

Distribution spatio-temporelle du phytoplancton et du zooplancton dans le lac Saint-Jean (Québec), un réservoir hydroélectrique

Spatio-temporal distribution of phytoplankton and zooplankton in lake Saint-Jean (Quebec), a hydroelectric reservoir

R. Côté, D. Bussières and P. Desgagnés

Volume 15, Number 3, 2002

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/705471ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/705471ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (print)

1718-8598 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Côté, R., Bussières, D. & Desgagnés, P. (2002). Distribution spatio-temporelle du phytoplancton et du zooplancton dans le lac Saint-Jean (Québec), un réservoir hydroélectrique. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 15(3), 597–614. <https://doi.org/10.7202/705471ar>

Article abstract

The lake Saint-Jean is well known to fishermen and renowned for its freshwater salmon (*Salmo salar*). Of its 21 tributaries, three provide about 75% of its water; they are the Peribonka, the Mistassini and the Ashuapmushuan rivers. Although it is the fifth largest lake in the province of Quebec, its water is renewed four to five times a year; about a quarter of its 1 053 km² area is only 3 m deep, with a maximum depth of 63 m in the middle. This kind of shallow lake is very sensitive to winds.

The present study looked at the spatial and temporal variability of phytoplankton and zooplankton; ten stations were distributed over the whole lake (Figure 1 and Table 1) and water samples were taken at different depths (1, 2, 5, 10, 15 and 20 m when possible) from June to October 1997. Several physicochemical parameters were measured; phytoplankton and zooplankton samples were collected as well and the main species were identified and counted. The mean surface water temperature was 16  C compared to the average of the 1, 2 and 5 m data of 15 C and the deep layer (10, 15 and 20 m) of 13 C; from mid-August to mid-October, the water temperature is the same at all depths because of very good mixing due to the strong winds. Referring to the same layers, the mean values of chlorophyll a for the study period were 1.6, 1.3 and 0.6 mg m⁻³. For the early June sampling, values of chlorophyll a varied from 0.6 to 1.9 mg m⁻³. As for July and August, values between 3 and 4 mg m⁻³ were recorded; the overall mean of chlorophyll a was 1.3 mg m⁻³. The correlation coefficient between chlorophyll a and the temperature, for all data, was 0.56 (p<0.01). As stated before, a very good mixing of the upper water layer is encountered, bringing the phytoplankton to depths below the photic layer evaluated at about 4 m; such conditions of light limitation do not foster a good photosynthetic activity.

Nitrates and orthophosphates were always low during the study, respectively lower than 0.8 mg L⁻¹ and between 0.1 and 0.2 mg L⁻¹. Linear or exponential regression (Figure 5) between the sum of nitrites and nitrates and chlorophyll a gave correlation coefficients of -0.48 or -0.52 (p<0.01), suggesting a decrease in inorganic nitrogen caused by photosynthetic activity. Of the 26 species of phytoplankton identified with dimensions above 20  m (Table 2), only two dominated during the study period; these were the diatoms *Asterionella formosa* and *Tabellaria flocculosa* with an occurrence between 72 and 87% for the former and between 11 and 24% for the latter. The geographical variability is presented (Figure 6A) along with the seasonal and vertical variability. Such distributions likely result from the combination of the inflow from the Peribonka river, the Coriolis effect and the outflow to the Grande-Decharge river.

The main zooplankton present in the lake have a short life cycle; two of the 17 species identified were encountered most of the time, the rotifer *Polyarthra vulgaris* and the protozoan *Codonella cratera* accounting for 10 to 29% and 36 to 72% of those species identified (July to October). The correlation coefficient between these two species was 0.55 (p<0.01) in the first 5 meters of the water column (Figure 8). The reciprocal diversity index (Simpson) varied between 0.63 and 0.97 for the zooplankton community, reflecting the dominance of only few species; such an index was not calculated for the phytoplankton because the nanoplankton (<20  m) was not sampled and is often very important in such systems. However, the dominance of the protozoa and the rotifera, organisms with rather short life cycles (few hours to few days), might have some relation to the hydrodynamics of the ecosystem.

With a thermocline always deeper than the photic layer, the water column is mixed intensively and the phytoplankton is often at depth with little or no light for photosynthetic activity. Based on the low nitrate and chlorophyll a levels, we consider the lake Saint-Jean as oligotrophic. This project was the first systematic study of planktonic populations in the lake and was just a part of a larger study about the distribution and feeding of rainbow smelt (*Osmerus mordax*) larvae. This will be one of the main steps to understand trophic relationships in this ecosystem famous for sport fishing of landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*).

Distribution spatio-temporelle du phytoplancton et du zooplancton dans le lac Saint-Jean (Québec), un réservoir hydroélectrique

Spatio-temporal distribution of phytoplankton and zooplankton in lake Saint-Jean (Quebec), a hydroelectric reservoir

R. CÔTÉ *, D. BUSSIÈRES, P. DESGAGNÉ

Reçu le 15 mai 2000, accepté le 11 mars 2002**.

SUMMARY

The lake Saint-Jean is a hydroelectric reservoir with an area of 1053 km² and a mean depth of 6 m. Its rate of water renewal varies from four to five times per year, of which, two renewals happen during the spring season. From June to October, the photic layer of the lake is about 4 m and the thermocline is always deeper than 20 m. The mean surface water temperature is 16°C. Nutrient phosphate and nitrate levels are very low during the entire season. The mean concentration of chlorophyll *a* is 1.3 mg·m⁻³ with maxima of 3 to 4 mg·m⁻³. The correlation coefficient between Chl. *a* and the temperature, for all data, is 0.56 ($p < 0.01$).

The phytoplankton community ($> 20 \mu\text{m}$) is composed of about twenty species but it is dominated by the diatoms *Asterionella formosa* and *Tabellaria flocculosa*. These two species account for over 90% of all phytoplankton during the study period (from June to October). Other species such as *Melosira (Aulacoseira) distans*, *M. islandica*, *M. ambigua* (at the beginning of June) and *Anabaena flos aquae* (by mid-July) were relatively important. The zooplankton is composed of 17 species grouped in 4 categories: Copepods, Cladocera, Rotifera and Protozoa. From mid-July, zooplankton is dominated by *Polyarthra vulgaris* and *Codonella cratera*; with a short life cycle, these two species form between 65 and 82% of all zooplanktonic individuals. In the first 5 m of the water column, the correlation coefficient between these two species, for all data, is about 0.55 ($p < 0.01$).

Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, 555, bd de l'Université, Chicoutimi, Québec, Canada, G7H 2B1.

* Correspondance. E-mail : rcote@uqac.ca

** Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 avril 2003.

The spatio-temporal variability of biomass and the distribution of planktonic organisms of the lake Saint-Jean seem to be mainly influenced by the ecosystem hydrodynamics, particularly by the seasonal variations of flow, which affect nutrients and temperature, and by the intense wind mixing that maintains the thermocline trapped in water deeper than 20 m.

Key-words: lake Saint-Jean, hydroelectric reservoir, phytoplankton, zooplankton.

RÉSUMÉ

Le Lac Saint-Jean est un réservoir hydroélectrique ayant une superficie de 1 053 km² et une profondeur moyenne de 6 m. Ses eaux se renouvellent de quatre à cinq fois par année, dont deux fois durant la saison printanière. Entre juin et octobre, l'épaisseur de la couche photique du lac est environ de 4 m et la thermocline est presque toujours plus profonde que 20 m avec une température moyenne saisonnière de 16 °C. Les éléments nutritifs (phosphates et nitrates) demeurent à un niveau très bas durant toute la saison. Le taux moyen de chlorophylle *a* est de 1,3 mg·m⁻³ avec des valeurs maximales de 3 à 4 mg·m⁻³. Le coefficient de corrélation entre la chl. *a* et la température, pour l'ensemble des données du lac, est de 0,56 ($p < 0,01$).

La communauté phytoplanctonique (> 20 µm) compte environ vingt espèces mais la dominance est assurée seulement par les Diatomées *Asterionella formosa* et *Tabellaria flocculosa*. Ces deux espèces représentent plus de 90 % de tous les organismes entre juin et octobre. D'autres espèces comme *Melosira (Aulacoseira) distans*, *M. islandica* et *M. ambigua* ne sont importantes qu'au début de juin tandis qu'*Anabaena flos-aquae* ne l'est qu'à la mi-juillet. La communauté zooplanctonique regroupe 17 espèces réparties en 4 catégories : Copépodes, Cladocères, Rotifères et Protozoaires. À partir de la mi-juillet, le zooplancton est surtout dominé par le Rotifère *Polyarthra vulgaris* et par le Protozoaire *Codonella cratera*. Ayant des cycles vitaux relativement courts, ces deux espèces forment à elles seules entre 65 et 82 % de tous les individus. Dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau, le coefficient de corrélation entre la densité de ces deux espèces est de 0,55 ($p < 0,01$). La variabilité spatiotemporelle des biomasses et la distribution des organismes planctoniques du lac sont influencées par l'hydrodynamique de l'écosystème, particulièrement par les variations saisonnières du débit qui influent sur les nutriments, la température et également par le brassage intense qui maintient la thermocline à un niveau au-dessous de 20 m.

Mots clés : lac Saint-Jean, réservoir hydroélectrique, phytoplankton, zooplankton.

1 – INTRODUCTION

Le lac Saint-Jean (figure 1) est situé en zone boréale et est considéré comme une véritable mer intérieure de 1 053 km² (~ 43,8 km × 24 km) (LEBLOND, 1976). Cet écosystème joue un rôle important dans le domaine socio-économique de toute la région du Saguenay/Lac Saint-Jean ; il est renommé pour la pêche sportive à la ouananiche (*Salmo salar*), un saumon d'eau douce. Le lac possède 21 tributaires dont les plus importants sont les rivières Péribonka, Mistassini et Ashuapmushuan. À elles seules, ces trois

rivières contribuent à près de 75 % des apports d'eau dans le lac. Le lac est alimenté par un bassin versant d'environ 73 000 km² dont le débit moyen est de 1 467 m³·s⁻¹ avec des valeurs maximales pouvant atteindre 4 500 à 5 000 m³·s⁻¹ en mai et en juin (JONES *et al.*, 1978b). Ces débits sont fortement influencés par l'opération de multiples ouvrages d'emmagasinement pour des fins de production hydroélectrique. Situé à une altitude de 97 m, le lac Saint-Jean est classé comme le cinquième plus grand lac au Québec, malgré une profondeur moyenne relativement faible (~ 6 m) (HÉBERT, 1995). Cependant, 26 % de la superficie du lac Saint-Jean possède moins de 3 m d'eau (JONES *et al.*, 1978b). La particularité hydrographique du lac Saint-Jean est la grande vitesse du renouvellement de ses eaux, soit entre quatre et cinq fois par année, dont deux, durant la saison printanière (JONES *et al.*, 1978a, b).

Plusieurs travaux, notamment ceux de GARNIER *et al.* (1995) et de SEIP et REYNOLDS (1995), ont montré que la production phytoplanctonique d'un plan d'eau est fonction de la température, de la lumière, des nutriments et du brouillage. Aussi, l'étude de SCHULZE *et al.* (1995) a mis en évidence que chaque espèce planctonique possède ses propres conditions optimales de croissance et sa densité est principalement due à l'adaptation des divers organismes face aux paramètres physicochimiques du milieu. Or, dans un écosystème comme le lac Saint-Jean ayant une forme subconique, c'est-à-dire un bassin de faible profondeur ayant en son centre une dépression de faible dimension et très profonde (63 m) par rapport au reste (LEBLOND, 1976), les grands vents engendrent des ondes internes importantes et le renouvellement des eaux est relativement rapide.

Peu de travaux antérieurs concernent l'écologie du phytoplancton et du zooplancton des eaux du lac Saint-Jean. L'étude de CONTANT et DUTHIE (1978) porte uniquement sur la taxinomie du phytoplancton ; pour chacun des 244 taxons retrouvés, les auteurs ont donné le nom de la station et la période où ces taxons ont été échantillonnés de même qu'une illustration et les dimensions de la cellule. Les travaux de BISSON *et al.* (1978) et de OUELLET et JONES (1988) avaient mis en évidence la grande variabilité saisonnière de la chlorophylle *a* ainsi que de quelques paramètres physicochimiques des eaux. LALAN-CETTE (1984) avait étudié l'effet du dragage sur les organismes du zooplancton à quelques stations localisées dans la partie Nord du lac. Aucune étude antérieure ne porte sur la variabilité spatiale et temporelle du phytoplancton et du zooplancton, étudiés simultanément et en considérant l'ensemble du lac. Le présent travail a comme objectif d'étudier la variabilité spatiotemporelle du phytoplancton et du zooplancton du lac Saint-Jean.

2 – MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données de ce travail proviennent de dix stations couvrant toute la superficie du lac Saint-Jean (*figure 1*). Les stations ont été échantillonnées à différents niveaux de la colonne d'eau (1, 2, 5, 10, 15 et 20 m, selon la station), durant la période de juin à octobre 1997. Les coordonnées géographiques et la profondeur maximale des stations apparaissent au tableau 1.

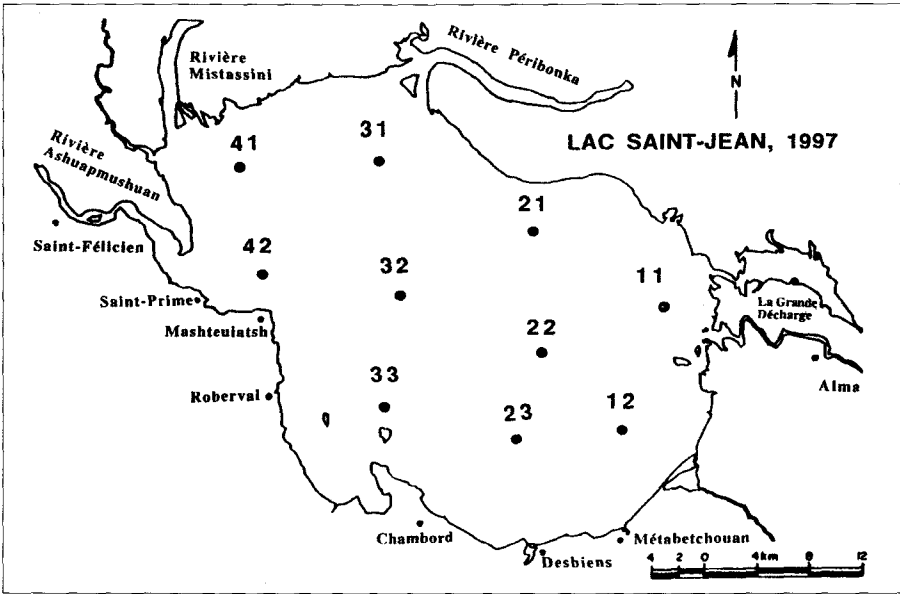


Figure 1 Localisation des stations d'échantillonnage du lac Saint-Jean en 1997 et profil bathymétrique du lac.
Sampling sites for lake Saint-Jean (Quebec) in 1997 and its bathymetric profile.

Tableau 1 Coordonnées géographiques et profondeur des stations d'échantillonnage du lac Saint-Jean en 1997.

Table 1 *Geographic coordinates and depth of the sampling sites in lake Saint-Jean in 1997.*

Station	Latitude (Nord)	Longitude (Ouest)	Profondeur moyenne (m)
11	48°35'30"	71°49'36"	5
12	48°30'10"	71°52'00"	15
21	48°38'24"	71°57'15"	30
22	48°33'30"	71°56'54"	35
23	48°29'54"	71°58'12"	40
31	48°41'30"	71°07'00"	10
32	48°35'48"	71°05'45"	12
33	48°31'12"	71°06'24"	5
41	48°40'45"	71°15'00"	2
42	48°36'12"	71°13'30"	25

Des échantillons d'eau étaient prélevés, à chacun de ces niveaux, au moyen d'une bouteille Niskin de 8 L. Dès la remontée de la bouteille, une aliquote de 1,5 L était prélevée et conservée immédiatement à l'obscurité, dans une glacière dont la température intérieure était maintenue à 4 °C. Dès l'arrivée

au laboratoire, les aliquotes (1,5 L) étaient filtrées sur filtres en fibre de verre Whatman GF/C (~ 1,2 µm de porosité) et servaient à la détermination de la chlorophylle *a* et des phaeopigments, lesquels ont été extraits des filtres en utilisant l'acétone 90 % et analysés par la méthode spectrophotométrique décrite par GREENBERG *et al.* (1992). Les filtrats ont servi à la détermination des éléments nutritifs (NO₂ + NO₃, H-PO₄) au moyen de l'ensemble HACH DREL/2000. L'oxygène dissous et la température de l'eau ont été mesurés à l'aide d'un oxygéno-mètre (YSI, modèle 58) muni d'une sonde thermique.

L'épaisseur de la couche photique a été évaluée à partir de la profondeur de disparition du disque de Secchi (DS) puisqu'en limnologie, cette couche est généralement 2 fois plus épaisse que la profondeur de disparition du disque de Secchi. La couche photique du lac au cours de la saison d'échantillonnage a une épaisseur d'environ 4 m.

Des échantillons de phytoplancton et de zooplancton ont été prélevés aux mêmes profondeurs que les échantillons d'eau à l'aide d'un échantillonneur Schindler-Patalas de 12 L (vide de maille de 20 µm). Ces échantillons de plancton étaient récupérés dans des bocaux et immédiatement formolés (5-20 %) pour les fins d'identification et de dénombrement.

L'indice de diversité du zooplancton a été calculé par la formule de SIMPSON. Cet indice (D) est un indice de dominance ; sa valeur maximale tend vers l'unité lorsqu'il y a un petit nombre d'espèces et vers 0 (zéro) lorsqu'il y a un grand nombre d'espèces, chacune de ces espèces ne représentant qu'une petite fraction du total (absence de dominance). En calculant l'indice réciproque (1-D), une valeur élevée reflète une diversité élevée.

$$1-D = 1 - \sum (N_i \cdot N^{-1})^2 \quad (\text{STEEL } et \text{ al.}, 1997) \quad (4)$$

où : D = Indice de diversité de SIMPSON ;

N_i = Valeur d'importance de chaque espèce ;

N = Nombre d'espèces.

Les indices de diversité du phytoplancton n'ont pas été calculés puisque nous n'avons examiné que les espèces > 20 µm ; nos données ne représentent donc pas toute la communauté phytoplanctonique.

3 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans leur étude sur les eaux du lac Saint-Jean, JONES *et al.* (1980) avaient observé une très forte hétérogénéité spatiotemporelle, tant pour les éléments nutritifs que pour les teneurs en chlorophylle *a*. Ces auteurs avaient mis en évidence une corrélation significative entre les mesures effectuées dans les eaux de surface et celles provenant dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau. Selon ces chercheurs, il y a échange entre ces deux niveaux de la colonne d'eau et les corrélations qu'ils ont obtenues suggèrent que les produits liés à la dégradation de la chlorophylle *a* soient rapidement recyclés.

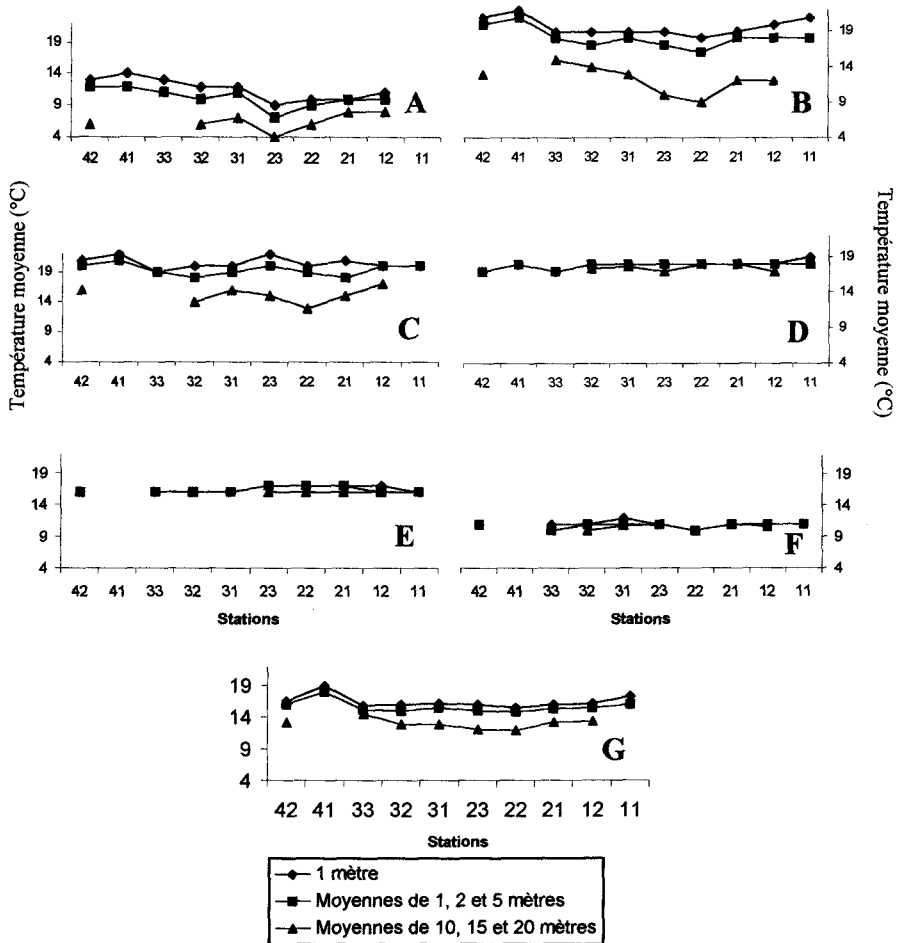


Figure 2 Variation de la température des eaux aux stations du lac Saint-Jean en 1997 en fonction des différentes profondeurs.
 A) 2 juin ; B) 30 juin ; C) 14 juillet ; D) 15 août ; E) 9 septembre ; F) 15 octobre ; G) moyenne saisonnière.
Water temperature variation at sampling sites in lake Saint-Jean in 1997 for different depths.
 A) June 2; B) June 30; C) July 14; D) August 15; E) September 9; F) October 15; G) Mean value.

À partir de l'examen de la *figure 2*, nous remarquons que la température des eaux de surface est relativement semblable à la température moyenne des 5 premiers mètres et ce, durant toute la saison. À partir du mois d'août (Profil D), la température est identique à tous les niveaux d'échantillonnage. En effet, en juin et en juillet, une faible thermocline est observée entre 5 et 10 m tandis qu'à partir de la mi-août, elle ne se retrouve plus dans les 20 premiers mètres ; JONES *et al.* (1978b) avaient noté d'ailleurs qu'en août, la thermocline du lac se maintient entre 22 et 25 m. Au début de juin (Profil A), la température

moyenne des eaux des 5 premiers mètres varie entre 9 et 14 °C, avec des valeurs maximales aux stations 42 et 41 et des valeurs minimales aux stations 22 et 23 qui sont les stations les plus profondes du lac ; le gradient est donc décroissant du Nord-Ouest au Sud-Est. À partir de la mi-août et jusqu'à la mi-octobre (Profils D-F), la masse d'eau des 20 premiers mètres est relativement homogène sur le plan vertical tout en présentant évidemment un léger refroidissement, soit 18 °C en août, 15 °C en septembre et 11 °C en octobre. La grande homogénéité thermique du lac est maintenue grâce à des vents dont l'importance avait déjà été mentionnée par LEBLOND (1976) comme facteur principal dans le mélange des différentes couches d'eau du lac. Durant l'été, le volume de l'épilimnion constitue près de 90 % du volume total du lac (LECLERC, 1985).

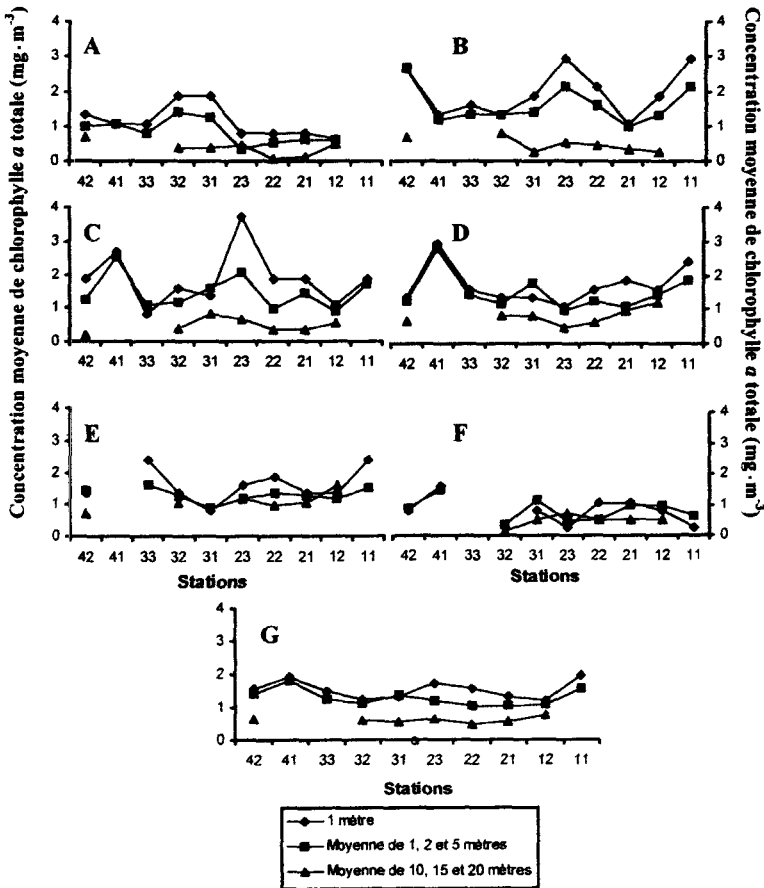


Figure 3

Variation des teneurs en chlorophylle a aux différentes profondeurs des stations du lac Saint-Jean en 1997.

A) 2 juin ; B) 30 juin ; C) 14 juillet ; D) 15 août ; E) 9 septembre ; F) 15 octobre ; G) moyenne saisonnière.

Variation in Chlorophyll a levels at sampling sites in lake Saint-Jean in 1997 for different depths.

A) June 2; B) June 30; C) July 14; D) August 15; E) September 9; F) October 15; G) Mean value.

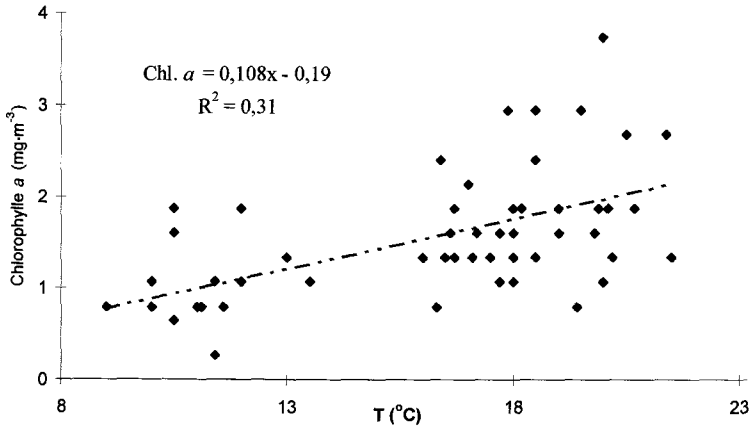


Figure 4 Chlorophyll a en fonction de la température aux stations du lac Saint-Jean en 1997.

Chlorophyll a versus temperature at sampling sites in lake Saint-Jean in 1997.

En juin, la disparition du disque de Secchi (20 cm de diamètre) dans le lac Saint-Jean varie entre 1,5 et 2 mètres tandis que de juillet à octobre, elle oscille entre 1,8 et 2,3 m ; la moyenne saisonnière globale est de 2,1 m. L'épaisseur moyenne de la couche photique du lac est environ de 4 m. La thermocline est toujours au-dessous de la couche photique, donc ce qui implique un brassage quasi permanent des eaux profondes (4-20 m) peu éclairées. Malgré une homogénéité thermique relativement grande sur le plan géographique, mais de façon plus marquée à partir de la mi-août, nous constatons que la variabilité spatiale des teneurs en chlorophyll a (tant horizontale que verticale), pour une même période donnée, est relativement marquée (figure 3). Ainsi, au début de juin (Profil A), les valeurs des eaux de surface varient entre 0,6 et 1,9 mg (Chl.a) m⁻³, avec un maximum observé aux stations 31 et 32. À partir de la fin juin et jusqu'en août (Profils B-D), des pics sont observés aux deux extrémités du lac (stations 41/42 et 11) et au centre du lac (stations 23 et/ou 22) avec des valeurs maximales variant entre 3 et 4 mg (Chl.a) m⁻³. Il existe généralement une grande similitude entre les valeurs des eaux de surface et celles de l'ensemble des 5 premiers mètres de la colonne d'eau. En considérant l'ensemble de nos valeurs, nous obtenons une moyenne d'environ 1,3 mg (Chl.a) m⁻³ ; cette valeur moyenne pour l'ensemble du lac est comparable à celle mesurée par OUELLET et JONES (1988), soit $1,2 \pm 0,3$ mg (Chl.a) m⁻³. Les taux de chlorophyll a du lac Saint-Jean montrent une relation significative avec la température de l'eau ; le coefficient de corrélation est de 0,56, $p < 0,01$ (figure 4). La biomasse chlorophyllienne des eaux du lac Saint-Jean est plus faible que celle du lac Huron (2 mg (Chl.a) m⁻³) mais semblable à celle du Lac Supérieur, avec environ 1 mg (Chl. a) m⁻³ (VOLLENWEIDER et al., 1974). Comme le mélange des eaux est relativement intense dans le lac et que l'épaisseur de la couche photique est beaucoup plus mince que la profondeur de la thermocline, les cellules phytoplanctoniques se retrouvent donc souvent dans des eaux où la lumière est présumément très faible ou quasi absente ; de telles conditions sont peu propices pour favoriser une bonne activité photosynthétique.

Pour ce qui est des éléments nutritifs, nous avons remarqué que les nitrates sont très faibles durant toute la saison (n'excédant jamais $0,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) tandis que les teneurs en orthophosphates se maintenaient toujours aux limites de la méthode de détection (excédant rarement $0,1$ à $0,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Ces faibles teneurs en orthophosphates pourraient s'expliquer par le fait que les grands apports d'eau douce provenant des rivières Péribonka, Mistassini et Ashuapmushuan (qui fournissent à elles seules plus de 75 % des apports d'eau du lac (JONES *et al.*, 1978b) sont également très pauvres en orthophosphates ; selon HÉBERT (1995), les concentrations moyennes de ces tributaires, sur une période de 20 ans, varient entre $0,010$ et $0,012 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Les faibles niveaux des éléments nutritifs des eaux du lac sont donc analogues à ceux retrouvés dans les eaux de ces tributaires. Les faibles valeurs en orthophosphates du lac Saint-Jean ne sont cependant pas très différentes de celles observées dans les eaux des lacs et rivières de la Baie James où les concentrations sont presque toujours inférieures à la limite de détection de l'appareil, soit $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (MAGNIN, 1977).

À la figure 5, nous avons représenté la relation entre les taux de chlorophylle *a* et les teneurs en nitrites et nitrates ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$). L'ajustement d'une équation linéaire ou exponentielle par lissage nous donne un coefficient de corrélation de $-0,48$ ou de $-0,52$ $p < 0,01$ respectivement. Cela nous permet de croire qu'il pourrait y avoir une relation significative entre ces deux variables.

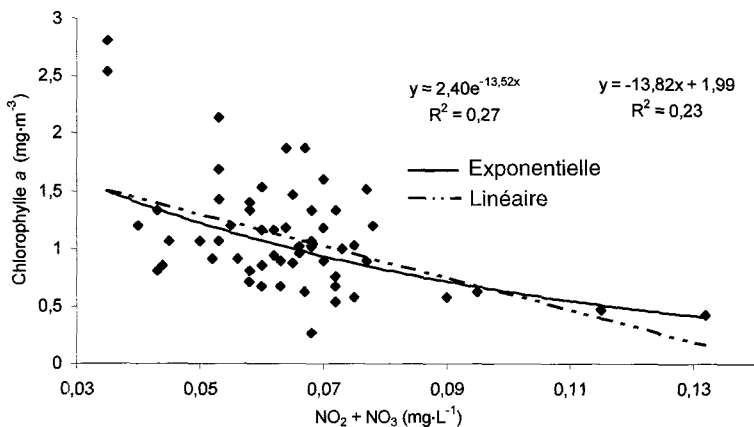


Figure 5 Chlorophylle *a* en fonction des éléments azotés ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) aux stations du lac Saint-Jean en 1997.

Chlorophyll a versus ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$) values at sampling sites in lake Saint-Jean in 1997.

Par ailleurs, il semble plausible qu'au 2 juin, à peine quelques jours après le départ des glaces sur le lac, que la masse d'eau de la partie Est du lac soit encore principalement constituée d'eau de type « hivernal », c'est-à-dire des eaux relativement enrichies en éléments azotés, dû principalement à un débit restreint. À pareille date, seulement les eaux de la partie Ouest du lac ont eu le temps d'être remplacées par des eaux printanières plus diluées étant donné les débits plus élevés en cette période de l'année.

Parallèlement, les teneurs maximales en chlorophylle *a* observées en pleine saison estivale à la station 41 ne surprennent pas non plus puisque c'est la station la moins profonde (2 m), donc la plus facile à réchauffer, favorisant ainsi la croissance du phytoplancton, ce qui est en accord avec les résultats de la figure 4.

Sur le plan écologique, le lac Saint-Jean présente beaucoup d'affinité avec le lac Memphrémagog, un lac où on retrouve également de fortes populations de ouananiche et d'éperlan arc-en-ciel (M. LEGAULT, comm. pers., FAPAQ). Chevauchant le Canada et les États-Unis, le lac Memphrémagog est considéré comme mésotrophe et se caractérise par des taux moyens de chlorophylle *a* de 3,6 mg (Chl.a) m⁻³. Ce lac n'est cependant pas un réservoir hydroélectrique comme le lac Saint-Jean. Par ailleurs, le lac Kipawa (Nord du Québec), est un réservoir hydroélectrique comme le lac Saint-Jean mais son taux moyen de chlorophylle *a* est un peu plus élevé, soit 1,85 mg·m⁻³. Le lac Kipawa est considéré comme oligotrophe.

Dans les eaux du lac Saint-Jean, la communauté phytoplanctonique n'est représentée que par quelques espèces. En effet, parmi les 26 espèces qui ont été identifiées et ayant des dimensions supérieures à 20 µm (tableau 2), il y en a seulement deux qui se retrouvent majoritaires tout au long de la saison ; ce sont les diatomées *Asterionella formosa* et *Tabellaria flocculosa*. Entre 72 et 87 % des individus appartiennent à l'espèce *A. formosa* et de 11 à 24 % appartiennent à l'espèce *T. flocculosa*. Le pourcentage combiné de ces deux espèces de Diatomées peut parfois atteindre jusqu'à 99 % des individus. Dans les lacs de la Baie James (MAGNIN, 1977), les espèces *A. formosa* et *T. flocculosa* sont également présentes mais leur importance est beaucoup moindre ; elles ne représentent respectivement que 7 et 10 % de l'ensemble des individus. Les autres espèces excèdent rarement plus de 1 % des individus sauf toutefois en juin où certaines différentes espèces de *Melosira* (*Aulacoseira*) varient entre 1,5 et 3 % des individus tandis qu'en juillet *Anabaena flos-aquae* représente environ 4 % des individus.

En utilisant l'ensemble des données, nous avons illustré à la figure 6, la variabilité géographique (Profil A), la variabilité saisonnière (Profil B) et la variabilité verticale (Profil C) des Diatomées pour l'ensemble de la saison d'échantillonnage. Sur le plan géographique (Profil A), nous observons, au cours de la saison, un gradient croissant dans la densité des individus, d'une part, de la station 42 à la station 23 avec des valeurs variant entre 3,5 et 6 × 10⁹ individus·m⁻³ et d'autre part, de la station 22 à la station 11 avec des valeurs variant entre 4,5 et 9,2 × 10⁹ individus·m⁻³. Ce modèle de distribution pourrait être la résultante de l'écoulement de la masse d'eau qui s'expliquerait ainsi : la masse d'eau venant de la Péribonka constitue un vecteur Nord-Est qui, par la suite, prend la direction Nord et Nord-Ouest sous la poussée des eaux provenant de la Mistassini et de l'Ashuapmushan. Sous l'effet des vents dominants, de l'effet d'entraînement engendré par la sortie des eaux dans la Grande-Décharge et également de la force de Coriolis, le vecteur de la masse d'eau devient Sud-Ouest. Les stations 23 et 11 sont situées dans la trajectoire du parcours des courants qu'illustre le modèle de LECLERC (1985) (figure 7). Sur le plan saisonnier (figure 6B), la densité des Diatomées est maximale en août avec 20 × 10⁹ individus·m⁻³ tandis que durant les autres périodes, la densité moyenne excède rarement de 3 à 4 × 10⁹ individus·m⁻³ pour l'ensemble des stations. Sur le plan vertical (figure 6C), la densité moyenne des Diatomées est environ deux

Tableau 2 Pourcentage du nombre total d'individus de chaque espèce de phytoplankton selon la date d'échantillonnage au lac Saint-Jean en 1997.**Table 2** Fraction in percent of total number of phytoplankton species for the different sampling dates in lake Saint-Jean in 1997.

Espèces	2 juin	30 juin	14 juil	15 août	9 sept	15 oct
Diatomées						
<i>Asterionella formosa</i> (Ehr.)	80,10	73,80	83,28	87,58	76,14	72,57
<i>Cyclotella comta</i> (Ehr.) Kutz	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
<i>Diatoma</i> sp.	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
<i>Melosira ambigua</i> (Grun.) O. Muller	3,13	0,19	0,01	< 0,01	0,04	0,30
<i>Melosira distans</i> (Ehr.) Kutz	1,67	0,26	0,03	0,03	0,18	0,52
<i>Melosira granulata</i> (Ehr.)	0,35	0,17	0,01	< 0,01	0,05	0,12
<i>Melosira islandica</i> O. Muller	2,32	0,24	0,01	0,01	0,06	0,26
<i>Navicula cryptocephala</i> Kutz	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kutz	0,45	0,34	0,06	0,01	< 0,01	0,11
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth.) Kutz	11,32	23,94	12,49	12,38	22,99	24,56
Cyanobactéries						
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb) Bréb.	0,26	0,07	3,94	0,11	0,43	1,28
<i>Coelosphaerium naegelianum</i>	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat	< 0,01	0,03	0,01	< 0,01	< 0,01	0,02
<i>Oscillatoria</i> sp.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Chlorophycées						
<i>Desmidium</i> sp.	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenb.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh	0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01
<i>Closterium kützingii</i> Bréb.	0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02
<i>Spondiliosium planum</i> (Wolle)	< 0,01	0,03	0,08	< 0,01	< 0,01	0,06
<i>Staurastrum dejectum</i> Bréb.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01
<i>Staurastrum laevispinum</i> (Biss.)	0,01	0,07	0,03	0,02	0,04	0,03
<i>Staurastrum</i> sp.	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,02	0,01
Dinophycée						
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F. Mull.) Schrank	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Chrysophycée						
<i>Dinobryon sertularia</i> (Ehr.)	0,34	0,77	0,03	0,01	0,04	0,08

fois plus élevée à 2 m ($8,5 \times 10^9$ individus·m⁻³ que dans les eaux de surface). Selon REYNOLDS (1984), une dominance par les Diatomées, même en été, caractérise un milieu bien brassé et faiblement stratifié. À ce point de vue, le lac Saint-Jean n'est donc pas différent des autres milieux lacustres.

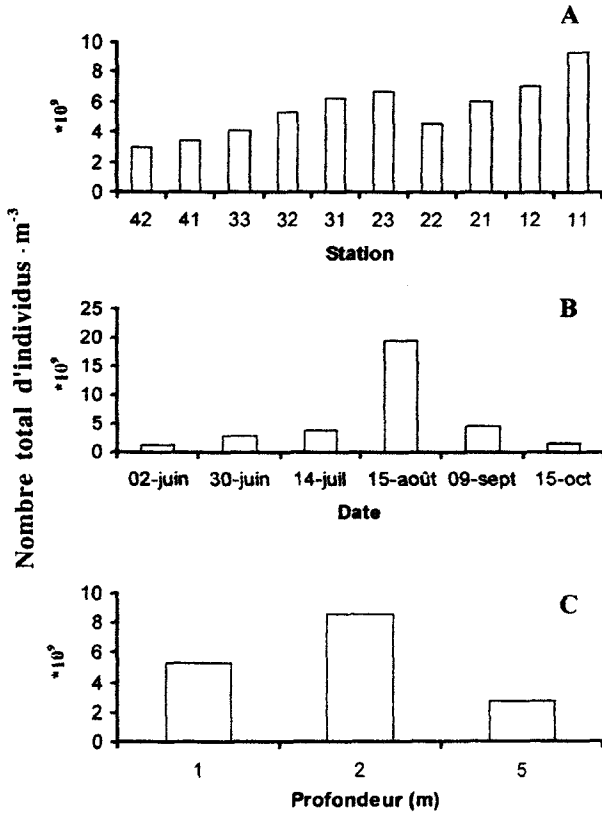


Figure 6 Variation spatiotemporelle du nombre moyen de diatomées du lac Saint-Jean en fonction des différentes stations (A), de la période d'échantillonnage (B) et de la profondeur en 1997.

Spatio-temporal variation of the mean number of diatoms in lake Saint-Jean in 1997 at different sampling sites (A), for different sampling dates (B) and as a function of sampling depth (C).

La communauté zooplanctonique regroupe 17 espèces réparties en quatre groupes : les Copépodes, les Rotifères, les Cladocères et les Protozoaires (tableau 3). Huit de ces espèces se retrouvent, à une période donnée de la saison, dans plus de 90 % des échantillons ; ce sont les Copépodes *Cyclops scutifer* et *Diatomus minutus*, les Rotifères *Polyarthra vulgaris*, *Keratella cochlearis* et *Kellicottia longispina*, les Cladocères *Daphnia longiremis* et *Bosmina longirostris* et le Protozoaire *Codonella cratera*. Quant aux nauplii de Copépodes, ils se retrouvent tout au long de la saison d'échantillonnage. En considérant le pourcentage que représente chaque espèce par rapport au nombre total d'individus (tableau 4), nous remarquons que le Rotifère *Polyarthra vulgaris* et le Protozoaire *Codonella cratera* sont les deux espèces les plus abondantes ; ces deux espèces représentent, à partir de juillet et jusqu'en octobre, respectivement de 10 à 29 % et de 36 à 72 % de tous les individus. De façon générale, ces deux espèces se rencontrent presque toujours simultanément. Dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau, le coefficient de corrélation entre la

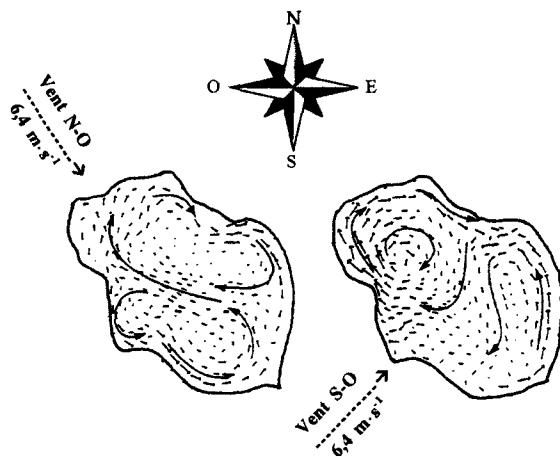


Figure 7 Schéma illustrant l'effet des principaux vents dominants sur la direction des masses d'eau (à 10 m) dans le lac Saint-Jean (d'après LECLERC, 1985).

Sketch showing dominant wind effect upon the water mass (10 m depth) direction for lake Saint-Jean (from LECLERC, 1985).

densité de ces deux espèces est de 0,55, $p < 0,01$ (figure 8). D'autres espèces comme le Copépode *Cyclops scutifer* et le Rotifère *Kellicottia longispina* sont relativement importants au début de la saison (en juin et en juillet), avec des valeurs variant entre 8 et 11 % du nombre total d'individus comparativement aux autres périodes d'échantillonnage où elles ne représentent rarement plus de 1,5 % des individus. Par ailleurs, le Copépode *Diatomus minutus* est peu abondant au début de juin (2 % des individus) tandis que de la fin juin à la mi-octobre, sa représentativité peut atteindre jusqu'à 11 % de tous les individus.

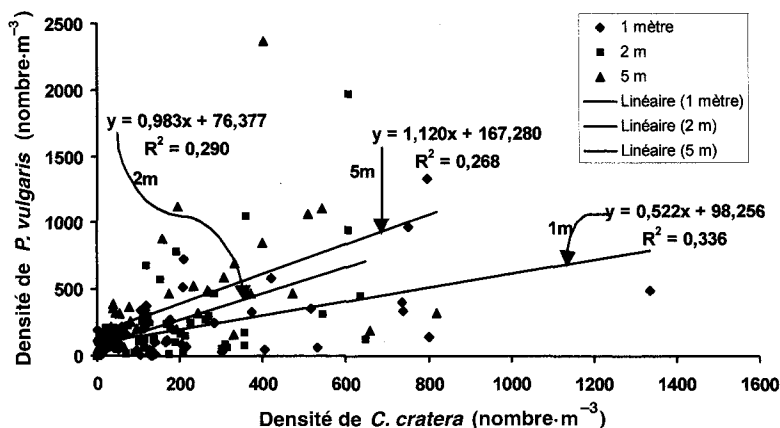


Figure 8 Densités de *Polyarthra vulgaris* en fonction des densités de *Codonella cratera* aux différentes stations du lac Saint-Jean en 1997.

Polyarthra vulgaris densities versus *Codonella cratera* "densities" for different sampling sites in lake Saint-Jean in 1997.

Tableau 3 Fréquence d'apparition de chaque espèce de zooplancton dans les échantillons prélevés au lac Saint-Jean en 1997 selon la date d'échantillonnage.

Table 3 Appearance frequency for zooplankton species for the different sampling dates in lake Saint-Jean in 1997.

Espèces	2 juin	30 juin	14 juil	15 août	9 sept	15 oct
Copépodes						
<i>Cyclops scutifer</i>	72	98	98	91	79	64
<i>Diaptomus minutus</i> Lillj	53	96	92	100	98	98
<i>Epischura lacustris</i> Forbes	5	41	14	34	17	0
<i>Tropocyclops prasinus</i> Keifer	0	2	8	2	2	0
Nauplii de Copépodes	100	98	100	100	100	98
Rotifères						
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin	81	100	98	100	100	95
<i>Keratella taurocephala</i> Ahlstrom	5	43	49	14	7	10
<i>Keratella hiemalis</i> Carlin	47	2	0	0	2	2
<i>Keratella cochlearis</i> (Lauterb.)	98	98	100	95	98	90
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	93	100	98	100	100	81
Cladocères						
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linné)	0	0	0	7	0	0
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	23	65	59	59	38	2
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liéven)	0	0	6	2	0	0
<i>Daphnia longiremis</i> Sars	26	85	96	82	52	45
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller)	37	92	86	100	98	71
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	2	8	14	0	0	0
Protozoaire						
<i>Codonella cratera</i> (Leidy)	97	100	100	100	100	100

En considérant certains lacs de la Baie James, PINEL-ALLOUL (1975) avait remarqué que le nombre d'espèces zooplanctoniques augmente avec la superficie et la profondeur du lac. Par exemple, dans les grands lacs (jusqu'à 2 100 km²) et profonds (> 50 m), la communauté peut compter en moyenne 20 espèces tandis que dans les lacs de taille moyenne (< 100 km²) et de profondeur inférieure à 10 m, il n'y a qu'une dizaine d'espèces. Dans les petits lacs (< 1 km²) et peu profonds (< 6 m), la communauté compte moins de 8 espèces. Avec ses 1 053 km² de superficie et sa profondeur moyenne de 6 m, le lac Saint-Jean semble se distinguer donc de ces lacs nordiques puisque le nombre d'espèces ayant une certaine importance est relativement faible.

Afin de mieux cerner la variabilité spatiotemporelle de chacune des catégories d'organismes zooplanctoniques, nous avons regroupé, pour chaque catégorie, l'ensemble des données prélevées au cours de la période étudiée (figure 9). Les Rotifères représentent évidemment le groupe le plus abondant mais leur densité est cependant toujours plus élevée aux stations situées dans la section Est du lac (23, 22, 21, 12, 11), avec des densités variant entre 5 et

Tableau 4 Pourcentage que représente chaque espèce d'organismes zooplanctoniques par rapport au nombre total d'individus et l'indice réciproque de diversité de Simpson selon la date d'échantillonnage au lac Saint-Jean en 1997.

Table 4 Fraction in percent of total number of zooplankton species and the reciprocal Simpson's index of diversity for the different sampling dates in lake Saint-Jean in 1997.

Espèces	2 juin	30 juin	14 juil	15 août	9 sept	15 oct
Indice réciproque de diversité de Simpson	0,78	0,85	0,76	0,63	0,69	0,97
Copépodes						
<i>Cyclops scutifer</i>	9,4	10,3	4,9	1,0	1,2	0,6
<i>Diaptomus minutus</i> Lillj	2,2	9,6	6,3	10,7	9,1	11,4
<i>Epischura lacustris</i> Forbes	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	< 0,01
<i>Tropocyclops prasinus</i> Keifer	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Nauplii</i> de Copépodes	34,6	16,1	8,5	4,1	10,4	1,8
Rotifères						
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin	4,9	22,0	29,3	22,6	21,9	10,3
<i>Keratella taurocephala</i> Ahlstrom	0,1	0,01	0,1	0,01	0,01	0,5
<i>Keratella hiemalis</i> Carlin	0,7	0,01	< 0,01	< 0,01	0,2	0,4
<i>Keratella cochlearis</i> (Lauterb.)	8,7	6,2	3,8	1,2	1,7	1,7
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott)	11,6	11,4	8,0	1,1	1,7	1,9
Cladocères						
<i>Polyphemus pediculus</i> (Linné)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Holopedium gibberum</i> Zaddach	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	< 0,01
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liéven)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<i>Daphnia longiremis</i> Sars	0,3	0,9	1,6	0,5	0,4	0,4
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller)	0,5	1,6	0,6	3,3	3,8	1,0
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Protozoaire						
<i>Codonella cratera</i> (Leidy)	26,6	21,0	36,6	55,1	49,1	72,4

8×10^6 individus·m⁻³ (Profil A). Sur le plan saisonnier et en considérant l'ensemble des données des différentes stations pour la période d'échantillonnage donnée, nous remarquons que les plus fortes densités sont enregistrées de la fin juin à la mi-août, avec un maximum atteignant 18×10^6 individus·m⁻³ à la mi-juillet (Profil B) ; durant les autres périodes la densité n'excède pas 5×10^6 individus·m⁻³. Cette période de la fin juin à la mi-août correspond à celle où la température de l'eau dans les cinq premiers mètres est la plus élevée. Sur le plan vertical (Profil C), les Rotifères sont relativement importants dans les 5 premiers mètres de la colonne d'eau, avec des densités variant entre 12 et 16×10^6 individus·m⁻³ comparativement dans les eaux sous-jacentes où la densité n'excède pas 4×10^6 individus·m⁻³.

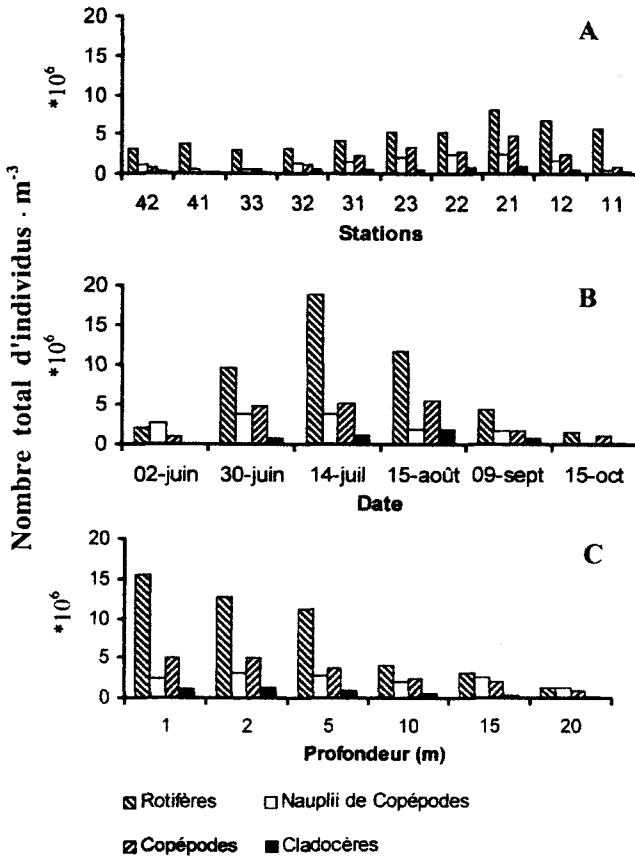


Figure 9 Variation spatiotemporelle du nombre moyen de nauplii de copépodes, de Copépodes adultes, de Rotifères et de Cladocères du lac Saint-Jean en fonction de la station (A), de la période d'échantillonnage (B) et de la profondeur en 1997.

Spatio-temporal variation of the mean number of nauplii of copepods, of adult Copepods, of Rotifera and of Cladocera in lake Saint-Jean in 1997 at different sampling sites (A), for different sampling dates (B) and as a function of sampling depth (C).

La communauté du zooplancton du lac Saint-Jean présente des indices réciproques de diversité (SIMPSON) variant entre 0,63 et 0,97 avec des valeurs maximales en octobre (tableau 4), donc dominée que par quelques espèces. Les indices de diversité de la communauté phytoplanctonique n'ont pas été calculés car nous n'avons pu échantillonner que les espèces > 20 µm et, en milieu oligotrophe, le nanoplancton (< 20 µm) constitue souvent un groupe dominant.

Que leur cycle de vie soit de quelques heures (Protozoaires), de quelques jours (Rotifères), de quelques semaines (Cladocères) ou de quelques mois (Copépodes), les organismes zooplanctoniques jouent indéniablement un rôle important dans l'alimentation des larves de poissons du lac Saint-Jean, milieu

renommé pour la pêche sportive à la ouananiche (*Salmo salar*). Cependant, il se pourrait que la forte abondance des Rotifères et des Protozoaires, organismes ayant un cycle vital relativement court, soit fortement influencée par le régime hydrodynamique, conditions qui caractérisent cet écosystème. À l'instar de REYNOLDS (1984) qui a montré que pour la communauté phytoplanctonique, les Diatomées sont caractéristiques d'un milieu fortement mélangé et où la stratification est très faible ou de courte durée, en serait-il ainsi pour les organismes de la communauté zooplanctonique, ayant un court cycle vital comme les Protozoaires et les Rotifères ? Si tel était le cas, cela pourrait expliquer la grande abondance de ces deux groupes d'organismes dans les eaux du lac Saint-Jean.

L'étude de LECLERC (1985) avait montré que durant la période estivale, la région du Lac Saint-Jean se caractérise par des forts vents qui dominent dans la direction Sud-Ouest et Nord-Ouest (figure 7). Ces vents dominants contrôlent en quelque sorte la dynamique des masses d'eau pour l'ensemble du lac Saint-Jean et provoquent deux types différents de circulation : un premier type de circulation sépare la partie Nord-Ouest de la partie Sud-Est et un deuxième type sépare la partie Nord de la partie Sud du lac. Dans les deux cas, les eaux de la partie Nord du lac se mélangent rarement avec celles de la partie Sud. JONES *et al.* (1978b) avaient montré que les plus forts courants sont toujours situés en périphérie du lac. Considérant l'hydrodynamique de cet écosystème, nous sommes portés à croire que le lac Saint-Jean ressemblerait davantage à une rivière ronde qu'à un lac comme tel.

Avec un fort renouvellement de ses eaux (de 4 à 5 fois par année), des forts vents dominants qui engendrent un brassage intense et une très faible ou même une quasi-absence de thermocline durant la plus grande partie de la saison estivale, les organismes du phytoplancton sont soumis à une forte instabilité de la colonne d'eau ce qui favorise peu le maintien d'une forte activité photosynthétique. Le régime hydrodynamique du lac pourrait donc jouer un rôle important tant sur la taxinomie que sur la biomasse planctonique puisque la communauté phytoplanctonique est dominée que par deux espèces de Diatomées (*Asterionella formosa* et *Tabellaria flocculosa*) représentant plus de 90 % de tous les individus) tandis que la communauté zooplanctonique l'est par le Protozoaire *Codonella cratera* et le Rotifère *Polyarthra vulgaris*.

S'intégrant dans un projet plus vaste portant sur la distribution et l'alimentation des larves d'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), principale espèce-fourrage de la ouananiche (*Salmo salar*), cette première étude systématique sur les populations planctoniques nous aidera à mieux comprendre le réseau trophique de cet écosystème, le lac Saint-Jean.

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche fut réalisé grâce à l'appui financier du CLAP (Corporation de LACTivité-pêche, Lac Saint-Jean) et de la Fondation de l'université du Québec à Chicoutimi.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BISSON M., COUTURE P., VISSER S.A., 1978. Étude de la qualité du milieu aquatique du lac Saint-Jean et de la rivière Saguenay. Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Rapport scientifique, 92, 163 p.
- CONTANT H., DUTHIE H.C., 1978. The phytoplankton of Lac St-Jean, Québec. Gantner Verlag, ed., Vaduz, Germany, XXI plates, 82 p.
- GARNIER J., BILLEN G., COSTE M., 1995. Seasonal succession of diatoms and Chlorophyceae in the drainage of the Seine River: Observations and modeling. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 750-765.
- GREENBERG A.E., CLESCERI L.S., EATON A.D., 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th edition. American Public Health Association. Water Works Association & Water Environment Federation, Washington DC, 950 p.
- HÉBERT S., 1995. Qualité des eaux du Saguenay – Lac Saint-Jean 1979-1992. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 124 p.
- JONES H.G., MORIN G.O., OUELLET M., SOCHANSKA W., COUTURE P., 1980. Étude physicochimique et biologique des eaux du lac Saint-Jean : 1978. Rapport scientifique n° 122, INRS-Eau, 350 p.
- JONES H.G., OUELLET M., LECLERC M., CLUIS D., COUTURE P., POTVIN L., SOCHANSKA W., 1978a. Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. Rapport provisoire. INRS-Eau, 57 p.
- JONES H.G., LECLERC M., OUELLET M., COUTURE P., CLUIS D., POTVIN L., SOCHANSKA W., SOCHANSKI J., 1978b. Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. Synthèse. INRS-Eau. Rapport scientifique n° 76, 641 p.
- LALANCETTE L.-M., 1984. Effet du dragage sur les sédiments, le plancton et les poissons, dans la région de Vauvert au Lac Saint-Jean. *Arch. Hydrobiol.*, 99, 463-477.
- LEBLOND A., 1976. Étude évolutive de la stratification thermique du lac Saint-Jean. Rapport 7601, Centre de recherche du Moyen-Nord. Université du Québec à Chicoutimi, 77 p.
- LECLERC M., 1985. Modélisation tridimensionnelle des écoulements à surface libre par éléments finis : Application au lac Saint-Jean (Québec), Thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur-ingénieur, Université de technologie de Compiègne, France, 293 p.
- MAGNIN É., 1977. Écologie des eaux douces du Territoire de la Baie James. Société d'énergie de la Baie James, Montréal, Québec, Canada, 454 p.
- OUELLET M., JONES H.G., 1988. Some physico-chemical aspects of lake Saint-Jean, Québec, Canada. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23, 961-967.
- PARSONS T.R., TAKAHASHI M., HARDGRAVE B., 1977. Biological oceanographic process. 2nd Edition, Pergamon Press, New York, 322 p.
- PINEL-ALLOUL B., 1975. Zooplancton récolté en 1973 dans les lacs et les rivières du territoire de la Baie James. Laboratoire d'écologie de la SEBJ, Univ. De Montréal, Rap. Rech. n° 24, 311 pages dactylographiées.
- REYNOLDS C.S., 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Press.
- SCHULZE P.C., ZAGARESE H.E., WILLIAMSON C.E., 1995. Competition between crustacean zooplankton in continuous cultures. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 33-45.
- SEIP K.L., REYNOLDS C.S., 1995. Phytoplankton functional attributes along trophic gradient season. *Limnol. Oceanogr.*, 40, 589-597.
- STEEL R.G.D., TORRIE J.H., DICKEY D.A., 1997. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. Third edition, McGraw-Hill Companies, Inc. New York, 666 p.
- VOLLENWEIDER R.A., MUNAWAR M., STADELMANN P., 1974. A comparative review of phytoplankton and primary production in the Laurentian Great Lakes. *J. Fish. Res. Board Can.*, 31, 739-762.