

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN PRODUCTIVITÉ AQUATIQUE

PAR

RAYNALD CHASSÉ

ASPECTS DE LA PRODUCTION PRIMAIRE ET SECONDAIRE DANS LES
EAUX HIVERNALES DE LA PARTIE AMONT DU FJORD DU SAGUENAY

JUIN 1988



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RESUME

Durant la période d'août 1985 à mai 1986, nous avons étudié in vitro, à la station DR 190A, station représentative de la partie amont du fjord du Saguenay, quelques aspects de la dynamique de la production primaire et de la production secondaire. Les cellules phytoplanctoniques contenues dans les eaux glaciales du Saguenay sont relativement abondantes mais peu productives. Au début de la formation des glaces (janvier), les cellules sont surtout concentrées dans le frasil et dans les eaux de surface tandis qu'en février-mars elles sont beaucoup plus abondantes dans la glace. Les conditions physico-chimiques sont relativement peu favorables à une forte productivité primaire. La température et les éléments nutritifs semblent être des facteurs plus importants que l'intensité lumineuse dans le contrôle de la productivité primaire hivernale.

La faible biomasse végétale en période pré-hivernale, limite ainsi la faune du zooplancton car la communauté est composée entièrement d'espèces omnivores. Durant la période août-décembre, la dominance dans les eaux de surface est assurée par le Rotifère Asplanchna priodonta; il représente jusqu'à 99% des individus. Dans les eaux profondes de 30 et 100 m, le calanoidé Microcalanus pygmaeus et le cyclopoidé

Oncaea borealis sont des espèces dominantes. L'espèce M. pygmaeus est également très abondante en automne (août-décembre) et au printemps (mars-mai) tandis que l'espèce O. borealis n'a été observé que durant la saison automnale.

La particularité de ce travail de recherche réside dans l'apport de données physiques, climatiques et biologiques des eaux du fjord du Saguenay en conditions hivernales. Même si les conditions climatiques nous ont imposé certaines limites dans notre échantillonnage, il n'en reste pas moins que la présente étude contribue à enrichir nos connaissances sur l'océanographie du fjord du Saguenay, principal affluent de l'estuaire du St-Laurent.



Raynald Chassé



Raynald Côté

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont de façon particulière au Docteur Raynald Côté pour sa supervision durant la réalisation de ce travail ainsi que pour la patience avec laquelle il a revisé les textes de ce mémoire. Je tiens de plus à remercier Monsieur Mario Chassé pour l'aide qu'il m'a apportée lors des sorties sur le terrain ainsi qu'à Monsieur Yvon Maranda et Madame Monique Dionne-Chouinard pour leur aide technique.

Finalement, je remercie mon épouse Nathalie Tremblay pour ses encouragements ainsi que pour la dactylographie de ce manuscrit.

Ce travail de recherche fut réalisé grâce à l'appui financier du Programme d'Aide Institutionnelle à la Recherche (PAIR) et de la Fondation de l'Université du Québec à Chicoutimi.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	viii
I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET MÉTHODES	7
III. RÉSULTATS	12
3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES	13
3.1.1 COUCHE PHOTIQUE	13
3.1.2 TEMPÉRATURE ET SALINITÉ	13
3.1.3 ÉLÉMENTS NUTRITIFS	18
3.2 CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES	20
3.2.1 DIVERSITÉ PHYTOPLANCTONIQUE	20
3.2.2 CHLOROPHYLLE <u>A</u>	23
3.2.3 TAUX DE PRODUCTION PRIMAIRE ET RAPPORT P/B	28
3.2.4 FAUNE ZOOPLANCTONIQUE	30
IV. DISCUSSION	35
4.1 PRODUCTION PRIMAIRE	36
4.2 FAUNE ZOOPLANCTONIQUE	43
V. CONCLUSION	47
BIBLIOGRAPHIE	51

LISTE DES FIGURES

	Page	
FIGURE 1	Système hydrographique du Saguenay et localisation de la station d'échantillonnage (DR 190A).	3
FIGURE 2	Variations de la profondeur de la couche photique de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	14
FIGURE 3	Variations de la température (A) et de la salinité (B) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	15
FIGURE 4	Variations saisonnières des nitrates (A), des phosphates (B) et du rapport N/P (C) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	19
FIGURE 5	Variations saisonnières des trois espèces phytoplanctoniques dominantes de surface de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	22
FIGURE 6	Variations de la chlorophylle <i>a</i> (A) et du pourcentage de chlorophylle <i>a</i> dans les pigments totaux (B) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	24
FIGURE 7	Variations de la chlorophylle <i>a</i> (A) et de la densité cellulaire (B) dans la glace, le frasil et à la surface de la colonne d'eau de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1986.	27
FIGURE 8	Variations du taux de productivité primaire (A) et du rapport P/B (B) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	29

	Page
FIGURE 9 Variations de l'abondance relative (%) du zooplancton de surface de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	32
FIGURE 10 Variations de l'abondance relative (%) des principales espèces zooplanctoniques à 30 m (A) et à 100 m (B) de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	34

LISTE DES TABLEAUX

		Page
TABLEAU 1	Température ($^{\circ}$ C) et salinité (%) des eaux profondes de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.	17
TABLEAU 2	Variations des différentes espèces de phytoplancton dans les eaux de surface de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86. Les espèces dominantes représentent plus de 90% de la communauté.	21
TABLEAU 3	Abondance relative (%) des principales espèces de zooplancton dans les eaux de surface, à 30 m et à 100 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay durant la période août 1985 - mai 1986.	31
TABLEAU 4	Coefficients de corrélation (Pearson) dans les eaux de surface et à 10 m (A) pour l'ensemble des données (août 1985-mai 1986), (B) pour les données automnales (août-décembre), (C) pour les données hivernales (janvier-mars) et (D) pour les données printanières (avril-mai). Le nombre de paires de données est de 19 pour la section A, 8 pour la section B, 6 pour la section C et 5 pour la section D.	38

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Une connaissance de la dynamique de la production primaire et secondaire est essentielle pour caractériser la productivité biologique d'un écosystème aquatique. Dans les milieux estuariens, le mélange des eaux douces et des eaux salées peut créer une variabilité telle des conditions physiques, chimiques et biologiques, que les biomasses planctoniques en sont profondément affectées (Fucks et Meshcheryakova, 1959). Quand l'estuaire n'est pas directement relié à la mer mais à un autre estuaire, comme l'est le fjord du Saguenay (figure 1), la variabilité physico-chimique journalière de la couche photique affecte significativement la productivité primaire (Côté et Lacroix, 1978a).

Le fjord du Saguenay est un estuaire long (> 100 km), étroit (2-4 km) et situé à des latitudes moyennes ($48^{\circ} 07' N$; $48^{\circ} 27' N$). Il reçoit d'importants apports en eau douce. Il draîne le lac Kénogami (longueur 27 km et largeur 4 km) et le lac St-Jean (longueur 44 km et largeur 24 km) et présente à la hauteur de Chicoutimi, un débit annuel variant entre 1,2 et $4,2 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Jones et al., 1979). Une très forte stratification thermo-haline persiste dans le fjord du Saguenay durant la période de mai à novembre et sépare la colonne d'eau d'une part en une mince couche de mélange d'eau chaude (5-10m) et d'eau peu salée ($\sim 15-20^{\circ}\text{C}$; salinité max: 18‰), et d'autre part en une épaisse couche sous-jacente (jusqu'à 275m) d'eau

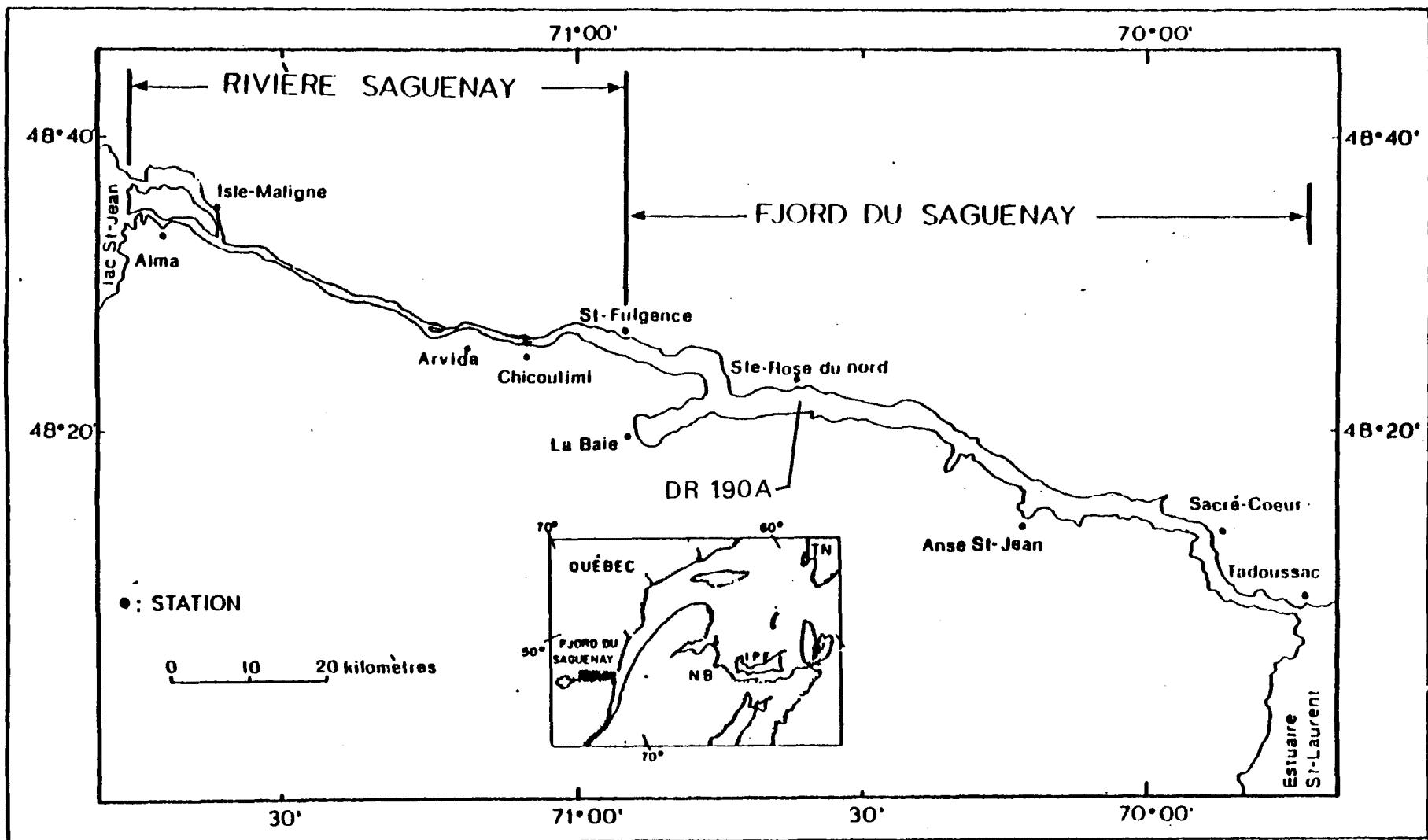


Figure 1. Système hydrographique du Saguenay et localisation de la station d'échantillonnage (DR 190A).

froide (<5°C à 15m) et salée (>26‰ à 15 m) (Côté et Lacroix, 1978a).

La productivité primaire du Saguenay a fait l'objet de plusieurs études (Therriault et Lacroix, 1975, 1976; Côté et Lacroix, 1978a, 1978b, 1979; Côté 1981, 1983; Cloutier et Côté 1985), tandis que celles reliées à la production secondaire sont relativement plus rares (Rainville, 1979; De Ladurantaye et al., 1984). Toutefois, toutes ces études ont été poursuivies durant la période de mai à octobre. Par conséquent, durant la période où les eaux du Saguenay sont recouvertes de glaces (novembre à mars-avril), nos connaissances sur la production primaire et secondaire sont à toute fin pratique inexistantes.

Dans les régions arctiques et antarctiques, la glace permanente de mer est le site d'une forte production microalgale (Horner et Schrader, 1982; Gosselin et al., 1985, 1986 et Demers et al., 1986). La communauté phytoplanctonique est répartie verticalement de façon hétérogène et les plus fortes densités et diversités cellulaires sont habituellement observées dans la partie inférieure du couvert glace (Apollonio, 1961, 1965). Ce dernier auteur a également démontré que le potentiel de production des cellules est relativement élevé car les algues ont la capacité de se reproduire sous de faibles intensités lumineuses. Sur le plan taxonomique, la communauté

phytoplanctonique est généralement dominée par les Diatomées benthiques (Meguro, 1962).

En comparant la microflore de la glace de mer de l'Arctique à celle du Golfe Saint-Laurent, Dunbar et Acreman (1980) ont constaté que la biomasse était deux fois plus élevée dans l'Arctique que dans le Golfe. Ils expliquent cette divergence par les différences de latitude qui influencent le régime lumineux, l'épaisseur de la glace et la longueur de la saison hivernale.

Plus récemment, Legendre et Demers (1984, 1985) ont étudié les mécanismes qui contrôlent la composition spécifique, la teneur en chlorophylle a et la répartition verticale des cellules végétales dans la glace. Leurs recherches se sont effectuées durant plusieurs saisons hivernales et ils ont démontré que les teneurs en chlorophylle a présentaient deux pics; un, dans le milieu des blocs de glace et l'autre, généralement plus élevé, dans le frasil (glace non-consolidée retrouvée à la base du couvert de glace). Les communautés phytoplanctoniques dans le frasil étaient de 40 à 50 fois plus denses que celles de la colonne d'eau sous-jacente. Ces auteurs mentionnent également que les teneurs en chlorophylle a des cellules augmentent de la surface du bloc de glace à la couche de frasil. Même si la composition taxonomique des communautés varie d'une saison à l'autre, ces études démontrent que la croissance

active des algues a lieu principalement dans la couche de frasil et que l'intensité lumineuse y joue un rôle prépondérant. Aussi, dans certains cas, le taux de refroidissement peut également jouer un rôle en contrôlant la densité cellulaire à l'intérieur de la glace.

Il n'existe à notre connaissance aucune étude relative à la production primaire et secondaire du fjord du Saguenay en conditions hivernales. Le présent travail de recherche vise à étudier la structure des communautés phytoplanctoniques et zooplanctoniques et leurs dynamiques automnale et hivernale dans la partie amont du fjord du Saguenay.

CHAPITRE II

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données de ce travail proviennent de la station DR 190A située au niveau du grand bassin principal dans la partie amont du fjord du Saguenay (figure 1), en face de Sainte-Rose-du-Nord. La station a une profondeur de 260 m et est située à 85 km de l'embouchure du Saguenay. Les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de cette station ont été étudiées par Côté (1977) et cette station est représentative des conditions prévalant dans la partie amont du Fjord. L'échantillonnage s'est poursuivi à tous les 15 jours, du 29 août 1985 au 24 mai 1986.

Des échantillons d'eau étaient prélevés au moyen de bouteilles Van Dorn de 3 L dans les eaux de surface (<1m) et aux profondeurs de 1, 2, 5 et 10 m. De plus, durant la période du 2 janvier au 14 mars 1986, nous avons découpé des blocs de glace d'environ 30 cm de côté et avons échantillonné dans la frasil, c'est-à-dire au niveau qui correspond à la mince couche de cristaux de glace non consolidée à l'interface glace-eau et qui demeure à la surface de l'eau une fois le bloc de glace retiré. Les échantillons de glace, de frasil et d'eau étaient immédiatement ramenés au laboratoire dans des bouteilles de polyéthylène et conservés à l'obscurité jusqu'à ce que les sections de glace et de frasil soient fondues. Cette opération n'exérait pas une heure.

Parallèlement à ces prélèvements, des mesures de température, de salinité et de pH étaient effectuées "in situ" au moyen d'un salinomètre-thermomètre YSI modèle 33 et d'un pH-mètre Fisher modèle 640. L'épaisseur de la couche photique (sauf durant la période du 2 janvier au 14 mars où il y avait présence d'un couvert de glace) a été déterminée selon la formule de Parsons et al. (1977) :

$$I_d = I_0 \cdot e^{-kd}$$

I_d = 1% de la lumière incidente

I_0 = 100% de la lumière incidente

k = 1,7 divisé par la profondeur de disparition du disque de Secchi

d = profondeur de la couche correspondant au niveau de 1% de la lumière incidente (m)

La luminosité sous le couvert de glace était mesurée par un photomètre Creterion modèle DPMT-3CC.

Lorsque les conditions climatiques le permettaient, nous avons prélevé des échantillons de phytoplancton dans les eaux de surface et des échantillons de zooplancton, aux profondeurs de 30 et de 100 m, au moyen de filets standards ayant des vides de maille respectivement de 70 μm et de 150 μm . Dû à certaines difficultés techniques, nous n'avons pu effectuer de façon régulière nos prélèvements de zooplancton durant la saison

hivernale (décembre à mars). Ces échantillons étaient entreposés dans des bouteilles thermiques et transportés au laboratoire où une aliquote était prélevée et fixée (au lugol pour le phytoplancton et au formol pour le zooplancton). Ces aliquotes servaient à l'analyse taxonomique. Dès l'arrivée au laboratoire (et/ou après la fonte de la glace et du frasil), les échantillons d'eau étaient filtrés sur Whatman GF/C de 0,80 µm. Les filtres étaient congelés et conservés dans un dessicateur à -20°C pour la détermination des pigments photosynthétiques selon la méthode fluorimétrique décrite dans Strickland et Parsons (1972). Une aliquote du filtrat était congelée dans des bouteilles de polyéthylène, et servait aux dosages des éléments nutritifs (silicates, phosphates, nitrates et ammoniaque) au moyen d'un auto-analyseur Technicon (Strickland et Parsons, 1972).

L'assimilation du $^{14}\text{CO}_2$ a également été mesurée selon les techniques décrites par Strickland et Parsons (1972). Deux bouteilles blanches et une bouteille noire étaient remplies d'eau et inoculées avec 1 ml d'une solution de 1,48 M Bq (4 µCi) de bicarbonate de sodium radioactif ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$). Celles-ci étaient incubées "in vitro" pendant quatre heures, à une température voisine de celle de l'eau de surface, dans un incubateur à lumière artificielle fournie par des lampes fluorescentes F20T12/Cool White d'une intensité d'environ $10,75 \times 10^{-3}$ g cal . sec⁻¹ . cm⁻². Ces échantillons étaient filtrés

sur Millipore de 0,45 µm et leur activité était déterminée au moyen d'un compteur à scintillation liquide (LKB-Wallac modèle 1217) étalonné avec des standards à activité connue et différemment amortis.

L'efficacité photosynthétique du phytoplancton a été estimée à partir des rapports P/B (Production/Biomasse).

CHAPITRE III

RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

3.1.1 Couche photique

La figure 2 illustre les variations saisonnières de la couche photique dans les eaux du Saguenay. Durant la période automnale (août-décembre), l'épaisseur de la couche photique varie entre 4 et 9 m ; elle se caractérise par une légère diminution durant la période août-novembre et une augmentation accentuée entre novembre et décembre. Cette importante augmentation dans l'épaisseur de la couche photique est associée à la régularisation artificielle du débit d'eau douce par les industries régionales. Durant la période de mars à mai, elle est relativement plus faible et excède rarement 5 m. Du 23 décembre au 15 mars, une épaisse couche de glace (atteignant plus de 100 cm d'épaisseur) recouvre les eaux du Saguenay.

3.1.2 Température et salinité

La température des eaux de surface, (figure 3A) diminue de façon à peu près constante de la fin d'août (14 °C) au début de décembre (-1,0 °C). A 10 m, les eaux sont un peu plus froides mais nous observons sensiblement les mêmes fluctuations qu'en surface. Cependant, à partir de la fin d'octobre, la stratification est de moins en moins accentuée. En période

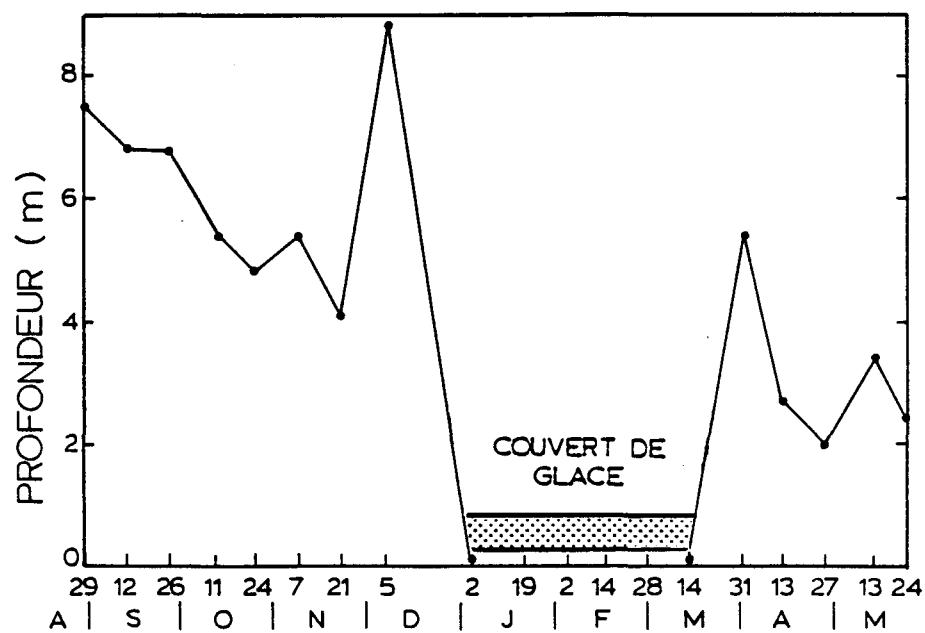


Figure 2. Variations de la profondeur de la couche photique de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

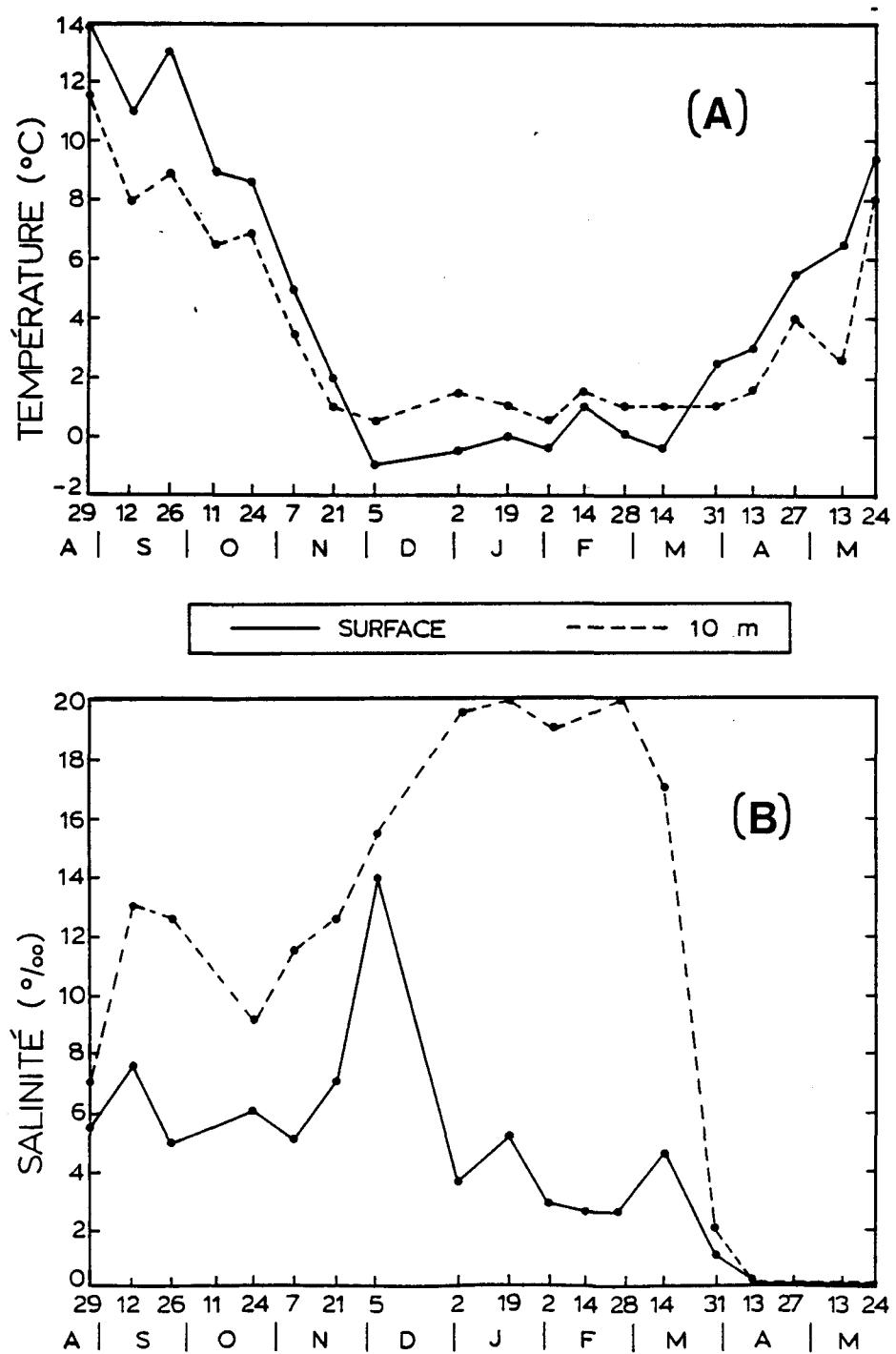


Figure 3. Variations de la température (A) et de la salinité (B) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

hivernale (décembre-mars), la température des eaux se caractérise par un gradient vertical croissant; à 10 m, la température est environ de 1,5 °C comparativement à une température de 0 °C en surface. A partir de mars, nous observons un réchauffement graduel dans les 10 premiers mètres de la colonne d'eau et à la fin mai, la température est de 9,5 °C en surface et 8 °C à 10 m.

La salinité des eaux de surface (figure 3B) demeure relativement faible durant toute la période d'échantillonnage (<7,5%) sauf en décembre où elle atteint une valeur éphémère de 14%. Au cours de la période de fonte des glaces (mars-avril), la salinité de surface diminue rapidement et elle est voisine de 0 % de la fin de mars à mai. A 10 m, la salinité est relativement élevée; elle augmente rapidement à partir de la fin octobre pour atteindre une valeur d'environ 20 % à la mi-janvier qui se maintient jusqu'à la fin février. A la fonte des glaces, l'épaisseur de la couche d'eau douce augmente ce qui se traduit par une chute rapide de la salinité.

Dans les eaux profondes (50-100 m), les variations de la température et de la salinité sont relativement faibles (tableau 1). Ces eaux sont très froides (0 à 2 °C) et salées (16 à 27 %) mais nous observons des inversions de température et de salinité durant toute la saison hivernale, phénomène très

Tableau 1: Température ($^{\circ}\text{C}$) et salinité (‰) des eaux profondes de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

DATE	20 m		30 m		50 m		100 m	
	T $^{\circ}\text{C}$	S‰	T $^{\circ}\text{C}$	S‰	T $^{\circ}\text{C}$	S‰	T $^{\circ}\text{C}$	S‰
1985-09-26	1,0	24,5	1,0	25,0	1,0	22,0	2,0	27,0
1986-01-02	1,0	23,5	0,5	18,5	0,5	23,5	1,0	22,5
1986-01-19	0,5	21,0	0,5	21,0	0,5	19,0	0,5	21,0
1986-02-02	1,0	23,0	1,0	18,5	0,5	16,0	1,0	21,0
1986-02-14	1,0	23,0	0,5	20,0	1,0	19,0	0,5	21,5
1986-02-28	1,0	22,0	1,0	22,0	1,0	22,0	1,0	21,5
1986-03-14	0,0	17,0	0,0	17,5*	1,0	18,5	1,0	19,5
1986-04-27	0,0	17,0	2,5	16,0	1,0	18,5	2,0	25,9

* valeur estimée à partir de celles de 20 et 50 m

fréquent dans les masses d'eau du grand bassin principal (Côté, 1977).

3.1.3 Eléments nutritifs

Les concentrations en éléments nutritifs des eaux superficielles (10 premiers mètres) présentent des fluctuations temporelles importantes (figure 4). Les nitrates (figure 4A) sont relativement abondants durant toute la période d'échantillonnage et les concentrations varient entre 4 et 12 $\mu\text{at.g.l}^{-1}$ en surface et entre 6 et 20 $\mu\text{at.g.l}^{-1}$ à 10 m. Dans les eaux de surface, les plus faibles concentrations sont enregistrées en automne (novembre) et au printemps (mars-avril) et les plus élevées en décembre tandis qu'à 10 m les nitrates sont relativement plus rares en septembre et en mai et plus abondants en février-mars.

Quant aux phosphates (figure 4B), les concentrations sont relativement faibles durant toute la saison et excèdent rarement 1,5 $\mu\text{at.g.l}^{-1}$ dans les eaux des 10 premiers mètres. Les fluctuations saisonnières sont particulièrement très accentuées dans les eaux de surface.

Parallèlement aux phosphates, les rapports N/P (figure 4C) montrent une très grande variabilité saisonnière dans les eaux de surface. Les valeurs fluctuent entre 5 et 80 avec

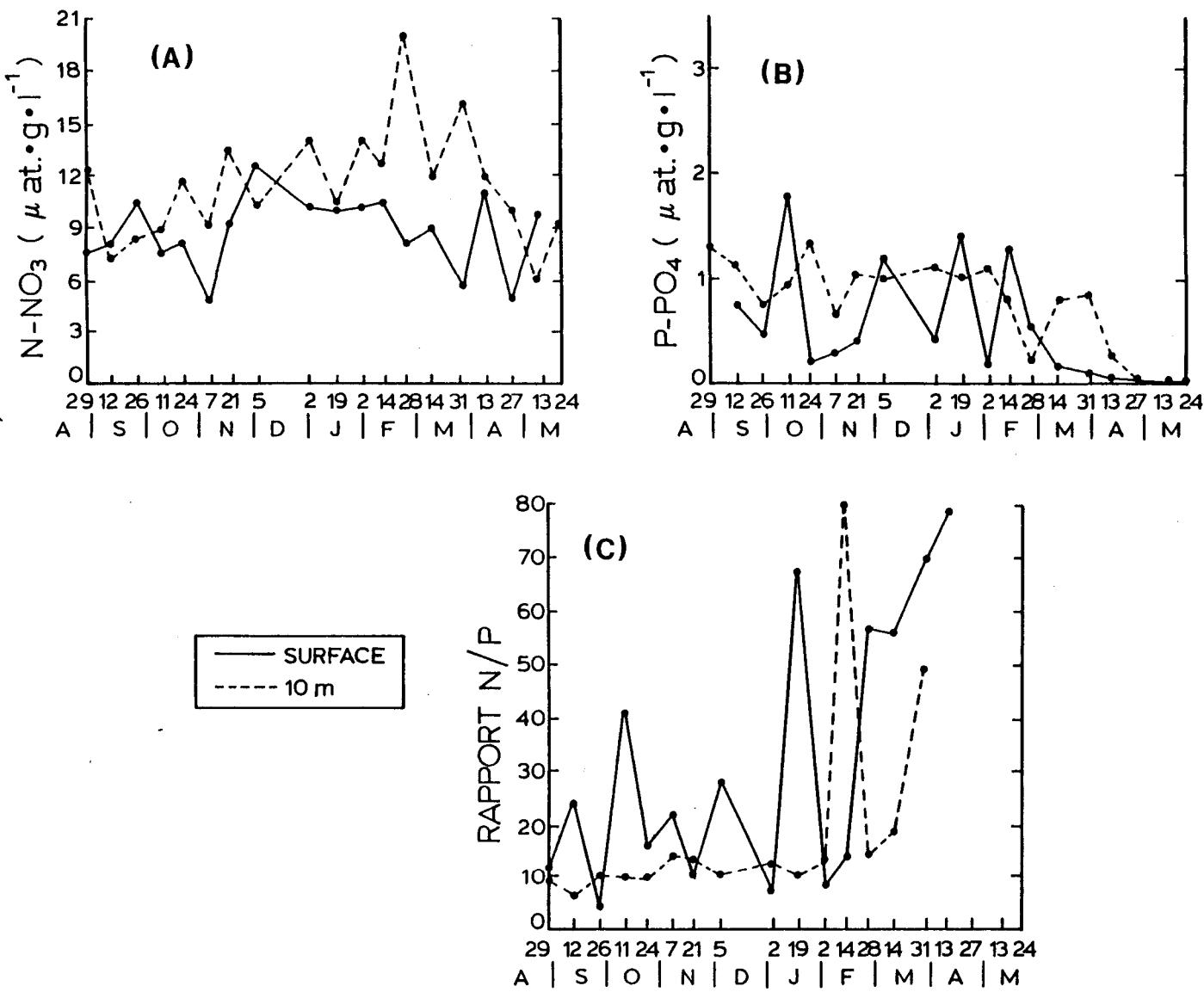


Figure 4. Variations saisonnières des nitrates (A), des phosphates (B) et du rapport N/P (C) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

une moyenne de 26. Dans les eaux sous-jacentes de 10 m, les valeurs sont relativement plus faibles ($\bar{X} = 16,0$) et plus stables à l'exception toutefois de la valeur très élevée de la mi-février.

3.2 CARACTÉRISTIQUES BIOLOGIQUES

3.2.1 Diversité phytoplanctonique

Le tableau 2 présente la liste des différentes espèces phytoplanctoniques observées dans les eaux superficielles du fjord du Saguenay en 1985-86. La communauté phytoplanctonique du Fjord est nettement dominée par les Diatomées ; les trois espèces Asterionella formosa Hass., Tabellaria fenestrata Lingb et Melosira ambigua (Brün) O. Müller forment plus de 90% des individus. Certaines espèces comme Closterium sp., Dynobryon bavaricum et T. flocculosa ont également été observées mais de façon sporadique. Leur pourcentage varie entre 0,5% et 3% au cours de la saison d'échantillonnage. D'autres espèces comme Anabaena flos-aquae, Synedra sp. et Ceratium sp. sont très rares.

L'analyse de la figure 5 qui illustre les variations saisonnières de la densité des trois espèces dominantes dans les eaux de surface, nous révèle que l'espèce M. ambigua est très

Tableau 2: Variations des différentes espèces de phyto-plancton dans les eaux de surface de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86. Les espèces dominantes représentent plus de 90% de la communauté.

DATE	ESPÈCES DOMINANTES	ESPÈCES SECONDAIRES
11 octobre	<u>Melosira ambigua</u> <u>Tabellaria fenestrata</u> <u>Asterionella formosa</u>	<u>Melosira</u> sp. <u>Diatoma elongatum</u> <u>Synedra</u> sp. <u>Anabaena flos-aquae</u> <u>Navicula</u> sp. <u>Dynobryon bavaricum</u>
24 octobre	<u>M. ambigua</u> <u>Tabellaria fenestrata</u>	<u>Asterionella formosa</u> <u>Melosira</u> sp.
7 novembre	<u>M. ambigua</u> <u>T. fenestrata</u> <u>A. formosa</u>	<u>D. elongatum</u> <u>Synedra</u> sp. <u>Ceratium</u> sp.
21 novembre	<u>T. fenestrata</u>	<u>A. formosa</u> <u>M. ambigua</u>
5 décembre	<u>T. fenestrata</u> <u>A. formosa</u>	<u>D. elongatum</u> <u>Closterium</u> sp.
2 janvier	<u>T. fenestrata</u> <u>A. formosa</u>	<u>D. elongatum</u> <u>Closterium</u> sp.
19 janvier	<u>T. fenestrata</u>	
2 février	<u>T. fenestrata</u>	<u>Synedra</u> sp.
14 février	<u>T. fenestrata</u>	
28 février	<u>T. fenestrata</u>	<u>Synedra</u> sp.
31 mars	<u>T. fenestrata</u>	<u>M. ambigua</u> <u>A. formosa</u>
13 avril	<u>M. ambigua</u>	<u>T. fenestrata</u> <u>A. formosa</u>
27 avril	<u>M. ambigua</u> <u>T. fenestrata</u>	<u>A. formosa</u> <u>Dynobryon bavaricum</u>
13 mai	<u>M. ambigua</u> <u>A. formosa</u>	<u>T. fenestrata</u> <u>D. elongatum</u>
24 mai	<u>M. ambigua</u>	<u>T. fenestrata</u> <u>A. formosa</u>

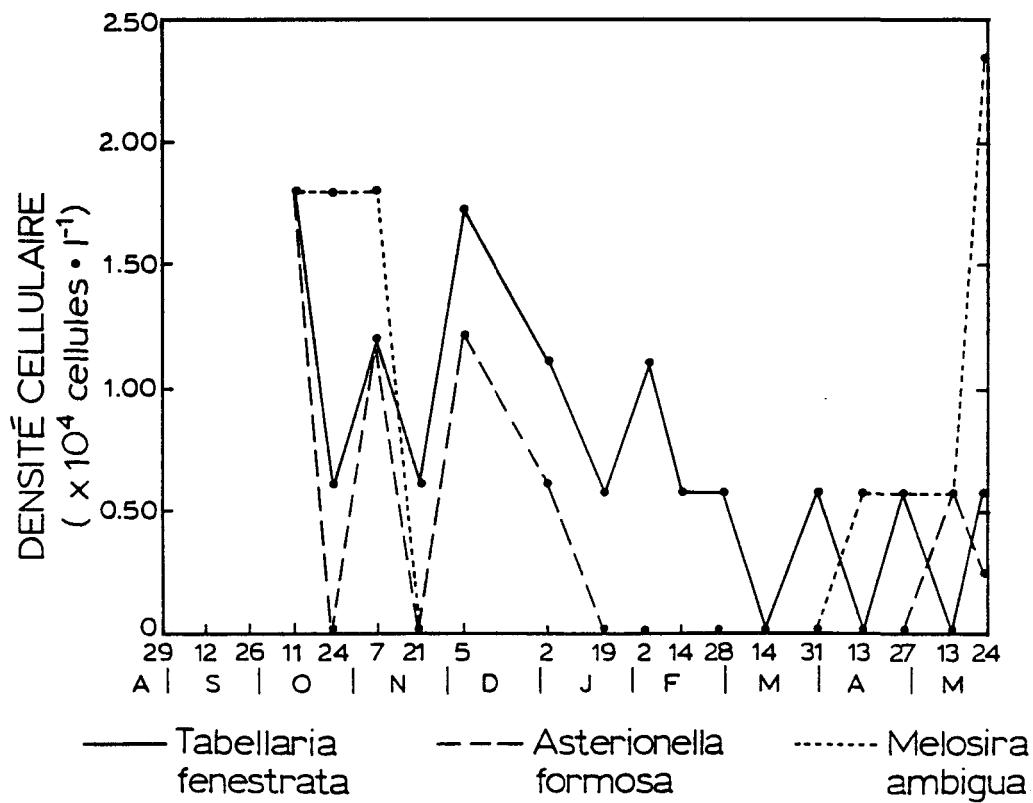


Figure 5. Variations saisonnières des trois espèces phytoplanctoniques dominantes de surface de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

abondante du 24 octobre au 21 novembre et présente une densité cellulaire aussi élevée que $1,8 \times 10^4$ cellules.l⁻¹. Par la suite, l'espèce disparaît complètement et ne réapparaît qu'à la fin mars et montre un maximum de densité de $2,4 \times 10^4$ cellules.l⁻¹ à la fin de mai. La disparition de M. ambigua, à partir de la fin de novembre, correspond à une forte augmentation de la densité cellulaire de T. fenestrata ($\sim 1,9 \times 10^4$ cellules.l⁻¹) et d'A. formosa ($1,3 \times 10^4$ cellules.l⁻¹). Les espèces T. fenestrata et A. formosa subissent des fluctuations saisonnières importantes durant la période d'octobre à novembre. De janvier à mars, nous observons uniquement T. fenestrata dans le phytoplancton de surface du fjord du Saguenay. Au printemps (de mars à mai), les densités de T. fenestrata fluctuent de façon marquée mais la dominance de la communauté phytoplanctonique est assurée par M. ambigua. Donc malgré des fluctuations saisonnières importantes, l'espèce T. fenestrata est observée durant toute la saison d'échantillonnage.

3.2.2 Chlorophylle a

A la figure 6A, nous avons illustré les fluctuations saisonnières de la chlorophylle a en surface et à 10 m. En surface, les teneurs en chlorophylle a sont relativement fortes durant la période d'août à septembre et présentent une valeur maximale de $4,0 \text{ mg.m}^{-3}$ à la fin de septembre. Par la suite,

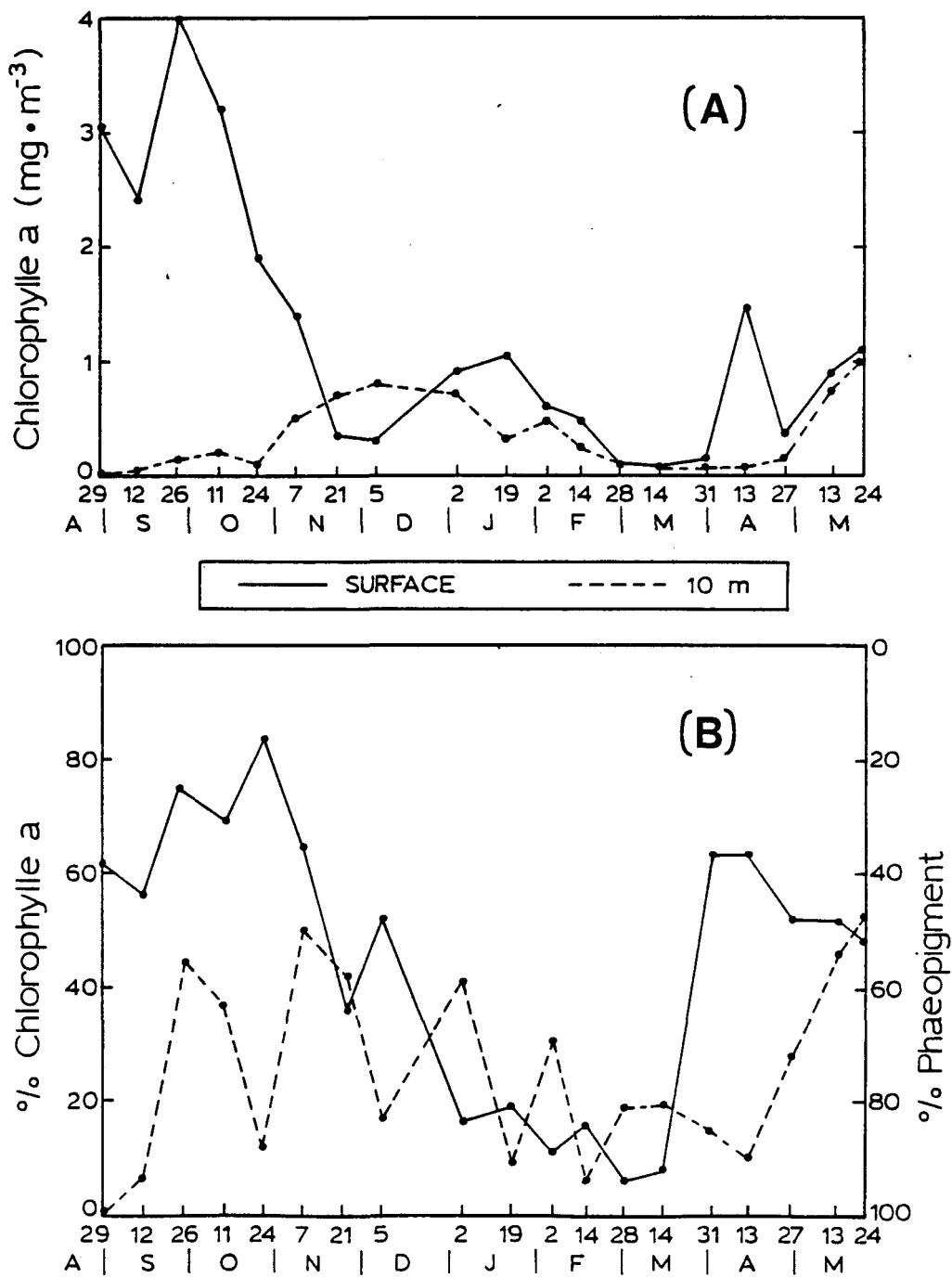


Figure 6. Variations de la chlorophylle a (A) et du pourcentage de chlorophylle a dans les pigments totaux (B) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

les valeurs diminuent très rapidement et se maintiennent à un niveau qui n'excède pas $1,0 \text{ mg.m}^{-3}$ jusqu'à la fin de mars. A la mi-avril, nous observons une légère poussée phytoplanctonique avec une concentration de $1,5 \text{ mg.m}^{-3}$ de chlorophylle a.

A 10 m, les teneurs en chlorophylle a sont très faibles entre août et octobre ($< 0,2 \text{ mg.m}^{-3}$) et par la suite nous observons une augmentation jusqu'en décembre mais les valeurs maximales n'excèdent pas $0,8 \text{ mg.m}^{-3}$. Durant la période correspondant à la formation des glaces (décembre-mars) et jusqu'à la débâcle, les teneurs en chlorophylle a sont généralement inférieures à $0,5 \text{ mg.m}^{-3}$. Ce n'est que vers la fin avril, que nous observons une augmentation progressive de la chlorophylle a et à la fin de mai la valeur est de $1,1 \text{ mg.m}^{-3}$.

Durant la période automnale (août-novembre), le pourcentage de chlorophylle a par rapport aux pigments totaux est généralement supérieur à 65% dans les eaux de surface (figure 6B). A partir de décembre et ce jusqu'à la fin de mars, les pourcentages sont relativement plus faibles et ils varient entre 10 et 20%. Avec la fonte des glaces (mars-avril), le pourcentage de chlorophylle a augmente considérablement et représente environ 60% des pigments totaux à la mi-avril. A la fin mai, il y a autant de chlorophylle a que de phaeopigments dans les eaux de surface. Dans les eaux sous-jacentes de 10 m, le pourcentage de chlorophylle a par rapport aux pigments totaux

est faible pendant toute la période d'échantillonnage avec un maximum d'environ 50% en mai.

L'examen de la figure 7A montre qu'au début de la période de couverture de glace (mi-janvier), les teneurs en chlorophylle a des cellules emprisonnées dans la glace sont nettement plus élevées que celles composant la communauté du frasil ou de celles retrouvées dans les eaux de surface; elles atteignent jusqu'à $4,5 \text{ mg.m}^{-3}$ dans la glace comparativement à 1 mg.m^{-3} au niveau du frasil et de l'eau de surface. En février et en mars, la chlorophylle a est relativement rare et les concentrations sont à peu près équivalentes dans les trois "milieux".

Si nous examinons les fluctuations temporelles de la densité cellulaire (figure 7B), nous constatons qu'au début de janvier, les cellules phytoplanctoniques sont relativement rares dans la couche de glace; leur densité n'est que de $500 \text{ cellules.l}^{-1}$ comparativement à ce que nous observons dans le frasil ($1,1 \times 10^4 \text{ cellules.l}^{-1}$) et dans les eaux de surface ($1,9 \times 10^4 \text{ cellules.l}^{-1}$). Cependant, la densité cellulaire dans les glaces augmente considérablement jusqu'à la fin de l'hiver et présente une valeur maximale de $2,4 \times 10^4 \text{ cellules.l}^{-1}$ à la mi-mars. Dans le frasil et dans les eaux de surface, la densité diminuent généralement de janvier à mars. Donc, au début de la formation des glaces (janvier), les cellules phytoplanctoniques sont surtout concentrées dans le frasil

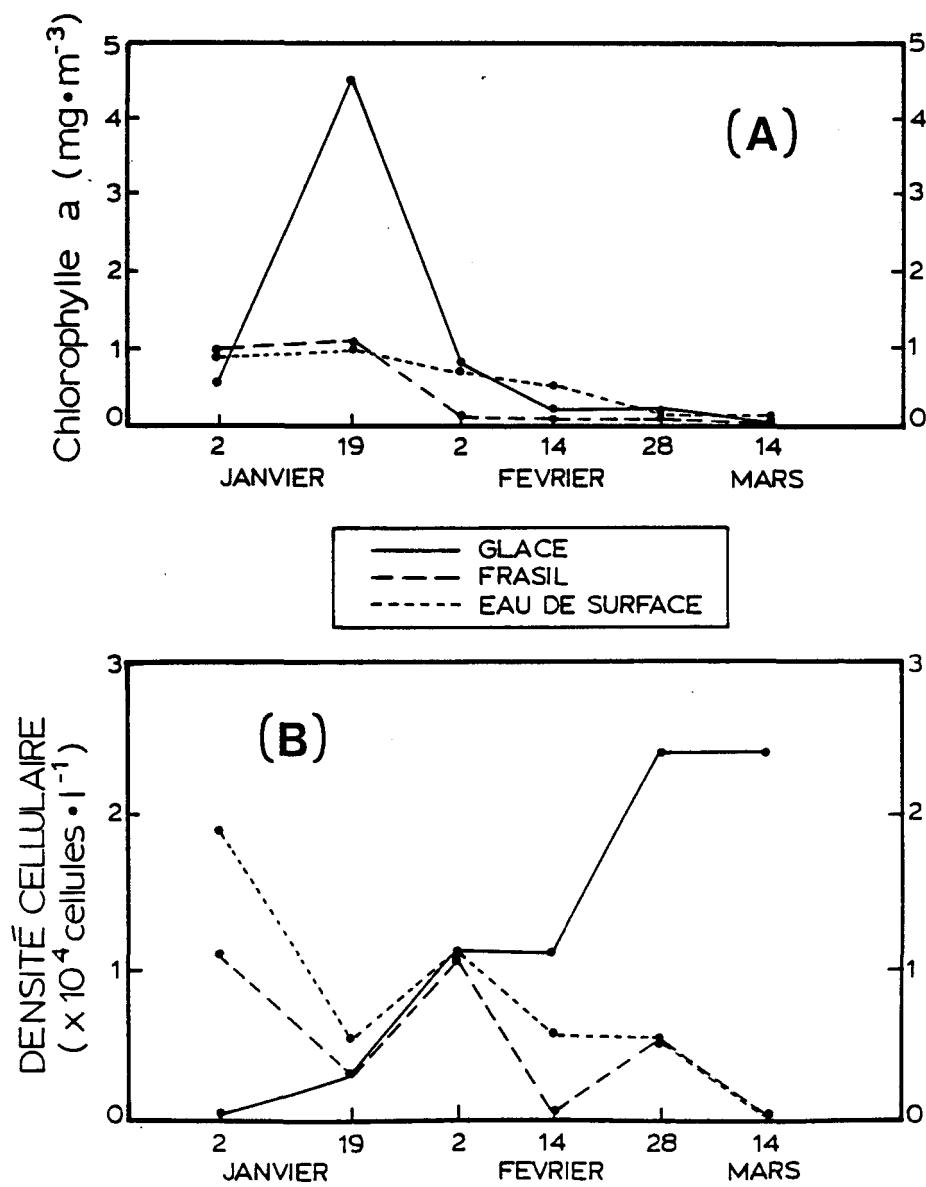


Figure 7. Variations de la chlorophylle a (A) et de la densité cellulaire (B) dans la glace, le frasil et à la surface de la colonne d'eau de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1986.

et dans les eaux de surface tandis qu'en février-mars, les cellules sont beaucoup plus abondantes dans la glace.

3.2.3 Taux de production primaire et rapport P/B

Les taux de production primaire des eaux de surface présentent une très grande variabilité saisonnière durant la période août-novembre (figure 8A). Ils varient entre 8 et 24,5 mgC.m.⁻³.h⁻¹. A la mi-novembre, les taux demeurent relativement faibles et se maintiennent ainsi jusqu'en mars-avril où nous observons une légère augmentation. A 10 m, les taux sont plus faibles et ils excèdent rarement 2 mgC.m⁻³.h⁻¹.

Les rapports P/B des eaux de surface (figure 8B) se caractérisent par une grande variabilité saisonnière. Il existe une grande analogie avec celles des taux de production primaire; d'ailleurs le coefficient de corrélation est de 0,87 ($p < 0,01$). Avec les teneurs en chlorophylle *a*, les rapports P/B présentent également une relation très significative et le coefficient de corrélation est de 0,78 ($p < 0,01$). A 10 m, les variations saisonnières des rapports P/B sont beaucoup plus marquées que celles des eaux de surface et ces rapports P/B sont aussi également liés avec les taux de production primaire ($r = 0,52$; $p < 0,01$).

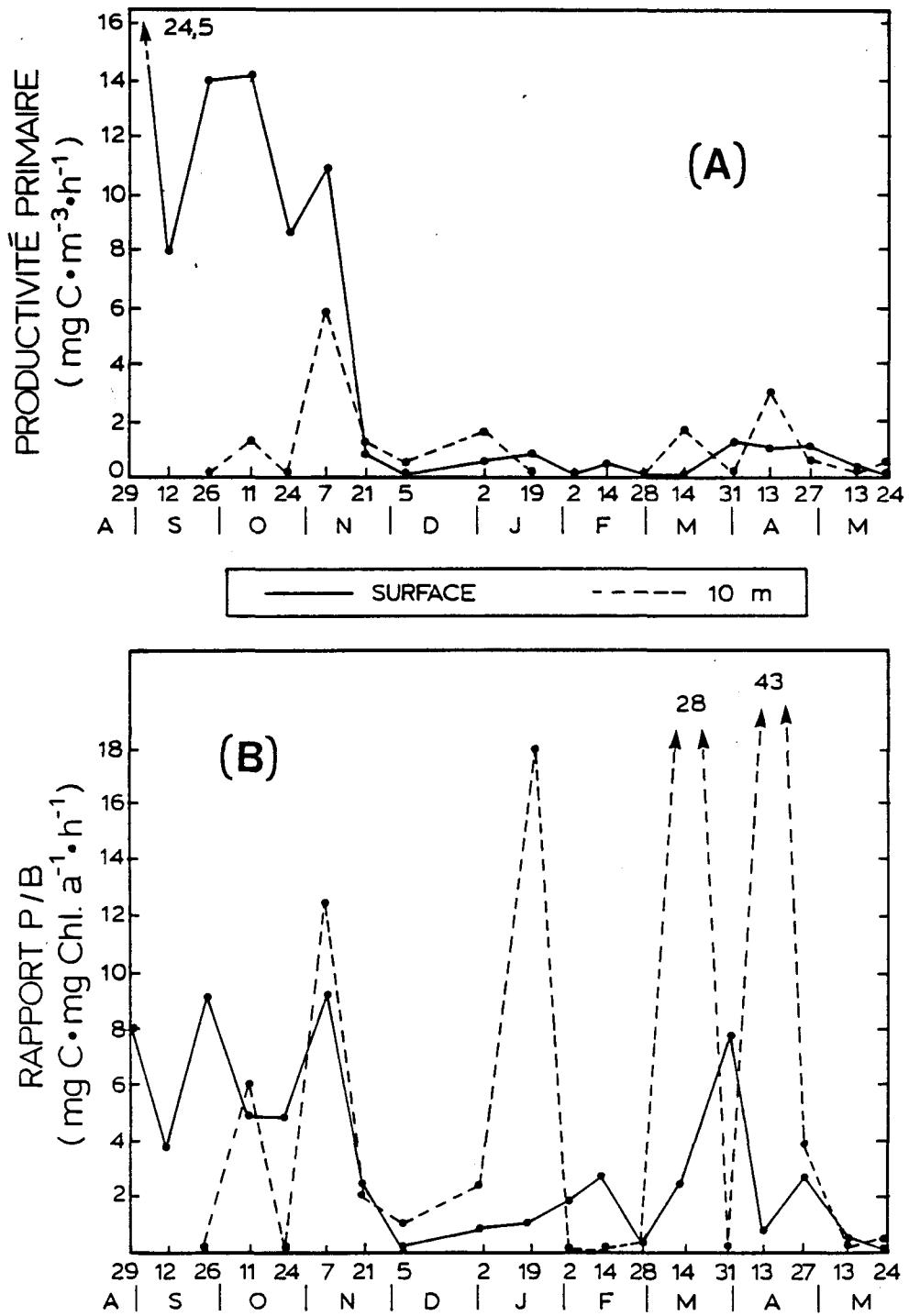


Figure 8. Variations du taux de productivité primaire (A) et du rapport P/B (B) en surface et à 10 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

3.2.4 Faune zooplanctonique

Le tableau 3 présente une liste des divers organismes prélevés dans les eaux du fjord du Saguenay durant la période d'août 1985 à mai 1986. Nous constatons qu'il existe des différences très nettes entre la faune zooplanctonique des eaux de surface et celle des eaux profondes (30 et 100 m). En considérant l'ensemble des données (août-mai) des eaux de surface, les Copépodes sont surtout représentés par des nauplii (environ 23% des individus) alors que le Rotifère Asplanchna priodonta représente près de 72% des individus. Dans les eaux profondes de 30 et 100 m, la dominance est assurée par des Copépodes adultes et pré-adultes; ils représentent entre 81 et 88% du nombre total d'organismes respectivement à 30 et à 100 m, alors qu'ils ne comptaient que 26% de la communauté des eaux de surface. Dans ces eaux profondes, les Calanoïdes sont un peu plus abondants (moyenne de 46 %) que les Cyclopoides (moyenne de 35 %). Les Mysidacées et les Larvacées sont restreints aux eaux profondes du fjord du Saguenay et montrent un pourcentage respectif de 10 et 3 % à 30 m et de 3,4 et 3,9% à 100 m.

Durant la période août-décembre, le zooplancton de surface (figure 9), est évidemment dominé par le Rotifère Asplanchna priodonta et son abondance relative varie entre 70 % (26 septembre) à 100 % (en décembre). A la fin de mars, nous

Tableau 3: Abondance relative (%) des principales espèces de zooplancton dans les eaux de surface, à 30 m et à 100 m de la station DR 190A du fjord du Saguenay durant la période août 1985 - mai 1986.

Groupes taxonomiques/Espèce	surface	30 m	100 m
COPEPODA	25,6	81,1	87,8
Calanoïda	0,2	40,0	52,0
<u>Eurytemora affinis</u>			
<u>Acartia longiremis</u>			
<u>Calanus finmarchicus</u>			
<u>Euchaeta norvegica</u>			
<u>Microcalanus pygmæus</u>			
<u>Pseudocalanus sp.</u>			
Cyclopoida	2,1	37,4	33,0
<u>Cyclops sp.</u>			
<u>Oithona similis</u>			
<u>Oncaea borealis</u>			
<u>Oncaea similis</u>			
Nauplii	23,3	3,7	2,8
ROTIFERA	71,8	0	0
<u>Asplanchna priodonta</u>			
LARVACEA	0	3,2	3,9
<u>Fritillaria borealis</u>			
<u>Oikopleura labradoriensis</u>			
MYSIDACEA	0	10,1	3,4
<u>Boreomysis nobilis</u>			
<u>Mysis litoralis</u>			
EUPHAUSIACEA			
<u>Meganyctiphane norvegica</u>			
<u>Thysanoessa sp.</u>			
POLYCHAETA (trochophore)			
DECAPODA (larve zoé)	2,6	5,6	4,9
CLADOCERA			
<u>Eubosmina longispina</u>			
<u>Daphnia sp.</u>			
<u>Podon sp.</u>			

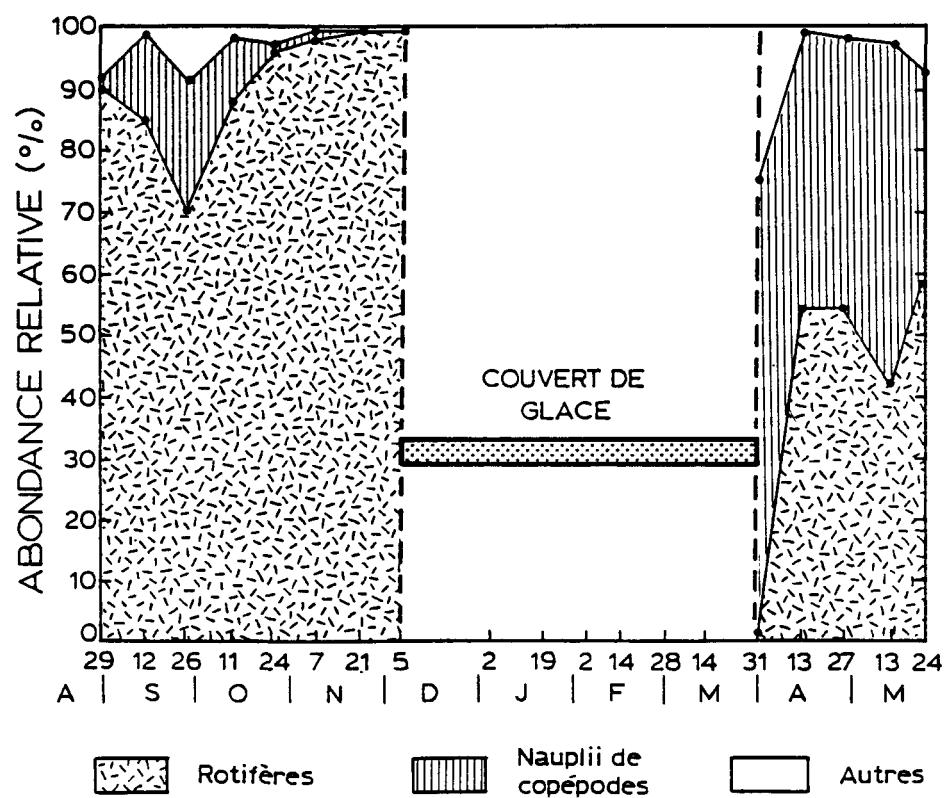


Figure 9. Variations de l'abondance relative (%) du zooplancton de surface de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

observons presqu'exclusivement des nauplii de copépodes tandis qu'en avril-mai, nous observons autant de nauplii de copépodes que de Rotifères.

Même si elles ne représentent qu'un faible pourcentage de l'abondance relative, certaines espèces comme le Copépode Calanus finmarchicus et les Larvacées Fritillaria borealis et Oikopleura labradoriensis se retrouvent dans tous les échantillons de 30 et 100 m (figure 10). D'autres espèces comme Oithona similis et Mysis litoralis ne sont représentées que pendant une certaine période. Ainsi, l'espèce O. similis représente plus de 31% des effectifs du zooplancton de la fin août jusqu'au début de novembre pour être totalement absente pendant les saisons hivernale et printanière tandis que l'espèce M. litoralis est relativement importante au mois d'avril et mai avec une abondance relative de plus de 50% de la communauté (figure 10) à 30 m et est totalement absente en automne et en hiver.

Durant la période où le Saguenay est couvert de glace (décembre-mars), nous n'avons observé dans les eaux superficielles que la présence de quelques nauplii de Copépodes. Dans les eaux profondes de 30 et de 100 m, nous avons prélevé quelques individus Calanus finmarchicus, d'Oncaeae borealis et de Microcalanus pygmaeus. Les quelques spécimens de M. pygmaeus prélevés en février, étaient des femelles embryonnées.

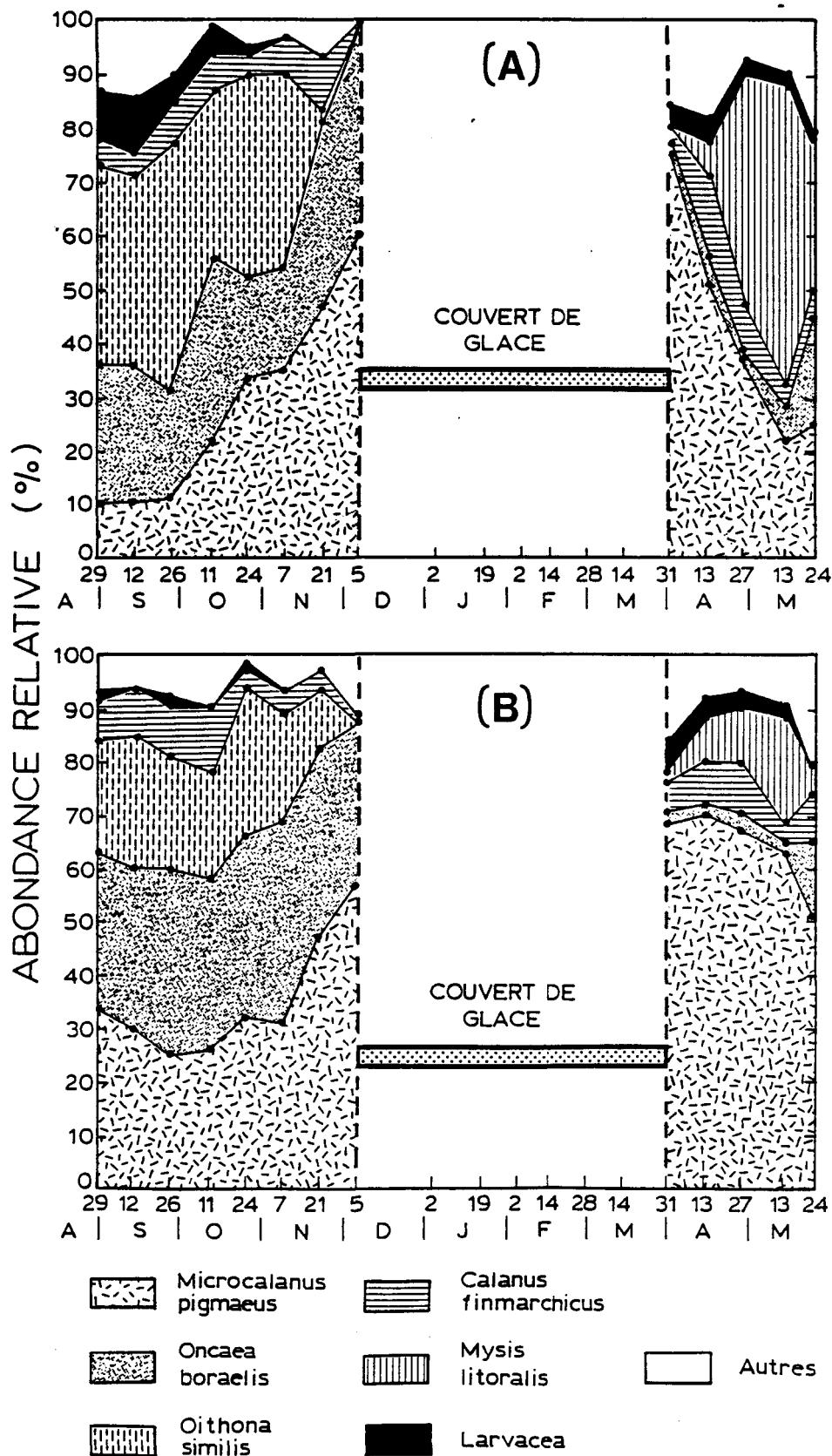


Figure 10. Variations de l'abondance relative (%) des principales espèces zooplanctoniques à 30 m (A) et à 100 m (B) de la station DR 190A du fjord du Saguenay en 1985-86.

CHAPITRE IV

DISCUSSION

4.1 PRODUCTION PRIMAIRE

Durant la saison hivernale, la productivité primaire des eaux de surface du fjord du Saguenay est pratiquement nulle si l'on en juge par les présents résultats. Dès la fin d'octobre, la thermocline est très peu accentuée et disparaît complètement dès la fin de novembre (figure 3). De plus, la disparition de la couche photique à la prise des glaces (figure 2) contribue à mettre les cellules du phytoplancton dans un milieu peu propice à la croissance.

Nous avons observé que durant la période où il y a présence de couvert de glace (entre janvier et la mi-mars) l'intensité lumineuse moyenne à l'interface glace-eau est généralement inférieure à 0,2% de la lumière incidente et elle passe de 2,2% à 0,04% à la mi-mars. Demers et al. (1986) ont constaté que l'intensité lumineuse à l'interface glace-eau des eaux marines de l'estuaire du St-Laurent était d'environ 0,02% de la lumière incidente. Même si les niveaux d'intensité lumineuse sont relativement faibles, ces auteurs ont observé des valeurs de biomasse très élevées dans le frasil. Dans le Saguenay, avec des valeurs d'intensité lumineuse plus élevées, les teneurs en chlorophylle a dans le frasil sont relativement faibles (figure 7A) et toujours inférieures à celles observées dans la glace .

L'intensité lumineuse n'est pas le seul facteur qui influence l'activité métabolique des cellules phytoplanctoniques (Atlas et Bonnester, 1980) ; la qualité de la lumière joue également un rôle important dans l'activité photosynthétique et dans la composition des pigments. Par ses propriétés optiques et isolantes, le couvert de neige change la qualité spectrale de la lumière (Maykil et Greenfell, 1975). Or, les conditions climatiques prévalant durant l'hiver 1986, ont laissé sur le Saguenay une couche de neige compacte qui pouvait atteindre une épaisseur de plus de 1 m au début de février. Même si nos données ne nous permettent pas d'en vérifier l'hypothèse, nous présumons que les cellules déjà très affectées par la grande variabilité physico-chimique qui domine dans les eaux du Saguenay à l'automne, se retrouvent dans des conditions physiologiques pitoyables à la prise des glaces. La diminution de l'intensité lumineuse et de la qualité de la lumière disponible ne sont probablement pas les facteurs limitants prédominants dans le Saguenay même s'ils sont reconnus comme étant des facteurs critiques pour la régulation de croissance des communautés épontiques (Meguro et al., 1967; Grainger, 1979; Horner et Shrader, 1982; Gosselin et al., 1985; Demers et al., 1986).

L'examen du tableau 4 nous permet de noter que dans les eaux de surface, la température a une influence très significative sur les taux de production primaire ($r = 0,90$;

Tableau 4: Coefficients de corrélation (Pearson) dans les eaux de surface et à 10 m (A) pour l'ensemble des données (août 1985-mai 1986), (B) pour les données automnales (août-décembre), (C) pour les données hivernales (janvier-mars) et (D) (D) pour les données printanières (avril-mai). Le nombre de paires de données est de 19 pour la section A, 8 pour la section B, 6 pour la section C et 5 pour la section D.

	10 m 0 m	Prod.	Chl. a	P/B	NO ₃	PO ₄	N/P	T°C	S %
(A)	P. prim.		0,21	0,52b	-0,21	-0,58a	0,40b	-0,20	-0,20
	Chl. a	0,85a		-0,25	0,25	0,09	-0,18	-0,52b	0,45b
	P/B	0,87a	0,78a		-0,05	-0,71a	0,76a	-0,32	-0,22
	NO ₃	-0,55a	-0,28	-0,56a		0,08	0,23	-0,59a	0,11
	PO ₄	0,68a	0,37	0,41b	-0,21		-0,80a	0,40b	0,29
	N/P	-0,39b	-0,33	-0,27	0,15	-0,36		-0,35	-0,43b
	T°C	0,90a	0,93a	0,81a	-0,39b	0,50a	-0,33		-0,35
	S %	-0,12	-0,17	-0,13	0,39b	0,03	-0,13		-0,03
(B)	P. prim.		0,37	0,97a	-0,16	-0,71b	0,75b	-0,41	0,01
	Chl. a	0,77b		0,27	0,42	-0,45	0,65b	-0,95a	0,45
	P/B	0,81a	0,66b		-0,25	-0,73b	0,69b	-0,32	-0,22
	NO ₃	-0,53	-0,19	-0,60		0,43	0,33	-0,34	0,07
	PO ₄	0,72b	0,30	0,34	-0,16		-0,66b	0,41	-0,07
	N/P	-0,39	-0,16	-0,02	-0,08	-0,54		-0,58	0,05
	T°C	0,82a	0,92a	0,65b	-0,29	0,49	-0,14		-0,42
	S %	-0,62b	-0,66b	-0,59	0,64b	-0,08	0,06	-0,56	
(C)	P. prim.		0,08	0,43	0,15	0,03	0,14	0,34	-0,62
	Chl. a	0,85b		-0,66	0,87b	0,83b	-0,29	0,00	0,45
	P/B	0,19	0,30		-0,70	-0,28	-0,27	-0,05	-0,5
	NO ₃	0,51	0,66	0,73b		0,67	0,05	-0,20	0,06
	PO ₄	0,75b	0,46	0,44	0,28		-0,70	-0,40a	0,37
	N/P	-0,66	-0,31	-0,15	0,04	-0,84b		0,34	-0,47
	T°C	0,16	-0,04	0,81b	0,46	0,55	-0,42		0,18
	S %	0,52	0,38	-0,51	0,10	0,11	0,01	-0,46	
(D)	P. prim.		-0,41	0,99a	0,11	-0,11		-0,27	-0,37
	Chl. a	-0,58		-0,47	-0,73	-0,56		0,70	-0,44
	P/B	0,77	-0,84b		0,17	-0,01		-0,38	-0,28
	NO ₃	0,30	0,27	-0,10		0,89b		-0,49	0,82b
	PO ₄	-0,43	0,12	-0,32	0,49			-0,65	0,96a
	T°C	-0,87b	0,29	-0,63	-0,63	0,18		-0,53	

a niveau de confiance < 0,01

b niveau de confiance < 0,05 mais > 0,01

$p < 0,01$) et sur les teneurs en chlorophylle a ($r = 0,93$; $p < 0,01$). Il existe des adaptations physiologiques face aux conditions extrêmes de température (Neori et Holm-Hansen, 1982) mais la fixation nette du carbone est dépendante d'une température variant entre -1,5 et 5 °C (Sullivan et Palmisano, 1981; Bunt, 1964). Puisque la température hivernale des eaux de surface varie entre -1,0 et 1,0 °C (figure 3), nous présumons que les cellules qui composent la communauté hivernale sont vraisemblablement dans des conditions métaboliques peu productives. La capacité photosynthétique des cellules est relativement faible de décembre à la mi-mars (figure 8B) et est très fortement corrélée à la température ($r = 0,81$; $0,01 < p < 0,05$) (tableau 4C). De plus, en décembre, le pourcentage des pigments chlorophylliens (figure 6B) diminue rapidement pour ne représenter que 20% des pigments totaux en mai.

Les faibles coefficients de corrélation entre la salinité et les variables biologiques (taux de production primaire, chlorophylle a et rapport P/B) pour l'ensemble des données (tableau 4A), suggèrent que la salinité affecte peu le phytoplancton du Saguenay. Par contre, à l'automne (tableau 4B), les coefficients entre ces mêmes variables sont nettement plus élevés et présentent une corrélation significative. Même si plusieurs études (v.g. Grant et Horner, 1976; Meguro et al., 1967; Grainger, 1977) ont suggéré que la salinité

n'est pas très importante dans la régulation de la croissance de la communauté épontique. Par ailleurs, Demers et al. (1986) ont constaté que dans l'estuaire du St-Laurent, la salinité influence la densité cellulaire et la structure de la communauté phytoplanctonique. Plusieurs chercheurs (Bunt et Wood, 1963; Poulin et al., 1983) ont constaté que les Diatomées représentent près de 99 % des individus dans les communautés épontiques. Selon Grant et Horner (1976), elles ne constituent pas seulement le groupe le mieux adapté aux variations de la salinité (entre 5 et 60%), mais aussi à l'ensemble des conditions prévalant en hiver. Dans le fjord du Saguenay, Cloutier et Côté (1985) ont remarqué que les Diatomées d'eau douce Asterionella formosa et Tabellaria fenestrata sont très tolérantes aux variations de salinité, ce qui expliquerait en partie la disparition de Melosira ambigua à la fin de novembre et la prédominance des espèces A. formosa et T. fenestrata (figure 5) durant toute la saison d'échantillonnage.

Les éléments nutritifs ont déjà été identifiés comme un facteur limitant de la productivité primaire du Saguenay et Côté (1977) a démontré que les grandes variations des rapports N/P enregistrées dans les eaux superficielles du Saguenay peuvent influencer significativement l'activité métabolique des cellules. Même si les nitrates demeurent relativement abondants durant toute la période d'échantillonnage

(figure 4A), ils présentent une corrélation négative et significative ($r = -0,55$; $p < 0,01$) avec les taux de production primaire (tableau 4A). Nos observations correspondent à celles de Maestrini et al., (1982) qui ont considéré les nitrates comme un facteur limitant important et ce, à des concentrations aussi élevées que $15 \mu\text{mol.N.l}^{-1}$. Par ailleurs, les phosphates sont très rares dans les eaux superficielles (figure 4B) ce qui contribue à augmenter les rapports N/P (figure 4C). Le coefficient de corrélation entre les concentrations des phosphates et les taux de production primaire (tableau 4) est relativement élevé dans les eaux de surface; il est de $0,68$; $p < 0,01$. La relation est beaucoup moins forte avec les biomasses et le coefficient de corrélation n'est que de $0,37$ ($p < 0,01$).

Durant la période où les eaux du Saguenay sont recouvertes de glace, nous pouvons identifier deux types de communautés phytoplanctoniques: (1) la communauté interne de la glace; (2) la communauté de la surface des eaux (niveau: 0 m) et du frasil située à l'interface glace-eau. Les cellules emprisonnées dans la glace constituent des populations vestigiales provenant vraisemblablement des communautés présentes à la surface de l'eau au moment de la prise des glaces et contenues dans le frasil (et les eaux de surface) par la suite. Au début de janvier, nous observons dans la glace la présence des deux diatomées Asterionella formosa et Tabellaria

fenestrata, espèces qui se retrouvaient d'ailleurs dans les eaux de surface automnales (figure 5). A la fin de l'hiver (mi-mars), l'espèce A. formosa est totalement absente. Il semble que les cellules - vraisemblablement peu productives - du frasil et des eaux de surface se retrouvent lentement à l'intérieur de la glace pour finalement disparaître de ces deux communautés à la fin de l'hiver (figure 7). Si on en juge par les courbes illustrant la chlorophylle a et la densité cellulaire dans la glace (figure 7), ces cellules ne semblent pas continuer leur croissance après avoir été trappées puisque les teneurs en chlorophylle a diminuent jusqu'à la débâcle malgré une augmentation relativement constante de la densité cellulaire.

Legendre et Demers (1985) ont comparé la zone du frasil à une "ergocline" où le frasil offre un milieu stable pour l'établissement d'une communauté et la colonne d'eau, un milieu grandement énergétique riche en éléments nutritifs. Conséquemment, le brassage automnal des eaux permet généralement, dans les eaux superficielles, l'apport de matières nutritives provenant des eaux profondes. Dans le fjord du Saguenay, nous constatons que les concentrations en phosphates demeurent très faibles et par conséquent les caractéristiques d'une ergocline ne se retrouvent pas. D'ailleurs, nous n'obtenons aucune différence significative entre les biomasses et les densités cellulaires tant dans le frasil que

dans les eaux de surface (figure 7).

4.2 FAUNE ZOOPLANCTONIQUE

Parmi les quelques études traitant du zooplancton du Saguenay (v.g. De Ladurantaye et Lacroix, 1980; De Ladurantaye et al., 1984; Rainville, 1979), aucune étude ne mentionne la présence du Rotifère Asplanchna priodonta. Or, l'analyse de nos échantillons de surface, révèle que cette espèce est extrêmement importante durant la période août-décembre; il représente même 99% des individus entre octobre et décembre (figure 9), période où la température des eaux diminue rapidement (figure 3). Au printemps, nous observons une émergence de la dite espèce mais sa densité relative est plus faible. L'espèce A. priodonta est considérée comme une espèce prédatrice et omnivore pouvant même se nourrir de jeunes individus de son espèce (Edmondson, 1966).

Rainville (1979) mentionne que la faune zooplanctonique du Fjord est très limitée par les facteurs biologiques, notamment par la disponibilité du phytoplancton. Nous présumons que durant la saison hivernale, l'absence d'une période productive chez le phytoplancton ne permet pas de maintenir une communauté zooplanctonique de surface ; d'ailleur il est démontré que le zooplancton ne constitue jamais une part importante de la biomasse du frasil (Griffiths et al., 1978;

Lipps et Krebs, 1974). Par ailleurs, la présence constante des nauplii de copépodes dans les quelques échantillons hivernaux laisse croire à la possibilité de plusieurs périodes de reproduction de ce groupe ce qui pourrait justifier en partie la réussite de quelques espèces occupant les eaux du Fjord (Rainville, 1979).

Dans les eaux profondes du Saguenay, la faune zooplanctonique est surtout dominée par le calanoïde Microcalanus pygmaeus et le cyclopoidé Oncaeа borealis. Cette association est d'ailleurs typique des eaux froides et profondes (Granger, 1964; Strömgren, 1973) et ces espèces présentent des adaptations spécifiques (omnivore) face à l'absence de la biomasse végétale à ces profondeurs (Côté et Lacroix, 1979). Rainville (1979) considère ces espèces comme étant endogènes au Saguenay et suggère que leur abondance en amont du Fjord est partiellement favorisée par la forte stabilité physico-chimique des eaux profondes du bassin principal (Côté, 1977). Nos relevés de température et de salinité aux profondeurs de 30 et 100 m (tableau 5) suggèrent d'ailleurs que cette stabilité physico-chimique est maintenue pendant toute la période hivernale.

Le calanoïde Microcalanus pygmaeus est l'espèce la plus typique des eaux hivernales en amont du Fjord. Sa présence a été notée dans nos échantillons de janvier à mars et elle est

très abondante dans les eaux automnale et printanière (figure 10). Par contre, le cyclopoïde Oncaeae borealis semble mal survivre aux conditions prévalant de mars à mai. Très abondant au début de décembre avec plus de 40% des individus, ce cyclopoïde est absent de nos relevés de fin-février au début mars pour n'être que très faiblement représentatif au printemps (figure 10 et 11). Plusieurs chercheurs (v.g. Grainger, 1964; Strömgren, 1973; Rainville, 1979) ont montré que cette espèce est abondamment représentée dans les fjords profonds et dans les eaux arctiques. Il se pourrait que cette espèce soit plus affectée par les propriétés physico-chimiques que ne l'est M. pygmaeus puisque les travaux de Strömgren (1973) ont démontré que O. borealis préfère de faibles variations de salinité (28 - 30%). La même explication pourrait également expliquer la disparition du cyclopide Oithona similis au début de décembre (figure 10).

A l'exception des rares spécimens d'Euchaeta norvegica, le calanoidé Calanus finmarchicus est la seule espèce mésoplanctonique de Copépodes peuplant nos échantillons à l'automne (août-décembre) et au printemps (avril-mai). Considérée dans le Saguenay comme une forme exogène importante (Rainville, 1979), l'espèce C. finmarchicus est eurytherme, euryhaline mais non strictement herbivore (Corner et al., 1974). De telles caractéristiques biologiques confèrent à cette espèce

une capacité de s'adapter aux diverses conditions physico-chimiques du fjord lors de son transport vers l'amont par les mécanismes advectifs (Therriault et Lacroix, 1975). La présence de quelques rares individus de C. finmarchicus dans nos échantillons de janvier à 100 m, laisse croire à la présence de l'espèce pendant toute l'année dans le grand bassin principal du fjord du Saguenay.

Les Larvacées et les Mysidacées ne représentent qu'un faible pourcentage des individus récoltés dans nos échantillons même s'ils sont typiques des eaux du Saguenay (Rainville, 1979; De Ladurantaye et Lacroix, 1980). La faible abondance des Larvacées pendant toute la période d'échantillonnage et leur absence dans nos échantillons d'hiver (janvier à mars), montrent que ce groupe peut présenter des divergences annuelles importantes.

Par ailleurs, l'espèce Mysis litoralis n'a été observée que durant une très courte période (avril-mai), principalement dans les eaux de 30 m. D'ailleurs De Ladurantaye et Lacroix (1980) n'ont remarqué la présence de M. litoralis qu'au centre du bassin principal (à quelque 25 km en aval de notre station) et au printemps (en mai). Selon Rainville (1979), l'éclosion de jeunes à cette période serait responsable de la forte densité précaire.

CHAPITRE V

CONCLUSION

L'analyse des présents résultats révèle que les caractéristiques physico-chimiques des eaux du Saguenay sont très instables et par conséquent peu propices à une forte productivité phytoplanctonique. Durant la saison hivernale, le frasil qui est généralement considéré comme un milieu stable pouvant permettre aux cellules phytoplanctoniques de croître, est très peu productif dans le Saguenay, contrairement à ce qui est observé dans les eaux adjacentes de l'estuaire du Saint-Laurent. Les conditions physico-chimiques optimales à l'établissement d'une flore y sont donc à toute fin pratique absentes.

Les cellules phytoplanctoniques contenues dans les eaux glaciales du Saguenay sont en mauvaises conditions physiologiques. Etant trappées par la glace, elles diminuent sensiblement leur activité. La température et les éléments nutritifs (phosphates et nitrates) sont possiblement des facteurs importants dans le contrôle de la productivité primaire. Les températures de l'eau atteignent des valeurs extrêmes limitant la fixation du carbone. Sous les glaces permanentes de l'Arctique et l'Antarctique, l'intensité lumineuse est généralement considérée comme le facteur limitant dominant tandis que sous les glaces saisonnières du Saguenay, elle est supérieure aux valeurs observées en milieu marin et se compare à celles retrouvées sous les glaces

saisonnieres du Saint-Laurent où la productivité primaire est beaucoup plus élevée. Les faibles mesures de productivité par rapport à celles notées sur le St-Laurent peuvent toutefois être reliées en partie à la façon de mesurer la productivité (méthode in situ similié versus in vitro) ; ce qui pourrait sous évaluer les valeurs du Saguenay. De plus, il se peut que l'effet de stress dû aux polluants ne soit pas négligeable. Nos analyses ne nous permettent cependant pas de vérifier si la couche de neige compacte se retrouvant sur le site d'échantillonnage affecte la qualité spectrale de la lumière en absorbant certaines longueurs d'onde, mais il est évident que la quantité et la qualité de lumière disponible sous la glace n'est pas le seul facteur qui limite l'activité photosynthétique du phytoplancton qui est déjà très faible lors de la prise des glaces. La dominance de la communauté phytoplanctonique est assurée par les deux Diatomées Asterionella formosa et Tabellaria fenestrata; espèces reconnues comme étant euryhaline (Cloutier et Côté. 1985).

Nous avons constaté, au début de décembre, une concordance relativement grande entre l'augmentation des sels nutritifs, l'épaisseur de la couche photique, la salinité et la densité cellulaire de Tabellaria fenestrata et de Asterionella formosa.

L'absence de biomasse végétale dans la colonne d'eau en période hivernale, limite évidemment le zooplancton en favorisant une structure particulière de la communauté composée entièrement d'espèces omnivores. Alors que le Rotifère Asplanchna priodonta peuple majoritairement les eaux de surface automnales, l'espèce semble totalement absente dans les eaux de surface en hiver. On y retrouve que des nauplii de Copépodes et leur présence pendant toute la période d'échantillonnage laisse supposer plusieurs périodes de reproduction. Les deux principales espèces de Copépodes qui dominent dans les eaux profondes du Fjord en période hivernale, sont le calanoïde Microcalanus pygmaeus et le cyclopoïde Oncaeа borealis. Celles-ci sont typiques des eaux froides et profondes des fjords arctiques et se reproduisent dans des milieux relativement stables.

BIBLIOGRAPHIE

- Appolonio, S. 1961. The chlorophyll content of Arctic sea-ice. *Arctic* 14: 197-200.
- Apollonio, S. 1965. Chlorophyll in Arctic sea-ice. *Arctic* 18: 118-122.
- Atlas, D. et T.T. Bonnester. 1980. Dependence of mean spectral extinction coefficient of phytoplankton on depth, water color and species. *Limnol. Oceanogr.* 25: 157-159.
- Bunt, J.S. 1964. Primary productivity under sea-ice in Antarctic waters. 2. Influences of light and other factors on photosynthetic activities of Antarctic marine microalgae. *Antarct. Res. Ser.* 1: 27-31.
- Bunt, J.S. et E.J.F. Wood. 1963. Microalgae and Antarctic sea-ice. *Nature* 199: 1254-1255.
- Cloutier, S. et R. Côté. 1985. Etudes expérimentales sur la sensibilité du phytoplancton d'eau douce aux variations de salinité dans le fjord du Saguenay (Estuaire du St-Laurier), Canada. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 70: 187-201.
- Corner, E.D.S., R. N. Head, C.C. Kilvington et S.M. Marshall. 1974. On the nutrition and metabolism of zooplankton. IX Studies relating to the nutrition of overwintering Calanus. *J. Mar. Biol. Ass.* 54: 319-331.
- Côté, R. 1977. Aspects dynamiques de la production primaire dans le Saguenay, fjord subarctique du Québec. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 194 p.
- Côté, R. 1981. Variations saisonnières de la production primaire dans les eaux de surface de la rivière Saguenay. *Hydrobiologia* 83: 3-10.
- Côté, R. 1983. Aspects toxiques du cuivre sur la biomasse et la productivité du phytoplancton de la rivière Saguenay, Québec. *Hydrobiologia* 98: 85-95.
- Côté, R. et G. Lacroix. 1978a. Variabilité à court terme des propriétés physiques, chimiques et biologiques du Saguenay, fjord subarctique du Québec (Canada). *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 63: 25-39.

- Côté, R. et G. Lacroix. 1978b. Capacité photosynthétique du phytoplancton de la couche aphotique dans le fjord du Saguenay. Int. Revue ges. Hydrobiol. 68: 223-246.
- Côté, R. et G. Lacroix. 1979. Influence de débits élevés et variables d'eau douce sur le régime saisonnier de production primaire d'un fjord subarctique. Oceanologica Acta 3: 299-306.
- De Ladurantaye, R. et G. Lacroix. 1980. Répartition spatiale, cycle saisonnier et croissance de Mysis litoralis (Banner, 1948) (Mysidacea) dans un fjord subarctique. Can. J. Zool. 58: 693-700.
- De Ladurantaye, R., J.C. Therriault, G. Lacroix et R. Côté 1984. Processus advectifs et répartition du zooplancton dans un fjord. Marine Biology 82: 21-29.
- Demers, S., L. Legendre, J.C. Therriault et R.G. Ingram. 1986. Biological Production at the ice-water ergocline. In: J.C.J. Nihoul (Ed.) Marine Interfaces Ecohydrodynamics Elsevier 31-44.
- Dunbar, M.J. et J.C. Acreman. 1980. Standing crops and species composition of diatoms in sea-ice from Robeson Channel to the gulf of St. Lawrence. Ophelia 19: 61-72.
- Edmondson, W.T. 1966. Fresh-Water Biology. John Wiley and Sons Inc, New York,, 1248 p.
- Fuks, V.R. et I.M. Meshcheryakova. 1959. Vliyanie vnutrennikh prilivnykh voln na sutochnoe vertikal'noe raspredelenie planktona (Effect of internal tidal waves on the diurnal vertical migration of plankton). Proc. Pacific Sci. Res. Inst. Mar. Fish. Oceanogr. 47: 3-35.
- Gosselin, M., L. Legendre, S. Demers et R.G. Ingram. 1985. Responses of sea-ice microalgae to climatic and fortnightly tidal energy inputs (Manitounek Sound, Hudson Bay). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 999-1006.
- Gosselin, M., L. Legendre, J.C. Therriault et S. Demers. 1986. Physical control of the horizontal patchiness of sea-ice microalgae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 29: 289-298.
- Grainger, E.H. 1964. Zooplankton from the Arctic Ocean and adjacent Canadian Waters. J. Fish. Res. Bd Can. 22: 543-564.

- Grainger, E.H. 1977. The annual nutrient cycle in sea ice. In: M.J. Dunbar (Ed.), *Polar Oceans, Proceedings of SCOR/SCAR. Polar Oceans Conference. Montreal, May 1974, Arctic Institute of North America, Calgary*, pp. 285-299
- Grainger, E.H. 1979. Primary production in Frobisher Bay, Arctic Canada. In: M.J. Dunbar (Ed.), *Primary Production Mechanisms, International biological programm*, 20, Cambridge University Press, London, pp. 9-30.
- Grant, W.S. et R.A. Horner. 1976. Growth responses to salinity variation in four arctic ice diatoms. *J. Phycol.* 12: 180-185.
- Griffiths, R.P., S.S. Hayasaka, T.M. McNamara et R.Y. Morita. 1978. Relative microbial activity and bacterial concentrations in water and sediments sample taken in the Beaufort Sea. *Can. J. Micribiol.* 24: 1217-1226.
- Horner, R.A. et G.C. Schrader. 1982. Relative contributions of ice algae, phytoplankton and benthic microalgae to primary production in nearshore regions of the Beaufort Sea. *Arctic* 35: 485-503.
- Jones, G.H. et al. 1979. Productivité biologique des eaux du Lac St-Jean. Rapp. Sci. 76. INRS-Eau. Université du Québec, 641 p.
- Legendre, L. et S. Demers. 1984. Towards dynamic biological oceanography and limnology. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 2-19.
- Legendre, L. et S. Demers. 1985. Auxiliary energy, ergoclines and aquatic biological production. *Naturaliste Can.* 112: 5-14.
- Lipps, J.H. et W.N. Krebs. 1974. Planktonic foraminifera associated with Antarctic sea-ice. *J. Foraminiferal Res.* 4: 80-85.
- Maestrini, S.Y., M. Rochet, L. Legendre et S. Demers. 1986. Nutrient limitation of the bottom-ice microalgal biomass (Southeastern Hudson Bay, Canadian Arctic). *Limnol. Oceanogr.* 31: 969-982.
- Maykil, G.A. et T.C. Greenfell. 1975. The spectral distribution of light beneath first-year sea-ice in the Arctic Ocean. *Limnol. Oceanogr.* 20: 554-563.
- Meguro, H. 1962. Plankton ice in the Antarctic Ocean. *Antarct. Record* 14: 1192-1199.

- Meguro, H., I. Kuniyuki et H. Fukushima. 1967. Ice flora (bottom type): a mechanism of primary production in the polar seas and growth of diatoms in sea-ice. Arctic 20: 114-133.
- Neori, A. et O. Holm-Hansen. 1982. Effect of temperature on rate of photosynthesis in Antarctic phytoplankton. Polar Biol. 1: 33-38.
- Parsons, T.R., M. Takahashi et B. Hargrave. 1977. Biological Oceanographic Processes. Pergamon Press, New-York, 322 p.
- Poulin, M., A. Cardinal et L. Legendre. 1983. Réponse d'une communauté de diatomées de glace à un gradient de salinité (Baie d'Hudson). Mar. Biol. 76: 191-202.
- Rainville, L. 1979. Etude comparative de la distribution verticale et de la composition des populations de zooplancton du fjord du Saguenay et de l'estuaire maritime du St-Laurent. Thèse de Maîtrise, Université Laval, Québec, 175 p.
- Strickland, J.D.H. et T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd Canada, no 167 310 p.
- Strömgren, T. 1973. Zooplankton investigation in Trondheim fjorden 1963-1966. K. Norske Vidensk Sels. Mus. Miscellanea 13: 1-149.
- Sullivan, C.W. et A.C. Palmisano. 1981. Sea-ice microbial communities in McMurdo Sound. Antarct. J. U.S. 16: 126-127.
- Theriault J.C. et G. Lacroix. 1975. Penetration of deep layer of the Saguenay fjord by surface waters of the St. Lawrence estuary. J. Fish. Res. Bd Canada. 32: 2373-2377.
- Theriault J.C. et G. Lacroix. 1976. Nutrients, chlorophyll and internal tides in the St. Lawrence Estuary. J. Fish. Res. Bd Canada. 33: 2747-2757.