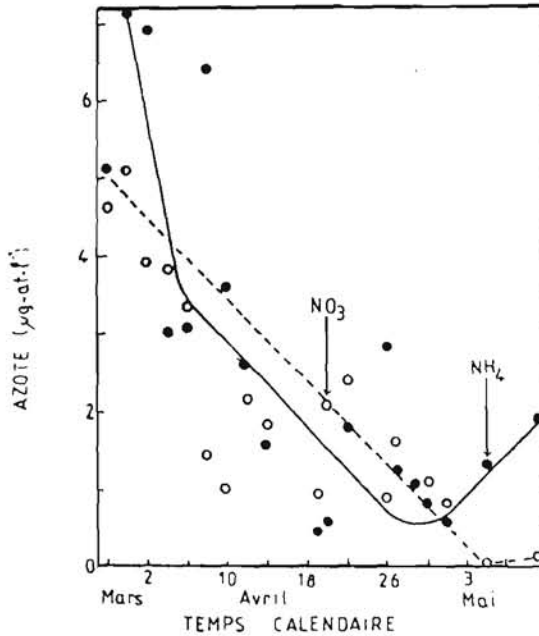


Figure 3 - Décroissance des teneurs en NO_3 et NH_4 du foin, du 28 mars au 10 mai 1983. Les droites et courbes ont été tracées par intégration visuelle.

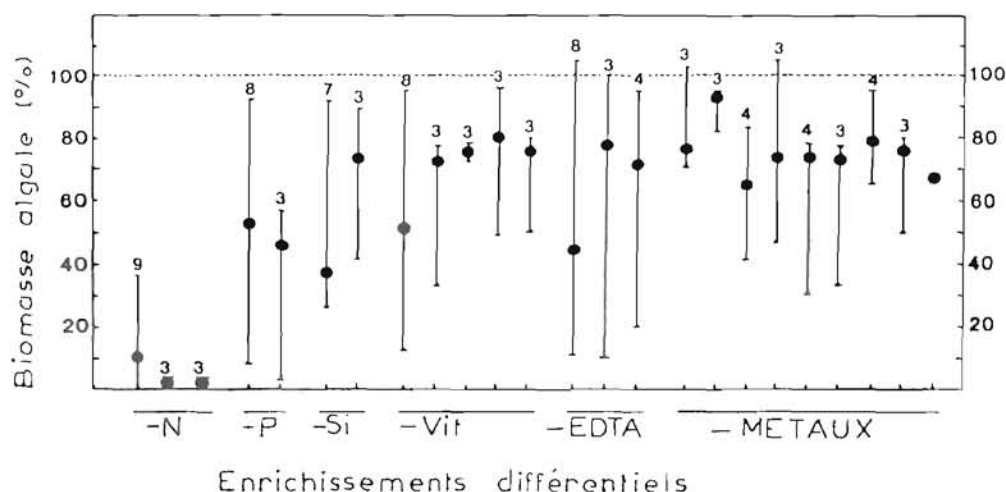


Figure 4 - Valeurs extrêmes et valeurs médianes (points noirs) de la biomasse algale potentielle, exprimée en pour cent par rapport à un enrichissement contenant tous les éléments des populations du fraissil cultivées en présence d'enrichissements différentiels. Les résultats ont été regroupés de manière à faire apparaître l'effet de l'absence d'un élément donné. Les nombres situés au dessus des vecteurs indiquent le nombre respectif d'expérimentations effectuées.

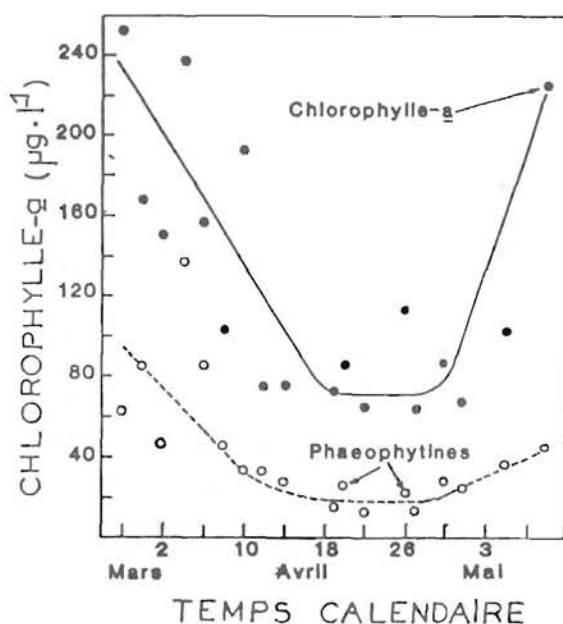


Figure 5 - Evolutions des concentrations ($\mu\text{g.l}^{-1}$) de la chlorophylle-a et des phaeophytines du fraissil, du 28 mars au 10 mai 1983, à la station située au large de Poste-de-la-Baleine. Les courbes ont été tracées par intégration visuelle.

Nutriment ou pigment	Glace		Colonne sous-jacente	
	\bar{x}	(s)	\bar{x}	(s)
	<u>15-17 avril (n= 11)</u>			
NH_4	4,7	(2,3)	1,4	(0,4)
$NO_3 + NO_2$	4,7	(3,8)	2,0	(0,5)
$\Sigma N (NO_3 + NO_2 + NH_4)$	9,4	(5,5)	3,3	(0,7)
PO_4	3,09	(1,69)	0,30	(0,08)
N/P	4,1	(4,0)	11,2	(2,3)
SiO_3	4,0	(1,2)	9,9	(1,6)
Chlorophylle-a	36,4	(30,6)	0,4	(0,5)
Phaeophytines	6,6	(5,0)	0,4	(0,4)
	<u>3-4 mai (n= 11)</u>			
NH_4	6,4	(3,8)	1,0	(0,5)
$NO_3 + NO_2$	0,8	(0,7)	0,9	(0,5)
$\Sigma N (NO_3 + NO_2 + NH_4)$	7,2	(4,2)	2,0	(0,7)
PO_4	2,30	(1,17)	0,53	(0,11)
N/P	3,9	(3,2)	3,4	(1,6)
SiO_3	6,9	(4,3)	8,1	(8,4)
Chlorophylle-a	56,8	(30,8)	1,6	(1,2)
Phaeophytines	7,1	(8,3)	0,5	(0,35)
	<u>6-7 mai (n= 10)</u>			
NH_4	4,7	(1,5)	1,6	(0,9)
$NO_3 + NO_2$	0,5	(0,2)	0	
$\Sigma N (NO_3 + NO_2 + NH_4)$	5,2	(1,6)	1,6	(0,9)
PO_4	2,50	(1,06)	0,46	(0,15)
N/P	2,5	(1,5)	3,9	(3,1)
SiO_3	3,7	(0,7)	10,8	(1,3)
Chlorophylle-a	41,6	(25,2)	3,1	(3,2)
Phaeophytines	14,1	(22,8)	0,4	(0,2)

TABLEAU I - CONCENTRATIONS MOYENNES EN AZOTE, PHOSPHORE ET SILICIUM ($\mu M.l^{-1}$) ET CONCENTRATIONS EN CHLOROPHYLLE a ET PHAEOPIGMENTS ($\mu g.l^{-1}$) DANS LA GLACE ET LA PARTIE SUPÉRIEURE DE LA COLONNE D'EAU, LE LONG D'UNE RADIALE AYANT POUR CENTRE LA STATION SITUÉE A 10 MILLES AU LARGE DE POSTE-DE-LA-BALEINE.

Date de prélèvement		$\frac{C}{N}$	$\frac{C}{ATP}$	$\frac{C}{Chl-a}$	$\frac{N}{Chl-a}$
Mars	30	7,4	1 109	68	9,1
Avril	2	7,4	877	101	13,6
	4	6,1	491	-	5,3
	6	12,2	-	72	5,9
	8	10,5	542	132	12,6
	10	14,4	384	114	8,0
	12	10,0	441	115	11,5
	14	6,5	-	51	7,8
	19	12,5	245	82	6,6
	20	7,2	-	-	5,3
	22	12,4	255	76	6,1
	24	12,5	333	72	5,8
	26	11,7	515	109	9,4
	30	15,8	208	77	4,9
Mai	1	16,2	265	86	5,3
	5	13,9	1 100	88	6,4
	10	16,5	-	75	4,5
	\bar{x}	11,4	520	88	7,5
	s	3,5	313	22	2,8

TABLEAU II - RAPPORTS DES PRINCIPAUX COMPOSANTS CELLULAIRES, REFLETANT L'ETAT PHYSIOLOGIQUE DES POPULATIONS NATURELLES DE L'INTERFACE EAU-GLACE, AU LARGE DE POSTE-DE-LA-BALEINE, PENDANT LE PRINTEMPS 1983. Chl a = CHLOROPHYLLE a.