

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN PRODUCTIVITÉ AQUATIQUE

PAR

SYLVAIN CLOUTIER

INFLUENCE DE LA SALINITÉ SUR LA PRODUCTIVITÉ
DU PHYTOPLANCTON DU FJORD DU SAGUENAY

FÉVRIER 1984



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.

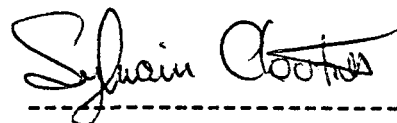
L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

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.

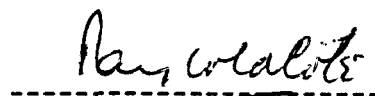
RÉSUMÉ

Des données de chlorophylle a , de production primaire et de composition taxonomique ont été recueillies à trois stations situées dans les parties amont, centrale et aval du fjord du Saguenay entre les mois de juin et novembre 1981. L'étude comparative et statistique de ces données montre d'une part que les espèces phytoplanctoniques d'eau douce comme *Asterionella formosa* et *Tabellaria fenestrata* sont relativement résistantes à la variation de salinité et que d'autre part, le contrôle de leur productivité se fait plutôt par l'action simultanée des paramètres température, salinité et concentration des éléments nutritifs.

Des expériences menées parallèlement sur des communautés phytoplanctoniques d'eau douce du Saguenay maintenues en culture continue ont confirmé la résistance de ces communautés à l'augmentation de la salinité et ont permis d'identifier les diatomées *Asterionella formosa* et *Tabellaria fenestrata* parmi les espèces les plus résistantes.



Sylvain CLOUTIER



Raynald COTE

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier son directeur de thèse, le Dr Raynald Côté de l'Université du Québec à Chicoutimi, pour sa supervision durant la réalisation de ce travail ainsi que pour la patience avec laquelle il a révisé les textes de ce mémoire.

Des remerciements vont aussi à Mlle Patsy-Ann Thompson ainsi qu'à Messieurs Bruno Gauthier, Yvon Maranda, Jean-Marc Gauthier et Conrad Chrétien pour leur aide précieuse pendant les travaux ainsi qu'aux organismes subventionnaires comme le Programme d'Aide Institutionnelle pour la Recherche (PAIR) et la Fondation-UQAC.

TABLE DES MATIÈRES

	page
RÉSUMÉ.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
CHAPITRE I INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
CHAPITRE II MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	8
CHAPITRE III VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DE LA BIOMASSE ET DE LA PRODUCTION PRIMAIRE DANS LA COUCHE PHOTIQUE DU FJORD DU SAGUENAY.....	16
3.1 RÉSULTATS.....	17
3.1.1 Couche photique.....	17
3.1.2 Température et salinité.....	17
3.1.3 Eléments nutritifs.....	22
3.1.4 Chlorophylle <i>a</i> et production primaire.....	25
3.1.5 Diversité et composition taxonomique.....	28
3.2 DISCUSSION.....	34
CHAPITRE IV SENSIBILITÉ DU PHYTOPLANKTON D'EAU DOUCE DU SAGUENAY AUX VARIATIONS DE SALINITÉ.....	46
4.1 RÉSULTATS.....	47
4.1.1 Chlorophylle <i>a</i> et production primaire de la communauté estivale.....	47
4.1.2 Indices de diversité et densité cellu- laire de la communauté estivale.....	52
4.1.3 Chlorophylle <i>a</i> et production primaire de la communauté automnale.....	59
4.1.4 Indices de diversité et densité cellu- laire de la communauté automnale.....	64
4.2 DISCUSSION.....	69

CHAPITRE V	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	74
BIBLIOGRAPHIE		77

LISTE DES FIGURES

Chapitre 3

- Figure 1. Position des stations d'échantillonnage (A) et profil longitudinal (B) du fjord du Saguenay.....4
- Figure 2. Fluctuations saisonnières de l'épaisseur de la couche photique aux trois stations d'étude.....18
- Figure 3. Profils verticaux de salinité et de température aux trois stations d'étude.....19
- Figure 4. Fluctuations saisonnières de la salinité et de la température moyenne de la couche photique aux trois stations d'étude.....21
- Figure 5. Fluctuations saisonnières de la concentration moyenne des éléments nutritifs pour l'ensemble de la couche photique aux trois stations d'étude.....23
- Figure 6. Fluctuations saisonnières de la chlorophylle *a* et des taux de production primaire dans les eaux de surface et pour l'ensemble de la couche photique aux trois stations d'étude.....26
- Figure 7. Profils verticaux de la chlorophylle *a* et des taux de production primaire aux stations d'étude.....29
- Figure 8. Fluctuations saisonnières de l'indice de diversité de Shannon-Weaver aux trois stations d'étude.....30

Chapitre 4

- Figure 1. Variabilité temporelle de la salinité dans le ballon traité lors de l'expérience de juillet 1982.48
- Figure 2. Fluctuations temporelles de la chlorophylle *a* de la communauté planctonique estivale (juillet 1982). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.....49

Figure 3.	Fluctuations temporelles des taux de production primaire de la communauté planctonique estivale (juillet 1982). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.....	51
Figure 4.	Fluctuations temporelles des rapports P/B (Production/Biomasse) de la communauté planctonique estivale (juillet 1982).....	53
Figure 5.	Fluctuations temporelles de la diversité (H) de la communauté planctonique estivale (juillet 1982).....	54
Figure 6.	Fluctuations temporelles de la densité de <i>Melosira ambigua</i> , <i>Asterionella formosa</i> , <i>Tabellaria fenestrata</i> et des microflagellés dans la communauté planctonique estivale (juillet 1982). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.....	56
Figure 7.	Variabilité temporelle de la salinité dans le ballon traité lors de l'expérience de décembre 1981. La période d'adaptation de 72h n'est pas considérée dans l'abscisse.....	60
Figure 8.	Fluctuations temporelles de la chlorophylle <i>a</i> de la communauté planctonique automnale (décembre 1981). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.....	61
Figure 9.	Fluctuations temporelles des taux de production primaire de la communauté planctonique automnale (décembre 1981). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.....	63
Figure 10.	Fluctuations temporelles des rapports P/B (Production/Biomasse) de la communauté planctonique automnale (décembre 1981).....	65
Figure 11.	Fluctuations temporelles de la diversité (H) de la communauté planctonique automnale (décembre 1981).....	66
Figure 12.	Fluctuations temporelles de la densité de <i>Melosira islandica</i> , <i>Asterionella formosa</i> et <i>Tabellaria fenestrata</i> dans la communauté planctonique automnale (décembre 1981). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.....	68

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 3

- Tableau 1. Composition taxonomique de la communauté phytoplanctonique aux trois stations d'étude. Les noms sont inscrits dans un ordre décroissant d'importance.....32
- Tableau 2. Coefficients de corrélation (Pearson) (A) et de corrélation partielle (B à G) pour les données des stations DR-151 et DR-290. Les sections B à G contiennent les coefficients de corrélation partielle calculés sans l'effet de la température (B), de la salinité (C), des nitrates (D), de l'ammoniaque (E), des phosphates (F) et des silicates (G). Le nombre de degrés de liberté est de 43 pour la section A et de 35 pour les sections B à G.....35
- Tableau 3. Coefficients de corrélation (Pearson) (A) et de corrélation partielle (B à G) pour les données des stations DR-290 et DR-400A. Les sections B à G contiennent les coefficients de corrélation partielle calculés sans l'effet de la température (B), de la salinité (C), des nitrates (D), de l'ammoniaque (E), des phosphates (F) et des silicates (G). Le nombre de degrés de liberté est de 45 pour la section A et de 39 pour les sections B à G.....40

Chapitre I
INTRODUCTION GÉNÉRALE

Par définition, un estuaire est une masse d'eau côtière semi-fermée où se mélangent des eaux douces continentales aux eaux salées de la mer (Cameron et Pritchard, 1963) et la marée y joue un rôle primordial en agissant comme pourvoyeur d'énergie pour les processus de mélange (Waldichuck, 1957). L'intensité du mélange est principalement fonction du régime d'écoulement des eaux douces, de l'amplitude des marées et de la topographie du bassin. D'ailleurs, ces milieux côtiers constituent des systèmes extrêmement complexes où la variabilité spatio-temporelle des propriétés physiques et chimiques des eaux est très grande. Si les conditions physico-chimiques des eaux s'écartent sensiblement des limites de tolérance d'une espèce, les populations de cette espèce seront partiellement ou totalement décimées. De plus, dans les milieux où les marées sont particulièrement de grande amplitude et où le degré de stratification physico-chimique des eaux est très accentué, il se crée une instabilité verticale au sein de la colonne d'eau et les cellules phytoplanctoniques sont alors rapidement soumises à des conditions très changeantes; d'où une réduction plus ou moins marquée dans les biomasses phytoplanctoniques et dans les niveaux de production primaire (Parsons, Takahashi & Hargrave, 1977).

L'estuaire étroit (2-4 km) et long (100 km) qu'est le fjord du Saguenay reçoit de grands apports d'eau douce avec un débit annuel variant entre 1,2 et $4,2 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Jones *et al*, 1979). Il constitue

le principal affluent de l'estuaire du St-Laurent (d'Anglejan, 1970) et ses marées de type semi-diurnes ont une amplitude de 4 à 6 m (Canada, 1981). La topographie du Saguenay se caractérise par l'existence de trois bassins: un bassin principal d'une profondeur maximale de 275 m représente les trois quarts de la superficie totale et deux autres bassins plus en aval ayant des profondeurs maximales respectives de 185 et 245 m, sont séparés par un seuil interne d'une profondeur de 65 m (figure 1). Un autre seuil d'une profondeur de 20 m situé à l'embouchure isole partiellement le fjord des eaux adjacentes de l'estuaire du St-Laurent où prennent place des phénomènes de remontées d'eau profondes et d'ondes internes (Forrester, 1974; Ingram, 1975; Therriault & Lacroix, 1976), mécanismes qui engendrent une variabilité journalière importante des propriétés physico-chimiques des eaux (Côté & Lacroix, 1978a).

Plusieurs travaux notamment ceux de Drainville (1968), de Therriault & Lacroix (1975), de Côté (1977) et de Côté & Lacroix (1978a, b; 1979a, b) ont étudié plusieurs aspects de l'océanographie du Saguenay. Ces travaux ont mis particulièrement en évidence:

- 1) l'existence d'une très forte stratification thermohaline persistant de mai à novembre sur toute la longueur du fjord et partageant la colonne d'eau en une mince couche de mélange (épaisseur de 5 à 10 m), chaude (maximum de 20°C), peu salée (maximum 20 ‰) et une épaisse

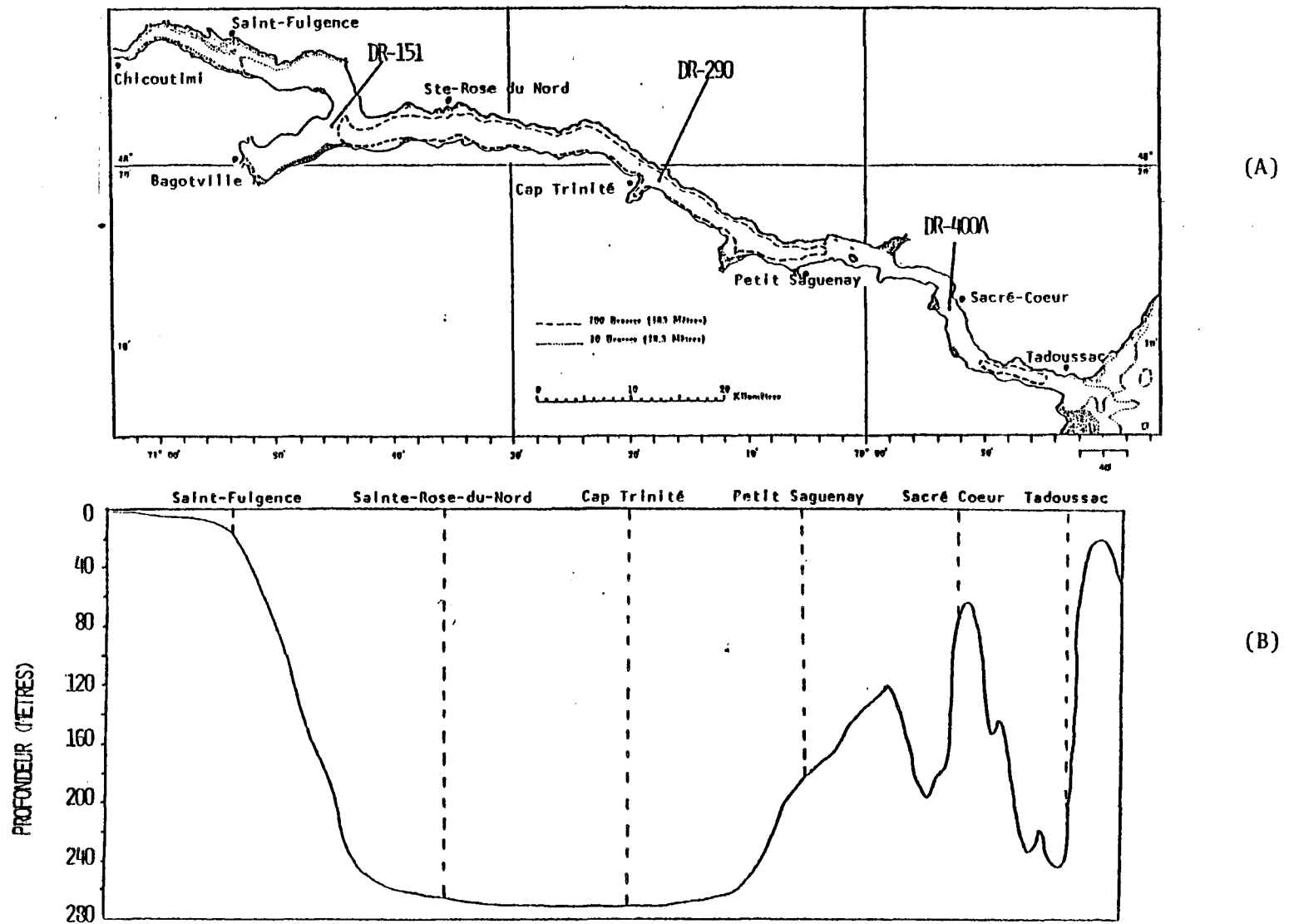


Figure 1. Position des stations d'échantillonnage (A) et profil longitudinal (B) du fjord du Saguenay. (D'après Drainville, 1968).

couche sous-jacente (jusqu'à 275 m), froide (température inférieure à 5°C à 15 m) et salée (salinité supérieure à 26 ‰ à 15 m);

- 2) le patron d'une circulation estuarienne classique consistant en un mouvement net des eaux salées vers l'amont dans la couche profonde et en un écoulement net des eaux douces et saumâtres vers l'aval dans les eaux de surface;
- 3) l'importance d'une masse d'eau froide permanente qui confère au Saguenay des propriétés physiques, chimiques et biologiques d'un milieu subarctique;
- 4) la présence d'une relation très étroite entre les marées semi-diurnes et la grande variabilité à court terme de la température, de la salinité, des sels nutritifs et de la chlorophylle *a*;
- 5) le contrôle partiel de la dynamique saisonnière des biomasses phytoplanctoniques et des taux de production primaire du fjord principalement par les fluctuations des grands apports d'eau douce;
- 6) la présence de phytoplancton vivant exogène, dans la couche aphotique du fjord à des profondeurs d'au moins 100 m résultant de la pénétration périodique, au-dessus du seuil externe, d'eaux superficielles adjacentes de l'estuaire du St-Laurent et rejoignant grâce à leur densité élevée, les eaux profondes du Saguenay.

Dans un tel milieu estuarien où de très grandes quantités d'eau douce ou d'eau plus ou moins mélangée à de l'eau de mer s'écoulent sur une distance de plus de 100 km et où il existe un gradient horizontal de salinité de surface très accentué - salinité inférieure à 1 ‰ en amont et d'environ 20 ‰ en aval durant l'été, et où la couche photique est relativement mince durant toute la saison estivale avec une profondeur n'excédant généralement pas 10 m (Côté & Lacroix, 1978b)-, il convient de s'interroger sur les effets du temps de résidence des cellules phytoplanctoniques et par voie de conséquence sur l'influence respective des apports d'eau douce et des apports d'eau salée sur la dynamique de la productivité du phytoplancton du Saguenay.

L'effet du changement de la composition ionique du milieu extérieur sur le métabolisme des cellules végétales a été étudié par de nombreux auteurs (Guillard, 1962; Gutknecht & Dainty, 1968; Hellebust, 1976)

et s'il est bien connu que la salinité joue un rôle limitatif sur la croissance du phytoplancton marin et estuarien (Guillard & Ryther, 1962; Nakanishi & Monsi, 1965; Rice & Ferguson, 1975; Mahoney & McLaughlin, 1979), très peu d'études ont été poursuivies pour mesurer l'adaptation possible du phytoplancton d'eau douce en milieu estuarien (Wetherell, 1961; Vosjan & Siezen, 1968; Cleave *et al*, 1981). Cependant, dans un milieu aussi particulier qu'est le fjord du Saguenay, il n'existe aucune étude antérieure relative aux effets de la salinité sur les communautés phytoplanctoniques d'eau douce.

Dans le présent travail, nous visons trois (3) objectifs:

- 1) mettre en évidence les changements de structure et de productivité que subissent les communautés phytoplanctoniques d'eau douce dans les eaux saumâtres et salées du fjord du Saguenay;
- 2) relier ces changements à la microstratification physico-chimique des eaux superficielles;
- 3) évaluer l'ampleur des variations de salinité sur la capacité photosynthétique de ces communautés.

Chapitre II
MATÉRIEL ET MÉTHODES

Objectifs 1 et 2

Les données utilisées pour atteindre les objectifs 1 et 2 de ce travail proviennent de trois stations du fjord du Saguenay situées dans les parties amont (DR-151) centrale (DR-290) et aval (DR-400A) (figure 1). Ces stations ont des profondeurs maximales respectives de 200, 275 et 140 mètres. Les stations DR-151 et DR-400A ont été visitées les 19 juin, 15 et 29 juillet, 26 août, 11 septembre, 15 octobre et 12 novembre 1981 tandis que la station DR-290 ne l'a été que durant la période de juin à août. Les stations DR-151 et DR-290 ont été visitées dans la dernière moitié du jusant (de J_4 à J_6) tandis que la station DR-400A l'a surtout été durant le flot (de F_2 à F_6).

A chaque station, nous avons prélevé des échantillons d'eau aux profondeurs de 0, 2, 4, 6, 8 et 10 m au moyen de bouteilles Van Dorn; ces échantillons étaient immédiatement entreposés dans des jarres thermiques jusqu'à l'arrivée au laboratoire qui n'excédait généralement pas trois heures. La mesure étagée de la température et de la salinité était effectuée à l'aide d'un salinomètre YSI modèle 33. La profondeur de disparition du disque de Secchi était mesurée à chaque station et l'épaisseur de la couche photique était estimée à l'aide de l'équation de Parsons, Takahashi et Hargrave (1977);

$$D_c = 2,7 T$$

où D_c est la profondeur de compensation

T est la profondeur de disparition du disque (m)

Un échantillon qualitatif de phytoplancton prélevé entre 0 et 2 m à l'aide d'un filet standard à vide de maille de 70 μm accompagnait les prélèvements d'eau. Une aliquote de cet échantillon était préservée (lugol + formol) pour les fins d'analyse taxonomique. Dès l'arrivée au laboratoire, un volume d'un litre d'eau était passé sur filtre WHATMAN GF/C pour la détermination des pigments photosynthétiques (par la méthode spectrophotométrique) et pour le dosage des éléments nutritifs (sur autoanalyseur TECHNICON) selon les techniques décrites par Strickland & Parsons (1972).

La détermination des teneurs en CO_2 et l'assimilation du $^{14}\text{CO}_2$ des échantillons d'eau a également été mesurée selon les techniques décrites par Strickland & Parsons (1972). Deux bouteilles claires et une bouteille noire remplies d'eau étaient inoculées avec 1 ml d'une solution radioactive de bicarbonate de sodium ($\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$) de 1,48 m Bq (4 μCi) et incubées *in vitro* pendant 4 heures à une température voisine de celle des eaux de surface dans un incubateur à lumière artificielle (environ $0,1 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) fournie par des lampes fluorescentes SYLVANIA F20T12/COOL WHITE.

L'activité des échantillons filtrés était déterminée par un compteur à scintillation liquide par la méthode des différences de canaux et étalonnée avec des standards à activité connue et différemment

amortie. La composition relative de la liqueur à scintillation était de 84 ml de PPO-POPPOP, 666 ml d'éthylène glycol monoéthyl et 1332 ml de toluène.

A partir de l'analyse taxonomique des échantillons de phytoplancton prélevés dans les 2 premiers mètres de la colonne d'eau, l'indice de diversité de la population a été calculée en utilisant la formule de Shannon-Weaver (H) (Margalef, 1968). Cet indice a été choisi premièrement parce qu'il convient le mieux dans les études en écologie du phytoplancton (Margalef, 1968; Deveaux, 1975) et deuxièmement parce que c'est un indice très stable avec des décomptes de plus de 100 individus (Stromgrén, 1975).

$$H = - \sum (p_i \ln p_i)$$

où H est le contenu moyen en information de chaque individu (bits·
cellule⁻¹)

$$p_i = \frac{N_i}{N} \text{ où } N_i \text{ est le nombre d'individu de l'espèce } i$$

N est le nombre total d'individus dans l'échantillon

p_i est la probabilité de rencontrer l'espèce i

La valeur de H est minimale si tous les individus de la population appartiennent à la même espèce et est maximale si tous les individus de la population sont d'espèces différentes (Margalef, 1968).

L'intégration des paramètres aux divers niveaux d'échantillonnage de la couche photique a été faite au moyen de la formule de Platt & Irwin (1968) :

$$I_v = \sum_{i=1}^n v_i t_i$$

où I_v est la valeur intégrée

v_i est la valeur du paramètre à la profondeur i

t_i épaisseur de la couche à intégrer (1 à 2 m dans notre cas)

Les trois stations ont été choisies en fonction des données de Côté (1977) qui montrent que les conditions qui y prévalent couvrent bien l'ensemble des conditions physico-chimiques rencontrées par les cellules phytoplanctoniques dans le fjord; l'eau de faible salinité (0-5‰) à la station DR-151, l'eau de salinité intermédiaire (5-10‰) à la station DR-290 et l'eau de salinité élevée (plus de 10‰) à la station DR-400A. Ce type d'échantillonnage a pour but d'associer le niveau de productivité et la composition taxonomique de la communauté phytoplanctonique avec les conditions physico-chimiques prévalant dans le milieu au moment du prélèvement. Ceci permet de caractériser le comportement des communautés face à une grande diversité de conditions physico-chimiques rencontrées dans le fjord et de déterminer l'effet précis du paramètre salinité dans les fluctuations observées.

Objectif 3

Les communautés phytoplanctoniques utilisées pour cet objectif ont été prélevées au moyen d'un filet standard ayant un vide de maille de 70 μm dans les eaux de surface d'une station de 20 m de profondeur située dans la rivière Saguenay en face de Chicoutimi (latitude 48°26,00'N et longitude 71°04,21'O) en décembre 1981 et en juillet 1982. La variabilité saisonnière des propriétés physiques, chimiques et biologiques de cette station a été décrite antérieurement par Côté (1981). Dès l'arrivée au laboratoire, le zooplancton était complètement retiré des échantillons par une filtration sur un filet à vide de maille de 300 μm . Par la suite, la communauté phytoplanctonique était uniformément distribuée dans 2 ballons de 10 ℓ remplis avec de l'eau de surface de la même station d'étude et préalablement filtrée sur "diatomite" de façon à retirer les particules ayant un diamètre supérieur à 1 μm et le système de culture en continue était alors mis en marche. Pour la communauté estivale, le système de culture consistait en une pompe péristaltique reliée par du tube "tygon" à un réservoir rempli d'eau (salinité $< 1^\circ/\infty$) prélevée à la même station d'étude et préalablement filtrée tandis que pour la communauté automnale, le réservoir était rempli avec du milieu synthétique AAP (APHA, 1975) modifié par l'ajout de 36 μM de silicate et de 12 μM d'ammoniaque (en raison de l'abondance des diatomées dans la communauté). La pompe fournissait du milieu neuf aux deux ballons

à un taux de $3,5 \text{ l} \cdot \text{j}^{-1}$. Une quantité équivalente de solution (milieu + algue) était retirée des ballons au même rythme par un système de siphon afin d'y maintenir un niveau constant.

Ce taux de dilution (de $0,35 \text{ j}^{-1}$) a été choisi afin d'assurer une plus grande hétérogénéité du milieu (Turpin & Harrison 1979). Les ballons de culture étaient aérés de façon constante et soumis à des conditions de lumière artificielle de $0,06 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ (fournie par des lampes fluorescentes Sylvania F20T12/Cool White) selon un cycle photopériodique de 12:12. Selon Mickelson *et al.* (1979), Jones *et al.* (1978), Peterson *et al.* (1974), et Veldkamp & Jannasch (1972) de telles conditions expérimentales peuvent permettre à une communauté naturelle de se maintenir sans que sa structure ne soit trop modifiée

Lors de l'étude de la communauté estivale (juillet), les deux ballons de culture étaient soumis à une température de 20°C , voisine de celle du milieu naturel. Durant les 132 premières heures d'incubation, ces deux ballons de culture ne recevaient que de l'eau douce (eau de surface); après cette période d'adaptation (de 132 h), le milieu d'un des deux ballons était remplacé par de l'eau salée provenant de l'estuaire du St-Laurent et ayant une salinité de 26 _{∞} ; l'autre ballon de culture continuait à être alimenté par de l'eau douce et servait de témoin. Des aliquotes ont

été prélevées dans chacun de ces deux ballons après 24, 48, 72, 96, 120, 126, 132, 138, 144, 150, 156, 168, 180, 192, 216, 240, 288, 336 et 384 heures d'incubation.

Pour la communauté automnale (décembre), les ballons de culture étaient soumis à une température de 10°C et le milieu de culture ajouté dans le ballon traité était constitué d'eau de surface de l'estuaire du St-Laurent (salinité de 20 ‰) enrichie du milieu Guillard F/5 (Guillard, 1973). Du à certaines erreurs expérimentales, il n'a pas été possible de prélever plus de deux données durant la période d'adaptation de 72 heures; les valeurs apparaissant au T₀ dans les diverses figures sont la moyenne de ces deux données. Après cette période d'ajout de l'eau salée enrichie, des aliquotes ont été prélevées après 12, 26, 38, 48, 72, 104, 126, 174, 246 et 342 heures d'incubation.

Ces aliquotes ont servi à la détermination de la chlorophylle α , de l'assimilation du $^{14}\text{CO}_2$, des éléments nutritifs, selon les techniques décrites dans Strickland & Parsons (1972) ainsi qu'à l'analyse taxonomique de la communauté. Le dénombrement des cellules a été effectué à l'aide d'une lame Sedgewick-Rafter selon les recommandations de Guillard (1973) et les données de taxonomie ont permis de calculer l'indice de diversité H de Shannon Weaver (Margalef, 1968).

Chapitre III

VARIABILITÉ SAISONNIÈRE DE LA BIOMASSE ET DE LA PRODUCTION
PRIMAIRE DANS LA COUCHE PHOTIQUE DU FJORD DU SAGUENAY

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 Couche photique

La figure 2 montre les fluctuations saisonnières de l'épaisseur de la couche photique aux trois stations d'étude. Dans la partie amont du fjord (station DR-151), l'épaisseur de la couche photique est d'environ 3,5 m de juin à la mi-juillet mais elle augmente rapidement jusqu'à la fin d'août pour atteindre 5,4 m; durant la période août-novembre, les variations sont relativement faibles et l'épaisseur oscille entre 5,4 et 6,1 m. Dans la partie centrale (station DR-290), la couche photique est en moyenne de 1,5 m plus épaisse que celle de l'amont et à la fin-août, son épaisseur atteint 6,8 m. C'est à la station de la partie aval du fjord (DR-400A) que la couche photique présente le maximum d'épaisseur; elle varie entre 6 m (de juin à la mi-juillet) et atteint 10,7 m (de septembre à novembre). De façon générale, la couche photique de l'aval est deux fois plus épaisse que celle de l'amont: au cours de cette saison d'échantillonnage, l'épaisseur moyenne de la couche photique est de 4,5 m à l'amont et de 9,0 m à l'aval.

3.1.2 Température et salinité

L'analyse des profils verticaux de la température et de la salinité illustrés à la figure 3 nous révèle une stratification

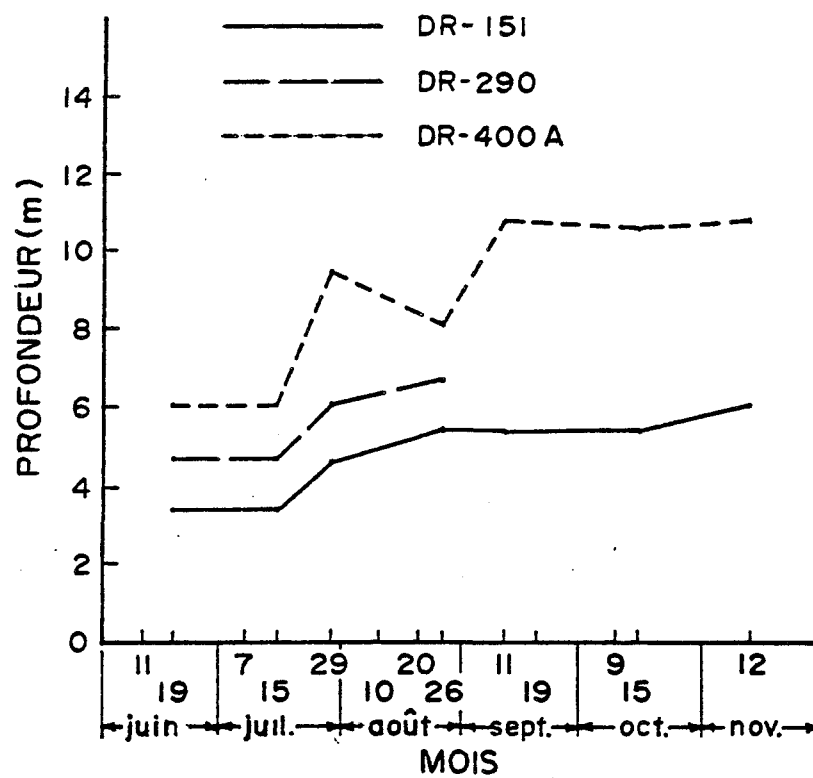


Figure 2. Fluctuations saisonnières de l'épaisseur de la couche photique aux trois stations d'étude.

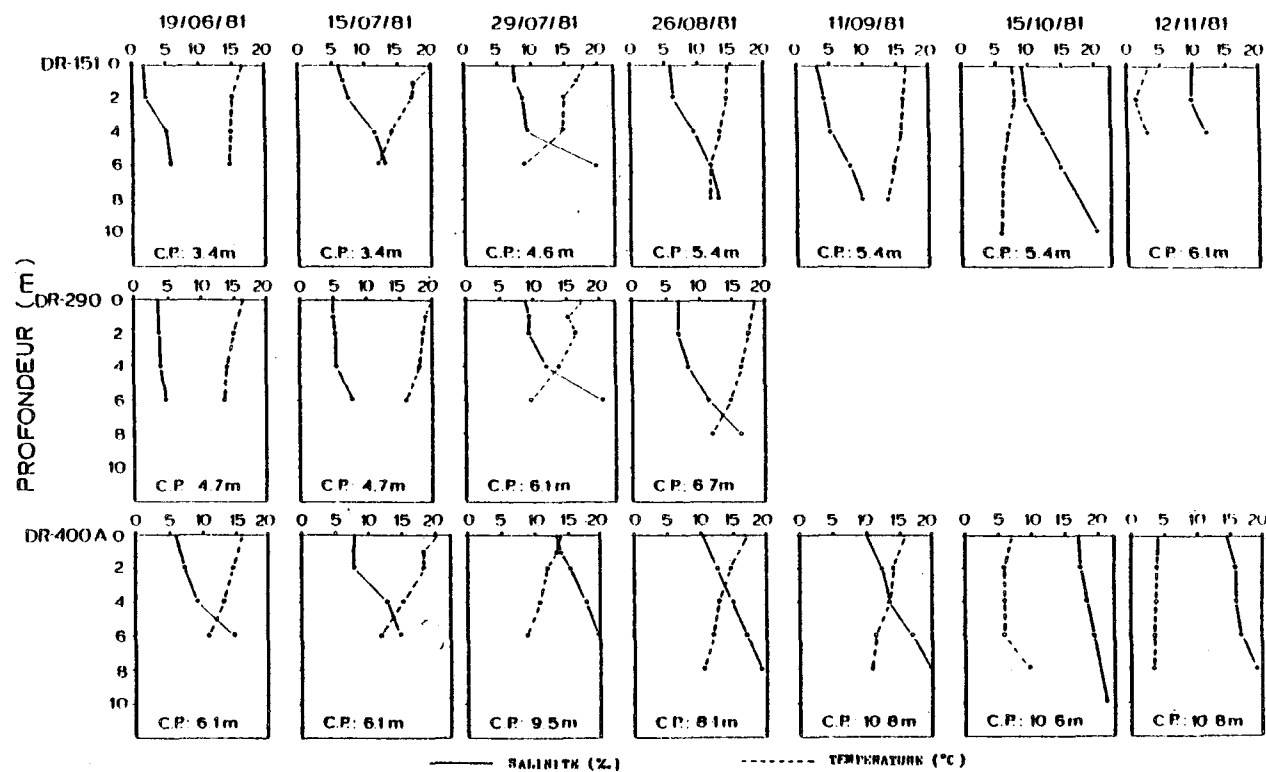


Figure 3. Profils verticaux de salinité et de température aux trois stations d'étude.

relativement accentuée dans la mince couche photique du Saguenay. Evidemment, les plus grands écarts de température et de salinité entre la surface et la limite inférieure de la couche photique sont observés durant les mois de juillet et d'août; dans certains cas, le gradient vertical de température peut atteindre jusqu'à $1,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ tandis que celui de la salinité, $2\text{ }^{\circ}/_{\infty}\cdot\text{m}^{-1}$.

Sur le plan saisonnier (figure 4), nous remarquons que la température et la salinité moyennes de la couche photique évoluent généralement de façon inverse. Cette divergence est toujours plus évidente à la station DR-151. En juin, la salinité est de $2\text{ }^{\circ}/_{\infty}$ tandis que la température est d'environ 15°C . La salinité augmente jusqu'à la fin-juillet ($8,5\text{ }^{\circ}/_{\infty}$ à DR-151) et après une légère diminution à la mi-septembre ($5\text{ }^{\circ}/_{\infty}$), elle présente une valeur maximale de $10\text{ }^{\circ}/_{\infty}$ en novembre. Pour sa part, la température oscille entre 15 et $18,5^{\circ}\text{C}$ durant la période de juin à la mi-septembre et par la suite, elle diminue rapidement pour atteindre environ $2,5^{\circ}\text{C}$ en novembre.

En juin, la salinité moyenne de la couche photique à DR-400A est d'environ $10\text{ }^{\circ}/_{\infty}$ mais elle augmente jusqu'à $18,5\text{ }^{\circ}/_{\infty}$ à la fin juillet. Par la suite et ce, jusqu'en novembre, les valeurs varient entre 14 et $18,5\text{ }^{\circ}/_{\infty}$. Dans la partie centrale

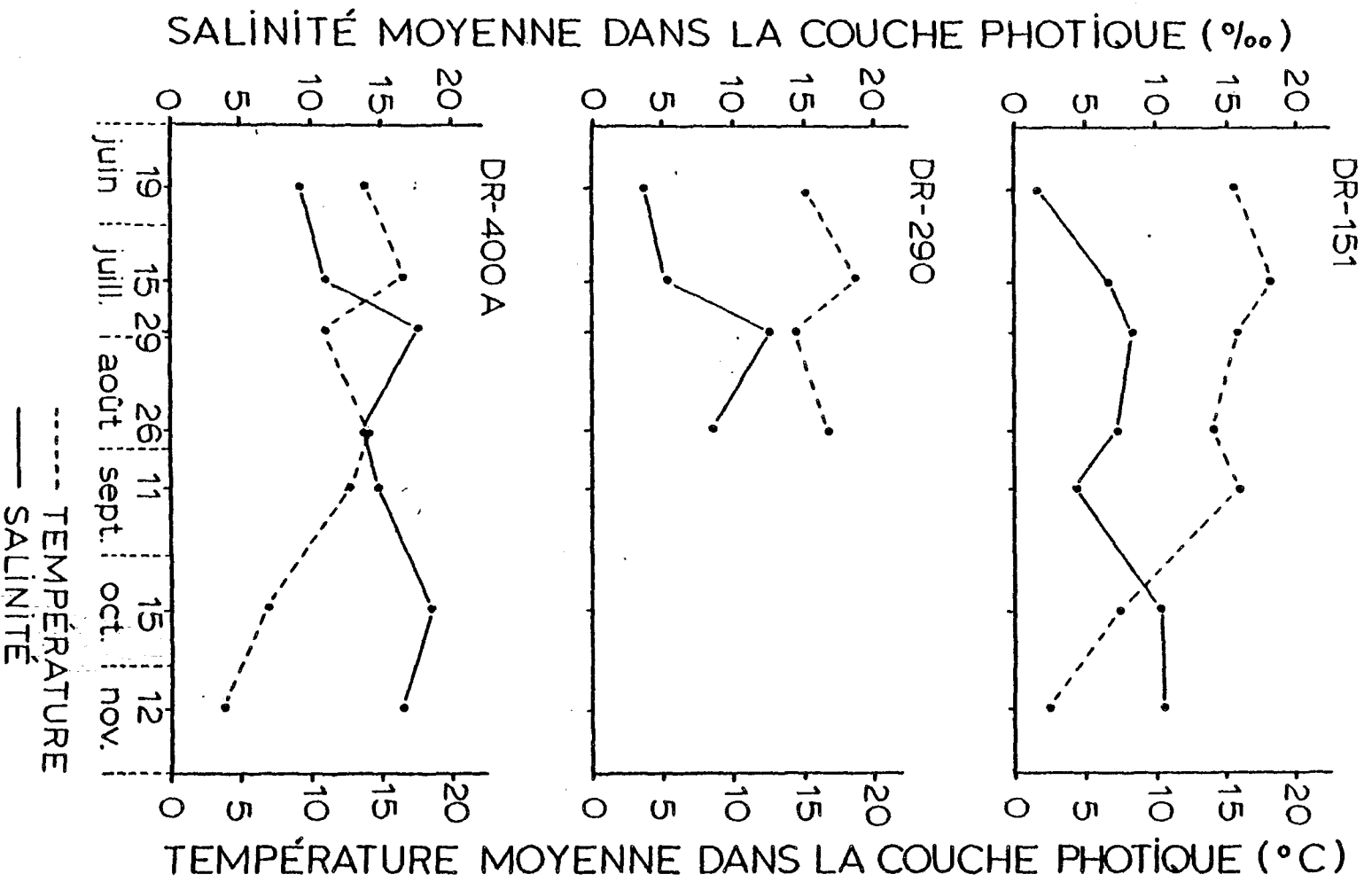


Figure 4. Fluctuations saisonnières de la salinité et de la température moyennes de la couche photique aux trois stations d'étude.

(station DR-290), la température et la salinité moyennes de la couche photique présentent des valeurs intermédiaires entre l'amont et l'aval mais l'évolution saisonnière de ces données présente généralement plus d'analogies avec celle de la station aval (DR-400A) que celle de la station amont (DR-151).

3.1.3 Eléments nutritifs

Les fluctuations saisonnières des concentrations moyennes des sels nutritifs de la couche photique sont présentées à la figure 5. Les nitrates sont relativement faibles en juin et les concentrations varient entre 2,3 et 2,8 $\mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$ aux trois stations. Durant la période de juin-août, les valeurs augmentent aux différentes stations mais de façon particulièrement accentuée à la station DR-400A où la concentration moyenne est de 14,5 $\mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$; aux stations DR-151 et DR-290, les valeurs du mois d'août sont relativement plus faibles (respectivement 6,5 et 5 $\mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$). Ces hautes concentrations de nitrates (en août) sont suivies par des diminutions ponctuelles très marquées à la mi-septembre (concentrations aussi faibles que 2-3 $\mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$) aux stations DR-151 et DR-400A. Durant la période d'octobre à novembre, les nitrates sont plus abondants et les concentrations moyennes sont de l'ordre de 8 à 10 $\mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$.

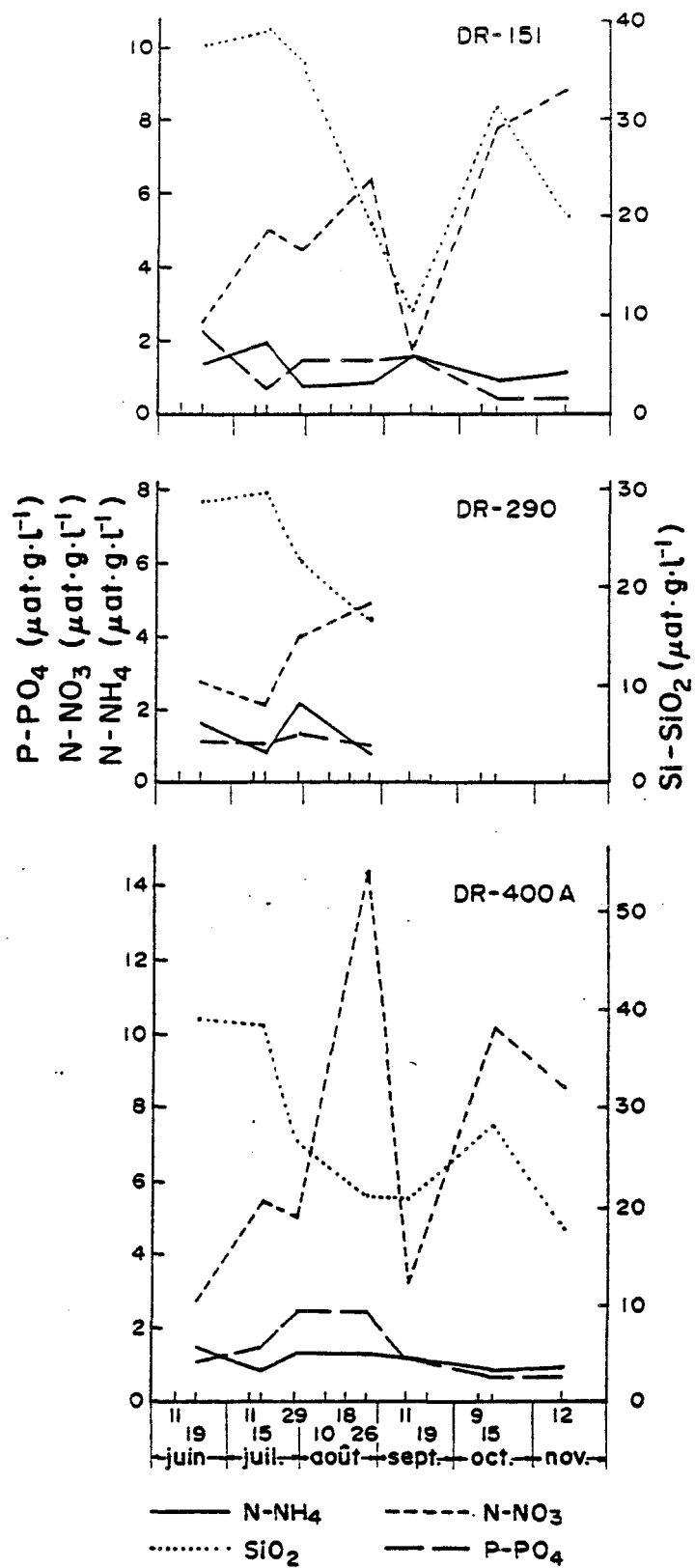


Figure 5. Fluctuations saisonnières de la concentration moyenne des éléments nutritifs pour l'ensemble de la couche photique aux trois stations d'étude.

L'ammoniaque présente des variations temporelles relativement faibles durant toute la période d'échantillonnage et les concentrations n'excèdent jamais $2 \mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$. Toutefois, nous remarquons que de façon générale les valeurs de la station DR-151 sont un peu plus élevées que celles de la station DR-400A.

A l'instar des sels ammoniacaux, les phosphates demeurent relativement faibles dans la couche photique durant toute la saison. Nous observons de façon générale une légère diminution de juin à novembre: à la station DR-151, les concentrations passent de 2 à $0,5 \mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$ tandis qu'à la station DR-400A, les valeurs oscillent entre 0,7 et $2,5 \mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$.

Les silicates sont très abondants durant la période de juin à la mi-juillet et les concentrations moyennes varient entre 38 et $40 \mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$ aux stations DR-151 et DR-400A et entre 28 et $30 \mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$ à la station DR-290. Par la suite, les valeurs diminuent rapidement jusqu'à la mi-septembre mais de façon beaucoup plus évidente en amont (station DR-151) qu'en aval (station DR-400A) où les concentrations moyennes de la couche photique sont respectivement de 11 et de $22 \mu\text{at}\cdot\text{g}\cdot\ell^{-1}$.

3.1. 4 Chlorophylle α et production primaire

La figure 6 illustre les fluctuations saisonnières de la chlorophylle α et des taux de production primaire dans les eaux de surface et pour l'ensemble de la couche photique à chacune des trois stations d'étude. Aux stations DR-151 et DR-400A, il existe un parallélisme très marqué dans les teneurs en chlorophylle α entre les valeurs des eaux de surface et celles de l'ensemble de la couche photique; le coefficient de corrélation est aussi élevé que 0,98, $p < 0,01$ à DR-151 et 0,88, $p < 0,01$ à DR-400A. À cette station de la partie amont (DR-151), les teneurs en chlorophylle α des eaux de surface durant la période de juin-août représentent en moyenne 78% de la biomasse de toute la couche photique; durant la période août-novembre, le pourcentage n'est plus que de 23%. A la station DR-400A, le pourcentage de la chlorophylle α de surface par rapport à la chlorophylle α totale est beaucoup plus faible et il varie entre 8 et 41% durant la période de juin à novembre. A la station DR-290, le parallélisme n'est pas aussi net que celui des autres stations et d'ailleurs, le coefficient de corrélation entre la chlorophylle α des eaux de surface et celle pour l'ensemble de la couche photique n'est pas significatif.

A DR-151, la biomasse totale demeure toujours inférieure à $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$ sauf à la fin-juillet où elle atteint une valeur éphémère

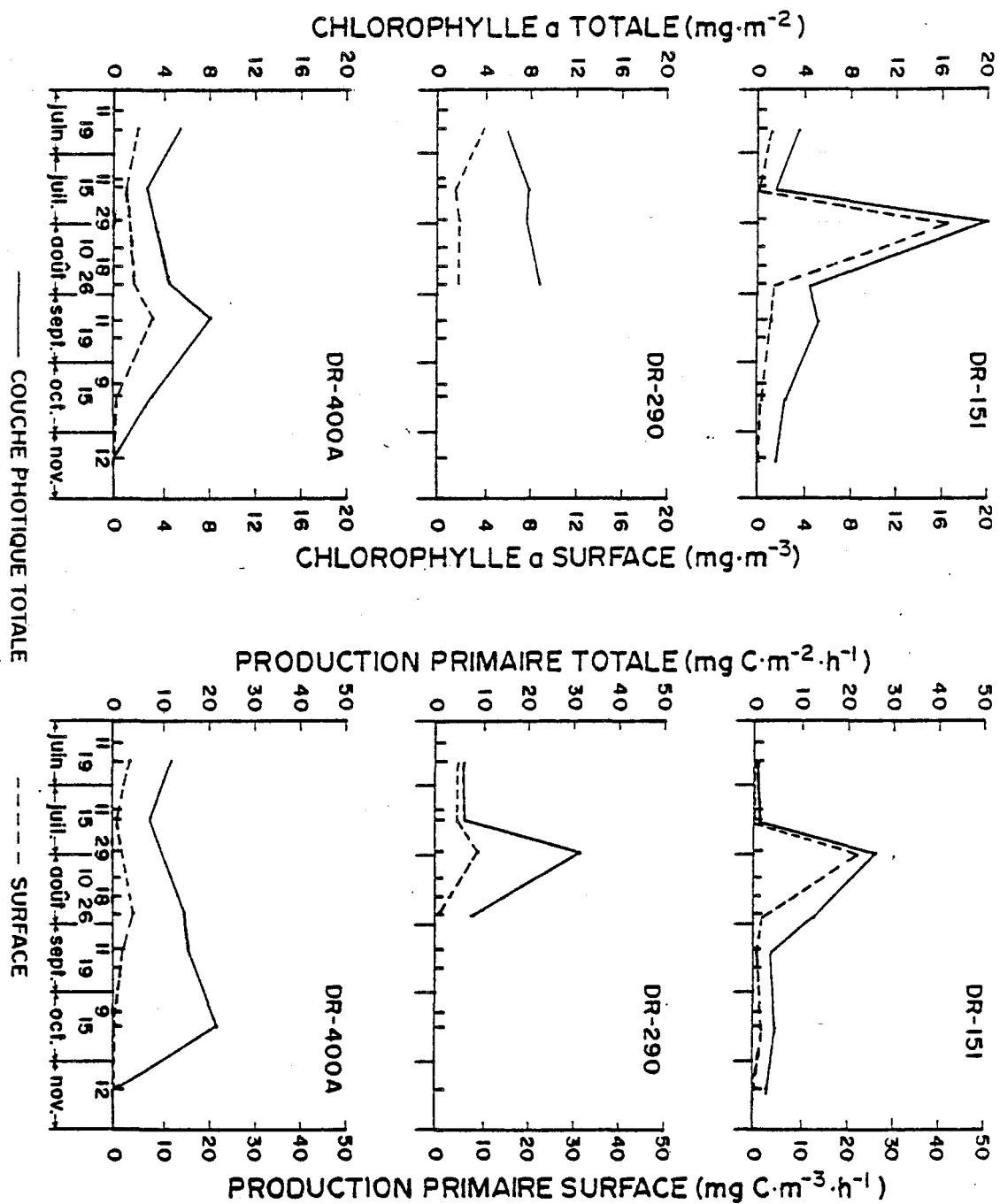


Figure 6. Fluctuations saisonnières de la chlorophylle a et des taux de production primaire dans les eaux de surface et pour l'ensemble de la couche photique aux trois stations d'étude.

de $18 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$. A la station DR-290, la chlorophylle a totale augmente légèrement durant la période juin-août (de 6 à $9 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$) même si dans les eaux de surface, la biomasse diminue durant la même période (de 4 à $2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). A la station DR-400A, les teneurs en chlorophylle a totale varient de 5,5 à $8,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$ de juin à septembre et elles diminuent rapidement par la suite de sorte qu'en novembre, la biomasse totale est quasiment nulle.

Les taux de production primaire des eaux de surface des stations DR-151 et DR-400A sont très faibles durant la période de juin à la mi-juillet; ils excèdent rarement $3 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. Dans la partie centrale (station DR-290), les taux de production sont relativement plus élevés et nous enregistrons des valeurs d'environ $5 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ (figure 6). A partir de la fin-juillet, la production est relativement plus forte dans les eaux de surface de la station DR-151 ($22 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$). Cette haute production est très éphémère puisqu'à la fin août, les taux de production primaire ne sont plus que de $2 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ et ces faibles valeurs persistent jusqu'en novembre. A cette station de la partie amont, le coefficient de corrélation entre la production primaire des eaux de surface et la production primaire totale (de l'ensemble de la couche photique) est aussi élevé que 0,90, $p < 0,01$.

Dans la partie amont (station DR-151), la production primaire de surface représente jusqu'à 81% de la production primaire totale. A la station DR-290, la disproportion entre la production primaire totale et la production primaire des eaux de surface est beaucoup plus marquée qu'en amont et particulièrement durant les périodes de plus forte production (de la fin-juillet à la mi-août). Dans la partie aval (station DR-400A), la production primaire des eaux de surface demeure relativement faible durant toute la saison (n'excédant pas $5 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) tandis que pour l'ensemble de la couche photique, nous observons généralement une augmentation de juin ($12 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) à la mi-octobre ($23 \text{ mg C} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) et une diminution très brusque d'octobre à novembre.

Sur le plan vertical (figure 7), la chlorophylle *a* et les taux de production primaire nous montrent une hétérogénéité très marquée aux différentes stations et ce, durant toute la saison. Dans plusieurs cas, nous remarquons que les valeurs sont plus élevées dans les eaux sous-jacentes à la surface.

3.1.5 Diversité et composition taxonomique

L'analyse des indices de diversité révèle une variabilité saisonnière bien marquée dans les communautés phytoplanctoniques des différentes stations d'études (figure 8).

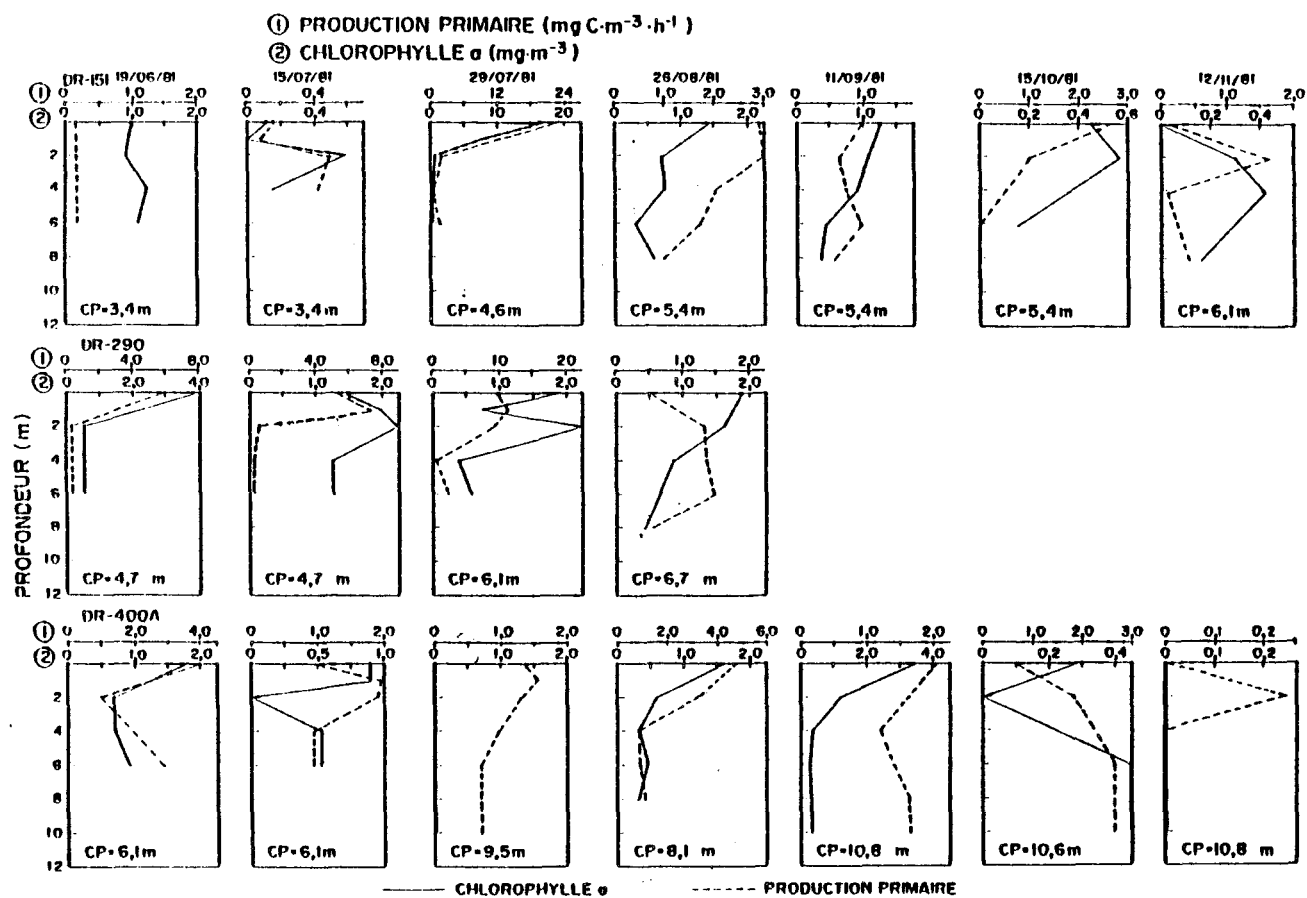


Figure 7. Profils verticaux de la chlorophylle a et des taux de production primaire aux stations d'étude.

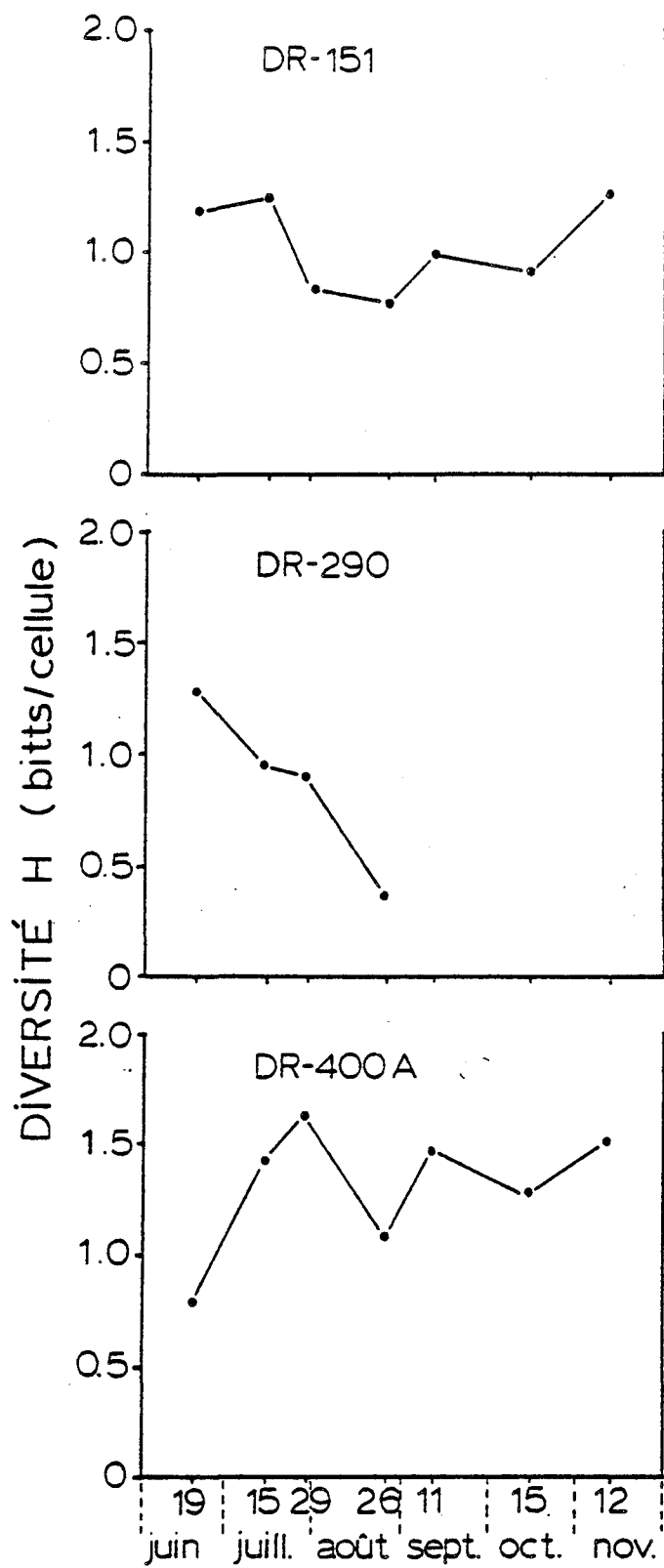


Figure 8. Fluctuations saisonnières de l'indice de diversité de Shannon-Weaver aux trois stations d'étude.

A la station DR-151, la diversité est maximale au début de la saison (de juin jusqu'à la fin-juillet) et à la fin de la saison (novembre) avec des indices de l'ordre de $1,3 \text{ bits} \cdot \text{cellule}^{-1}$ tandis que durant les autres périodes, les indices varient entre $0,7$ et $1 \text{ bitt} \cdot \text{cellule}^{-1}$. Dans la partie centrale (station DR-290), la diversité de la communauté diminue très rapidement de juin ($1,3 \text{ bits} \cdot \text{cellule}^{-1}$) à août ($0,4 \text{ bitt} \cdot \text{cellule}^{-1}$). A la station de la partie aval (DR-400A), la diversité est minimale en juin ($0,8 \text{ bitt} \cdot \text{cellule}^{-1}$) mais elle augmente rapidement jusqu'à la fin-juillet ($1,6 \text{ bits} \cdot \text{cellule}^{-1}$); durant la période août-novembre, les indices de diversité varient entre $1,1$ et $1,5 \text{ bits} \cdot \text{cellule}^{-1}$.

En considérant la composition de la communauté (tableau 1), nous observons qu'à la station DR-151, les diatomées d'eau douce, *Asterionella formosa* Hass. et *Tabellaria fenestrata* (Lyngb) dominent les communautés durant toute l'année et ce, de façon individuelle ou concurrente. Les autres espèces les plus importantes sont les diatomées *Melosira ambigua* (Brun) O. Müller, *M. islandica* O. Müller, *T. flocculosa* (Roth) Kützing et la Cyanophycée *Anabaena flos-aquae* (Lyngb). A la station DR-290, les espèces *A. formosa* et *T. fenestrata* dominent également les communautés durant toute la saison (de juin à août) mais les espèces dites secondaires diffèrent légèrement de celles de la station DR-151 et nous y observons surtout les espèces *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Agardh, *M. ambigua* et *Anabaena flos-aquae*.

Tableau 1. Composition taxonomique de la communauté phytoplanctonique aux trois stations d'étude. Les noms sont inscrits dans un ordre décroissant d'importance. Les espèces dominantes représentent entre 40 et 50 % du nombre d'individus.

DATE	STATION DR-151		STATION DR-200		STATION DR-100A	
	ESPECES DOMINANTES	ESPECES SECONDAIRES	ESPECES DOMINANTES	ESPECES SECONDAIRES	ESPECES DOMINANTES	ESPECES SECONDAIRES
19 juin	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Tabellaria fenestrata</i> <i>Melosira ambigua</i> <i>Melosira islandica</i> <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Dinobryon bavaricum</i> <i>Synedra</i> sp.	<i>A. formosa</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>Diatoma elongatum</i> <i>M. ambigua</i> <i>D. bavaricum</i> <i>Navicula</i> sp. <i>Synedra</i> sp.	<i>D. elongatum</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Thalassiosira</i> sp. <i>A. formosa</i> <i>F. crotonensis</i> <i>A. flos-aquae</i> <i>Coscinodiscus</i> sp.
15 juillet	<i>T. fenestrata</i> <i>A. formosa</i>	<i>M. ambigua</i> <i>Ceratium hirundinella</i> <i>Closterium</i> sp.	<i>T. fenestrata</i>	<i>A. formosa</i> <i>M. ambigua</i> <i>D. bavaricum</i> <i>C. hirundinella</i>	<i>Melosira moniliformis</i>	<i>A. formosa</i> <i>T. fenestrata</i> <i>M. ambigua</i> <i>Chaetoceros</i> sp.
29 juillet	<i>A. formosa</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>D. bavaricum</i> <i>Anabaena flos-aquae</i> <i>C. hirundinella</i> <i>Staurastrum</i> sp.	<i>A. formosa</i>	<i>T. fenestrata</i> <i>M. ambigua</i> <i>A. flos-aquae</i> <i>D. elongatum</i> <i>T. flocculosa</i> <i>Closterium</i> sp. <i>C. hirundinella</i>	<i>Chaetoceros</i> spp.	<i>Nitzschia</i> sp. <i>A. formosa</i> <i>A. flos-aquae</i> <i>M. moniliformis</i> <i>T. fenestrata</i>
26 août	<i>T. fenestrata</i>	<i>A. formosa</i> <i>M. ambigua</i> <i>A. flos-aquae</i>	<i>T. fenestrata</i>	<i>M. ambigua</i> <i>A. formosa</i>	<i>M. moniliformis</i>	<i>A. flos-aquae</i> <i>T. fenestrata</i> <i>M. ambigua</i>
11 septembre	<i>T. fenestrata</i>	<i>A. formosa</i> <i>M. ambigua</i> <i>Melosira</i> sp. <i>A. flos-aquae</i> <i>D. bavaricum</i> <i>Fragilaria crotonensis</i>			<i>M. moniliformis</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>A. formosa</i> <i>Melosira</i> sp. <i>M. islandica</i>
15 octobre	<i>A. formosa</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>M. islandica</i> <i>Melosira</i> sp. <i>Staurastrum</i> sp.			<i>A. formosa</i> <i>T. fenestrata</i>	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Melosira</i> sp. <i>Ceratium longipes</i> <i>Coscinodiscus</i> sp.
12 novembre	<i>A. formosa</i>	<i>Melosira</i> sp. <i>M. ambigua</i> <i>M. islandica</i> <i>T. fenestrata</i> <i>Synedra</i> sp. <i>A. flos-aquae</i>			<i>A. formosa</i> <i>Melosira</i> sp.	<i>M. moniliformis</i> <i>Coscinodiscus</i> sp. <i>T. fenestrata</i> <i>Chaetoceros</i> sp. <i>Synedra</i> sp. <i>C. longipes</i>

Par ailleurs, la station de la partie aval (DR-400A) présente une particularité dans la dominance des espèces phytoplanctoniques; en juin, la communauté est surtout dominée par les diatomées d'eau douce *D. elongatum* et *T. fenestrata* tandis qu'en juillet et août, la dominance est assurée nettement par des espèces saumâtres ou marines comme *Melosira moniliformis* (O.F. Muller) Ag. et *Chaetoceros* spp. . En septembre, la communauté est dominée conjointement par *M. moniliformis* et par une diatomée d'eau douce *T. fenestrata*. En octobre et en novembre, les algues d'eau douce dominent sans équivoque les communautés phytoplanctoniques du Saguenay.

3.2 DISCUSSION

L'analyse des présents résultats montre que la productivité des communautés phytoplanctoniques du Saguenay est contrôlée par différents paramètres physico-chimiques dépendamment de la partie du fjord considérée.

Stations DR-151 et DR-290

En considérant les données de ces deux stations des parties amont (DR-151) et centrale (DR-290), nous remarquons que durant la période juin-août les taux de production primaire et les teneurs en chlorophylle α pour l'ensemble de la couche photique (figure 6) sont plus élevés à la station DR-290 (sauf à la fin-juillet) et ce, malgré que la salinité moyenne y soit en général plus élevée (figure 4). Puisque ces communautés sont constituées d'espèces d'eau douce (tableau 1), nous serions portés à croire que la salinité est un paramètre qui a peu d'effet sur la productivité du phytoplancton entre ces deux stations. Or, d'après les coefficients de corrélation calculés à partir des données de ces deux stations (tableau 2A), nous constatons que la salinité est significativement corrélée avec la température ($r = -0,53, p < 0,01$) et avec la chlorophylle α ($r = -0,31, 0,01 < p < 0,05$). La salinité a-t-elle un réel effet sur les teneurs en chlorophylle α des communautés? L'étude de corrélation partielle effectuée sur ces mêmes données (tableau 2B à G) nous permet de préciser davantage cette

Tableau 2. Coefficients de corrélation (Pearson) (A) et de corrélation partielle (B à G) pour les données des stations DR- 151 et DR- 290. Les sections B à G contiennent les coefficients de corrélation partielle calculés sans l'effet de la température (B), de la salinité (C), des nitrates (D), de l'ammoniaque (E), des phosphates (F) et des silicates (G). Le nombre de degrés de liberté est de 43 pour la section A et de 35 pour les sections B à G.

	S‰	T°C	Chl <i>a</i>	Prod. prim.	NH ₄	NO ₃	SiO ₂	PO ₄
(A)	S‰							
	T°C	-0,53a						
	Chl <i>a</i>	-0,31b	0,45a					
	Prod. prim.	0,01d	0,27d	0,71a				
	NH ₄	-0,30c	0,02d	-0,14d	-0,11d			
	NO ₃	0,29d	-0,36b	-0,34b	-0,26d	0,20d		
	SiO ₂	0,01d	0,09d	-0,01d	-0,15d	0,09d	0,12d	
	PO ₄	0,01d	0,04d	-0,14d	-0,12d	0,15d	0,06d	0,23d
(B)	S‰							
	T°C		0,39b	0,37b	0,18d	-0,42a	0,10d	0,04d
	Chl <i>a</i>	-0,08d		0,75a	0,01d	-0,20d	-0,02d	-0,11d
	Prod. prim.	0,23d	0,67a		-0,06d	-0,27d	-0,17d	-0,10d
	NH ₄	0,32c	-0,09d	-0,05d		0,02d	0,12d	0,11d
	NO ₃	0,14d	-0,05d	-0,10d	0,15d		0,12d	-0,05d
	SiO ₂	0,04d	-0,07d	-0,21d	0,11d	0,18d		0,23d
	PO ₄	0,06d	-0,15d	-0,11d	0,12d	-0,03d	0,23d	
(C)	S‰	-0,56a	-0,31d	0,04d		0,37b	-0,06d	0,02d
	T°C	-0,42a	0,49a	0,30d		-0,54a	0,10d	0,01d
	Chl <i>a</i>	-0,23d	0,41b	0,70a		-0,30d	-0,01d	-0,11d
	Prod. prim.	0,14d	0,21d	0,68a		-0,23d	-0,16d	-0,10d
	NH ₄	0,23d	0,09d	-0,04d	-0,02d			
	NO ₃						0,09d	-0,05d
	SiO ₂	-0,07d	0,18d	0,02d	-0,15d	0,10d		0,22d
	PO ₄	0,06d	-0,01d	-0,14d	-0,11d	0,12d	0,23d	
(D)	S‰	-0,54a	-0,32c	0,03d	0,27d	0,39b		0,05d
	T°C	-0,53a	0,49a	0,32c	0,01d	-0,55a		-0,11d
	Chl <i>a</i>	-0,31c	0,49a	0,71a	-0,07d	-0,30d		-0,12d
	Prod. prim.	0,03d	0,30d	0,70a	-0,03d	-0,23d		-0,07d
	NH ₄	0,26d	0,01d	-0,06d	-0,04d	0,11d		0,09d
	NO ₃	0,39b	-0,54a	-0,30d	-0,24d	0,13d		-0,06d
	SiO ₂	-0,04d	0,10d	0,02d	-0,15d	0,08d	0,11d	
	PO ₄							
(E)	S‰							
	T°C							
	Chl <i>a</i>							
	Prod. prim.							
	NH ₄							
	NO ₃							
	SiO ₂							
	PO ₄							
(F)	S‰							
	T°C							
	Chl <i>a</i>							
	Prod. prim.							
	NH ₄							
	NO ₃							
	SiO ₂							
	PO ₄							
(G)	S‰							
	T°C							
	Chl <i>a</i>							
	Prod. prim.							
	NH ₄							
	NO ₃							
	SiO ₂							
	PO ₄							

a $p < 0,01$
b $0,01 < p < 0,05$
c $p = 0,05$
d $p > 0,05$

(C)

(E)

(G)

divergence. En effet, nous observons que la relation salinité-chlorophylle a devient très faible et non-significative quand on enlève l'effet de la température; le coefficient de corrélation n'est que de $-0,08$, $p > 0,05$ (tableau 2B). Sans l'effet des éléments nutritifs (nitrates, ammoniacque et phosphates) (tableau 2D, E, F) cette relation semble plus forte mais demeure non-significative et les coefficients de corrélation varient entre $-0,23$ et $-0,31$, $p > 0,05$.

La salinité n'a donc pas d'effet significatif sur les teneurs en chlorophylle a des communautés entre ces deux stations (DR-151 et DR-290). La relation que nous avons observée entre ces deux paramètres (tableau 2A) s'explique vraisemblablement comme étant la résultante d'une forte relation entre la température et la salinité ($r = -0,53$, $p < 0,01$) et entre la température et la chlorophylle a ($r = 0,45$, $p < 0,01$).

Par ailleurs, l'absence de toute corrélation semblable impliquant la production primaire est surprenante particulièrement si l'on considère la forte relation significative qu'elle présente avec la chlorophylle a ($r = 0,71$, $p < 0,01$) (tableau 2A). Une telle anomalie pourrait s'expliquer partiellement par le fait que la production primaire d'une communauté plurispécifique n'est pas aussi indicatrice des changements

dans la communauté que ne l'est la chlorophylle a à cause des successions se produisant au sein même de la communauté lors de l'apparition de nouvelles conditions.

Bref, l'analyse des coefficients de corrélation confirme donc que la salinité n'exerce pas un effet important sur la teneur en chlorophylle a des communautés phytoplanctoniques entre les stations DR-151 et DR-290. C'est la température qui semble contrôler de façon plus marquée les teneurs en chlorophylle a de ces communautés ; quant aux éléments nutritifs (principalement nitrates, ammoniacque et phosphate), leur effet semble moins accentué puisque les coefficients ne sont pas significatifs.

Stations DR-290 et DR-400A

L'examen de la figure 6 nous révèle que durant la période juin-août, la production primaire totale de la couche photique est sensiblement équivalente entre les stations DR-290 et DR-400A (moyennes respectives de 13,5 et 11,4 $\text{mg C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) mais que la quantité totale de chlorophylle a est généralement plus faible à la station DR-400A.

En considérant les paramètres physiques (figure 4), nous réalisons que la salinité moyenne dans la couche photique de la station DR-400A est beaucoup plus élevée et la température moyenne beaucoup plus faible

qu'à la station DR-290. A prime abord, il semble que l'augmentation de salinité entre ces deux stations pourrait avoir une certaine influence sur les teneurs en chlorophylle *a* des communautés phyto-planctoniques. D'ailleurs, l'analyse des données taxonomiques (tableau 1) et des indices de diversité (figure 8) révèle en effet d'importants changements dans la structure et dans la composition des communautés. Il faut cependant préciser ici que ces données de taxonomie et de diversité sont surtout représentatives des eaux de surface (0-2 m) de la couche photique; cette nuance est particulièrement importante pour la station DR-400A où l'on observe une stratification physico-chimique marquée dans la couche photique (figure 3). Plusieurs espèces d'eau douce comme *Navicula* sp., *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin, *Diatoma elongatum* (Lyngb.) Agardh, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing et *Closterium* sp. ne sont pas détectables à la station DR-400A, ce qui pourrait signifier qu'elles sont très sensibles à une augmentation de salinité. Par contre, certaines espèces de diatomées d'eau douce comme *Asterionella formosa* Hass., *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kützing et *Melosira* sp. ont un degré d'euryhalinité plus grand puisqu'elles se retrouvent très souvent à la station DR-400A.

Niemi (1982) a montré que la salinité maximale supportée par les diatomées *T. fenestrata* et une espèce de *Melosira* dans un estuaire se

situe entre 2 et 3 ‰. Les différences observées entre ces résultats et les nôtres sont probablement attribuables à des différences dans les conditions physico-chimiques à moins qu'elles ne reflètent des différences de nature génétique car Côté (1983) avait remarqué que le phytoplancton de la rivière Saguenay était particulièrement résistant aux ions métalliques. Une étude effectuée par Gerrath *et al* (1980) dans la baie d'Hudson a montré que l'on peut retrouver *T. fenestrata* et *Melosira* dans des eaux de salinité aussi élevée que 20 ‰. Dans l'estuaire du St-Laurent, *T. fenestrata* se retrouve même dans les eaux de surface où la salinité atteint 26 ‰ (Cardinal et Lafleur, 1977). De plus, à partir d'expériences parallèles menées sur des communautés d'eau douce du Saguenay soumises "in vitro" à des variations de salinité, nous obtenons des résultats similaires (chapitre IV) où les espèces les plus résistantes sont *T. fenestrata* et une espèce du genre *Melosira* et elles peuvent même se maintenir à des salinités supérieures à 20 ‰. A l'exception de quelques espèces comme *T. fenestrata* et *Melosira* sp., nous constatons que la salinité a un effet plus marqué entre les parties centrale (DR-290) et aval (DR-400A) qu'entre les parties centrale et amont (DR-151) du fjord.

Les coefficients de corrélation calculés à partir des données de ces deux stations (DR-290 et DR-400A) (tableau 3A) montrent que la salinité est fortement liée avec la chlorophylle *a* ($r = -0,67$ $p < 0,01$)

Tableau 3. Coefficients de corrélation (Pearson) (A) et de corrélation partielle (B à G) pour les données des stations DR-290 et DR-400A. Les sections B à G contiennent les coefficients de corrélation partielle calculés sans l'effet de la température (B), de la salinité (C), des nitrates (D), de l'ammoniaque (E), des phosphates (F) et des silicates (G). Le nombre de degrés de liberté est de 45 pour la section A et de 39 pour les sections B à G.

	S‰	T°C	Chl a	Prod. prim.	NH ₄	NO ₃	SiO ₂	PO ₄	
(A)	S‰								
	T°C	-0,78a							
	Chl a	-0,67a	0,67a						a p < 0,01
	Prod. prim.	-0,27d	0,45a	0,54a					b 0,01 < p < 0,05
	NH ₄	0,18d	-0,06d	-0,01d	0,12d				c p = 0,05
	NO ₃	0,52a	-0,46a	-0,32b	-0,13d	0,07d			d p > 0,05
	SiO ₂	-0,28d	0,27d	-0,08d	-0,08d	0,08d	-0,27d		
	PO ₄	-0,16d	0,09d	0,02d	-0,01d	0,10d	0,09d	0,20d	
(B)	S‰								
	T°C			0,33b	0,44a	0,10d	-0,10d	0,07d	-0,07d
	Chl a	-0,33b			0,50a	0,17d	0,06d	-0,40a	-0,10d
	Prod. prim.	0,18d		0,34b		0,22d	0,02d	-0,17d	-0,04d
	NH ₄	0,17d		0,08d	0,22d		-0,01d	0,12d	0,14d (C)
	NO ₃	0,30d		-0,01d	0,12d	0,05d		-0,14d	0,20d
	SiO ₂	-0,15d		-0,37b	-0,24d	0,08d	-0,17d		0,16d
	PO ₄	-0,15d		-0,03d	-0,03d	0,11d	0,14d	0,18d	
(D)	S‰		-0,78a	-0,69a	-0,31c		0,52a	-0,31b	-0,17d
	T°C	-0,71a		0,68a	0,50a		-0,45a	0,28d	0,09d
	Chl a	-0,63a	0,63a		0,55a		-0,32b	-0,08d	0,03d
	Prod. prim.	-0,24d	0,48a	0,53a			-0,14d	-0,09d	-0,01d
	NH ₄	0,13d	-0,03d	-0,05d	0,18d				
	NO ₃							-0,28d	0,09d (E)
	SiO ₂	-0,19d	0,17d	-0,18d	-0,11d	0,09d			0,19d
	PO ₄	-0,24d	0,14d	0,06d	0,02d	0,10d		0,23d	
(F)	S‰		-0,76a	-0,74a	-0,31b	0,17d	0,48a		-0,10d
	T°C	-0,77a		0,73a	0,52a	-0,07d	-0,41a		0,03d
	Chl a	-0,68a	0,68a		0,54a	0,03d	-0,35b		0,05d
	Prod. prim.	-0,28d	0,48a	0,54a		0,17d	-0,15d		0,02d
	NH ₄	0,17d	-0,06d	0,02d	0,17d		0,09d		0,10d (G)
	NO ₃	0,54a	-0,47a	-0,32b	-0,13d	0,06d			0,15d
	SiO ₂	-0,28d	0,26d	-0,09d	-0,08d	0,05d	-0,29d		
	PO ₄								

et avec la température ($r = -0,78, p < 0,01$). D'autre part, la température est également très liée avec la chlorophylle a ($r = 0,67, p < 0,01$) et avec la production primaire ($r = 0,45, p < 0,01$). Tout semble indiquer que la salinité pourrait avoir une influence sur la teneur en chlorophylle a des communautés phytoplanctoniques. L'étude de corrélation partielle effectuée sur ces mêmes données (tableau 3B à G) montre en effet que la relation salinité-chlorophylle a demeure significative même sans l'effet de la température ($r = -0,33, 0,01 < p < 0,05$) ce qui confirme un plus grand effet de la salinité entre ces deux stations qu'entre les stations DR-151 et DR-290. Puisque le coefficient de corrélation partielle entre la température et la chlorophylle a demeure significatif sans l'effet de la salinité ($r = 0,33, 0,01 < p < 0,05$) - mais plus faible que le 0,67 observé entre ces deux paramètres dans le tableau 3A - ça démontre bien que les paramètres salinité et température peuvent agir de façon séparée mais aussi de façon conjointe sur les teneurs en chlorophylle a des communautés phytoplanctoniques de ces deux stations.

Par ailleurs, contrairement à la température, la salinité ne présente pas de relation aussi nette avec la production primaire et le coefficient de corrélation n'est que de $-0,27, p > 0,05$ (tableau 3A). Ceci pourrait donc signifier que la salinité influence surtout les teneurs en chlorophylle a tandis que la température influence à la fois

la chlorophylle *a* et les taux de production primaire de la communauté. Cependant, avant d'émettre une telle hypothèse, il faut considérer la présence, dans la couche photique de la station DR-400A, d'espèces saumâtres et/ou marines dont la production primaire a un comportement inverse de celui des algues d'eau douce dont les taux de production primaire sont maximums dans les eaux de faible salinité (Bonin *et al*, 1981; Vosjan & Siezen, 1968). Ceci engendre donc un manque de correspondance entre les variations des deux paramètres, ce qui résulte en un coefficient de corrélation faible. La réponse des espèces saumâtres et/ou marines n'est vraisemblablement pas aussi sensible à la température puisque la corrélation température-production primaire est significative.

En résumé, entre les stations des parties centrale (DR-290) et aval (DR-400A), l'effet de la salinité sur les teneurs en chlorophylle *a* devient nettement plus important qu'entre les stations des parties amont (DR-151) et centrale. Nos données ne permettent cependant pas de mettre en évidence l'effet de la salinité sur les taux de production primaire des communautés mais il est permis de penser que son effet sur certaines espèces d'eau douce n'est pas négligeable. D'autre part, l'effet de la température n'a pas perdu d'acuité pour autant et ce paramètre exerce une action tant sur la quantité de chlorophylle *a* que sur la production primaire. Nos données nous permettent même d'affirmer que la salinité et la température ont une action conjointe sur la chlorophylle *a* des communautés.

Même si les données prélevées durant la période septembre-novembre ne concernent que les parties amont (DR-151) et aval (DR-400A) elles nous permettent tout de même d'apporter des indications sur l'écophysiologie des communautés phytoplanctoniques du fjord en conditions extrêmes de salinité et de température. Les données du mois de septembre n'illustrant pas aussi bien ce que l'on veut démontrer (parce que pendant le mois de septembre les conditions extrêmes ne sont pas encore tout à fait bien installées), nous ne considérons que les données des mois d'octobre et de novembre. Pendant le mois d'octobre, la production primaire totale et la quantité totale de chlorophylle *a* sont plus élevés à la station DR-400A qu'à la station DR-151 (figure 6) et ce, malgré que la salinité moyenne y soit beaucoup plus forte et la température moyenne plus faible (figure 4). La présence de nombreuses espèces saumâtres et/ou marines dans la couche photique de la station DR-400A (tableau 1) où les conditions physico-chimiques leur sont plus favorables (figure 4) peut probablement expliquer ce phénomène. L'étude des profils verticaux de la chlorophylle *a* et de la production primaire (figure 7) confirme d'ailleurs qu'au mois d'octobre les teneurs en chlorophylle *a* et les taux de production primaire dans la dernière moitié de la couche photique de la station DR-400A sont relativement élevés. Les valeurs plus faibles de production primaire et de chlorophylle *a* en surface (figure 7) s'expliquent bien si on considère que la communauté y est principalement composée d'algues d'eau douce (tableau 1). Les valeurs les

plus élevées en profondeur peuvent s'expliquer par une plus grande quantité d'algues d'eau salée, les différences dans les niveaux d'éléments nutritifs étant peu probables à cause de la faible stratification (figure 3). Les communautés phytoplanctoniques de la partie aval du fjord du Saguenay peuvent donc demeurer productives même à des salinités relativement élevées car la communauté est composée à la fois d'espèces saumâtres et/ou marines et d'espèces d'eau douce. La faible production primaire totale observée à la station DR-400A en novembre malgré une biomasse relativement élevée pourrait s'expliquer par l'influence qu'exercent les faibles températures (figure 3) sur la capacité des espèces d'eau douce et des espèces saumâtres et/ou marines à résister aux variations de la salinité du milieu comme l'ont démontré Bonin *et al* (1981) pour le phytoplancton estuarien.

En conclusion, l'analyse comparative et statistique de nos données montre de façon évidente que les changements observés dans la communauté phytoplanctonique entre les stations des parties amont (DR-151) et centrale (DR-290) du fjord du Saguenay sont principalement causés par l'effet des variations de température et des concentrations des éléments nutritifs: ces changements sont cependant faibles. Des modifications plus importantes ont été mises en évidence entre les stations des parties centrale (DR-290) et aval (DR-400A), partie du fjord où la salinité a un effet plus marqué de façon individuelle ou conjointe avec

la température (dont l'effet sur les communautés est également très accentué). Nous constatons donc que les espèces phytoplanctoniques d'eau douce qui pénètrent dans le fjord du Saguenay sont relativement résistantes aux variations de salinité, ce qui leur confère des caractéristiques écologiques particulières.

Chapitre IV
SENSIBILITÉ DU PHYTOPLANCTON D'EAU DOUCE DU
SAGUENAY AUX VARIATIONS DE SALINITÉ ¹

¹ Accepté pour publication

4.1 RÉSULTATS

Communauté phytoplanctonique estivale

L'examen de la figure 1 illustre la variabilité temporelle de la salinité dans le ballon traité. Après la période d'adaptation de 132 heures, l'augmentation de la salinité est très rapide, de telle sorte qu'à la 216^e heure, elle atteint près de 21 ‰. Par la suite, l'augmentation est relativement moins accentuée et à la fin de l'expérience (après 384 h), la salinité est de 26 ‰.

4.1.1 Chlorophylle α et production primaire

Dans le ballon témoin (fig. 2), les teneurs en chlorophylle α se caractérisent par une forte diminution pendant les 150 premières heures; elles passent de $10^{1,5} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (à T_0) à $10^{0,15} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (à T_{150}). Par la suite, les valeurs augmentent brusquement à T_{156} ($10^{0,71} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) et malgré des fluctuations temporelles relativement accentuées, elles demeurent en général élevées jusqu'à la fin de l'expérience (moyenne de $10^{0,72} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Dans le ballon traité nous y observons sensiblement les mêmes tendances pendant les 156 premières heures mais les valeurs excèdent toujours $10^{0,65} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Nous remarquons que les teneurs en chlorophylle α augmentent légèrement jusqu'à T_{180} ($10^{0,8} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) où la salinité est de 15,6 ‰ et elles diminuent par la suite jusqu'à T_{336} ($10^{0,4} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) où la salinité est de 26 ‰. Durant les 48

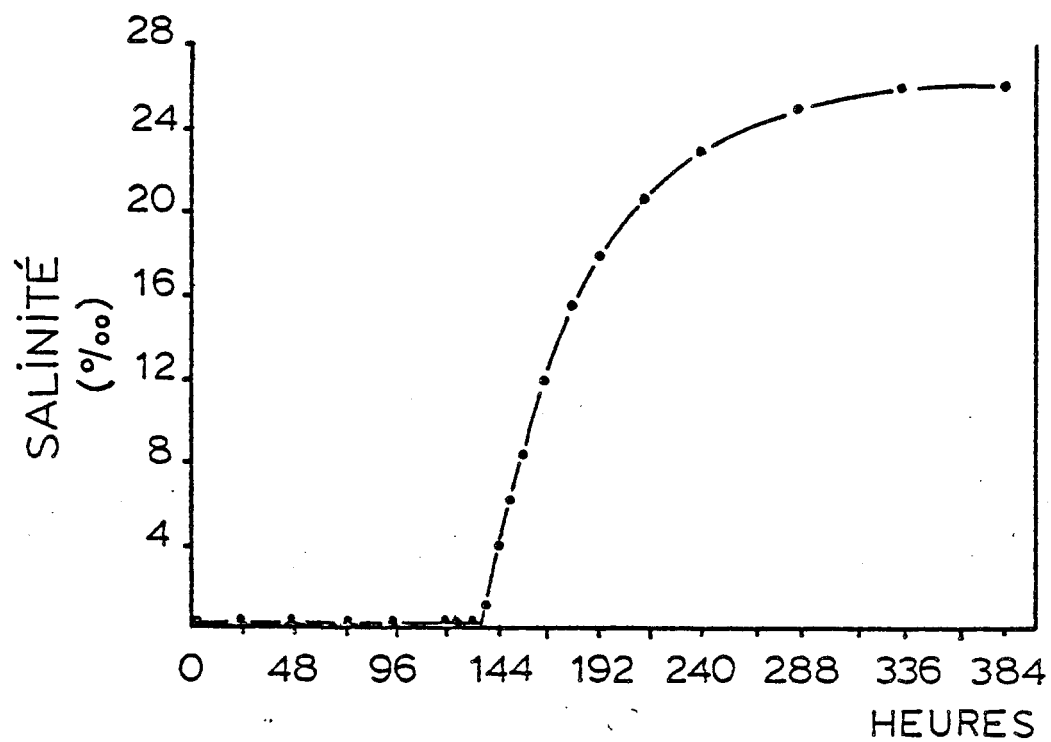


Figure 1. Variabilité temporelle de la salinité dans le ballon traité lors de l'expérience de juillet 1982.

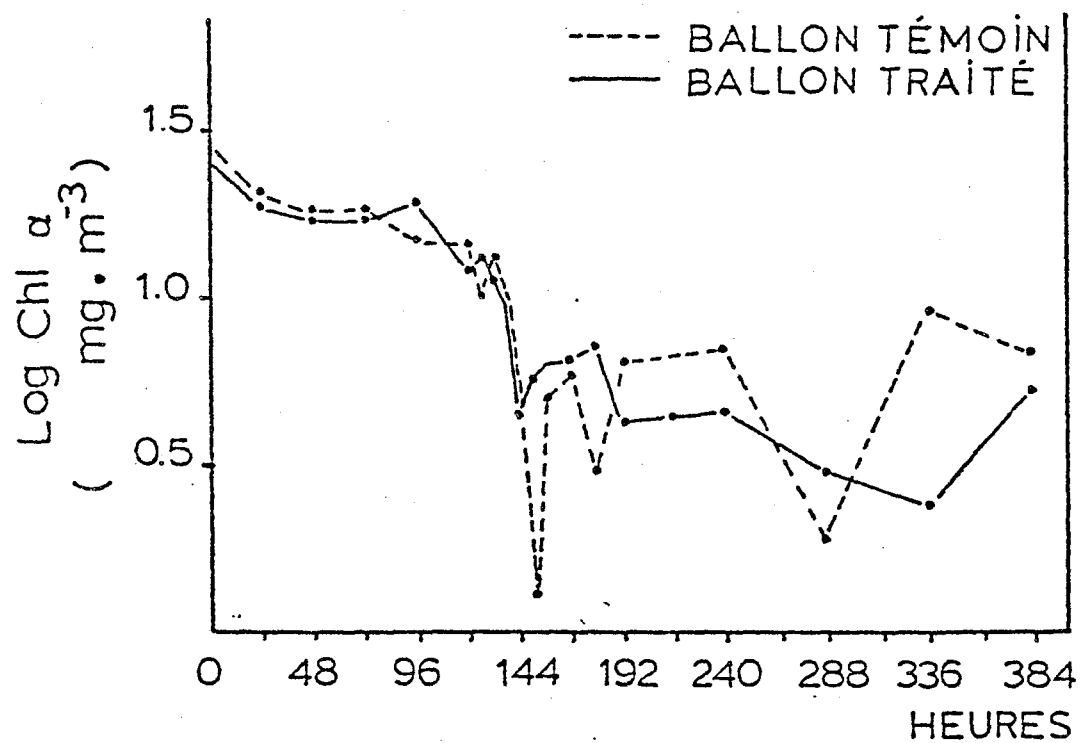


Figure 2. Fluctuations temporelles de la chlorophylle *a* de la communauté planctonique estivale (juillet 1982). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.

dernières heures (de T_{336} à T_{384}), la salinité est stable à 26 ‰ et la chlorophylle α présente une augmentation très nette ($10^{0,7}$ $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ à T_{384}). Tant dans le ballon témoin que dans le ballon traité, nous constatons que les teneurs en chlorophylle α sont fortement corrélées avec les phosphates (respectivement de 0,73 et 0,69, $p < 0,05$) et avec l'ammoniaque (respectivement de 0,78 et 0,76, $p < 0,01$). De plus, dans le ballon traité, la chlorophylle α présente une très forte relation négative avec la salinité ($r = -0,84$, $p < 0,01$).

Par ailleurs, l'analyse des taux de production primaire (fig. 3) nous révèle que les fluctuations temporelles des deux ballons de culture sont particulièrement accentuées durant les 132 premières heures d'incubation; les valeurs augmentent et diminuent rapidement en présentant un maximum de l'ordre de $10^{0,35}$ $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$. Par la suite, les valeurs du ballon témoin diminuent et deviennent quasiment nulles à T_{216} . Après une production relativement plus forte entre T_{240} et T_{286} ($\approx 10^{0,40}$ $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$), les taux sont à nouveau extrêmement faibles à T_{336} et y demeurent jusqu'à la fin de l'expérience. Dans le ballon traité, les taux de production augmentent rapidement après l'ajout de l'eau salée et présentent des maximums de l'ordre de 10 $\text{mgC}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$ entre T_{168} et T_{216} , correspondant à des salinités variant entre 12 et 20,8 ‰. Par la suite les taux de production diminuent rapidement et deviennent presque nuls à T_{288} où la salinité augmentait jusqu'à

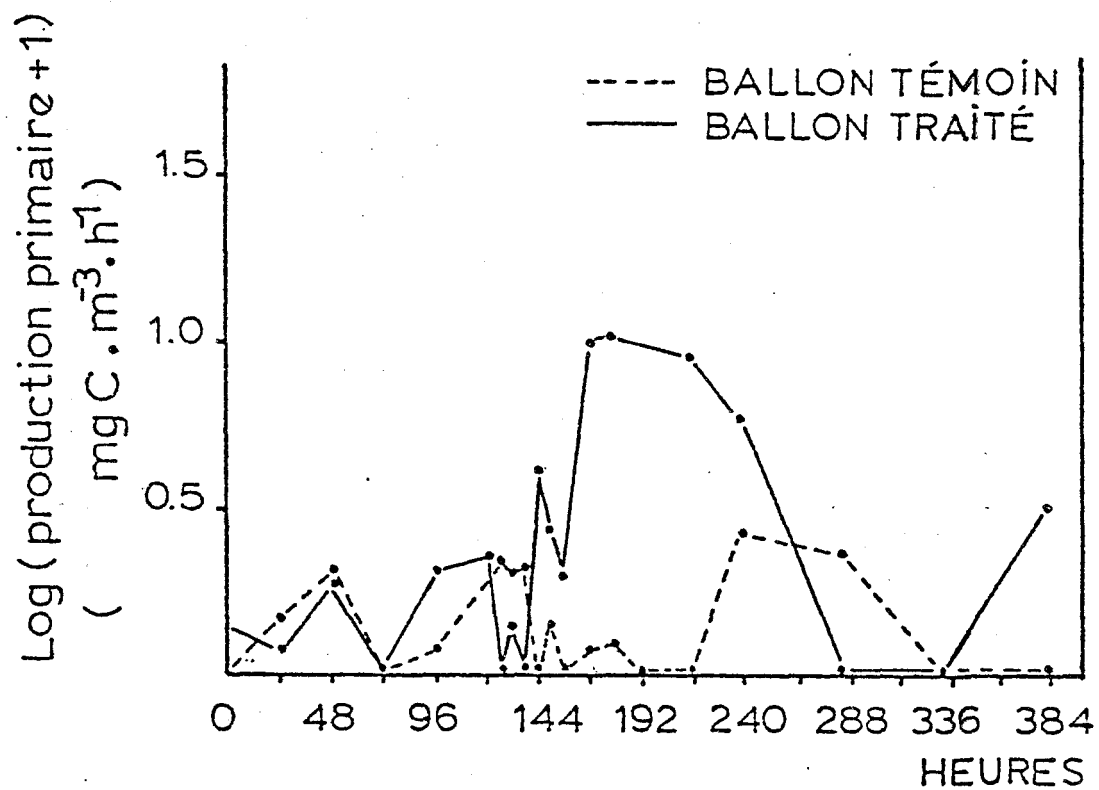


Figure 3. Fluctuations temporelles des taux de production primaire de la communauté planctonique estivale (juillet 1982). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.

26 °/∞ . Entre T_{336} et T_{384} , la production augmente jusqu'à $10^{0,5} \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$; la salinité demeurant stable à 26 °/∞.

L'analyse de la figure 4 nous montre que les rapports P/B des deux ballons de culture sont très faibles durant les 132 premières heures d'incubation; les valeurs n'excèdent pas $0,12 \text{ mgC} \cdot \text{mg Chl.} \cdot \alpha^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Dans le ballon témoin, les valeurs demeurent relativement faibles durant toute l'expérience sauf pour la période de T_{240} - T_{288} où les valeurs varient entre 0,2 et 0,6 $\text{mgC} \cdot \text{mg Chl.} \cdot \alpha^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Dans le ballon traité, les valeurs sont généralement plus élevées et durant la période de T_{168} à T_{240} nous y observons des maximums variant entre 1,0 et 1,6 $\text{mgC} \cdot \text{mg Chl.} \cdot \alpha^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Ces hauts rapports P/B diminuent rapidement jusqu'à T_{288} et présentent à nouveau une légère augmentation entre T_{336} et T_{384} . Les fluctuations temporelles des rapports P/B présentent une grande analogie avec celles des taux de production primaire; d'ailleurs les coefficients de corrélation sont très élevés pour le ballon traité (0,95, $p < 0,01$) et relativement plus faibles pour le ballon témoin (0,60, $p < 0,01$).

4.1.2 Indices de diversité et densité cellulaire

Lors de l'analyse des indices de diversité de la communauté (fig. 5), nous remarquons que les valeurs oscillent entre 0,75 et 1,4 $\text{bitt} \cdot \text{cellule}^{-1}$ dans le ballon témoin et entre 0,5 et 1,7 $\text{bitt} \cdot \text{cellule}^{-1}$.

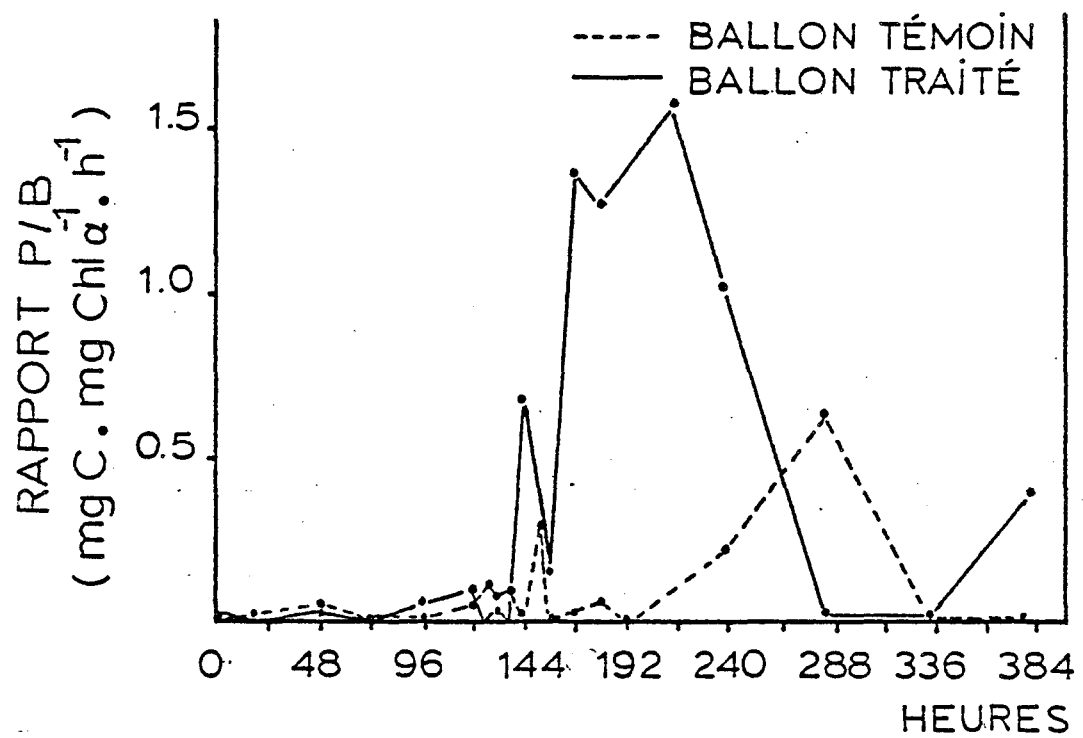


Figure 4. Fluctuations temporelles des rapports P/B (Production/Biomasse) de la communauté planctonique estivale (juillet 1982).

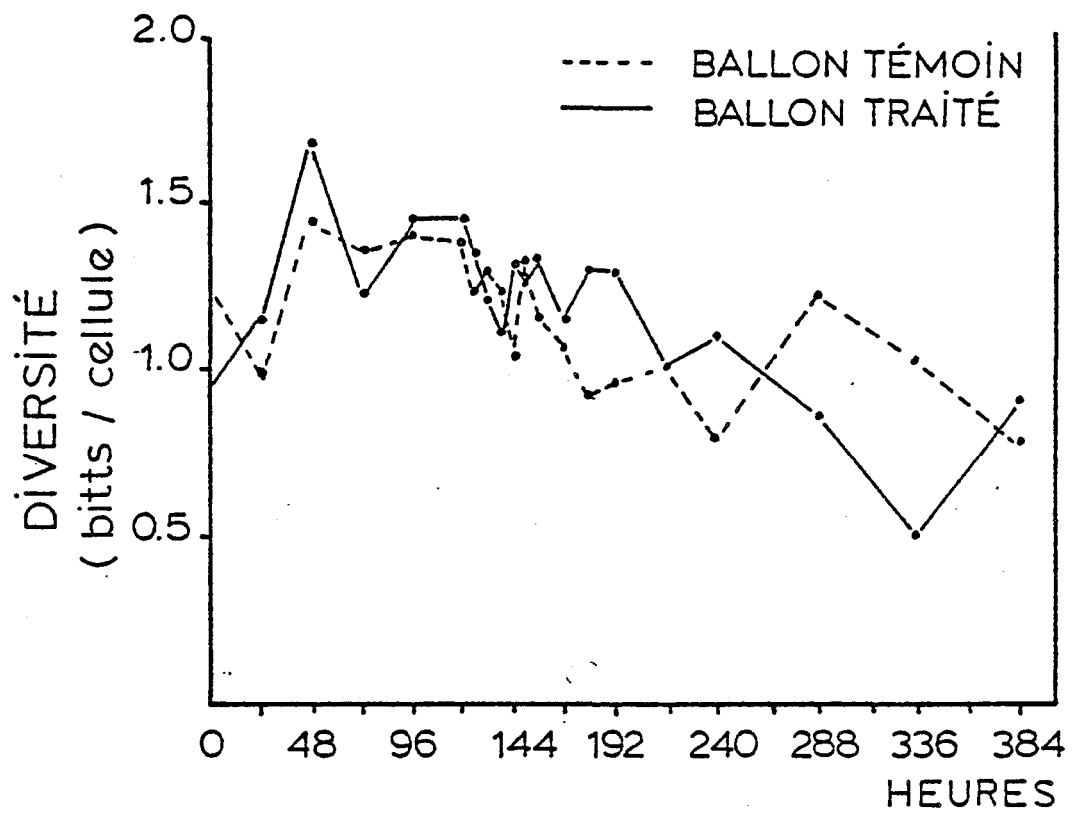


Figure 5. Fluctuations temporelles de la diversité (H) de la communauté planctonique estivale (juillet 1982).

cellule⁻¹ dans le ballon traité. Dans les deux cas, les valeurs maximales sont observées au début de l'expérience (à T_{48}). Durant la période des 120 premières heures (période d'adaptation), les deux ballons évoluent de façon relativement semblable tandis qu'après T_{120} , il existe une nette divergence dans les fluctuations temporelles des deux ballons. Les indices de diversité du ballon traité sont en général toujours plus élevés que ceux du ballon témoin.

La figure 6 nous présente les fluctuations temporelles de la densité des trois principales espèces de diatomées, soit *Tabellaria fenestrata* (Lyngb) Kützing, *Asterionella formosa* Hassall et *Melosira ambigua* (Grun.) O. Müller et des microflagellés. Dans le ballon témoin, les espèces *T. fenestrata* et *A. formosa* (fig. 6A) montrent durant les 120 premières heures, des densités maximales respectives de $10^{3,6}$ et $10^{3,3}$ cellules·ml⁻¹. Durant la période de T_{120} à T_{240} , les fluctuations de ces deux espèces sont très accentuées et c'est aussi durant cette période que les densités y sont minimales, soit $10^{1,8}$ cellules·ml⁻¹ pour *T. fenestrata* et $10^{1,9}$ cellules·ml⁻¹ pour *A. formosa*. Durant cette période de fluctuations plus accentuées, les deux espèces évoluent d'ailleurs de façon inverse. Par la suite, à partir de T_{240} , *T. fenestrata* augmente de façon très marquée jusqu'à T_{336} ($10^{3,4}$ cellules·ml⁻¹) et diminue légèrement par la suite, tandis que la densité de *A. formosa* est relativement plus faible et oscille entre $10^{1,9}$ et $10^{2,6}$ cellules·ml⁻¹. Dans le ballon traité (fig. 6B) les densités de *T. fenestrata* et *A. formosa* sont relativement stables durant les 120 premières heures d'incubation et varient entre $10^{2,8}$

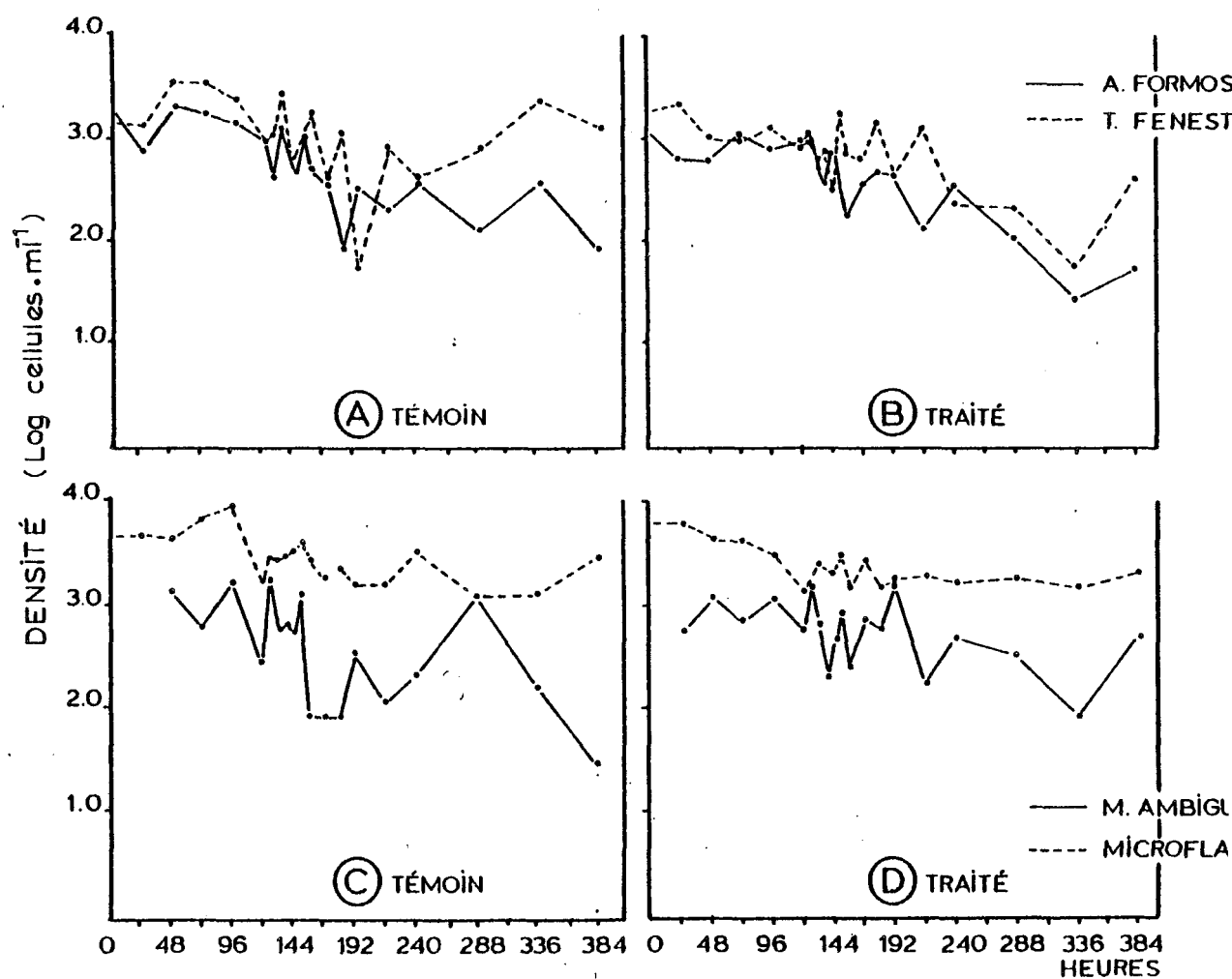


Figure 6. Fluctuations temporelles de la densité de *Melosira ambigua*, *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* et des microflagellés dans la communauté planctonique estivale (juillet 1982). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.

et $10^{3,1}$ cellules·mL⁻¹. Durant la période de T_{120} à T_{240} , les fluctuations temporelles sont également très accentuées mais les densités moyennes sont cependant plus élevées que celles du ballon témoin. A partir de T_{240} (salinité de $22,8$ ‰), les deux espèces diminuent considérablement jusqu'à T_{336} (salinité de 26 ‰) où elles présentent leur densité minimale avec $10^{1,8}$ cellules·mL⁻¹ pour *T. fenestrata* et $10^{1,4}$ cellules·mL⁻¹ pour *A. formosa*. Durant les 48 dernières heures (de T_{336} à T_{384}), la salinité demeurant stable à 26 ‰, les deux espèces deviennent nettement plus denses.

Par ailleurs, l'espèce *M. ambigua* présente de très fortes fluctuations temporelles durant toute la durée de l'expérience et ce, tant dans le ballon témoin (fig. 6C) que dans le ballon traité (fig. 6D). Dans le ballon témoin, les densités oscillent entre $10^{1,4}$ et $10^{3,3}$, les valeurs maximales étant plutôt observées au début de l'expérience. Dans le ballon traité, les fluctuations sont généralement faibles durant la période d'adaptation (de T_0 à T_{120}) et les densités sont de l'ordre de $10^{2,8}$ à $10^{3,1}$ cellules·mL⁻¹ tandis que durant la période de T_{120} à T_{216} (correspondant à une augmentation de salinité de 0 à 21 ‰) les fluctuations temporelles sont relativement plus accentuées et les densités sont maximales avec $10^{3,2}$ cellules·mL⁻¹. Lorsque la salinité augmente jusqu'à 26 ‰ (T_{216} à T_{336}), l'espèce est généralement moins dense et

présente un minimum de $10^{1,9}$ cellules·mℓ⁻¹ à T₃₃₆. Par la suite, la salinité demeurant constante à 26 ‰, la densité de l'espèce augmente jusqu'à $10^{2,7}$ cellules·mℓ⁻¹.

Les densités des microflagellés varient entre $10^{3,1}$ et $10^{3,9}$ cellules·mℓ⁻¹ dans le ballon témoin (fig. 6C) et entre $10^{3,2}$ et $10^{3,7}$ cellules·mℓ⁻¹ dans le ballon traité (fig. 6D); dans les deux ballons, le maximum de densité est observé au début de l'expérience. Comparativement aux fluctuations observées chez les diatomées, celles des microflagellés sont relativement plus faibles. L'examen de la figure 6D nous montre que durant la période de T₁₃₂ à T₁₈₀ où la salinité augmente rapidement de 0 à 15,6 ‰ les densités des microflagellés présentent de légères fluctuations tandis que durant la dernière moitié de l'expérience (de T₁₈₀ à T₃₈₄) où la salinité augmente jusqu'à 26 ‰, les densités se caractérisent par une stabilité relativement grande (environ $10^{3,2}$ cellules·mℓ⁻¹).

Communauté phytoplanctonique automnale

Rappelons que pour cette série d'expériences, des erreurs expérimentales ne nous ont pas permis d'effectuer plus de 2 prélèvements pendant la période d'adaptation de 72 heures et les valeurs à T_0 sont la moyenne de ces deux données.

A la figure 7, nous avons présenté l'évolution temporelle de la salinité dans le ballon traité. Durant les 126 premières heures, la salinité augmente rapidement et elle atteint $16,5 \text{ }^\circ/\infty$. Par la suite l'augmentation s'effectue avec beaucoup moins d'acuité et nous enregistrons une salinité maximale de $20 \text{ }^\circ/\infty$ après 246 heures d'incubation. Durant la période de T_{246} à T_{342} , la salinité est constante à $20 \text{ }^\circ/\infty$.

4.1.3 Chlorophylle α et production primaire

Dans le ballon témoin (fig. 8), les teneurs en chlorophylle α fluctuent de façon marquée durant la période T_0 à T_{72} tout en présentant de façon générale une certaine diminution; les valeurs passent de $10^{0,6} \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (à T_0) à $10^{0,45} \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ à T_{72} . A partir de T_{72} , la chlorophylle α augmente de façon évidente jusqu'à la fin de l'expérience et à T_{342} , sa teneur est aussi élevée que $10^{0,85} \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dans le ballon traité, la variabilité temporelle est également importante dans la première moitié de l'expérience (durant les 174 premières heures

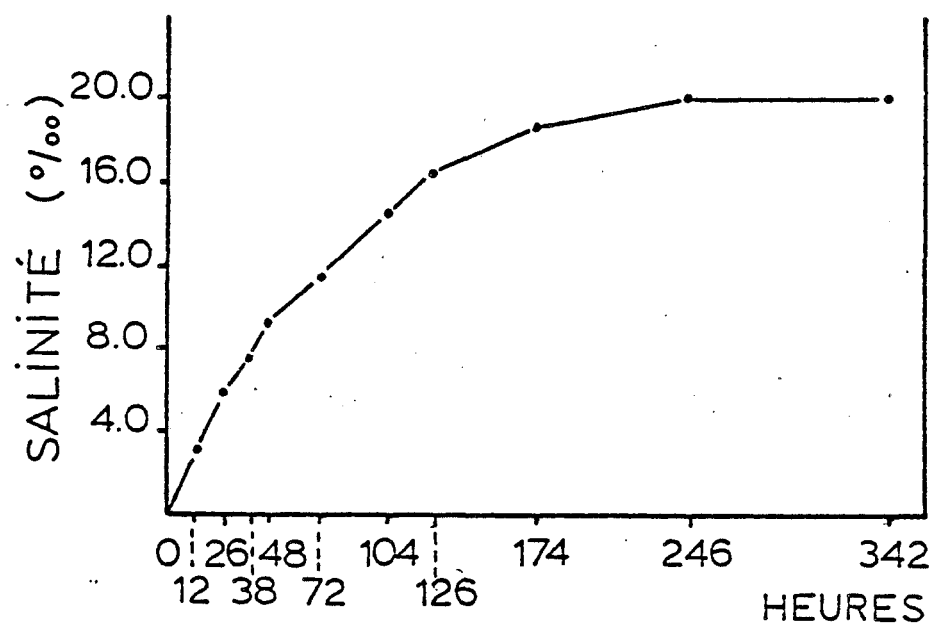


Figure 7. Variabilité temporelle de la salinité dans le ballon traité lors de l'expérience de décembre 1981. La période d'adaptation de 72h n'est pas considérée dans l'abscisse.

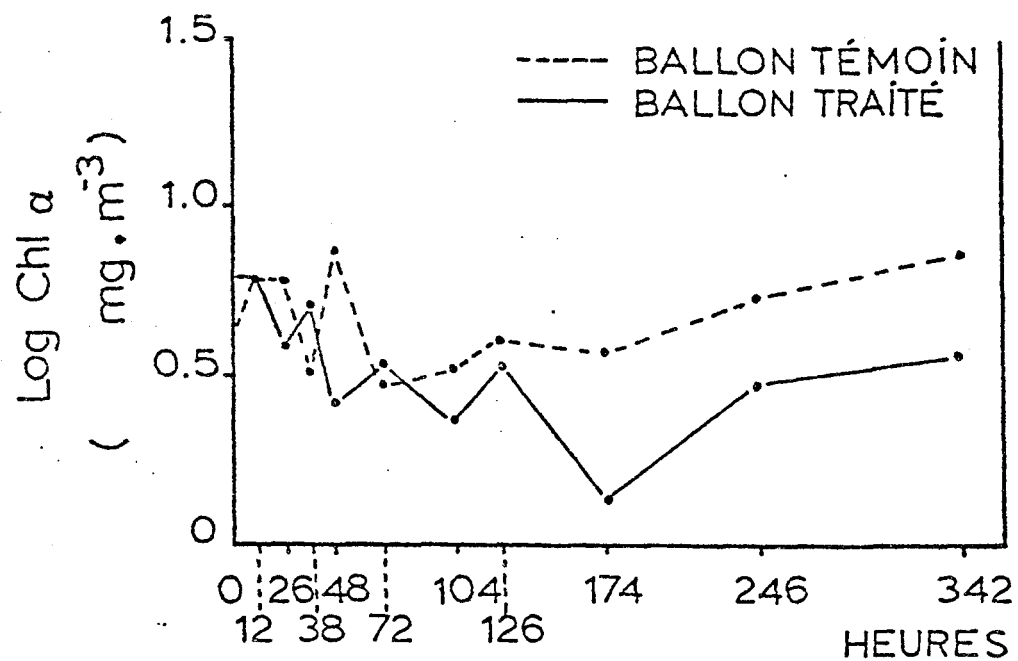


Figure 8. Fluctuations temporelles de la chlorophylle a de la communauté planctonique automnale (décembre 1981). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.

où la salinité passe de 0 à 18,5 ‰ et durant cette période, les valeurs de biomasse phytoplanctonique diminuent de façon marquée, soit de $10^{0,8} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (à T_0) à $10^{0,1} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (à T_{174}). Par la suite la chlorophylle a devient plus abondante jusqu'à la fin de l'expérience et présente une concentration de $10^{0,54} \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ à T_{342} ; l'augmentation est toutefois rapide entre T_{174} et T_{246} (où la salinité passe de 18,4 à 20 ‰).

Les taux de production primaire (fig. 9) dans le ballon témoin se caractérisent par de grandes fluctuations temporelles durant les 72 premières heures et les valeurs oscillent entre $10^{0,2}$ et $10^{1,0} \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. Après cette période de grandes fluctuations, les valeurs diminuent graduellement jusqu'à T_{246} (valeur de $10^{0,3} \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) et présentent une valeur de $10^{0,6} \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ à T_{342} . Dans le ballon traité, les fluctuations sont très considérables durant les 174 premières heures et les valeurs varient brusquement entre $10^{0,3}$ et $10^{1,1} \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$. A partir de T_{174} (correspondant à une salinité de 18,4 ‰), les taux de production primaire augmentent rapidement jusqu'à la fin de l'expérience ($10^{1,4} \text{ mgC} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ à T_{342}).

Dans le ballon témoin, nous n'observons aucune corrélation significative impliquant les teneurs en chlorophylle a et les taux de production primaire; dans le ballon traité, seules les teneurs en

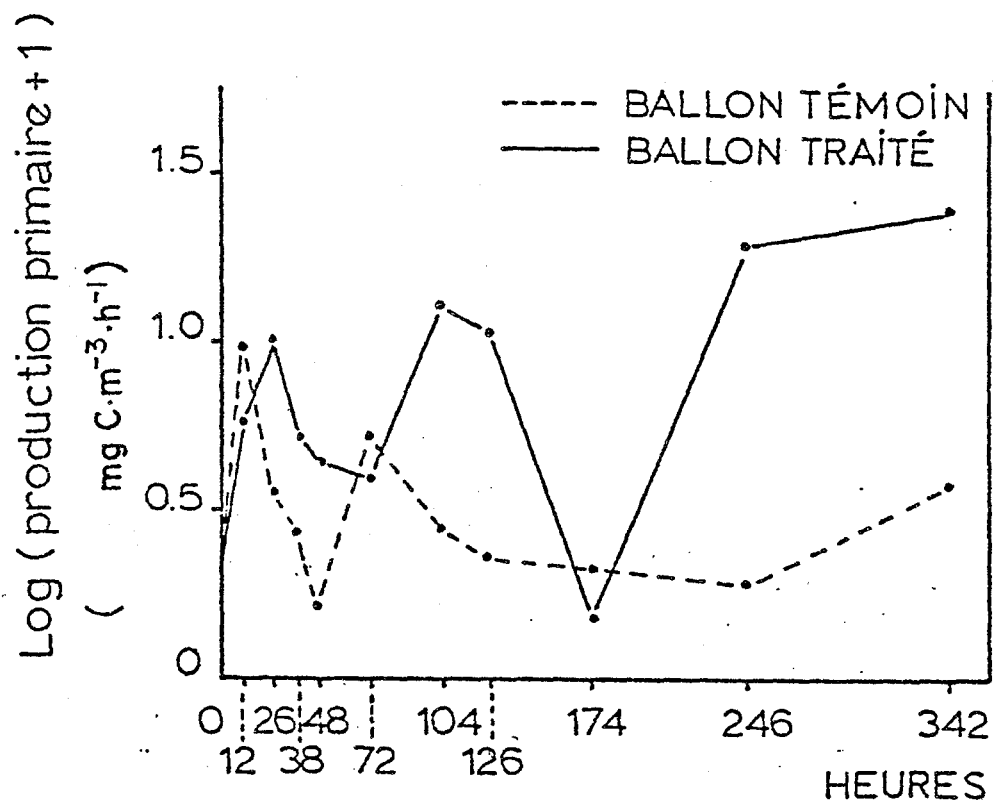


Figure 9. Fluctuations temporelles des taux de production primaire de la communauté planctonique automnale (décembre 1981). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.

chlorophylle α sont corrélées significativement avec la salinité ($r = -0,70$, $p < 0,01$) et avec les silicates ($r = -0,77$, $p < 0,01$).

En examinant les fluctuations temporelles des rapports P/B des deux ballons de culture (fig. 10), nous observons une très grande analogie entre ces fluctuations et celles des taux de production primaire. En effet, les coefficients de corrélation entre ces deux séries de données sont de 0,93 et 0,94, $p < 0,01$ respectivement pour le ballon traité et pour le ballon témoin. Dans les deux ballons, la chlorophylle α ne présente aucune relation significative avec les rapports P/B.

4.1.4 Indices de diversité et densité cellulaire

Les indices de diversité de la communauté témoin (fig. 11) varient de façon marquée durant les 104 premières heures d'incubation; les valeurs varient entre 0,80 et 1,15 bitt·cellule⁻¹. Par la suite, les variations temporelles sont relativement plus faibles et varient entre 0,73 et 0,82 bitt·cellule⁻¹. Dans la communauté traitée, les indices de diversité augmentent légèrement dans les 72 premières heures (0,72 bitt·cellule⁻¹ à T_0 et 0,93 bitt·cellule⁻¹ à T_{72}) et diminuent plus ou moins régulièrement jusqu'à la fin de l'expérience (valeur minimale de 0,47 bitt·cellule⁻¹ à T_{246}).

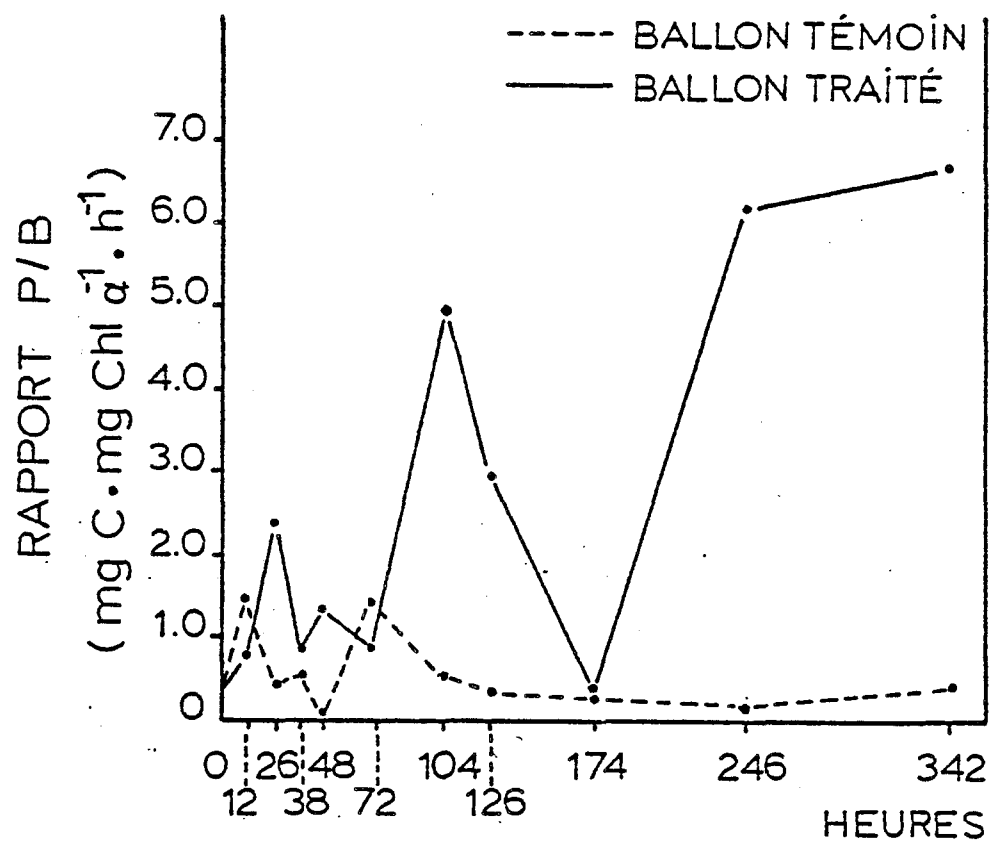


Figure 10. Fluctuations temporelles des rapports P/B (Production/Biomasse) de la communauté planctonique automnale (décembre 1981).

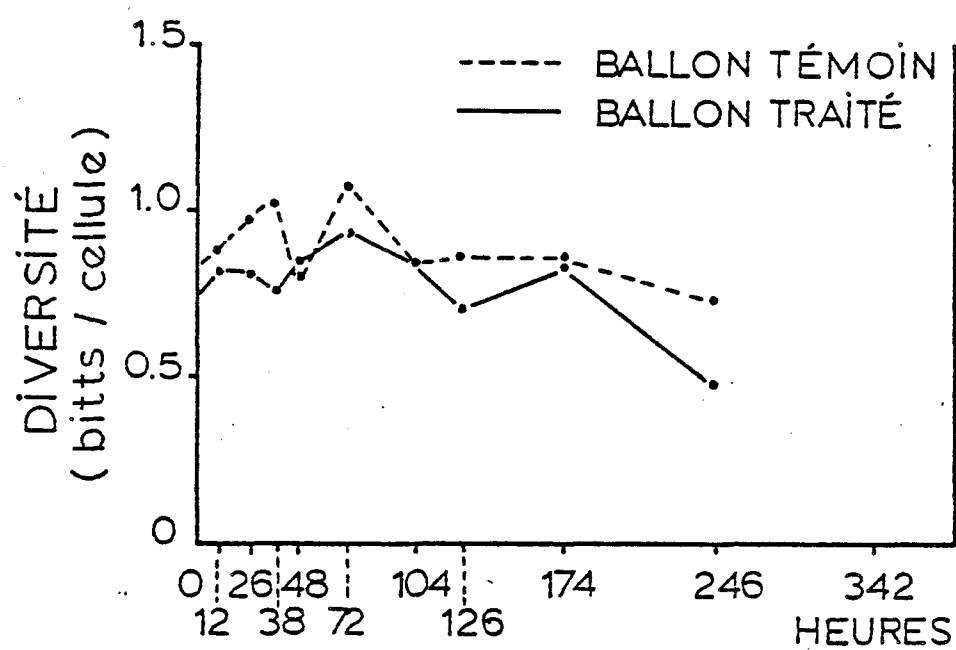


Figure 11. Fluctuations temporelles de la diversité (H) de la communauté planctonique automnale (décembre 1981).

Nous avons tracé à la figure 12, la variabilité temporelle des trois principales espèces de diatomées. Nous constatons que l'espèce *Tabellaria fenestrata* (Lungb) Kützing est la plus abondante tant dans le ballon témoin (fig. 12A) que dans le ballon traité (fig. 12B); les densités oscillent entre $10^{3,6}$ et $10^{4,3}$ cellules·ml⁻¹. Sur le plan temporel, l'espèce fluctue généralement peu dans le ballon traité tandis que dans le ballon témoin, les fluctuations sont un peu plus marquées. Par ailleurs, dans le ballon témoin l'espèce *Asterionella formosa* Hassall augmente légèrement du début à la fin de l'expérience et sa densité varie entre $10^{3,4}$ et $10^{3,7}$ cellules·ml⁻¹ tandis que l'espèce *Melosira islandica* O. Müller présente une nette diminution au cours de l'expérience et sa densité passe de $10^{3,8}$ cellules·ml⁻¹ (à T₀) à $10^{2,1}$ cellules·ml⁻¹ à T₂₄₆. Pour cette dernière espèce, les fluctuations temporelles sont particulièrement plus marquées durant les 48 premières heures. Dans le ballon traité (fig. 12B), les espèces *A. formosa* Hassall et *M. islandica* O. Müller se caractérisent par un parallélisme relativement grand et de façon plus évidente à partir de T₄₈ (où la salinité est de 9,2 ‰). En dépit d'une augmentation de salinité jusqu'à 20 ‰, les fluctuations temporelles sont très faibles jusqu'à la fin de l'expérience et leurs densités varient entre $10^{3,5}$ et $10^{3,0}$ cellules·ml⁻¹.

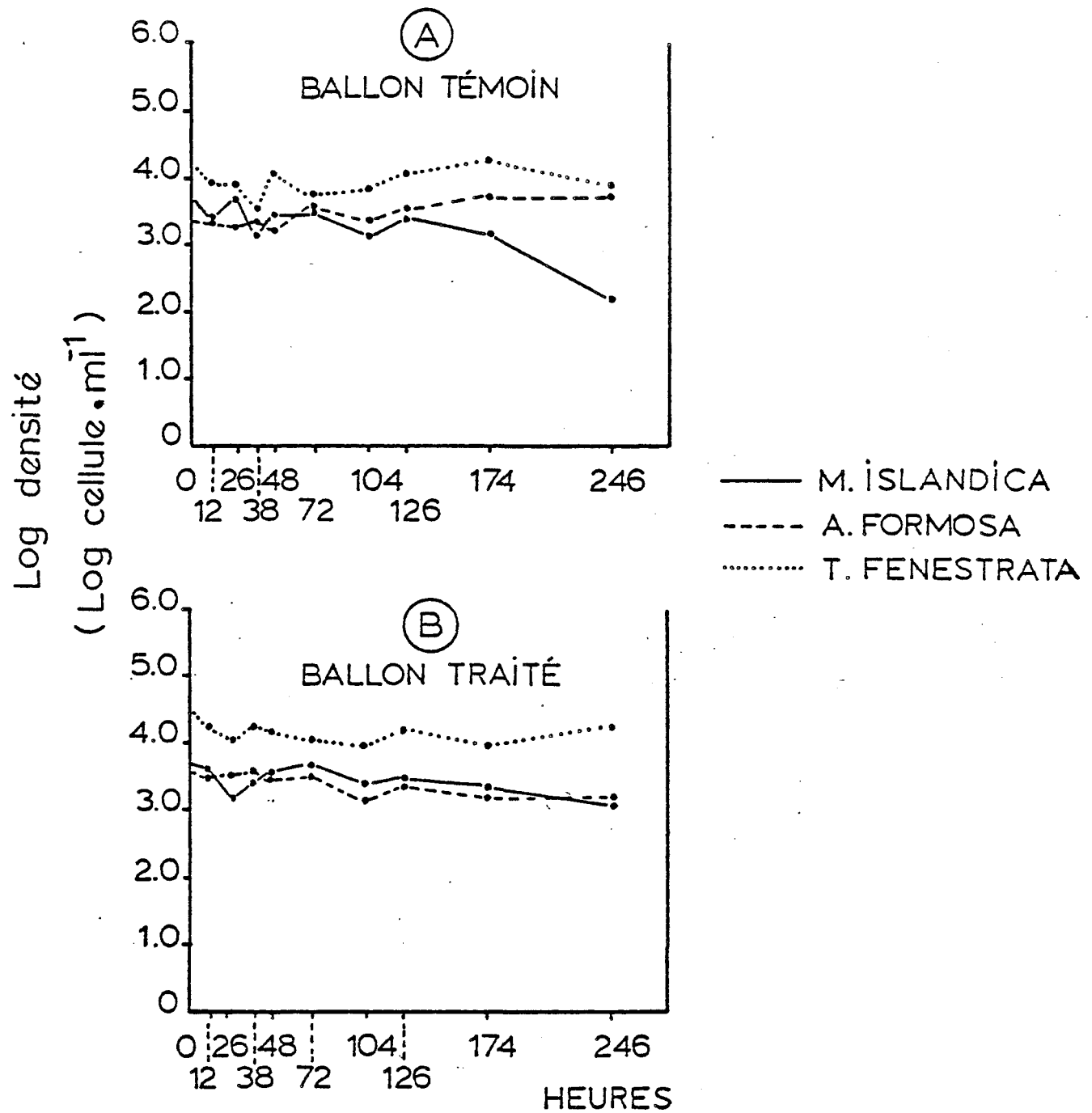


Figure 12. Fluctuations temporelles de la densité de *Melosira islandica*, *Asterionella formosa* et *Tabellaria fenestrata* dans la communauté planctonique automnale (décembre 1981). Les valeurs sont exprimées dans l'échelle logarithmique.

4.2 DISCUSSION

Communauté estivale (juillet)

L'analyse des présents résultats nous révèle que le phytoplancton d'eau douce du Saguenay est capable de photosynthèse même s'il est soumis à de fortes variations de salinité. En effet, durant la période de T_{132} à T_{180} où la salinité dans le ballon traité augmente presque à $16\text{ }^{\circ}/_{\infty}$, nous remarquons que la biomasse phytoplanctonique (fig. 2) et la production : (fig. 3) sont plus élevées dans le ballon traité que dans le ballon témoin; si l'on en juge par les hauts rapports P/B (fig. 4) enregistrés durant cette période, nous pouvons affirmer que les cellules sont en très bonnes conditions physiologiques. Aux salinités plus élevées (de 16 à $23\text{ }^{\circ}/_{\infty}$), les taux de production primaire (fig. 4) accusent des diminutions très prononcées et d'ailleurs les fluctuations temporelles des rapports P/B (fig. 5) présentent les mêmes tendances. A des valeurs supérieures à $23\text{ }^{\circ}/_{\infty}$, les effets négatifs de la salinité sont très évidents et les taux de production primaire (fig. 3) sont quasiment nuls. Le fait que nous observons dans le ballon traité, durant la période de T_{336} à T_{384} (où la salinité demeure constante à $26\text{ }^{\circ}/_{\infty}$), une augmentation très nette dans les teneurs en chlorophylle α (fig. 2), dans les taux de production primaire (fig. 3) et dans les indices de diversité (fig. 5) nous laisse croire que la vitesse des variations de salinité à laquelle les

organismes du phytoplancton sont soumis pourrait s'ajouter aux effets osmotiques de la salinité elle-même.

Par ailleurs, les fortes fluctuations observées dans l'évolution temporelle des divers paramètres et de façon particulièrement plus marquée durant la période de T_{132} à T_{192} sont possiblement attribuables à l'augmentation du taux de dilution du milieu de culture (de l'ordre de 20%) qui est due à la haute fréquence d'échantillonnage d'aliquotes durant cette période comme l'ont d'ailleurs déjà observé Turpin & Harrison (1979) et Dunstan & Menzel (1971) dans leurs travaux respectifs.

D'autre part, en examinant individuellement les composantes de la communauté phytoplanctonique (fig. 6), nous constatons que les espèces *A. formosa* et *T. fenestrata* sont presque toujours plus denses dans le ballon témoin que dans le ballon traité et ce, avec beaucoup plus d'acuité lorsque la salinité est supérieure à 20 ‰. D'ailleurs, les forts coefficients de corrélation négative existant entre la densité de ces espèces et la salinité (-0,83 et -0,64, $p < 0,01$ respectivement pour *A. formosa* et *T. fenestrata*) confirme l'influence que joue la salinité sur la croissance de ces algues planctoniques. En dépit de fortes fluctuations temporelles durant toute la durée de l'expérience, l'espèce *M. ambigua* (fig. 6C et 6D)

présente une densité relativement élevée dans le ballon traité et par voie de conséquence, semble être peu affectée par la salinité. Le coefficient de corrélation entre la densité de cette espèce et la salinité est faible et non significatif. Pour leur part, les microflagellés sont relativement abondants durant toute l'expérience (densité variant entre $10^{3,2}$ et $10^{3,7}$ cellules·mL⁻¹ dans le ballon traité) (fig. 6) mais tout de même un peu plus faibles que les densités du ballon témoin et leur coefficient de corrélation avec la salinité n'est que de -0,55, $p < 0,05$.

En définitive, la communauté phytoplanctonique estivale du Saguenay semble donc être en mesure de s'adapter aux salinités inférieures à 20 ‰ sans changements majeurs dans sa structure, sa biomasse et sa productivité. A des salinités supérieures, la communauté subit des modifications importantes tant au niveau de sa structure qu'au niveau de sa capacité photosynthétique.

Communauté automnale (décembre)

Dans la communauté automnale, nous remarquons également que les différentes espèces phytoplanctoniques se caractérisent par une certaine tolérance à la salinité; les taux de production primaire sont en général nettement plus élevés dans le ballon traité que dans le ballon témoin (fig. 9) même si les biomasses phytoplanctoniques

y sont plus faibles (fig. 8). Tel que reflété par les hauts rapports P/B du ballon traité, par comparaison avec ceux du ballon témoin (fig. 10), les cellules semblent donc être en très bonnes conditions physiologiques. Le coefficient de corrélation entre les teneurs en chlorophylle α du ballon traité et la salinité est de $-0,70$, $p < 0,05$ tandis que la relation production primaire vs salinité n'est pas significative.

A l'instar de la communauté estivale, c'est *A. formosa* qui semble être le plus affecté par la salinité. Les densités du ballon traité sont plus faibles que celles du ballon témoin (fig. 12) et d'ailleurs le coefficient de corrélation entre les densités et la salinité est aussi élevé que $-0,85$, $p < 0,01$. Avec les espèces *M. islandica* et *T. fenestrata*, la relation est également négative mais relativement plus faible et les coefficients de corrélation sont respectivement de $-0,66$ et $-0,64$, $p < 0,01$.

En conclusion, les données de ces deux séries d'expérience nous donnent des résultats comparables. Les différences dans la composition des milieux de culture et dans la température d'incubation entre les deux séries ne semblent donc pas avoir eu d'effets importants. Les grandes fluctuations temporelles observées dans les divers paramètres lors de ces deux expériences sont comparables à celles que

nous notons dans la littérature (v.g. Harrison & Davis 1979; Dunstan & Menzel 1971; Turpin & Harrison 1979) et sont probablement attribuables aux fortes variations dans les taux de dilution, dans les éléments nutritifs et aussi dans les concentrations de matière organique libérée par le phytoplancton. Nos données ne nous permettent malheureusement pas d'estimer l'ampleur de ce dernier paramètre.

A l'instar d'autres travaux traitant de la résistance des communautés phytoplanctoniques d'eau douce à la salinité (v.g. Wetherell 1961; Vosjan & Siezen 1968; Cleave *et al.* 1981) nous avons donc démontré que les algues d'eau douce peuvent, dans certaines conditions, résister à une augmentation considérable de la salinité. De telles conclusions sont très vraisemblables si nous considérons les résultats d'une étude parallèle que nous avons effectuée à des stations dans le fjord du Saguenay et qui montre que ces espèces de diatomées se rencontrent souvent dans des eaux à salinité supérieure à 20 ‰. De plus, l'examen des travaux de Cardinal & Lafleur (1977) révèle que les diatomées étudiées dans ce travail se retrouvent même dans l'estuaire maritime du St-Laurent où la salinité de surface est supérieure à 26 ‰. Une telle adaptation des algues d'eau douce face à la grande variabilité spatio-temporelle de la salinité dans le fjord du Saguenay (Côté & Lacroix, 1978) confère à ce milieu estuarien une particularité océanographique importante sur le plan de la productivité biologique.

Chapitre V
CONCLUSION GÉNÉRALE

L'étude des données des chapitres précédents montre que les communautés phytoplanctoniques que l'on retrouve dans le fjord du Saguenay sont particulièrement résistantes aux variations de salinité. En effet, entre les stations des parties amont (DR-151) et centrale (DR-290) du fjord, la salinité n'a pas d'effet significatif sur les teneurs en chlorophylle *a* des communautés phytoplanctoniques. C'est la température qui semble contrôler de façon plus marquée les teneurs en chlorophylle *a* de ces communautés tandis que les concentrations des éléments nutritifs ont un effet un peu moins accentué mais tout de même significatif. Entre les stations des parties centrale (DR-290) et aval (DR-400A), la salinité a un effet nettement plus important sur les teneurs en chlorophylle *a* des communautés tandis que l'effet de la température demeure toujours aussi important sur les teneurs en chlorophylle *a* et les taux de production primaire des communautés. Nos données ne permettent cependant pas de mettre aussi clairement en évidence l'effet de la salinité sur la production primaire des communautés phytoplanctoniques mais il est permis de penser qu'il pourrait aussi être plus important qu'entre les deux stations précédentes (DR-151 et DR-290).

Nos données montrent également que les diatomées d'eau douce *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* et *Melosira* sp. sont des espèces relativement résistantes à l'augmentation de salinité. De

plus, la présence d'espèces saumâtres et/ou marines (*M. monoliformis* et *Chaetoceros spp.*) dans les communautés de la partie aval du fjord leur permettent de demeurer productives même aux salinités élevées.

Les expériences en laboratoire viennent confirmer la résistance des communautés d'eau douce du Saguenay aux variations de salinité, les diatomées d'eau douce *A. formosa*, *T. fenestrata* en plus de deux espèces du genre *Melosira* s'avérant les plus résistantes de la communauté. La comparaison du comportement des communautés *in vitro* et *in situ* doit cependant être faite avec prudence en raison des paramètres maintenus constants en culture (température, concentrations des éléments nutritifs) et qui sont très variables en milieu naturel.

Nous constatons donc que les espèces phytoplanctoniques d'eau douce qui pénètrent dans le fjord du Saguenay sont relativement résistantes aux variations de salinité et que leur productivité est plutôt contrôlée par un ensemble de facteurs physico-chimiques parmi lesquels la salinité ne joue pas toujours le rôle le plus important. Ces espèces phytoplanctoniques démontrent donc les caractéristiques écologiques et physiologiques nécessaires pour survivre dans le fjord du Saguenay.

Nous espérons, grâce à ces travaux et à ceux qui sont présentement en cours, mieux comprendre les divers mécanismes qui sous-tendent la productivité primaire de ce fjord subarctique qu'est le Saguenay.

BIBLIOGRAPHIE

- APHA, AWWA, WPCF 1975. Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th edition. American public health association. Washington. 1193 p.
- BONIN, D.J., S.Y. MAESTRINI and J.W. LEFTLEY. 1981. Some processes and physical factors that affect the ability of individual species of algae to compete for nutrient partition. P. 292-309. In T. Platt. Physiological bases of phytoplankton ecology. Can. Bull. Fish. and Aquat. Sci., no 210.
- CAMERON, W.M. and D.W. PRITCHARD. 1963. Estuaries. P. 306-324. In H.W. Hill. The Sea: Ideas and observations on progress in the study on the seas. Interscience publishers. New York.
- CANADA, Pêches et Environnement 1981. Tables des marées et des courants du Canada. Service des pêches et de la mer, 3: 1-55.
- CARDINAL, A. et P.E. LAFLEUR. 1977. Le phytoplancton estival de l'estuaire maritime du St-Laurent. Soc. phycol. de France. Bull. no 22: 150-160.
- CLEAVE, M.L., D.B. PORCELLA and V. DEAN ADAMS, 1981. The application of batch bioassay technique to the study of salinity toxicity to freshwater phytoplankton. Water research 15: 573-584.
- COTE, R. 1983. Aspects toxiques du cuivre sur la biomasse et la productivité du phytoplancton de la rivière Saguenay, Québec. Hydrobiologia. 98: 85-95.
- COTE, R. 1981. Variations saisonnières de la production primaire dans les eaux de surface de la rivière du Saguenay. Hydrobiologia, 83: 3-10.

- COTE, R. 1977. Aspects dynamiques de la production primaire dans le Saguenay fjord subarctique du Québec. Thèse de doctorat. Université Laval. 194 p.
- COTE, R. et G. LACROIX. 1979a. Variabilité journalière de la chlorophylle a et des taux de production primaire dans le fjord du Saguenay. *Naturaliste can.*, 106: 189-198.
- COTE, R. et G. LACROIX. 1979b. Influence des débits élevés et variables d'eau douce sur le régime saisonnier de production primaire d'un fjord subarctique. *Oceanol. Acta*, 2: 299-306.
- COTE, R. et G. LACROIX. 1978a. Variabilité à court terme des propriétés physiques, chimiques et biologiques du Saguenay, fjord subarctique du Québec (Canada). *Int. Rev. Gesamten. Hydrobiol.* 63: 25-29.
- COTE, R. et G. LACROIX. 1978b. Capacité photosynthétique du phytoplancton de la couche aphotique dans le fjord du Saguenay. *Int. Rev. Gesamten. Hydrobiol.* 68: 223-246.
- D'ANGLEJAN, B.F. 1970. Studies on particulate suspended matter in the gulf of St. Lawrence. MS Rep. Mar. Sci. Centre McGill Univ., 17, 51 p.
- DEVEAUX, J. 1975. Succession écologique, diversité spécifique et production primaire dans un lac oligotrophe d'Auvergne (France). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19: 1165-1171.
- DRAINVILLE, G. 1968. Le fjord du Saguenay: 1. Contribution à l'océanographie. *Naturaliste can.*, 95: 809-855.
- DUNSTAN, W.M. & D.W. MENZEL. 1971. Continuous cultures of natural populations of phytoplankton in dilute treated sewage effluent. *Limnol. Oceanogr.*, 16: 623-632.
- FORRESTER, W.D. 1974. Internal tides in the St. Lawrence estuary. *J. Mar. Res.* 32: 55-66.
- GERRATH, J., J.C. ROFF and J.T. ANDERSON. 1980. Phytoplankton of freshwater origins in Hudson Bay. *Nova Hedwigia J. of Cryptogamic Sci.* 32: 167-184.

- GUILLARD, R.R.L. 1973. Division rates. p. 289-358. In: J.R. Stein. Handbook of phycological methods: Culture methods and growth measurements. Cambridge University Press. New York.
- GUILLARD, R.R.L. 1962. Salt and osmotic balance. p. 529-540. In: R.A. Lewin. Physiology and biochemistry of algae. Academic Press. New York.
- GULLARD, R.R.L. and J.H. RYTHER. 1962. Studies on marine planktonic diatoms: I. *Cyclotella nana* (Lustedt) and *Denotula confervacea*. Can. J. microbiol., 8: 229-239.
- GUTKNECHT, J. and J. DAINITY. 1968. Ionic relations of marine algae. Ocean. mar. biol. ann. rev., 6: 163-200.
- HELLEBUTS, J. 1976. Osmoregulation. Ann. rev. plant. physiol., 27: 485-505.
- INGRAM, R.G. 1975. Influence of tidal-induced vertical mixing on primary productivity in the St. Lawrence estuary. Mem. Soc. R. Sci. Liege 6: 59-74.
- JONES, G.H. *et al.* 1979. Productivité biologique des eaux du Lac St-Jean. Rapp. sci. 76 INRS-Eau. Univ. Québec. 641 p.
- JONES, K.J. *et al.* 1978. Investigation of a nutrient growth model using a continuous culture of natural phytoplankton. J. mar. biol. ass. U.K.. 58: 923-941.
- MAHONEY, J.B. and J.J.A. McLAUGHLIN. 1979. Salinity influence on the ecology of phytoflagellates blooms in lower New York bay and adjacent waters. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 37: 213-223.
- MARGALEF, R. 1968. Perspectives in ecological theory. University of Chicago press. London. 111 p.

- MICKELSON, M.J., H. MASKE and R.C. DUGDALE. 1979. Nutrient determined dominance in multispecies chemostat culture of diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 24: 298-315.
- NAKANISHI, M. and M. MONSI. 1965. Effect of variation in salinity on photosynthesis of phytoplankton growing in estuaries. *J. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, 9: 19-42.
- NIEMI, Å. 1982. Dynamics of phytoplankton in the brackishwater inlet Pojoviken southern coast of Finland. *Hydrobiologia*. 86: 33-39.
- PARSONS, T.R., M. TAKAHASHI and B. HARGRAVE. 1977. Biological oceanographic processes. 2nd ed. Pergamon press. New York. 332 p.
- PETERSON, B.J., J.P. BARLOW and A.E. SAVAGE. 1974. The physiological state with respect to phosphorous of Cayuga lake phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 19: 396-408.
- PLATT, T. and B. IRWIN. 1968. Primary productivity measurements in St. Margaret's Bay, 1967. *Can. Fish. Res. Bd. Technical Rept.*, no 77, 123 p.
- RICE, T.R. and R.L. FERGUSON. 1975. Response of estuarine phytoplankton to environmental conditions. P. 1-43. In: J. Vernberg. *Physiological ecology of estuarine organisms*. Univ. of South-Carolina Press. Columbia.
- STRICKLAND, J.D.H. and T.R. PARSONS. 1972. A practical hankbook of seawater analysis. 2nd edition. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167, 310 p.
- STRÖMGREN, T. 1975. Zooplankton diversity in four Norwegian fjords. *Sarsia*. 59: 15-30.
- THERRIAULT, J.C. and G. LACROIX. 1976. Nutrients chlorophyll and internal tides in the St. Lawrence estuary. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 33: 2747-2757.
- THERRIAULT, J.C. and G. LACROIX. 1975. Penetration of the deep layer of the Saguenay fjord by surface waters of the St. Lawrence estuary. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 32: 2373-2377.

- TURPIN, D.H. and P.J. HARRISON. 1979. Limiting nutrient patchiness and its role in phytoplankton ecology. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 39: 151-166.
- VELDKAMP, H. and H.W. JANNASCH. 1972. Mixed culture with the chemostat. *J. appl. chem. biotechnol.*, 22: 105-123.
- VOSJAN, J.G. and R.J. SIEZEN. 1968. Relation between primary production and salinity of algal cultures. *Neth. J. sea. res.*, 4: 11-20.
- WALDICHUK, M. 1957. Physical oceanography of the Strait of Georgia, B.C. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 14: 321-486.
- WETHERELL, D.F. 1961. Culture of freshwater algae in enriched natural seawater. *Physiol. plant.*, 14: 1-6.