

Distribution of benthic foraminiferal populations in surface sediments of the Saguenay Fjord, before and after the 1996 flood.

Julie Leduc^{1*}, Guy Bilodeau¹, Anne de Vernal¹ and Alfonso Mucci²

Submitted to *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*

1. Centre de recherche en géochimie isotopique et en géochronologie (GEOTOP), Université du Québec à Montréal, Case postale 8888, Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8.
Fax: +1-514-987-3635.

* Corresponding author: E-mail: m210750@er.uqam.ca

2. Earth and Planetary Sciences, McGill University, 3450 University street, Montreal, Quebec, Canada, H3A 2A7
Fax: +1-514-398-4690.

Abstract

In the summer of 1996, a “flash” flood occurred in the Saguenay-Lac-St-Jean region (Quebec) leading to the deposition of an estimated $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ of sediments in the Saguenay Fjord. In order to evaluate the impact of such a sedimentary event on the benthic meiofauna, foraminiferal analyses were performed in surface sediment at 8 stations in 1994, 1997, 1998 and 1999 along the main axis of the fjord.

A 10 cm sedimentary sequence taken from a box core collected in 1997 from the deepest part of the fjord and spanning the last ca. 35 years was to provide a reference state for pre-flood foraminiferal assemblages. A significant change in foraminiferal assemblages is observed at 6 cm in this core, with the decrease of *Spiroplectammina biformis* relative to *Adercotryma glomerata*. ^{210}Pb measurements suggest that this change occurred during the late 1970's. In surface samples (0-1 cm) collected in 1998 and 1999 in the inner basin, a decrease of *S. biformis* percentages is also observed. This change may be associated with an increase of organic matter input to the Saguenay Fjord or with the type of organic carbon in the sediment.

The 1996 flood had a major negative impact on the concentration and species diversity of benthic populations near the head of the fjord (Baie des Ha! Ha!), where the flood material is up to 50 cm thick. However, two years after the flood, benthic foraminiferal populations recolonized the sediments in the Saguenay Fjord.

Keywords: Foraminifera, benthic, distribution, Saguenay Fjord, flood.

1. Introduction

The Saguenay Fjord is a stratified marine environment characterized by variable sedimentation rates, from 0.2 cm/yr to a few centimeters per year (*e.g.*, Smith and Walton, 1980) and the site of many dramatic geological events over the past centuries (Smith, 1962). These include several strong earthquakes (Smith, 1962; Basham *et al.*, 1985) and landslides, such as the St-Jean-Vianney and Kenogami landslides which occurred in 1971 and 1924, respectively (Schafer and Smith, 1988). Moreover, the Saguenay Fjord environment has been affected by industrial activities for more than sixty years: paper mills and other industries including a chlor-alkali plant were responsible for the discharge of large volumes of chemical and organic waste (Loring, 1976; Pocklington, 1976). These materials, enriched in trace metals such as Hg and Pb (Loring, 1976; Pocklington, 1976), caused environmental stress to the benthic habitat (Schafer *et al.*, 1991). As a matter of fact, foraminiferal populations in the Fjord are dominated by *Spiroplectammina biformis*, a species which has been associated to polluted environments in eastern Canadian estuaries and embayments (Schafer *et al.*, 1991).

A spectacular flood occurred in the Saguenay region in July 1996. During this event, more than $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ of sediment were transported and deposited to the Fjord within two days (Pelletier, 1997). Following this event, monitoring of the sediments was undertaken within the context of a collaborative project whose main objective is to assess the efficiency of the flood layer to isolate the underlying contaminated sediments from the overlying water (*cf.* web site: www.saguenay.ggl.ulaval.ca). Our specific contribution to this project is a study of the benthic foraminiferal populations, which was undertaken to meet the following three objectives:

- (1) to evaluate the immediate impact of the flood on benthic populations;
- (2) to estimate the rate of recolonization or recovery of the benthic environments by meiofaunal populations after the flood;
- (3) to verify the efficiency of the flood deposit on environmental recovery using benthic foraminifers as tracers of environmental stress. Previous studies have indeed shown that foraminifera constitute useful bioindicators of pollution (*e.g.*, Schafer *et al.*, 1991) and physico-chemical characteristics of the sediment-water interface in marine environments (*e.g.*, Culver, 1993).

In this study, we document the recent evolution of benthic foraminiferal populations in the Saguenay Fjord since the 1996 flood, from the analysis of surface sediment samples collected in 1994, 1997, 1998 and 1999 at eight stations located along the main axis of the Fjord. The temporal variability of benthic foraminiferal populations is further completed by the analysis of a short sedimentary sequence from the deepest part of the Fjord.

2. Environmental context

2.1 Physiography

The Saguenay Fjord is located about 200 km northeast of Quebec City and joins the St. Lawrence estuary at Tadoussac (Fig. 1a). It is a typical fjord from a geomorphological point of view: it is characterized by a U-shaped cross-section and it occupies a long (80 km) and narrow (1-6 km) glacial valley. The sheer walls reach elevations of 350 m. From west to east, the fjord is composed of three main basins, 275, 180 and 250 m deep, which are separated by sills at 130 m, 65 m, and 20 m below sea level, respectively (Fig. 1b). In the deeper and westernmost basin, 3 stations were sampled and studied for their foraminiferal content. At the head of the fjord, the fjord valley is subdivided into two branches called La Baie des Ha! Ha! and the North Arm. Samples were collected at four stations in the Baie des Ha! Ha! and one station in the North Arm (St-Fulgence).

2.2 Hydrography and oceanography

The drainage basin of the Saguenay Fjord includes more than 15 rivers and occupies a watershed of about 85 500 km² (Fortin and Pelletier, 1995). About 90% of the freshwater input to the fjord is derived from the Saguenay River which has a mean annual discharge of about 1500 m³/s. The freshwater discharge and lack of turbulent mixing are responsible for important vertical gradients of salinity and a sharp stratification of water masses. A shallow surface layer (0-10 m) is characterized by a salinity of about 0 near the head to 29 at the mouth of the fjord. Because of the buoyancy of the thin mixed layer, the

surface water freezes in winter and reaches up to 16 °C in summer. The thermohalocline is located between 8 and 25 m, its position varies seasonally and horizontally according to freshwater discharge. Below the thermohalocline, the deep layer consists of marine water originating from the St. Lawrence estuary: it is characterized by a salinity of 30.5 (Syvitski and Schafer, 1996) and a temperature varying from 0.4 °C in winter to 1.7 °C in summer (Fortin and Pelletier, 1995).

The 1996 flash flood, which transported millions of tons of sediment to the head of the Fjord within a few days, also likely affected the physical and chemical properties of the water column but over a short period of time. Pelletier *et al.* (1999) reported physical, chemical and biological observations made two months after this event in the Baie des Ha! Ha!. Temperature and salinity, which control the stratification in the Fjord, were measured at the end of September 1996 and the data show that the massive and sudden freshwater discharge from the flood left no noticeable evidence of its occurrence.

2.3 Sedimentology

The valley of the Saguenay Fjord was carved into Precambrian rocks of the Canadian Shield (Drainville, 1968). After the deglaciation of the Laurentian dome from the Laurentide Ice Sheet, the postglacial Laflamme Sea invaded the basin. During this marine episode which spanned from 8 000 to 11 000 years B.P., slightly carbonated clays were deposited (Lasalle and Tremblay, 1978). Above these marine clays the Holocene sediments consist of sand, at the head of the fjord, and of silty clay in the inner basin (Perret *et al.*, 1995). These Holocene sediments reveal high sedimentation rates. According to seismic profiles the Fjord is filled with postglacial sequences which are, on average, 800 m thick and reach up to 1300 m in the intermediate basin (Syvitski

and Praeg, 1989). Sediment accumulation processes include hypopycnal sedimentation (*cf.* Schafer *et al.*, 1990) in addition to fast depositional processes such as turbidite or debris flows triggered by landslides or earthquakes (Syvitski and Praeg, 1989; Praeg and Syvitski, 1991).

Regarding the recent sedimentation, ^{210}Pb measurements reveal an exponential decrease in sedimentation rates with distance from the mouth of the Saguenay River (Smith and Walton, 1980). Near St-Fulgence, in the North Arm, the sedimentation rate is up to 7.0 cm per year, whereas in the inner basin it is only about 0.2 cm per year (Smith and Walton, 1980; Perret, 1994; Zhang, 2000). The recently accumulated sediments contain almost no carbonate, but high percentages of organic matter (up to 7% at the head of the fjord and between 2 and 4% in the inner basin) (Schafer *et al.*, 1990). The organic matter is mainly composed of wood fibers originating from pulp and paper mills (Perret *et al.*, 1995).

In the Baie des Ha! Ha! and the North Arm, the 1996 flood layer shows a very different sedimentological composition than the background sediments (St-Onge and Hillaire-Marcel, 2000). This layer contains an average of 1.7% of organic carbon and a CaCO_3 content ranging from 1.4 to 2.5%. It is also characterized by high $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{tot}}$ ratios (≥ 20) and low ^{13}C values (mean value of -26.5‰). The thickness of the 1996 layer is highly variable along the Saguenay Fjord, ranging from 50 cm in the Baie des Ha! Ha! (Locat *et al.*, 1998; Savard, 2000) to 8 cm in the North Arm (Savard, 2000; St-Onge and Hillaire-Marcel, 2000), whereas it is barely detectable in the inner basin (St-Onge and Hillaire-Marcel, 2000).

3. Methods

3.1 Coring sites and on board sampling

The sediments analyzed for this work were collected using a box corer (Ocean Instrument Mark II) with a surface area of 0.12 m² and a height of 60 cm. Such a box corer permits the recovery of surface sediments with minimal disturbance.

Eight sites were sampled in the Baie des Ha! Ha! (SAG-02, -07, -09 and -13), the North Arm (St-Fulgence) and the inner basin (SAG-15, -30 and -36) (Fig. 1a; Table 1). In order to evaluate the impact of the 1996 flood on the distribution of the benthic foraminiferal populations, box cores were collected in 1997, 1998 and 1999. Samples collected in 1994 provide information on the populations that developed prior to the flood. A box core collected at SAG-30 was also analyzed at 1 cm intervals over the upper 10 cm to examine the recent variability of the benthic foraminiferal populations.

Subsampling was done immediately after the recovery of the box cores on the ship's deck. Push cores, made of PVC tubes of 10 cm diameter, were inserted in the box core. One push core was capped and stored vertically on deck and another one was subsampled in a vertical position using a hydraulic system. The sediment disturbance due to handling appeared to be negligible. The cores collected prior to 1999 were subsampled at 1 cm intervals. The cores collected in 1999 were subsampled at 0.5 cm intervals. The subsamples were stored in a cold room except those collected in 1999 which were frozen.

3.2 Micropaleontological analyses

In the laboratory, subsamples of about 5 cm³ were dried at room temperature and weighed. The samples were washed through a 63 µm screen. The fraction > 63 µm was examined under a binocular microscope (20X). All the foraminifera and thecamoebians were handpicked, identified and counted (Appendix 1: Systematic taxonomy). The concentrations are expressed in number of tests per gram of dry sediment. The percentage of taxa was calculated when the sum of specimens counted was greater than 25. In subsamples containing less than 25 specimens, only the presence was reported in the diagrams. Detailed results of the counts can be found in Table 2 a-c. These results are likely affected by the differential preservation of tests resulting from the dissolution of calcium carbonate in these sediments (Leduc, MSc thesis)

3.3 Geochemical and isotopic analyses

An aliquot of sediment was dried at air room temperature, ground and analyzed for its total carbon (TC) and total nitrogen (TN) content with a Carlo-Erba™ elemental analyzer. Inorganic carbon (IC) was analyzed independently using a UIC Coulometrics coulometer equipped with an acidification unit. The organic carbon (OC) content was obtained by subtraction of IC from TC.

The isotopic composition of the organic carbon was measured with a Carlo-Erba™ elemental analyzer on-line with a Micromass IsoPrime™ instrument. Data are reported in ... units (‰) with reference to V-PDB (Coplen-Tyler, 1995) and the analytical uncertainty is ± 0,10 ‰.

Radioisotopic analyses were also performed in a reference core from SAG-30

collected in 1997. ^{210}Pb was measured using ... spectrometry of the daughter ^{210}Po (Canberra TM). The chemical treatment, purification and deposition on a disk were done following routine procedures at GEOTOP (*e.g.*, Courcelles, 1998). For the core which we analyzed for the meiofauna, ^{210}Pb measurements were carried out only in the upper 10 cm. The data are compared with another ^{210}Pb record from a box core collected at the same site (SAG-30) in 1996, one month after the flood (Zhang, 2000). Sedimentation rates are thus calculated on the basis of the composite ^{210}Pb record (Fig. 2).

4. Results

4.1 Decadal variations of micropaleontological assemblages in core SAG-9730 (inner basin)

One of the sites from the inner basin, SAG-30, was used as a reference to document the sedimentary and micropaleontological variations.

The sediment recovered from box core SAG-9730 is composed of dark grey, bioturbated clayed silts to silty clays. The 1996 flood layer material is not visible nor is its geochemical signature detectable at this site. In fact, it was visible as a thin discontinuous film upon recovery of a box core at this site three weeks after the flood.

Based on the ^{210}Pb data, a uniform sedimentation rate of about 0.35 cm/year can be calculated at the coring site (see Fig. 2; *cf.* Zhang, 2000). This estimate is in agreement with those reported by others (Smith and Walton, 1980; Barbeau *et al.*, 1981; Zhang, 2000) for the inner basin, on the basis of ^{210}Pb and ^{137}Cs measurements. The sediment sequence recovered in core SAG-9730 represents about 35 years of deposition. The subsamples, which cover 1 cm intervals, integrate about 4 years of sedimentation, and probably more when taking into account the biological mixing which results in a smoothing window of up to 8 cm (*cf.* Zhang, 2000).

The geochemical signature of the core is characterized by a high content of organic carbon (2.6% average; Fig. 2) which decreases from the base to the top of the core. Most of the organic carbon is believed to be of terrestrial origin and originates from the pulp and paper industry (Schafer *et al.*, 1980; Smith and Schafer, 1987; Louchouart *et al.*, 1997, 1999). The CaCO_3 content is low, about 0.7% and the $\text{C}_{\text{org}}/\text{N}_{\text{tot}}$ ratios are about 20 (Fig. 2). Identical geochemical characteristics have been reported for this site

by Zhang (2000).

The foraminiferal content of core SAG-9730 is moderately low (Fig. 3). Concentrations vary from 12 to 30 tests/g. The assemblages are dominated by the agglutinated epibenthic species *Spiroplectammina biformis* (35-75%) and *Adercotryma glomerata* (5-45%) accompanied by *Cribrostomoides crassimargo* (2-15%), an agglutinated species, and *Quinqueloculina stalkerii* (2-10%), a calcareous species.

The species composition of the assemblages does not vary much with depth, but there is a significant change in the relative proportion of *S. biformis* and *A. glomerata* at 6 cm. Below 6 cm, *S. biformis* largely dominates (70-75%), whereas *A. glomerata* represents less than 15% of the assemblages. Above 6 cm, the percentage of *A. glomerata* increases (20-45%), whereas the proportion of *S. biformis* decreases (< 60%).

4.2 Post flood variations of micropaleontological assemblages in surface sediments

4.2.1 Inner basin

In addition to box core SAG-9730, 2 other box cores were collected at the same site in 1998 and 1999 (Fig. 4). In the surface sediments (0-1 cm in 1998 and 0-0,5 in 1999), the concentrations are less than 27 tests/g. Due to the small number of foraminifers recovered in the 1999 subsamples (n=13), the relative composition (*i.e.*, percentages) of the assemblages are reported only for subsamples collected in 1997 and 1998. The foraminiferal analyses reveal abundant agglutinated taxa relative to calcareous ones. The agglutinated species *S. biformis* and *A. glomerata* dominate the assemblages (30-45%) with some agglutinated and calcareous species, such as *C. crassimargo* (< 15%) and *Q. seminulum* (< 8%). There is an increase of *A. glomerata* relative to *S. biformis* from 1997 to 1998,

as observed in core SAG-9730.

Three box cores were collected at station SAG-36 on the eastern slope of the inner basin (Fig. 1), in 1997, 1998 and 1999 (Fig. 4). Like at SAG-30, the flood material is not visible in the surface sediments. According to the foraminiferal content, the concentrations are relatively uniform, ranging from 29.4 to 44.2 tests/g. However, the assemblages show significant variations in diversity. In the surface sample collected in 1997, the diversity is low and *S. biformis* largely dominates the assemblage accounting for nearly 90% of the tests. In the 1998 sample, *S. biformis* still dominates but only accounts for about 50% of the tests. In the 1998 sample, the diversity increased significantly with the presence of calcareous species such as *Cassidulina reniforme*, *Elphidium excavatum* and *Islandiella norcrossi*. In the 1999 sample, the assemblages are dominated by *C. crassimargo* (65%), whereas *S. biformis* is almost absent (2%). In the 1999 sample, we also observed new accompanying taxa such as *Quinqueloculina seminulum*, *Quinqueloculina agglutinata* and *Reophax fusiformis*. As reported at site SAG-30, *S. biformis* recorded a decrease in percentages from 1997 to 1999.

At station SAG-15 on the western slope of the inner basin (Fig. 1), 4 box cores were collected, in 1994, 1997, 1998 and 1999 (Fig. 4). According to visual observations, radioisotopic and geochemical data (Savard, 2000), the 1996 flood layer is about 5 cm thick. Due to the small number of foraminifers recovered in the 1994 (n=19) and 1997 (n=4) subsamples, we calculated relative compositions only in the subsamples collected in 1998 and 1999. In the 1998 sample, the concentrations are highest, reaching 119 tests/g. The assemblage is dominated by *C. reniforme* (70%) and *S. biformis* (30%). In the 1999 sample, the concentration decreased significantly (<20 tests/g) and the diversity increased notably with the occurrence of calcareous taxa *Pyrgo williamsoni* and *Robertinoides charlottensis*. *C. reniforme* still dominated the 1999 sample (80%)

whereas *S. biformis* displayed a significant decrease (<5%).

4.2.2 Baie des Ha! Ha!

Based on visual observations and ^{210}Pb data, the flood layer is up to 50 cm in the Baie des Ha! Ha! (Savard, 2000; Locat *et al.*, 1998). The sedimentation rate is quite uniform at the studied stations, ranging from 0.1 to 0.15 cm/year based on ^{137}Cs measurements (Barbeau *et al.*, 1981).

Four stations were sampled in the Baie des Ha! Ha!: SAG-02, SAG-07, SAG-09 and SAG-13 (Fig. 1a). Surface sediments in box cores recovered in 1998 and 1999 were analyzed for their foraminiferal content (Fig. 5). Between 1998 and 1999 samples, the concentration increased significantly, doubling at all stations, except at SAG-02, where it decreased. The diversity also increased from the 1998 to the 1999 samples with the occurrence of calcareous species such as *Bulimina exilis*, *Q. seminulum*, *R. charlottensis* and *P. williamsoni*. Finally, we observed a general decrease in *C. reniforme* at all stations in the Baie des Ha! Ha! except at SAG-02 where the percentages of this species remained constant in the 1998 and 1999 samples.

4.2.3 North Arm

At St-Fulgence, the flood layer is about 20-30 cm thick (Maurice and Locat, 2000; Deflandre *et al.*, 2000). Based on ^{210}Pb and ^{137}Cs measurements the sedimentation rate was calculated to be about 2-7 cm/year (Smith and Walton, 1980; Barbeau *et al.*, 1981).

Three box cores were collected at station St-Fulgence, in the North Arm (Fig. 1a). Because few foraminifera tests were found in the 1997 (n=1) and 1999 (n=27) samples,

no interpretation can be drawn on foraminiferal assemblages. Among the meiofaunal assemblages, freshwater Rhizopoda occur in low numbers, the concentrations are less than 4.6 tests/g. The observed specimens belong to the thecamoebian species *Centropyxis aculeata*, *Centropyxis constricta*, *Diffflugia oblonga* and *Diffflugia protaeiformis*. In the 1998 sample, *D. oblonga* is the dominant species. It is associated with a fresh water habitat. In the 1999 sample, *C. aculeata* dominates, a species related to fresh or slightly brackish water habitats (Scott *et al.*, to be published).

5. Discussion

5.1 Temporal changes in the inner basin

The geochemical and isotopic records of core SAG-9730 show very little variation and suggest relatively uniform sedimentary processes over the last ca. 35 years. The relative uniformity of the record is also explained by smoothing by bioturbation. Nevertheless, core SAG-9730 seems to show a slight decrease in organic carbon content from the base to the top (Fig. 2) and a change in foraminiferal populations. In particular, a relative decrease in *S. biformis* at 6 cm appears significant. The precise date of the change in foraminiferal assemblage is difficult to assess because of the biological mixing in sediments. Nevertheless, assuming uniform mixing through time, the ^{210}Pb measurements suggest that the main change occurred in the late 1970's. But, in a previous study by Schafer *et al.* (1991), the authors report a decrease in *S. biformis* in the North Arm of the Saguenay Fjord. They associated the declines of *S. biformis* with the increase in sedimentary organic matter (OM) concentrations, the values of which reach a maximum in 1965. They interpreted this change as a response to the implementation of governmental regulations limiting the discharge and concentration of pollutants to the environment together with the capping of contaminated sediments by marine clays deposited following the 1971 St-Jean-Vianney landslide. In contradiction to observations by Schafer *et al.* (1991), the decrease in *S. biformis* in core SAG-9730 could reflect a decrease in OM concentration. A positive correlation seems to link OM content and *S. biformis*. Another possible explanation for the change in the assemblages at 6 cm could be the type of organic carbon delivered to the sediments of the inner basin. A logarithmic relation could be linked between *S. biformis* and the type of C_{org} , which is

reached with a high quantity of OM.

At sites SAG-30, SAG-36 and SAG-15, the variations in the assemblages in surface sediments through time are consistent with observations in the upper 10 cm of box core SAG-9730. In particular, we observed a decrease in *S. biformis*. At all sites from the inner basin the benthic foraminiferal concentrations increase significantly in 1998, *i.e.*, 2 years after the flood. This increase in concentrations may reflect an improvement in the benthic environment. However, it may also suggest natural variations of the populations through time.

5.2 Variations in the upstream branches of the Saguenay Fjord

In spite of the thick flood layer at stations in the Baie des Ha! Ha!, the benthic foraminiferal populations recolonized the sediments within two years of the flood, but we can not observe a clear trend in the assemblages. Analyses of pre-flood samples would be required to document the evolution of the populations. Furthermore, the mosaic character of the benthic environment of the Saguenay Fjord does not allow firm conclusions concerning its evolution.

The low numbers of foraminifera found in the samples from the North Arm do not allow an unequivocal interpretation, such as variations in the assemblages through time. The bottom salinity of the waters in the North Arm, which varies from 28 to 31‰ (Schafer *et al.*, 1991) does not allow an *in situ* productivity of the thecamoebian species observed. However, the presence of these thecamoebians, as reported in the same area by Schafer *et al.* (1991), reflects a source from freshwater and brackish environments near the mouth of the Saguenay River and a transport into the North Arm basin.

6. Summary

The study of benthic foraminifera populations collected in surface sediment of the Saguenay Fjord allows a few concluding remarks.

The 1996 flood material had a limited impact on the benthic foraminifera populations of the fjord. The accidental sedimentary input related to the flood probably affected the benthic meiofauna. However, only two years after this event, relatively abundant and diverse foraminifera assemblages developed in surface sediments, even in the Baie des Ha! Ha! where the flood layer is particularly thick. A rapid rate of recolonization of the benthic environment by the meiofaunal can therefore be inferred. After the 1996 flood, slightly changing assemblages of benthic foraminifera developed at most sampling sites of the fjord, notably with respect to decrease in relative abundance of *S. biformis*. Inasmuch as this species is indicative of polluted benthic environment (*cf.* Schafer *et al.*, 1991), the significant decrease of its percentages in the inner basin could indicate that the flood indeed contributed to isolate contaminated sediments.

A monitoring of the benthic foraminifera populations in parallel with measurements of trace metals, alkalinity, salinity, water temperature and dissolved oxygen concentration of the bottom water would be necessary in order to better define the causes of the recent variations of the meiofaunal assemblages in the Saguenay Fjord.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the technical staff of the GEOTOP and to Alcide C. Horth crew. We are grateful to Émilien Pelletier (Université du Québec à Rimouski) and David Scott (Dalhousie University) for their critical review of the manuscript.

Appendix 1

Systematic taxonomy

I) Foraminifera

Adercotryma glomerata (Brady) :

Lituola glomerata Brady, 1878, p. 433, pl. 20, figs. 1 a-c.

A. glomerata (Brady) Barker, 1960, pl. 34, figs. 15-18.

Bulimina exilis Brady :

B. elegans var. *exilis* Brady, 1884, p. 399, pl. 50, figs. 5-6.

B. exilis (Brady) Cushman and Parker, 1940, p. 11, pl. 2, figs. 18-21.

Cassidulina reniforme Nørvang :

C. crassa d'Orbigny var. *reniforme* Nørvang, 1945, p. 41, figs. 6c-h.

C. reniforme (Nørvang) Scott, 1987, p. 327, pl. 2, figs. 11-12.

Cribrostomoides crassimargo (Norman) :

Haplophragmium crassimargo Norman, 1892.

C. crassimargo (Norman) Guilbault, 1980, pl. 1, fig. 6.

Elphidium excavatum (Terquem) :

Polystomella excavata Terquem, 1876, p. 429, pl. 2, figs. 2a-d.

E. excavatum (Terquem) formae Miller et al., 1982, (all).

Hyperammia sp. :

Hyperammia sp., Brady, 1878.

Islandiella norcrossi (Cushman) :

Cassidulina norcrossi Cushman, 1933, p. 7, pl. 2, fig. 7.

I. norcrossi (Cushman) Guilbault, 1980, pl. 8, figs. 1-14.

Systematic taxonomy (continued)

Lagena mollis Cushman :

Lagena gracillima (Seguenza) var. *mollis* Cushman, 1944, p. 21, pl. 3, fig. 3.

Lagena striata (d'Orbigny) :

Oolina striata d'Orbigny, 1839, p. 21, pl. 5, fig. 12.

L. striata (d'Orbigny) Barker, 1960.

Miliolinella circularis (Bornemann) :

Triloculina circularis Bornemann, 1855, p. 349, pl. 19, fig. 4.

M. circularis (Bornemann) Wiesner, 1931, p. 63.

Paratrochammina challengeri : Brönnimann and Whittaker

P. challengeri, Brönnimann and Whittaker, 1988.

Pyrgo williamsoni (Silvestri) :

Biloculina Williamsoni Silvestri, 1923, p. 73.

P. williamsoni (Silvestri) Loeblich and Tappan, 1953, p. 48, pl. 6, figs. 1-4.

Quinqueloculina seminulum (Linné) :

Serpula seminulum Linné, 1758, p. 786, pl. 2, fig. 1.

Q. seminulum (Linné), d'Orbigny, 1826, p. 301.

Quinqueloculina stalker (Cushman):

Quinqueloculina fusca Cushman, 1948, p.33, pl. 3, figs. 16, 17.

Q. stalker (Cushman) Loeblich and Tappan, 1953, p. 40, pl. 5, figs. 5-9.

Robertinoides charlottensis (Cushman) :

Cassidulina charlottensis Cushman, 1925, p. 41, pl. 6, figs. 6-7.

R. charlottensis (Cushman) Loeblich and Tappan, 1953, p. 108, pl. 20, figs. 6-7.

Spiroplectammina biformis (Parker and Jones) :

Textularia agglutinans d'Orbigny var. *biformis* Parker and Jones, 1865, p. 370, pl. 15, figs. 23-24.

S. biformis (Parker and Jones) Cushman, 1927, p. 23, pl. 5, fig. 1.

II) Thecamoebians

Centropyxis aculeata (Ehrenberg) :

Arcella aculeata Ehrenberg, 1832, p. 91.

C. aculeata (Ehrenberg) Mediolli and Scott, 1983, p. 39, pl. 7, figs. 10-19.

Centropyxis constricta (Ehrenberg) :

Arcella constricta Ehrenberg, 1843, p. 410, pl. 4, fig. 35; pl. 5, fig. 1.

C. constricta (Ehrenberg) Mediolli and Scott, 1983, p. 41, pl. 7, figs. 1-9.

Diffflugia oblonga Ehrenberg :

D. oblonga Ehrenberg, 1832, p.90. Mediolli and Scott, 1983, p.25, pl.2, figs. 1-17, 24-26.

Diffflugia protaeiformis Lamarck :

D. protaeiformis Lamarck, 1816, p.95. Mediolli and Scott, 1983, p. 17, pl. 1, figs. 15-20.

References

Barbeau, C., Bougie, R. and Côté, J.-E., 1981. Variations spatiales et temporelles du césium-137 et du carbone dans les sédiments du fjord du Saguenay. *Canadian journal of earth sciences* 18: 1004-1011.

Barker, R.W., 1960. Taxonomic notes on the species figured by H.B. Brady in his report on the foraminifera dredged by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. *Society of Economic Paleontology and Mineralogy, Special publication* 9, 238 p.

Basham, P.W., Weichert, D.H., Anglin, F.M. and Berry, M.J., 1985. New probabilistic strong seismic ground motion maps of Canada: A compilation of earthquake source zones, methods and results. *Earth Physics Branch, Energy, Mines and Ressources Canada, Open File* 82-33, 205 p.

Blais-Stevens, A. and Patterson, R.T., 1998. Environmental indicator potential of foraminifera from Saanich Inlet, Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Journal of Foraminiferal Research* 28 (3): 201-219.

Bornemann, J.G., 1855. Die mikroskopische Fauna des Septarienthones von Hermsdorf bei Berlin. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 7: 307-371.

Brady, H.B., 1878. On the reticularian and radiolarian Rhizopoda (Foraminifera and Polycystina) of the North Polar Expedition of 1875-76. *Annals and Magazine of Natural History, ser. 5, 1*: 425-550.

Brady, H.B., 1884. Report on the foraminifera dredged by H.M.S. Challenger, during the years 1873-1876, in: *Report on the Scientific Results of the Voyage of the H.M.S. Challenger during the years 1873-1876, Zoology* 9, 814 p.

Brönnimann, P. and Whittaker, J.E., 1988. The Trochamminacea of the Discovery Reports. *British Museum (Natural History), London*.

Coplen-Tyler, B., 1995. Discontinuance of SMOW and PDB. *Nature* 375: 285.

Courcelles, M., 1998. Enregistrement sédimentaire des flux récents de métaux lourds (Pb, Hg) et d'isotopes à courte période (^{210}Pb , ^{137}Cs et ^{228}Th) dans un lac sub-arctique à faible vitesse de sédimentation (Lac Jobert, Québec). PhD. Thesis, Université du Québec à Montréal, Québec.

Culver, S. J., 1993. Foraminifera, in Lipps, J. E. (ed.), *Fossil prokaryotes and protists*: Blackwell Scientific Publications, 203-247.

Cushman, J.A., 1925. Recent foraminifera from British Columbia. *Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 1: 38-47.

Cushman, J.A., 1927. An outline of a re-classification of the foraminifera: *Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 3: 1-105.

Cushman, J.A., 1933. Some new foraminiferal genera. *Contribution from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 9: 32-38.

Cushman, J.A., 1944. Foraminifera from the shallow water of the New England coast. *Special publications Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 12: 1-37.

Cushman, J.A., 1948. Arctic Foraminifera. *Special publications Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 23: 1-79.

Cushman, J.A. and Parker, F.L., 1940. The species of the genus *Bulimina* having Recent types. *Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research* 16: 7-23.

Deflandre, B., Gagné, J-P., Sundby, B., Mucci, A., Guignard, C. and Anschutz, P., 2000. The 1996 flood event: disruption of the ongoing diagenesis of Saguenay fjord sediments. In *Proceedings*, vol. 1, 53rd Canadian Geotechnical Conference, Speciality sessions: The Saguenay fjord flood, Montreal, Canada.

d'Orbigny, A., 1826. Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes, Annales des Sciences Naturelles, sér. 1. 7: 267-268, 276, 278.

d'Orbigny, A., 1839. Voyage dans l'Amérique méridionale: Foraminifères. Levrault 5, (5): 18.

Drainville, G., 1968. Le fjord du Saguenay: contribution à l'océanographie. Le Naturaliste canadien 95: 809-855.

Ehrenberg, G.C., 1832. Über die Entwicklung und Lebensdauer der Infusionsthire, nebst fernerer Beiträgen zur einer Vergleichung ihrer organischen Systeme. KJ. Akad. Wiss. Berlin Abh., 1831, Phys. Abh. : 1-154.

Ehrenberg, G.C., 1843. Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-Amerika: Königliche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Abhandlungen, 1841, Physikalische Abhandlungen: 291-446.

Fortin, G.R. and Pelletier, M., 1995. Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du Saguenay. Zones d'intervention prioritaire 22 et 23. Environnement Canada, Centre Saint-Laurent, Rapport technique.

Guibault, J.-P., 1980. A stratigraphic approach to the study of late-glacial Champlain Sea deposits with the use of foraminifera. Geologic Institute, Aarhus University.

Lasalle, P. and Tremblay, G., 1978. Dépôts meubles Saguenay Lac St-Jean. Rapport 191, Ministère des Richesses naturelles du Québec.

Leduc, J., 2001. Study of benthic foraminiferal populations in the sediments of the Saguenay Fjord. MSc Thesis, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.

Linné, C., 1758. Systema Naturae, 10th ed., vol. 1. Holmiae [Stockholm]: L. Salvii, 824 p.

Locat, J., Desrosiers, G., de Vernal, A., Gagné, J.-P., Galvez-Cloutier, R., Gratton, Y., Hill, P., Hillaire-Marcel, C., Long, B., Mucci, A., Pelletier, É., Simpkin, P. and Therrien, R., 1998. Performance de la couche de sédiments du déluge de 1996 recouvrant les sédiments contaminés du fjord du Saguenay: une occasion de développement technologique. Congrès annuel conjoint AGC/AMC, Recueil des résumés, vol. 23, p. 111.

Loeblich, A.R. and Tappan, H., 1953. Studies of Arctic Foraminifera. Smithsonian Miscellaneous Collections, 121 (7).

Loring, D.H., 1976. Distribution and partition of zinc, copper and lead in the sediments of the Saguenay Fjord. Canadian Journal of Earth Sciences 13: 960-971.

Loring, D.H. and Nota, D.J., 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. Bulletin Fisheries Research Board of Canada 182: 147.

Louchouart, P., Lucotte, M., Canuel, R., Gagné, J.-P. and Richard, L.P., 1997. Sources and early diagenesis of lignin and bulk organic matter in the sediments of the lower St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. Marine Chemistry 57: 3-26.

Louchouart, P., Lucotte, M., Farella, N., 1999. Historical and geographical variations of sources and transport of terrigenous organic matter within a large-scale coastal environment. Organic Geochemistry 30: 675-699.

Maurice, F. and Locat, J., 2000. Caractéristiques géotechniques et évolution de la couche de sédiment déposée lors du déluge de 1996 dans la Baie des Ha! Ha! (Fjord du Saguenay, Québec). In Proceedings, vol. 1, 53rd Canadian Geotechnical Conference, Speciality sessions: The Saguenay fjord flood, Montreal, Canada.

Medioli, F.S. and Scott, D.B., 1983. Holocene Arcellacea (Thecamoebians) from the Eastern Canada: Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication 21, 63 p.

Miller, A.A.L., Scott, D.B. and Medioli, F.S., 1982. *Elphidium excavatum* (Terquem):

ecophenotypic versus subspecific variation: *Journal of Foraminiferal Research* 12: 116-144.

Norman, A.M., 1892. *Museum Normanianum*. pt. 7-8, Durham: The author : 14-21.

Nørvang, A., 1945. *The zoology of Iceland: Foraminifera*, vol. 2, pt. 2. Copenhagen & Reykjavik: Ejnar Munksgaard: 1-79.

Parker, W.K. and Jones, T.R., 1865. On some foraminifera from the North Atlantic and Arctic oceans, including Davis Straits and Baffin's bay. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 155: 325-441.

Pelletier, É., Mostajr, B., Roy, S., Gosselin, M., Gratton, Y., Chanut, J-P., Belzile, C., Demers, S. and Thibault, D., 1999. Crue éclair de juillet 1996 dans la région du Saguenay (Québec). 1. Impacts sur la colonne d'eau de la Baie des Ha! Ha! et du fjord du Saguenay. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 2120-2135.

Pelletier, É., 1997. *Compte-rendu du mini-colloque sur le fjord du Saguenay post-dé-luge*. Groupe de recherche en environnement côtier, rapport interne, INRS-Océanologie, Rimouski.

Perret, D., 1994. *Diagénèse précoce des sédiments fins du fjord du Saguenay*. PhD Thesis, Laval University, Quebec City, Québec.

Perret, D., Locat, J., Leroueil, S., 1995. Strength development with burial in fine-grained sediments from the Saguenay Fjord. *Canadian Geotechnical Journal* 32: 247-262.

Pocklington, R., 1976. Terrigenous organic matter in surface sediments from the Gulf of St. Lawrence. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 220: 49-58.

Praeg, D.B. and Syvitski, J.P.M., 1991. *Marine geology of Saguenay Fjord*. Geological Survey of Canada. Open file 2395, 14 leaves.

Savard, J., 2000. Évolution temporelle des couches accidentelles (crues, séismes, glissements de terrain) récentes du fjord du Saguenay d'après des profils de radio-isotopes de courte période (^{210}Pb , ^{137}Cs , $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th}$). MSc Thesis, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.

Schafer, C.T., Smith, J.N., Loring, D.H., 1980. Recent sedimentation events at the head of the Saguenay Fjord, Quebec. *Environmental Geology* 3: 139-150.

Schafer, C.T. and Smith, J.N., 1988. Evidence of the occurrence and magnitude of terrestrial landslides in recent Saguenay Fjord sediments, p. 137-145. In: M.J. El-Sabh and T.S. Murty. (Eds.), *Natural and Man-made Hazards*, D. Reidel, Dordrecht, 858 p.

Schafer, C.T., Smith, J.N. and Côté, R., 1990. The Saguenay Fjord: A major tributary to the St. Lawrence Estuary. In: El-Sabh, M.I., Silverberg, N. (Eds.), *Oceanography of a Large-Scale Estuarine System. The St. Lawrence*. Springer-Verlag, New York: 378-420.

Schafer, C.T., Collins, E.S. and Smith, J.N., 1991. Relationship of Foraminifera and thecamoebian distributions to sediments contaminated by pulp mill effluent: Saguenay Fjord, Quebec, Canada. *Marine Micropaleontology* 17: 255-283.

Scott, D.B., 1987. Quaternary benthic foraminifers from Deep Sea Drilling Project Sites 612 and 613, Leg 95, New Jersey transect: In: Poag, C.W., Watts, A.B. et al.: « Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project », vol. XCV, Washington (U.S. Government Printing Office): 313-337.

Scott, D.B, Medioli, F.S. and Schafer, C.T., to be published. Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators.

Silvestri, A., 1923. Microfauna pliocenia a rizopodi reticolari di Copocolle presso Forlì: *Memorie della Pontifica Accademia delle Scienze, Nuovi Lincei*, Roma 76: 70-77.

Smith, J.N. and Walton, A., 1980. Sediment accumulation rates and geochronologies

measured in the Saguenay Fjord using Pb-210 dating method. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 44: 225-240.

Smith, J.N. and Schafer, C.T., 1987. A 20th century record of climatologically modulated sediment accumulation rates in a Canadian Fjord. *Quaternary Research* 27: 232-247.

Smith, W.E.T., 1962. Earthquakes of eastern Canada and adjacent areas 1534-1927. *Publications of the Dominion Observatory* 26: 271-289.

St-Onge, G. and Hillaire-Marcel, C., 2000. Isotopic constraints of sedimentary inputs and organic carbon burial rates in the Saguenay Fjord, Quebec. MSc Thesis, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.

Syvitski, J.P.M. and Praeg, D.B., 1989. Quaternary sedimentation in the St. Lawrence Estuary and adjoining areas, Eastern Canada: An overview based on high-resolution seismo-stratigraphy. *Géographie Physique et Quaternaire* 43: 291-310.

Syvitski, J.P.M. and Schafer, C.T., 1996. Evidence for earthquake-triggered basin collapse in Saguenay Fjord, Canada. *Sedimentary Geology* 104: 127-153.

Terquem, O., 1876. Essai sur les classements des animaux qui vivent sur la plage et dans les environs de Dunquerque, Fasc. 2, Paris: 55-100.

Wiesner, H., 1931. Die Foraminiferen der deutschen Südpolar Expedition 1901-1903. *Deutsche Südpolar-Expedition. Zoologie* 20 (12): 53-165.

Zhang, D., 2000. Fluxes of short-lived radioisotopes in the marginal marine basins of Eastern Canada. PhD Thesis, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.

Samples	Latitude N	Longitude W	Depth (m)	Core length (cm)	Year	Cruise	Platform
<i>St-Fulgence</i>							
MB97-01-06-BO-03	48°25.40	70°51.57	48	43	1997	MB97-01	b
St-Ful-08-98	48°25.35	70°51.63	59	45	1998	AH9808	a
St-Ful-05-99	48°25.37	70°51.53	65	40	1999	AH9905	a
<i>Baie des Ha!Ha!</i>							
<i>Sag-02</i>							
B03-16-BX	48°20.40	70°50.45	118	n.a.	1998	AH9805	a
SAG-02-05-99	48°20.46	70°51.58	106	31	1999	AH9905	a
<i>Sag-07</i>							
B05-12,2-BX	48°20.74	70°48.24	148	n.a.	1998	AH9805	a
SAG-07-05-99	48°20.80	70°48.94	150	40	1999	AH9905	a
<i>Sag-09</i>							
B07-10-BX	48°21.21	70°46.55	145	n.a.	1998	AH9805	a
SAG-09-05-99	48°21.30	70°49.23	156	35	1999	AH9905	a
<i>Sag-13</i>							
B11-20-BX	48°21.85	70°43.68	211	n.a.	1998	AH9805	a
SAG-13-05-99	48°21.76	70°44.30	201	54	1999	AH9905	a
<i>Sag-15</i>							
SL94B-Sag-15	48°21.87	70°42.56	225	50	1994	SL94B	c
MB97-01-04-BO-04	48°21.74	70°42.30	233	45	1997	MB97-01	b
SAG-15-08-98	48°21.69	70°42.24	230	46	1998	AH9808	a
SAG-15-05-99	48°21.69	70°42.41	231	42	1999	AH9905	a
<i>Sag-30</i>							
MB97-01-12-BO-06*	48°21.76	70°23.75	267	43	1997	MB97-01	b
SAG-30-08-98	48°21.71	70°23.71	268	47	1998	AH9808	a
SAG-30-05-99	48°21.71	70°23.67	269	46	1999	AH9905	a
<i>Sag-36</i>							
MB97-01-14-BO-07	48°15.42	70°09.46	242	42	1997	MB97-01	b
SAG-36-08-98	48°15.70	70°09.86	242	30	1998	AH9808	a
SAG-36-05-99	48°15.50	70°08.36	231	40	1999	AH9905	a
a= Alcide C. Horth; b= Martha L. Black; c= Louis St-Laurent; n.a.= non available; * in the text= SAG-9730.							

Table 1. Location and water depth of the surface samples and cores in the Saguenay Fjord.

	1994	1997			
	SAG-15	St-Ful	SAG-15	SAG-30	SAG-36
Depth interval (cm)	0-0.5	0-0.5	0.5-1	0-1	0-0.5
Sediment type (f=fresh)	f	f	f	f	f
Concentration (tests/g)	7.9	0.2	1.2	13.8	29.4
Number of species	3	1	2	5	4
Agglutinated species					
<i>Adercotryma glomerata</i>	63.2			29.6	4
<i>Cribratomoides crassimargo</i>			25	14.8	4
<i>Hyperrammina</i> sp.				3.7	
<i>Paratrochammina challengeri</i>					
<i>Reophax scottii</i>					1
<i>Spiroplectammina biformis</i>	31.6	100		44.4	91
Undetermined					
Calcareous species					
<i>Bulimina exilis</i>					
<i>Cassidulina reniforme</i>	5.3				
<i>Elphidium excavatum</i>					
<i>Islandiella norcrossi</i>					
<i>Lagena mollis</i>					
<i>Lagena striata</i>					
<i>Miliolinella circularis</i>					
<i>Pyrgo williamsoni</i>					
<i>Robertinoides charlottensis</i>					
<i>Quinqueloculina seminulum</i>				7.4	
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>					
Undetermined					
Planktonic specimens			75		
Specimens counted	19	1	4	27	101
Thecamoebians					
Concentration (tests/g)					
<i>Centropyxis aculeata</i>					
<i>Centropyxis constricta</i>					
<i>Diffflugia oblonga</i>					
<i>Diffflugia protaeiformis</i>					
Specimens counted					

Table 2a. Total benthic foraminifera and thecamoebians percentages for 1994 and 1997 surface samples collected in the Saguenay Fjord.

	1998							
	St-Ful	SAG-02	SAG-07	SAG-09	SAG-13	SAG-15	SAG-30	SAG-36
Depth interval (cm)	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1	0-1
Sediment type (f=fresh)	f	f	f	f	f	f	f	f
Concentration (tests/g)	21.6	50.6	28.9	48.4	18	119	27	44
Number of species	2	3	3	2	4	3	6	9
Agglutinated species								
<i>Adercotryma glomerata</i>					2.4		45.7	4.3
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>								1.8
<i>Fursenkoina fusiformis</i>							8.7	
<i>Hyperammina</i> sp.								
<i>Paratrochammina challengeri</i>								0.6
<i>Reophax scottii</i>								1.2
<i>Spiroplectammina bififormis</i>	97.8	20.4	8.2	17	14.1	29.4	32.6	48.8
undetermined							2.2	
Calcareous species								
<i>Bulimina exilis</i>								
<i>Cassidulina reniforme</i>		79.1	90.3	83	82.4	69.8		26.2
<i>Elphidium excavatum</i>	2.2	0.5						11
<i>Islandiella norcrossi</i>								5.5
<i>Lagena mollis</i>					1.2	0.8		
<i>Lagena striata</i>								
<i>Miliolinella circularis</i>								
<i>Pyrgo williamsoni</i>								
<i>Robertinoides charlottensis</i>								
<i>Quinqueloculina seminulum</i>								
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>			1.5				6.5	0.6
Undetermined							4.4	
Planktonic specimens								
Specimens counted	91	206	134	165	85	126	46	164
Thecamoebians								
Concentration (tests/g)	1.7							
<i>Centropyxis aculeata</i>	14.3							
<i>Centropyxis constricta</i>	14.3							
<i>Diffflugia oblonga</i>	71.4							
<i>Diffflugia protaeiformis</i>								
Specimens counted	7							

Table 2b. Total benthic foraminifera and thecamoebians percentages for 1998 surface samples collected in the Saguenay Fjord.

	1999							
	St-Ful	SAG-02	SAG-07	SAG-09	SAG-13	SAG-15	SAG-30	SAG-36
Depth interval (cm)	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5	0-0.5
Sediment type (z=frozen)	z	z	z	z	z	z	z	z
Concentration (tests/g)	11.4	22.8	49.5	95.5	25.7	18.7	16	44.2
Number of species	1	3	5	8	6	5	3	6
Agglutinated species								
<i>Adercotryma glomerata</i>			3.1	18	2.5	3.3	46.2	
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>								67.5
<i>Hyperrammina</i> sp.								
<i>Paratrochammina challengeri</i>								
<i>Q. aggutinata</i>								2.5
<i>Reophax fusiformis</i>								2.5
<i>Reophax scottii</i>				0.9				
<i>Spiroplectammina biformis</i>	100	16.1	29.9	49.6		3.3	38.5	2.5
Undetermined								
Calcareous species								
<i>Bulimina exilis</i>			13.4					
<i>Cassidulina reniforme</i>		80.7	42.3		25	83.3		6.3
<i>Elphidium excavatum</i>				0.9				
<i>Gyroidina</i> sp.							7.7	
<i>Islandiella norcrossi</i>								
<i>Lagena mollis</i>					2.5			
<i>Lagena striata</i>				0.9				
<i>Miliolinella circularis</i>		1.6						
<i>Pyrgo williamsoni</i>				18.9	17.5	6.7		
<i>Robertinoides charlottensis</i>				5.4	2.5	3.3		
<i>Quinqueloculina seminulum</i>		1.6	11.3	3.6	50		7.7	18.8
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>								
Undetermined				1.8				
Planktonic specimens								
Specimens counted	27	62	97	111	40	30	13	80
Thecamoebians								
Concentration (tests/g)	4.6	2.6						
<i>Centropyxis aculeata</i>	81.8	85.7						
<i>Centropyxis constricta</i>								
<i>Diffflugia oblonga</i>		14.3						
<i>Diffflugia protaeiformis</i>	18.2							
Specimens counted	11	7						

Table 2c. Total benthic foraminifera and thecamoebians percentages for 1999 surface samples collected in the Saguenay Fjord.

Depth (cm)	OC (%)	CaCO ₃ (%)	C _{org} /N _{tot}	δ ¹³ C (‰)	²¹⁰ Pb (dpm/g)	± ²¹⁰ Pb
0.5	2.35	0.58	18.8	-26.40	9.41	0.22
1.5	2.54	0.60	20.3	-26.29	12.74	0.34
2.5	2.63	0.71	18.6	-26.54	12.92	0.43
3.5	2.77	0.71	20.8	-26.39	10.68	0.33
4.5	2.54	0.75	20.5	-26.32	12.51	0.34
5.5	2.63	0.64	19.8	-26.00	11.58	0.39
6.5	2.74	0.68	19.4	-26.34	10.18	0.35
7.5	2.64	0.74	19.9	-26.38	11.17	0.30
8.5	2.78	0.61	19.6	-26.35	9.73	0.27
9.5	2.73	0.47	20.3	-26.38	9.17	0.51

Table 3. Geochemical and isotopic properties of box core SAG-9730 subsamples from site SAG-30 in the inner basin.

Figure captions

Figure 1. The Saguenay Fjord (Quebec). (A) Location of sampling sites. (B) Longitudinal profile along the Saguenay Fjord showing the bottom topography and salinity gradients.

Figure 2. Geochemical and isotopic properties of the core SAG-9730 from the inner basin.

Figure 3. Concentration and percentages of foraminifera in box core SAG-9730 (SAG-30). This sedimentary sequence corresponds to approximately 35 years of sedimentation, according to a sedimentation rate of 0.35 cm/yr.

Figure 4. Concentration and percentages of foraminifera in surface samples at station SAG-30, SAG-36 and SAG-36, in the inner basin. The stars stand for the samples in which there was less than 25 specimens, not enough to report meaningful percentages (see Table 2).

Figure 5. Concentration and percentages of foraminifera species in surface sediments from the Baie des Ha! Ha! in 1998 and 1999.

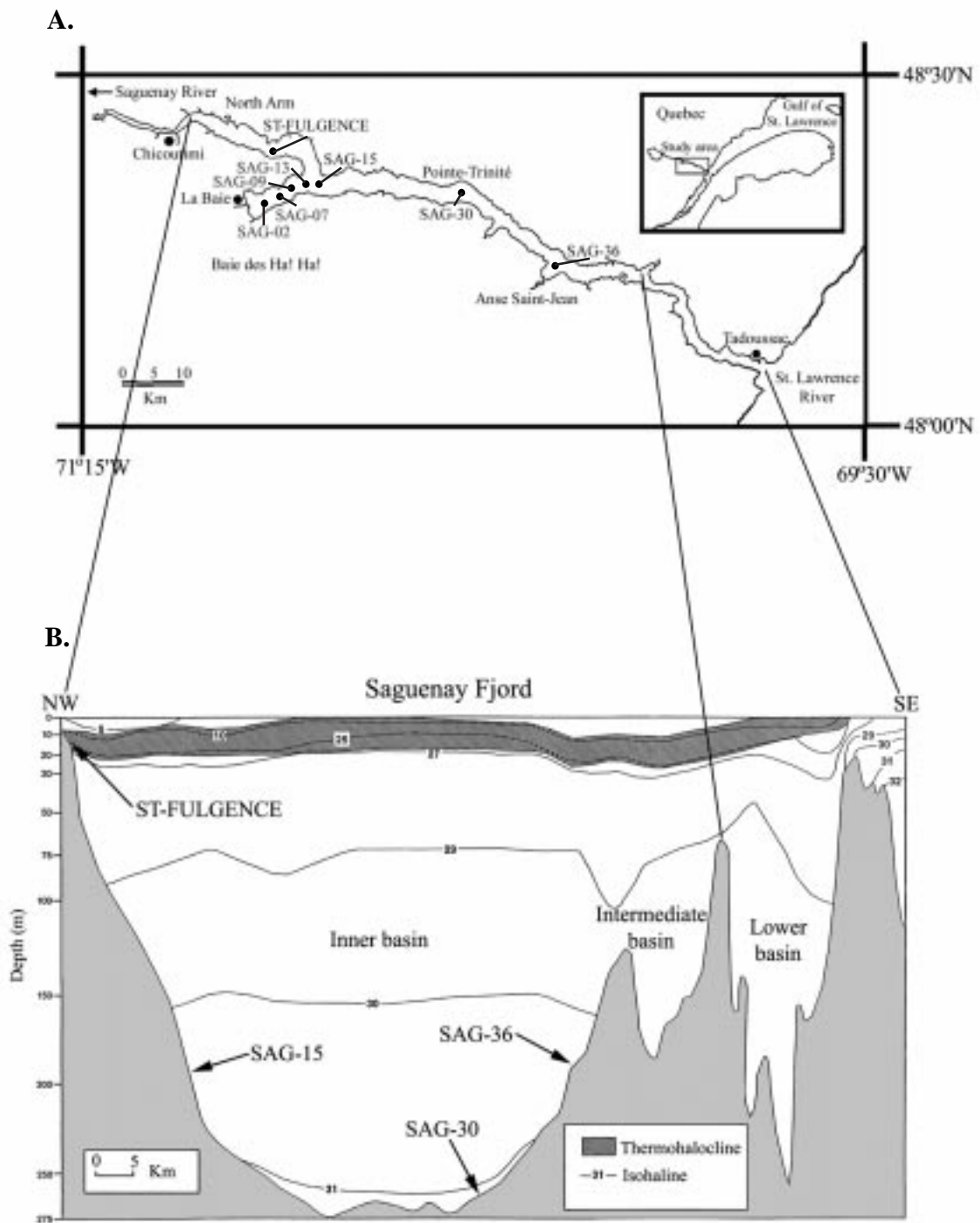


Figure 1

BOX CORE SAG-9730

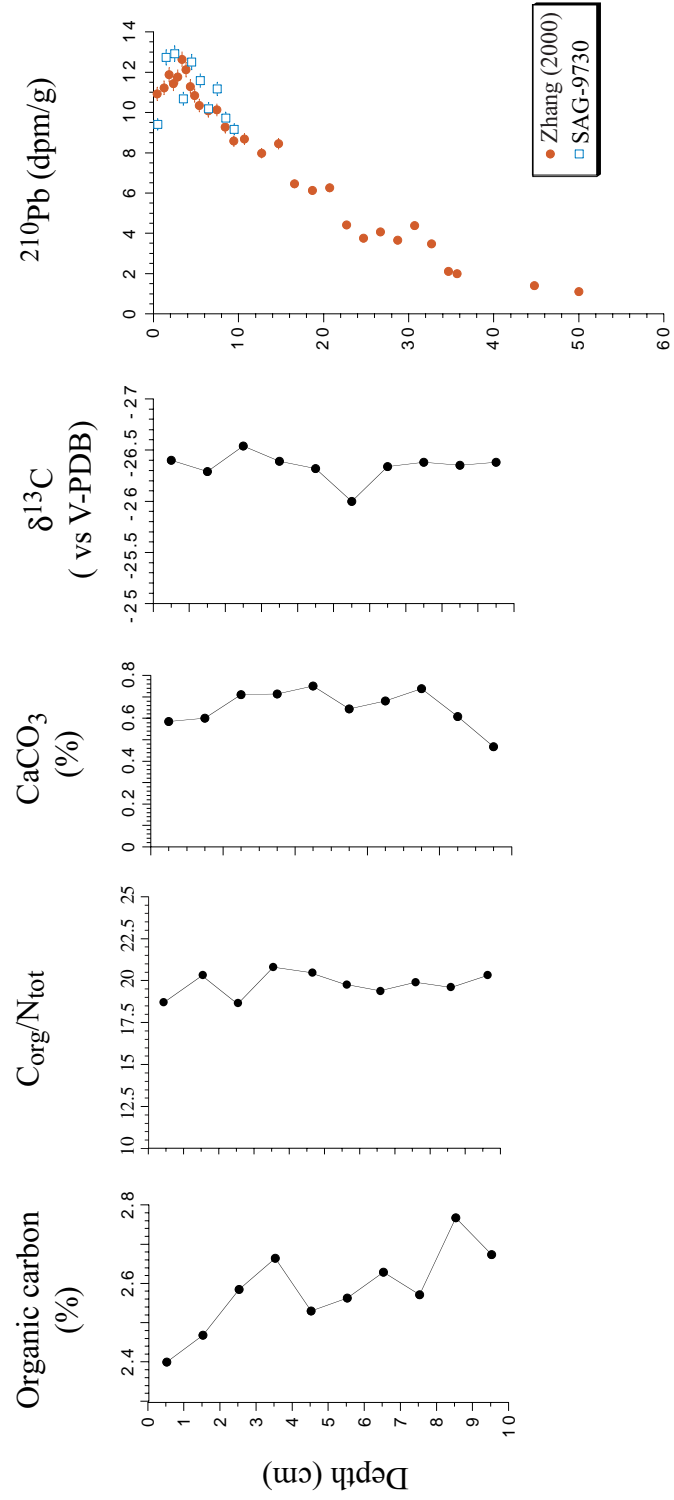


Figure 2

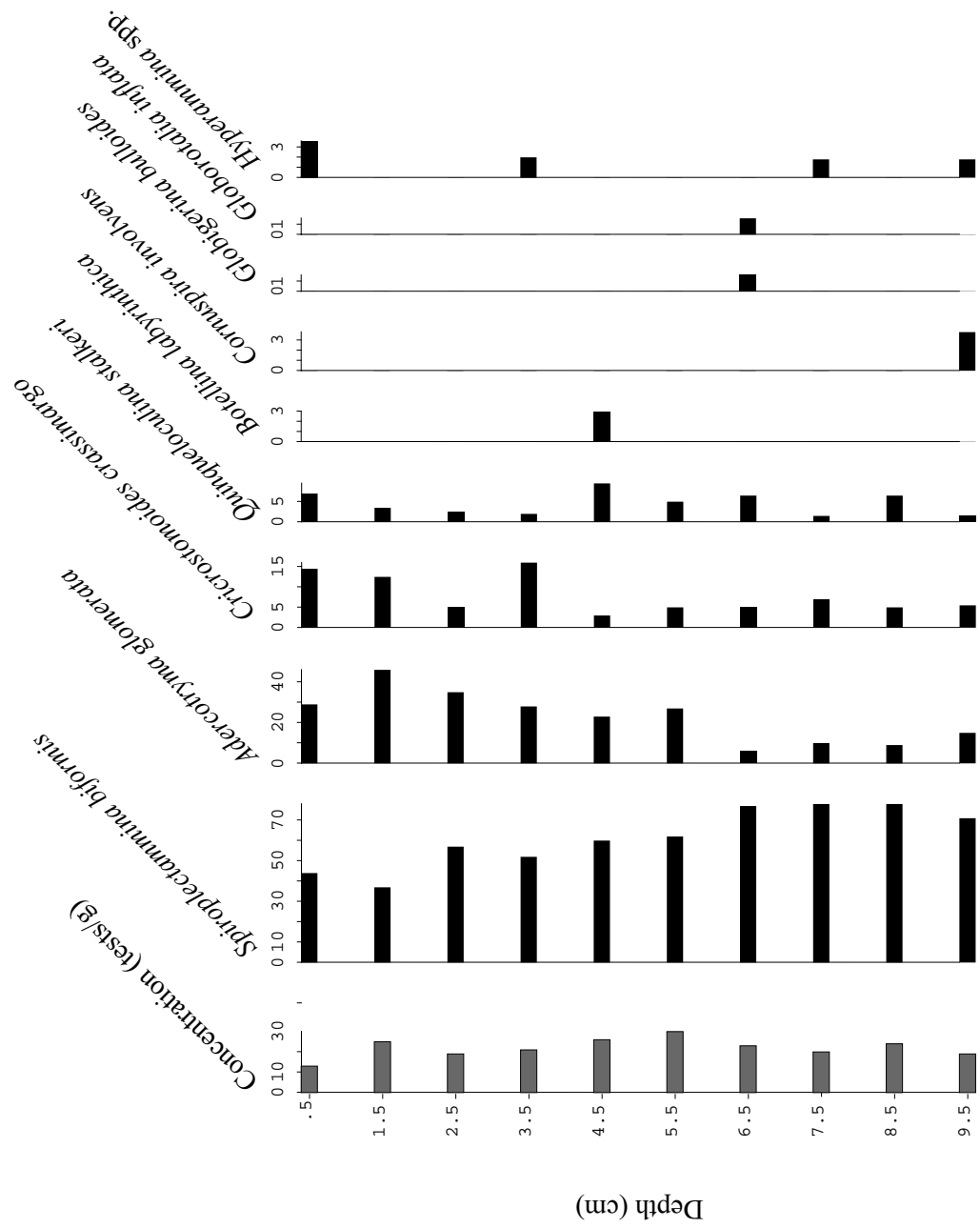


Figure 3

INNER BASIN

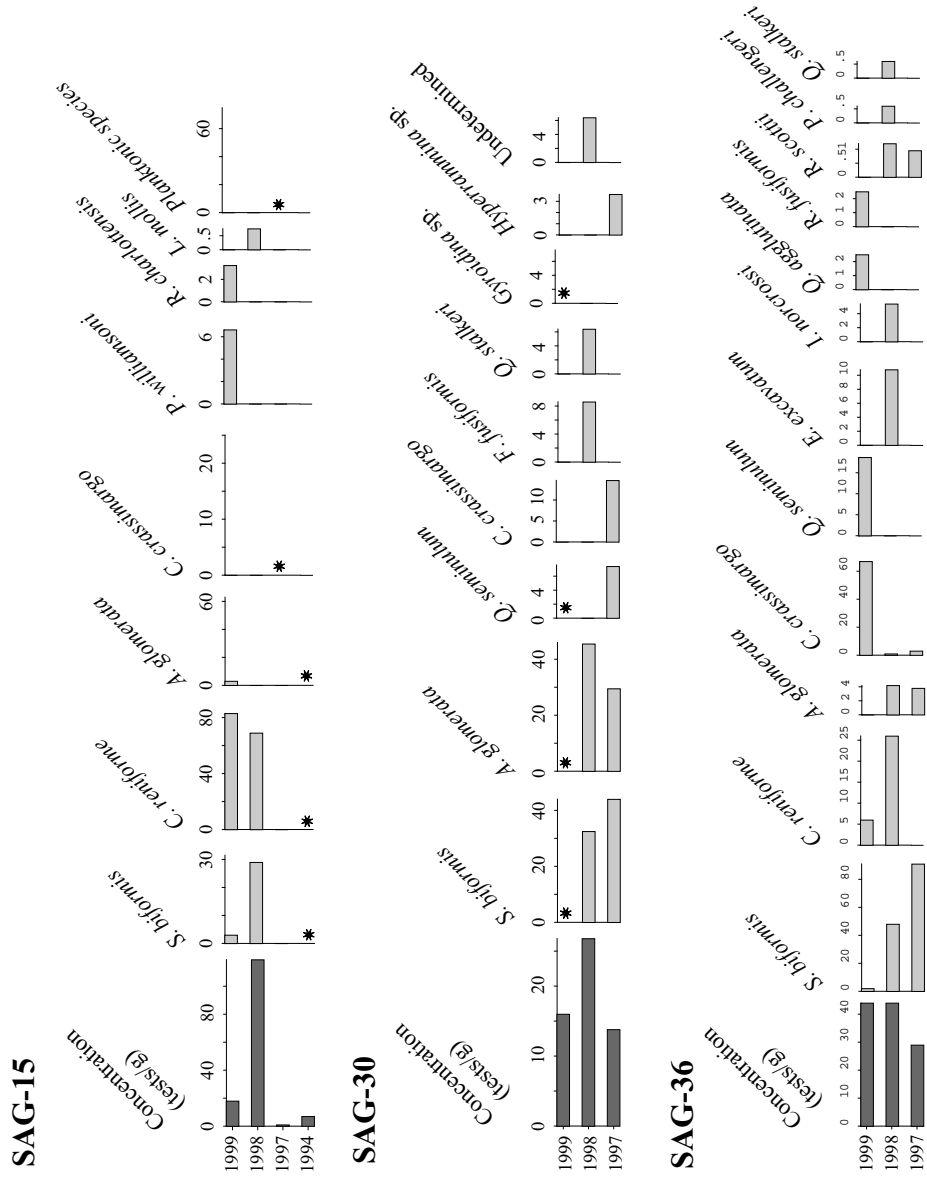
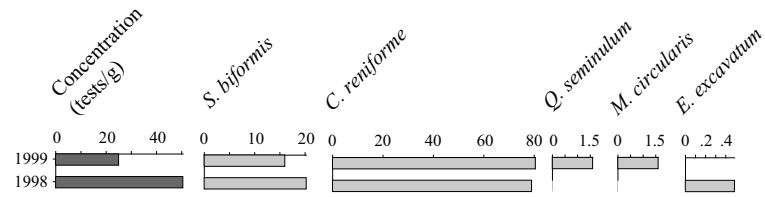


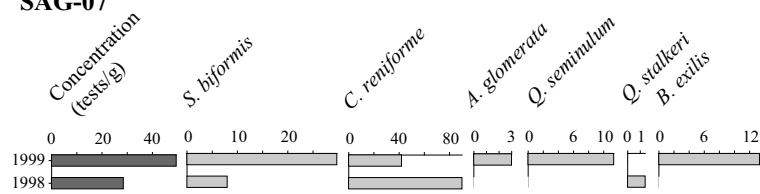
Figure 4

BAIE DES HA! HA!

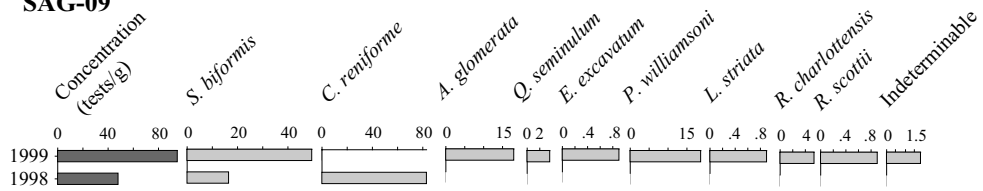
SAG-02



SAG-07



SAG-09



SAG-13

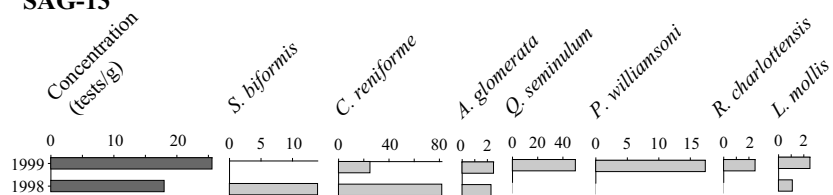


Figure 5

**Estimation quantitative de la dissolution des tests de carbonate
de calcium dans les sédiments de surface du fjord du Saguenay
(Québec)**

Leduc, J.¹, Bilodeau, G.¹, de Vernal, A.¹ and Mucci, A.²

Sera soumis à *Marine geology*

1. Centre de recherche en géochimie isotopique et en géochronologie (GEOTOP), Université du Québec à Montréal, Case postale 8888, Succursale Centre-Ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3P8.

2. Earth and Planetary Sciences, McGill University, 3450 University street, Montreal, Quebec, Canada, H3A 2A7.

RÉSUMÉ

Des analyses micropaléontologiques et palynologiques ont été réalisées sur des sédiments du fjord du Saguenay afin d'estimer quantitativement la dissolution du carbonate de calcium (CaCO_3). Le sous-échantillonnage des carotte-boîtes s'est effectué immédiatement après la collecte des sédiments sur le bateau. Les sous-échantillons ont été divisés en trois parties aliquotes : l'une réfrigérée, l'une congelée à 4°C et la dernière mélangée à une solution d'éthanol et de Rose Bengal. Chaque fraction aliquote a été analysée pour son contenu en tests de foraminifères (F) et réseaux organiques de foraminifères (RO).

Afin d'évaluer la dissolution *in situ*, la concentration des réseaux organiques est comparée à celle des tests de foraminifères benthiques dans les fractions aliquotes réfrigérées. La concentration de réseaux organiques de foraminifères benthiques est élevée (< 1061 réseaux/g) et est même de 1 à 2 ordres de grandeur plus élevée que la concentration de tests de foraminifères benthiques. Ces différences de concentrations permettent de calculer un indice de dissolution du carbonate de calcium ($\log \text{RO/F}$). Cet indice est positif dans le cas de dissolution et négatif dans le cas de préservation du CaCO_3 . Dans le fjord du Saguenay, l'indice varie généralement entre 1 et 2 et indique une dissolution du CaCO_3 à l'interface eau-sédiment, ou dans les premiers 4-5 mm, où se produit l'oxydation de la matière organique.

Bien que la dissolution du CaCO_3 dans les sédiments du fjord du Saguenay soit principalement responsable de la disparition d'une partie des populations de foraminifères benthiques, il semble se produire une dissolution post-échantillonnage liée à la méthode de préservation des sédiments. Les concentrations de tests de foraminifères présentent des différences significatives selon les fractions aliquotes. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les fractions aliquotes préparées avec la solution d'éthanol et Rose Bengal (< 164 tests/g). Pour ce qui est de la diversité des espèces de foraminifères benthiques, elle est également plus élevée dans les fractions aliquotes préparées avec la solution d'éthanol et Rose Bengal, avec la présence notamment de *Bulimina exilis* et *Lagena mollis*. Toutefois, on retrouve plus d'espèces à test carbonaté dans les fractions aliquotes congelées, tels que *Pyrgo williamsoni* et *Robertinoides charlottensis*.

INTRODUCTION

Une étude stratigraphique des sédiments du fjord du Saguenay a été réalisée en utilisant différents traceurs physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques (St-Onge *et al.*, 1999). Les analyses micropaléontologiques ont révélé une faible concentration de foraminifères benthiques, inférieure à 3 tests/cm³, alors que les analyses palynologiques dans les mêmes échantillons permettent de calculer des concentrations de réseaux organiques de foraminifères variant entre 50 et 3600 réseaux/cm³. La différence entre la concentration des tests de foraminifères et celle de leurs réseaux organiques reflète une dissolution du carbonate de calcium (CaCO₃) qui compose la paroi des tests sinon du ciment carbonaté de certains tests agglutinants de foraminifères benthiques. Toutefois, la cause de la dissolution du CaCO₃ est incertaine. Il pourrait s'agir d'une dissolution *in situ* du CaCO₃ résultant de la production de CO₂ métabolique dans la couche oxicque des sédiments du fjord (Mucci *et al.*, 2000; Froelich *et al.*, 1979). En effet, les sédiments du fjord du Saguenay ont un contenu variable mais élevé en carbone organique (C_{org}), par conséquent, la profondeur de pénétration de l'oxygène est typiquement de 4-5 mm dans les sédiments en raison des processus de dégradation de la matière organique (MO). Toutefois, il pourrait également s'agir d'une dissolution affectant le sédiment après l'échantillonnage. Les sédiments du fjord du Saguenay ont de fortes concentrations de monosulfures de fer qui, une fois en contact avec l'air, s'oxydent pour former de l'acide sulfurique qui cause une dissolution quasi instantanée du CaCO₃ (Canfield *et al.*, 1992; Froelich *et al.*, 1979; Raiswell *et al.*, 1994).

Afin d'évaluer quantitativement l'effet de la dissolution sur la préservation des tests de foraminifères et de vérifier si la dissolution du CaCO₃ se produit *in situ* ou suite à l'échantillonnage, nous avons réalisé des sous-échantillonnages et des traitements selon des protocoles différents, explicités ci-dessous.

MÉTHODOLOGIE

Échantillonnage et préparation des échantillons pour l'analyse des tests de foraminifères

Les carottes boîtes étudiées ont été prélevées en août 1998 à 4 stations dans le fjord du Saguenay : St-Fulgence, SAG-15, SAG-30 et SAG-36 (Tableau 1). Deux “push cores” ont été introduits dans les carottes boîtes, l’un archivé au GEOTOP et l’autre sous-échantillonné à bord de l’Alcide C. Horth. Le sous-échantillonnage a été effectué systématiquement à chaque centimètre à l’aide d’une table à découper munie d’un piston hydraulique. Les sous-échantillons ont été divisés en 3 parties aliquotes comme suit: (1) une a été congelée, (2) une autre a été réfrigérée à 4°C, (3) enfin, la dernière a été mélangée à une solution d’éthanol et de Rose Bengal. Après une réfrigération d’environ 4 heures, cette dernière partie aliquote a été tamisée sur une maille de 63 μ m, puis séchée. Une telle préparation devrait normalement limiter la dégradation de la matière organique (MO) et restreindre les effets de tout artéfact suivant l’échantillonnage en ce qui concerne la préservation des tests de foraminifères.

En laboratoire, les sous-échantillons réfrigérés et congelés ont été pesés, tamisés à 63 μ m et séchés. La fraction supérieure à 63 μ m a été analysée sous une loupe binoculaire (20X). Tous les foraminifères ont été extraits, identifiés et dénombrés dans chacune des fractions aliquotes provenant de trois profondeurs des carottes boîtes (0-1, 6-7 et 14-15 cm). Les concentrations sont exprimées en nombre de tests par gramme de poids sec. Les spécimens étaient identifiés “vivants” dans les préparations de Rose Bengal lorsqu’au moins la moitié de la surface du test était de couleur rose. Il est à noter que les interprétations peuvent être sujettes à des modifications mineures étant donné le faible nombre de tests de foraminifères présents dans l’ensemble des sous-échantillons étudiés (Tableau 3).

Préparation pour l'analyse des réseaux organiques de foraminifères

Afin de dénombrer les microfossiles à membrane organique, incluant les réseaux livrés par les foraminifères benthiques, on a procédé à des analyses palynologiques sur les sédiments réfrigérés. Les traitements ont été effectués selon la procédure usuelle du laboratoire de micropaléontologie du GEOTOP (cf. de Vernal et al., 1999). Elle consiste, tout d’abord, en un tamisage à 120 μ m et 10 μ m d’une aliquote d’environ 5 cm³ de sédiment humide, pour éliminer les silts fins et argiles ainsi que les sables grossiers. Ensuite, trois cycles de traitements à l’acide chlorhydrique (HCl) 10% puis à l’acide fluorhydrique (HF) 49% sont réalisés sur les fractions comprises entre 10 et 120 μ m afin d’éliminer successivement les fractions carbonatées et siliceuses. Ces traitements sont suivis d’une dernière attaque à l’HCl afin d’éliminer les fluorosilicates précédemment formés. Enfin, un dernier tamisage à 10 μ m et à 120 μ m est réalisé afin d’éliminer les

fines particules ainsi que les résidus grossiers formés lors des traitements chimiques. À la suite de ces traitements, les échantillons sont montés entre lame et lamelle dans la glycérine-gélatine pour l'analyse au microscope sous un grossissement de 250X à 1000X. La concentration des réseaux organiques de foraminifères benthiques a été calculée selon la méthode des grains marqueurs (Matthews, 1969; Stockmarr, 1971; Berglund et Person, 1995) qui consiste en l'ajout d'un volume connu de grains marqueurs (ici *Lycopodium clavatum*) à chaque échantillon. Selon de Vernal et al. (1987), cette méthode fournit des résultats dont la reproductibilité est de $\pm 10\%$ pour un intervalle de confiance de 95%. Toutefois, il est à noter que la limite inférieure de comptage s'établit ici à environ 10 individus par unité de volume puisque seule une fraction de l'échantillon a été analysée, représentant environ l'équivalent d'un dixième de centimètre cube de sédiment. Un individu était compté lorsque le proloculus était visible.

Préparation des tests de foraminifères pour l'examen de leurs réseaux

Afin de définir l'identité taxonomique des réseaux organiques en référence à la nomenclature des tests de foraminifères, des dissolutions de tests de foraminifères ont été réalisées en laboratoire (cf. Poulin, 2000 ; Chartrand, 2000). Le protocole consiste à sous-échantillonner et isoler les tests de foraminifères de différentes espèces dûment identifiées. Des analyses morphologiques et chimiques sont réalisées sur les tests à partir de l'observation au microscope optique. En parallèle, on procède à une mise en solution du CaCO_3 à l'aide d'acide chlorhydrique (HCl) à différents pH pour récupérer les réseaux organiques correspondants. Ces réseaux sont montés dans de la glycérine gélatinée entre lames et lamelles pour des observations en microscopie optique à fort grossissement (X40 à X120), en utilisant une lumière transmise naturelle et la fluorescence. Seuls certains taxons de foraminifères benthiques ont révélé la présence de réseaux organiques. Les résultats sont consignés dans le tableau 4.

RÉSULTATS

Les concentrations de tests de foraminifères benthiques

En général, l'analyse micropaléontologique des échantillons révèle de faibles concentrations des tests de foraminifères, généralement inférieures à 165 tests/g (23 tests/g en moyenne) (Tableau 2). Les concentrations les plus élevées sont enregistrées en surface (0-1 cm) et aux sites dans le secteur aval (SAG-30 et 36), dans le bassin supérieur du fjord du Saguenay. La diversité des foraminifères benthiques est également faible, variant de 4 à 14 espèces selon les échantillons (Tableaux 3 a-d). Parmi les taxons à test agglutinant, *Spiroplectammina biformis* et *Adercotryma glomerata* dominent. Parmi les taxons à test calcaire, *Cassidulina reniforme* est abondant dans certains échantillons, accompagné de *Elphidium excavatum*, *Cribrostomoides crassimargo*, *Quinqueloculina stalkerii* et *Islandiella helenae*.

Les concentrations des tests de foraminifères présentent des différences significatives selon le mode de préparation (Figure 1; Tableau 2). À l'exception de 3 échantillons, les concentrations les plus élevées sont enregistrées dans les fractions aliquotes traitées avec la solution d'éthanol et de Rose Bengal. Dans ces échantillons, les concentrations sont souvent plus de deux fois plus élevées que les autres fractions aliquotes. De plus, la diversité des espèces est plus élevée dans les fractions aliquotes traitées à l'éthanol et au Rose Bengal (Tableaux 3 a-d). Les concentrations dans les aliquotes réfrigérées et congelées sont similaires entre elles, quoique généralement un peu plus élevées dans les fractions aliquotes réfrigérées (Figure 1).

Préservation différentielle des tests de différents taxons selon le mode de conservation et préparation

En général, des différences notables dans la composition des assemblages sont observées d'une partie aliquote à l'autre (Tableaux 3 a-d). Dans les fractions aliquotes congelées, on observe plus d'espèces à test carbonaté que dans les sédiments réfrigérés. Dans les fractions aliquotes congelées, on note, entre autres, la présence de *Pyrgo williamsoni*, *Robertinoides charlottensis* et *Quinqueloculina stalkerii*. Dans les fractions aliquotes traitées avec la solution de Rose Bengal, on observe également des espèces à test carbonaté non répertoriées dans les autres aliquotes. Il s'agit de *Bulimina exilis*, *Cibicidoides subhaidingerii* et *Lagena mollis*. En ce qui concerne les taxons à test agglutinant, il n'y a pas de différences notables entre les différentes aliquotes.

Les concentrations de réseaux organiques

Les analyses palynologiques réalisées dans les sédiments du fjord du Saguenay révèlent des concentrations élevées de réseaux organiques, variant entre 25 et 1061 réseaux/g (Tableau 2). Les plus faibles concentrations sont enregistrées au site St-Ful-

gence, dans le bras nord, et les concentrations les plus élevées sont enregistrées plus en aval, aux sites SAG-30 et SAG-36, dans le bassin supérieur. Les concentrations de réseaux organiques sont de 1 à 2 ordres de grandeurs plus élevées que les concentrations de tests de foraminifères (Figure 2). Les concentrations permettent de calculer un indice de dissolution, exprimé en valeur logarithmique du rapport entre réseaux organiques (RO) et tests de foraminifères (F) (de Vernal et al., 1992). Cet indice ($\log RO/F$) est inférieur à 1 dans le cas de bonne préservation des tests de foraminifères et tend vers l'infini dans le cas d'une dissolution complète du $CaCO_3$ dans les sédiments (Tableau 2). Les indices calculés dans les échantillons du Saguenay varient généralement entre 1 et 2 et tendent vers l'infini dans deux des échantillons.

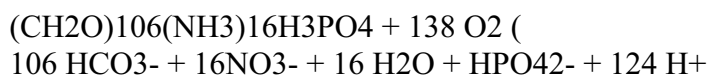
Appartenance taxonomique des réseaux organiques et dissolution sélective des tests de foraminifères benthiques

Seules quelques espèces de foraminifères benthiques livrent des réseaux organiques. Selon la méthode utilisée par Poulin (2000) et Chartrand (2000), seulement un taxon sur trois posséderait un réseau chitineux sous le test carbonaté ou agglutinant (Tableau 4). Parmi les taxons du fjord du Saguenay, seulement 7 espèces livrent des réseaux organiques, dont 5 espèces carbonatées, *Bulimina exilis*, *Cassidulina reniforme*, *Elphidium excavatum*, *Islandiella helanae* et *Lagena mollis*, et 2 espèces agglutinantes, *Reophax scottii* et *Spiroplectammina biformis*. Ces taxons constituent les assemblages de réseaux organiques de foraminifères benthiques dans les lames palynologiques. Parmi eux, *S. biformis* paraît dominant. Il est à noter que *R. scottii* et *L. mollis*, dont les tests sont rares dans les échantillons, subissent sans doute une dissolution plus importante que les deux autres taxons dont les tests sont fréquents.

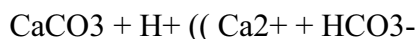
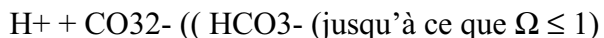
DISCUSSION

Dissolution in situ

La concentration des réseaux organiques beaucoup plus élevée que celle des tests de foraminifères dans les sédiments du fjord du Saguenay (Tableau 2; Figure 1) s'expliquerait principalement par une dissolution in situ du CaCO_3 , près de l'interface eau-sédiment. Cette dissolution est issue de l'oxydation de la MO par l'oxygène qui est contenu dans les premiers 4-5 mm de la couche de surface. Cette réaction libère du CO_2 métabolique et des ions H^+ , qui réagissent avec le CaCO_3 pour le dissoudre (Mucci et al., 2000). En supposant que la MO présente une composition chimique telle celle établie par Redfield (1958), la réaction peut être représentée par :



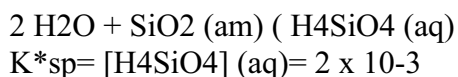
Cette réaction a pour effet de diminuer le pH et l'acidité produite par les ions H^+ va neutraliser l'ion carbonate. La diminution de l'état de saturation des eaux porales par rapport à la calcite provoque la dissolution du carbonate de calcium (Froelich et al., 1979), comme les réactions suivantes le démontrent (où Ω est le degré de saturation) :



La dissolution du CaCO_3 dans les sédiments du fjord du Saguenay est principalement responsable de la disparition d'une partie des populations de foraminifères benthiques à tests carbonatés dans le fjord du Saguenay.

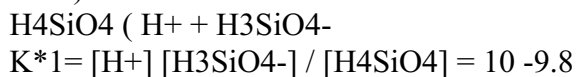
La dissolution des espèces à tests agglutinants riches en silice (SiO_2), par exemple *S. biformis*, s'explique, quant à elle, par une sous-saturation par rapport à la silice amorphe des eaux profondes et des eaux porales du fjord (Tableau 5) (Mucci et Edenborn, 1992). Cette sous-saturation provoque la dissolution des grains de silice composant principalement la paroi de certains tests. La sous-saturation en silice est maximale à la surface de l'eau, mais tend à diminuer avec la profondeur.

Étant donné qu'à 0°C la solubilité de la silice amorphe est de l'ordre de 2.0 mM (ou $K^*_{\text{sp}} = 2 \times 10^{-3}$) (Stumm and Morgan, 1981), la réaction peut être la suivante (où K^*_{sp} est la constante de solubilité et Ω est de degré de saturation) :



Si l'on néglige le produit de la première réaction de l'acide silicique, puisque le pH est

inférieur à 8 et que sa constante de solubilité est de l'ordre de $10^{-9.8}$ (Stumm and Morgan, 1981) :



La réaction peut être définie par :

$$\Omega = \frac{[H_4SiO_4]}{K^*} = \frac{20 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-3}} = .01$$

Les eaux surnageantes du fjord du Saguenay sont donc 100 fois sous-saturées en silice amorphe et les eaux interstitielles le sont 10 fois.

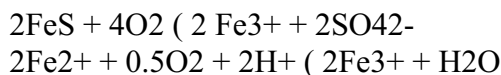
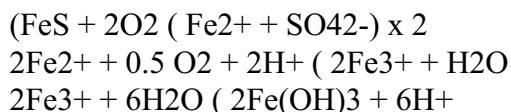
Par ailleurs, une analyse élémentaire du test de *S. biformis* au microscope électronique à balayage (MEB) révèle un ciment riche en fer. Or, les sédiments du fjord du Saguenay sont fortement réducteurs et la sulfato-réduction à moins de 5 cm de l'interface favorise la dissolution des oxydes de fer et particulièrement les oxyhydroxydes authigènes tels la ferrihydrite et la goethite (Canfield et al., 1992; Froelich et al., 1979; Raiswell et al., 1994). Le ciment serait donc dissous et le test se décomposerait, ne livrant ainsi que le réseau organique observable sur les lames palynologiques.

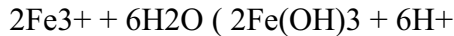
Dissolution post-échantillonnage

Les différences de concentrations de tests de foraminifères benthiques selon le type d'échantillonnage et de traitement suggèrent également une préservation différentielle selon le mode de conservation du sédiment (Figure 1). Les concentrations les plus élevées de tests de foraminifères benthiques sont enregistrées dans les parties aliquotes conservées dans la solution d'éthanol et de Rose Bengal. Ces résultats indiquent que cette solution, ajoutée au sédiment immédiatement après la collecte de la carotte, semble atténuer la dissolution provoquée par le contact de l'air avec le sédiment en agissant comme tampon.

Au contact du sédiment avec l'air, les monosulfures de fer (FeS) réagissent avec l'oxygène et il en résulte une production d'acide sulfurique et les ions H^+ dissolvent quasi-instantanément le $CaCO_3$.

Cette réaction est la suivante :





Par ailleurs, la réfrigération des sédiments semble favoriser une meilleure préservation des tests de foraminifères que la congélation. L'augmentation du volume des molécules d'eau lors de la congélation peut expliquer cette différence de préservation. Les tests de foraminifères éclatent littéralement sous l'augmentation du volume et ne sont donc pas préservés dans les parties aliquotes.

Bien qu'une certaine dissolution semble se produire après l'échantillonnage, elle ne joue qu'un rôle mineur sur les populations méiofaunistiques comparativement à la dissolution *in situ*, qui paraît très importante dans le fjord du Saguenay. Toutefois, les différences de concentrations et d'assemblages de foraminifères benthiques entre les parties aliquotes, d'un échantillon à un autre, sont trop variables pour proposer une correction systématique.

Dissolution sélective

Les analyses palynologiques révèlent une faible diversité de réseaux organiques comparativement aux tests de foraminifères benthiques. Seuls 4 taxons ont été distingués dans les lames palynologiques. Trois d'entre eux appartiennent à des taxons qui livrent également des tests dans les sédiments du fjord du Saguenay : *S. biformis*, *C. reniforme* et *R. scottii*. L'autre, *Lagena mollis* n'a jamais été observé (sinon occasionnellement) dans les sédiments du fjord du Saguenay. Il s'agirait d'un taxon dont le test ne se fossilise pas dans un tel milieu et qui est, selon toute probabilité, sous-représenté dans les assemblages de foraminifères benthiques. Certaines espèces seraient donc plus sensibles que d'autres à la dissolution de leur test carbonaté (*Lagena mollis* et cf. *Cassidulina reniforme*) sinon du ciment de leur test agglutinant (*Spiroplectammina biformis* et *Reophax scottii*).

Le fjord du Saguenay est un milieu particulier où les sédiments, riches en matière organique, soutiennent un environnement benthique peu propice à la préservation des foraminifères benthiques. Les conditions physico-chimiques qui y prévalent favorisent la dissolution de certains composés biogéniques carbonatés, ferrugineux ou même siliceux.

RÉFÉRENCES

Berglund, B. et Person, T., 1995. Information on spore tablets. *AASP Newsletter* 28 (1): 17-18.

Canfield, D.E., Raiswell, R. and Bottrell, S., 1992. The reactivity of sedimentary iron minerals toward sulfide. *American Journal of Science* 292; 659-683.

Chartrand, C., 2000. Dissolution des tests de foraminifères benthiques dans le fjord du Saguenay, Québec. Activité de synthèse de fin d'étude au baccalauréat en géologie. Université du Québec à Montréal, Montréal.

de Vernal, A., Larouche, A. et Richard, P.J.H., 1987. Evaluation of palynomorph concentrations: do the aliquot and the marker-grain methods yield comparable results? *Pollen et Spores* 29 (2-3): 291-303.

de Vernal, A., Bilodeau, G., Hillaire-Marcel, C. and Kassou, N., 1992. Quantitative assessment of carbonate dissolution in marine sediments from foraminifer linings vs. shell ratios: Davis Strait, northwest North Atlantic. *Geology*, 20: 527-530.

de Vernal, A., Henry, M. et Bilodeau, G., 1999. Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie (version révisée). *Les Cahiers du GEOTOP no. 3*, Université du Québec à Montréal, 20 p.

Froelich, P.N., Klinkhammer, G.P., Bender, M.L., Luedtke, N.A., Heath, G.R., Cullen, D., Dauphin, P., Hammond, D., Hartman, B. and Maynard, V., 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43: 1075-1090.

Matthews, J., 1969. The assessment of a method for the determination of absolute pollen frequencies. *New Phytologist* 68: 161-166.

Mucci, A. and Edenborn, H.M., 1992. Influence of an organic-poor landslide deposit on the early diagenesis of iron and manganese in a coastal marine sediment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56: 3909-3921.

Mucci, A., Sundby, B, Gehlen, M., Arakaki, T., Zhong, S. and Silverberg, N., 2000. The fate of carbon in continental shelf sediments of eastern Canada: a case study. *Deep-Sea Research* 47: 733-760.

Poulin, P., 2000. Systématique des réseaux organiques de foraminifères de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Activité de synthèse de fin d'étude au baccalauréat en géolo-

gie. Université du Québec à Montréal, Montréal.

Raiswell, R., Canfield, D.E. and Berner, R.A., 1994. A comparison of iron extraction methods for the determination of degree of pyritisation and the recognition of iron-limited pyrite formation. *Chemical Geology* 111; 101-110.

Redfield, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist* 46: 206-226.

Stockmarr, J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 13 (4):615-621.

St-Onge, G., Leduc, J., Bilodeau, G., de Vernal, A., Devillers, R., Hillaire-Marcel, C., Loucheur, V., Marmen, S., Mucci, A. et Zhang, D., 1999. Caractérisation des sédiments récents du fjord du Saguenay (Québec) à partir de traceurs physiques, géochimiques, isotopiques et micropaléontologiques. *Géographie Physique et Quaternaire*, 53 (3): 339-350.

Stumm, W. and Morgan, J.J., 1981. *Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters.* Second edition.

Sites	Latitude N	Longitude O	Profondeur (m)	Longueur (cm)	Année	Mission
Bras nord <i>ST-FULGENCE</i>	48°25.35	70°51.63	59	45	1998	AH9808
Confluence <i>SAG-15</i>	48°21.69	70°42.24	230	46	1998	AH9808
Bassin supérieur <i>SAG-30</i>	48°21.71	70°23.71	268	47	1998	AH9808
Bassin supérieur <i>SAG-36</i>	48°15.7	70°09.86	242	30	1998	AH9808

Tableau 1. Localisation des sites étudiés.

Sites	Profondeur (cm)	Type de sédiment	Concentration des tests de foraminifères (tests/g)	Concentration des réseaux organiques (réseaux/g)	Indice de dissolution log (RO/F)
ST-FULGENCE	0-1	Réfrigéré	21.6	93.4	0.6
		Congelé	5.0		
		Rose Bengal	37.7		
	6-7	Réfrigéré	1.7	98.7	1.8
		Congelé	1.1		
		Rose Bengal	1.8		
	14-15	Réfrigéré	0.0	24.9	∞
		Congelé	0.9		
		Rose Bengal	2.0		
SAG-15	0-1	Réfrigéré	119.0	149.6	0.1
		Congelé	43.4		
		Rose Bengal	82.7		
	6-7	Réfrigéré	0.0	134.0	∞
		Congelé	5.8		
		Rose Bengal	2.0		
	14-15	Réfrigéré	0.3	< 10.0	1.5
		Congelé	0.6		
		Rose Bengal	1.9		
SAG-30	0-1	Réfrigéré	27.0	280.9	1
		Congelé	21.0		
		Rose Bengal	93.6		
	6-7	Réfrigéré	3.1	1061.3	2.5
		Congelé	15.8		
		Rose Bengal	4.9		
	14-15	Réfrigéré	2.5	726.4	2.5
		Congelé	1.8		
		Rose Bengal	33.7		
SAG-36	0-1	Réfrigéré	44.0	537.4	1.1
		Congelé	12.6		
		Rose Bengal	164.4		
	6-7	Réfrigéré	3.5	429.4	2.1
		Congelé	6.3		
		Rose Bengal	35.1		
	14-15	Réfrigéré	5.9	313.9	1.7
		Congelé	4.4		
		Rose Bengal	26.0		

Tableau 2. Concentrations des tests et des réseaux organiques de foraminifères benthiques dans les sédiments du fjord du Saguenay, selon différentes méthodes de conservation.

Profondeur (cm)	0-1			6-7			14-15					
Type de sédiment (F= Réfrigéré; C= Congelé; R.B.= Rose Bengal)	F	C	R.B.		F	C	R.B.		F	C	R.B.	
(V= vivants; M= morts)			V	M			V	M			V	M
Espèces agglutinantes												
<i>Adercotryma glomerata</i>												
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>												
<i>Cyclogyra involvens</i>												
<i>Paratrochammina challengeri</i>												
<i>Reophax fusiformis</i>												
<i>Reophax scottii</i>												
<i>Spiroplectammina biformis</i>	90.8	75.0	6.8	77.7	11.6	3.8	1.9	7.7				
<i>Textularia earlandi</i>		12.5									5.0	
<i>Turritellella shoneana</i>												
Indéterminables												
Espèces calcaires												
<i>Bulimina exilis</i>												
<i>Elphidium excavatum</i>	2.1	12.5	7.8	1.0	9.3	3.8				21.4	10.0	
<i>Cassidulina reniforme</i>			2.9									
<i>Cibicidoides subhaidingeri</i>												
<i>Fursenkoina fusiformis</i>												
<i>Islandiella helenae</i>												
<i>Islandiella norcrossi</i>												
<i>Lagena mollis</i>												
<i>Lagena striata</i>												
<i>Miliolinella circularis</i>												
<i>Pyrgo williamsoni</i>												
<i>Robertinoides charlottensis</i>												
<i>Quinqueloculina seminulum</i>												
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>												
<i>Virgulina loeblichii</i>												
Indéterminables												
Thécamoebiens												
<i>Centropyxis aculeata</i>	1.0		1.0		18.6	28.3	19.2			21.4		20.0
<i>Centropyxis constricta</i>	1.0					3.8	3.9					
<i>Diffugia oblonga</i>	5.1		2.9		53.5	52.8	3.8	48.1		57.2		55.0
<i>Diffugia protaeiformis</i>						5.6	7.7					10.0
<i>Diffugia urceolata</i>							1.9					
<i>Lesquereusia spiralis</i>					4.7		3.9					
<i>Pontigulasia compressa</i>					2.3	1.9						
Indéterminables												
Total individus comptés	98	32	103		43	53	52		0	14	20	

Tableau 3a. Pourcentages des espèces de foraminifères benthiques dans les sédiments au site St-Fulgence, dans le Bras Nord. Comparaison des résultats à trois profondeurs et pour les trois aliquotes.

Pronfondeur (cm)	0-1			6-7			14-15			
Type de sédiment (F= Réfrigéré; C= Congelé; R.B.=Rose Bengal)	F	C	R.B.		F	C	R.B.			
(V= vivants; M= morts)			V	M			V	M		
Espèces agglutinantes										
<i>Adercotryma glomerata</i>					5.0		50.0	7.1		
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>										
<i>Cyclogyra involvens</i>			0.8							
<i>Paratrochammina challengeri</i>										
<i>Reophax fusiformis</i>										
<i>Reophax scottii</i>										
<i>Spiroplectammina biformis</i>	29.2	7.4	7.6	2.5	10.0	20.0	50.0	7.1 21.4		
<i>Textularia earlandi</i>										
<i>Turritellella shoneana</i>										
Indéterminables										
Espèces calcaires										
<i>Bulimina exilis</i>										
<i>Elphidium excavatum</i>										
<i>Cassidulina reniforme</i>	70.8	85.3	26.9	57.1	85.0	80.0	75.0	21.4		
<i>Cibicidoides subhaidingerii</i>										
<i>Fursenkoina fusiformis</i>										
<i>Islandiella helenae</i>										
<i>Islandiella norcrossi</i>										
<i>Lagena mollis</i>			0.8							
<i>Lagena striata</i>										
<i>Miliolinella circularis</i>										
<i>Pyrgo williamsoni</i>		2.9								
<i>Robertinoides charlottensis</i>		1.5	3.4							
<i>Quinqueloculina seminulum</i>				0.8						
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>		1.5								
<i>Virgulina loeblichii</i>										
Indéterminables										
Thécamoebiens										
<i>Centropyxis aculeata</i>							25.0	35.7		
<i>Centropyxis constricta</i>										
<i>Diffugia oblonga</i>								7.1		
<i>Diffugia protaeiformis</i>										
<i>Diffugia urceolata</i>										
<i>Lesquereusia spiralis</i>										
<i>Pontigulasia compressa</i>										
Indéterminables										
Total individus comptés	113	68	119		0	20	5	2	4	14

Tableau 3b. Pourcentages des espèces de foraminifères benthiques dans les sédiments au site SAG-15, dans le bassin supérieur. Comparaison des résultats à trois profondeurs et pour les trois aliquotes.

Profondeur (cm)	0 - 1				6 - 7			14 - 15			
Type de sédiment (F= Réfrigéré; C= Congelé; R.B.=Rose Bengal)	F	C	R.B.		F	C	R.B.	F	C	R.B.	
(V= vivants; M= morts)			V	M			V	M		V	M
Espèces agglutinantes											
<i>Adercotryma glomerata</i>	45.7	44.8	7.0	3.5	25.0		9.1	16.7	40.0	7.0	
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>				1.4	50.0			50.0	60.0		2.3
<i>Cyclogyra involvens</i>								16.7			
<i>Paratrochammina challengeri</i>											
<i>Reophax fusiformis</i>			2.1								
<i>Reophax scottii</i>											
<i>Spiroplectammina biformis</i>	32.6	34.5	16.2	47.2	12.5					27.9	23.3
<i>Textularia earlandi</i>											
<i>Turritlella shoneana</i>											
Indéterminables	4.4	10.4	10.6	1.4	12.5			16.7		2.3	
Espèces calcaires											
<i>Bulimina exilis</i>			2.1				9.1				
<i>Elphidium excavatum</i>											
<i>Cassidulina reniforme</i>			0.7				18.2			4.7	18.6
<i>Cibicidoides subhaidingerii</i>										4.7	
<i>Fursenkoina fusiformis</i>	8.7		2.1								4.7
<i>Islandiella helenae</i>											
<i>Islandiella norcrossi</i>											
<i>Lagena mollis</i>											
<i>Lagena striata</i>											2.3
<i>Miliolinella circularis</i>											
<i>Pyrgo williamsoni</i>											
<i>Robertinoides charlottensis</i>											
<i>Quinqueloculina seminulum</i>		6.9									
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>	6.5	6.9	0.7	2.1							
<i>Virgulina loeblichii</i>		6.9									
Ostracodes			2.8					18.2			
Indéterminables	2.2							36.4			2.3
Thécamoebiens											
<i>Centropyxis aculeata</i>											
<i>Centropyxis constricta</i>							9.1				
<i>Diffflugia oblonga</i>											
<i>Diffflugia protaeiformis</i>											
<i>Diffflugia urceolata</i>											
<i>Lesquereusia spiralis</i>											
<i>Pontigulasia compressa</i>											
Indéterminables											
Total individus comptés	46	29	142		8	0	11	6	5	43	

Tableau 3c. Pourcentages des espèces de foraminifères benthiques dans les sédiments au site SAG-30, dans le bassin supérieur. Comparaison des résultats à trois profondeurs et pour les trois aliquotes.

Profondeur (cm)	0-1				6-7				14-15			
Type de sédiment (F= Réfrigéré; C= Congelé; R.B.=Rose Bengal)	F	C	R.B		F	C	R.B		F	C	R.B	
(V= vivants; M= morts)			V	M			V	M			V	M
Espèces agglutinantes												
<i>Adercotryma glomerata</i>	4.3	7.5	0.7		8.0	1.5		28.6	19.1	1.5 7.4		
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>	1.8	2.5	0.7	0.5	71.4	24.0	2.2	5.8	3.6	19.1	2.9	1.5
<i>Cyclogyra involvens</i>												
<i>Paratrochammina challengerii</i>	0.6											
<i>Reophax fusiformis</i>					4.0	1.5			14.3	1.5		
<i>Reophax scottii</i>	1.2		0.5			2.9			4.8	1.5		
<i>Spiroplectammina bififormis</i>	###	55.0	17.9	3.5	28.6	40.0	13.0	44.9	67.9	4.8	25.0	33.8
<i>Textularia earlandi</i>												
<i>Turritellella shoneana</i>		2.5										
indéterminables			1.5		12.0				4.8			
Espèces calcaires												
<i>Astrononion gallowayi</i>		2.5										
<i>Bulimina exilis</i>									14.3	2.9		
<i>Elphidium excavatum</i>	###		3.7	2.2			1.5			1.5		
<i>Cassidulina reniforme</i>	###	17.5	5.0	8.2	4.0	2.9	14.5		19.1	13.2	4.4	
<i>Cibicidoides subhaidingerii</i>							0.7	0.7				
<i>Fursenkoina fusiformis</i>			54.2				0.7	1.5				
<i>Islandiella helenae</i>		5.0			8.0	0.7	1.5			2.9		
<i>Islandiella norcrossi</i>	5.5											
<i>Lagena mollis</i>							0.7					
<i>Lagena striata</i>												
<i>Portatrochammina bipolaris</i>			0.3									
<i>Pyrgo williamsoni</i>												
<i>Robertinoides charlottensis</i>												
<i>Quinqueloculina seminulum</i>												
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>	0.6	2.5	1.0									
Ostracodes							0.7					
indéterminables							1.5					
Thécamoebiens												
<i>Centropyxis aculeata</i>												
<i>Centropyxis constricta</i>												
<i>Diffflugia oblonga</i>												
<i>Diffflugia protaeiformis</i>												
<i>Diffflugia urceolata</i>												
<i>Lesquereusia spiralis</i>												
<i>Pontigulasia compressa</i>												
indéterminables												
Total individus comptés	164	40	402		14	25	138		28	21	68	

Tableau 3d. Pourcentages des espèces de foraminifères benthiques dans les sédiments au site SAG-36, dans le bassin supérieur. Comparaison des résultats à trois profondeurs et pour les trois aliquotes.

Espèces	Nature du test	RO	Saguenay
<i>Adercotryma glomerata</i>	Agglutinant		*
<i>Astrononion gallowayi</i>	Carbonaté	X	
<i>Bolivina pseudopunctata</i>	Carbonaté	X	
<i>Brizalina subaenariensis</i>	Carbonaté	X	
<i>Buccella hannaï</i>	Carbonaté		
<i>Bulimina aculeata</i>	Carbonaté		
<i>Bulimina exilis</i>	Carbonaté	X	*
<i>Bulimina marginata</i>	Carbonaté	X	
<i>Cassidulina laevigata</i>	Carbonaté		
<i>Cassidulina reniforme</i>	Carbonaté	X	*
<i>Cibicides lobatulus</i>	Carbonaté	X	
<i>Cribrostomoides crassimargo</i>	Agglutinant		*
<i>Cribrostomoides jeffreysi</i>	Agglutinant		*
<i>Elphidium excavatum</i>	Carbonaté	X	*
<i>Elphidium incertum</i>	Carbonaté	X	
<i>Glandulina ovula</i>	Carbonaté		
<i>Globobulimina auriculata</i>	Carbonaté	X	
<i>Gyroidinoides nitida</i>	Carbonaté		
<i>Haplophragmoides</i> sp.	Carbonaté		
<i>Hyperammina</i> sp.	Agglutinant		
<i>Islandiella helenae</i>	Carbonaté	X	*
<i>Islandiella islandica</i>	Carbonaté		
<i>Islandiella norcrossi</i>	Carbonaté		*
<i>Labradoricum</i> sp.	Carbonaté		
<i>Lagena mollis</i>	Carbonaté	X	*
<i>Lagena</i> sp.	Carbonaté		
<i>Nonionella turgida</i>	Carbonaté		
<i>Oridorsalis umbonatus</i>	Carbonaté		
<i>Pseudoglandulina glanduliniformis</i>	Carbonaté		
<i>Pullenia quinqueloba</i>	Carbonaté		
<i>Pyrgo williamsoni</i>	Carbonaté		*
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	Carbonaté		*
<i>Quinqueloculina stalkerii</i>	Carbonaté		*
<i>Reophax scottii</i>	Agglutinant	X	*
<i>Robertinoides charlottensis</i>	Carbonaté		*
<i>Sahulua conica</i>	Carbonaté		
<i>Spiroplectammina biformis</i>	Agglutinant	X	*
<i>Textularia earlandi</i>	Agglutinant		*
<i>Triloculina</i> sp.	Carbonaté		

Tableau 4. Liste des foraminifères benthiques ayant subi une dissolution en laboratoire. Les espèces identifiées par un X indiquent celles qui livrent des réseaux organiques et celles identifiées par * sont des espèces répertoriées dans le fjord du Saguenay.

Profondeur (m)	Salinité	SiO ₂ dissoute (uM)
6	5.07	102
15	12.37	62
60	27.68	14.4
90	29.49	20.5
110	29.37	20.4
130	29.18	19.4
150	29.38	19.3
170	29.62	20.1
190	29.83	20.3

Tableau 5. Concentrations de la silice dissoute dans la colonne d'eau du fjord du Saguenay mesurées au site SAG-15, dans le bassin supérieur, en mai 1995 (données non-publiées de A. Mucci).

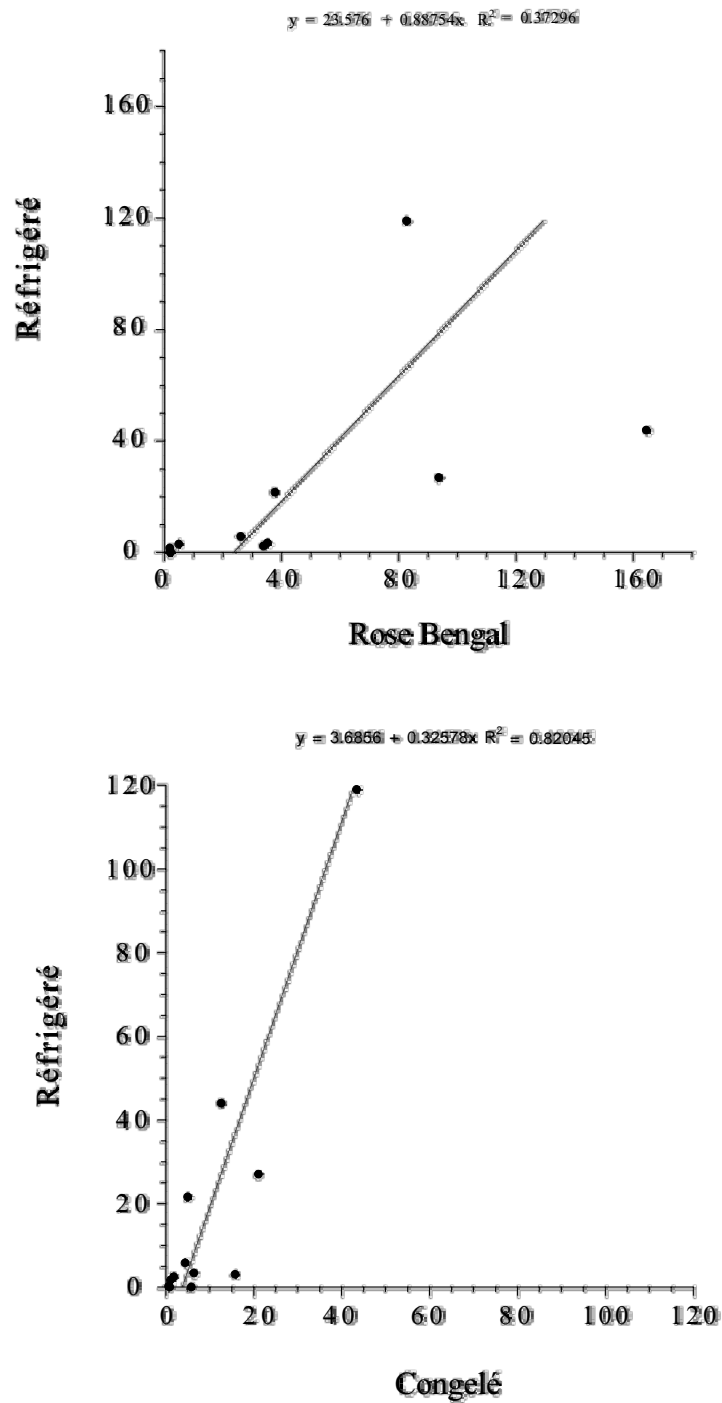


Figure 1. Concentrations des tests de foraminifères benthiques (tests/g) dans les sédiments des 4 sites étudiés dans le fjord du Saguenay. Comparaison des concentrations selon les différentes méthodes de conservation des sédiments.

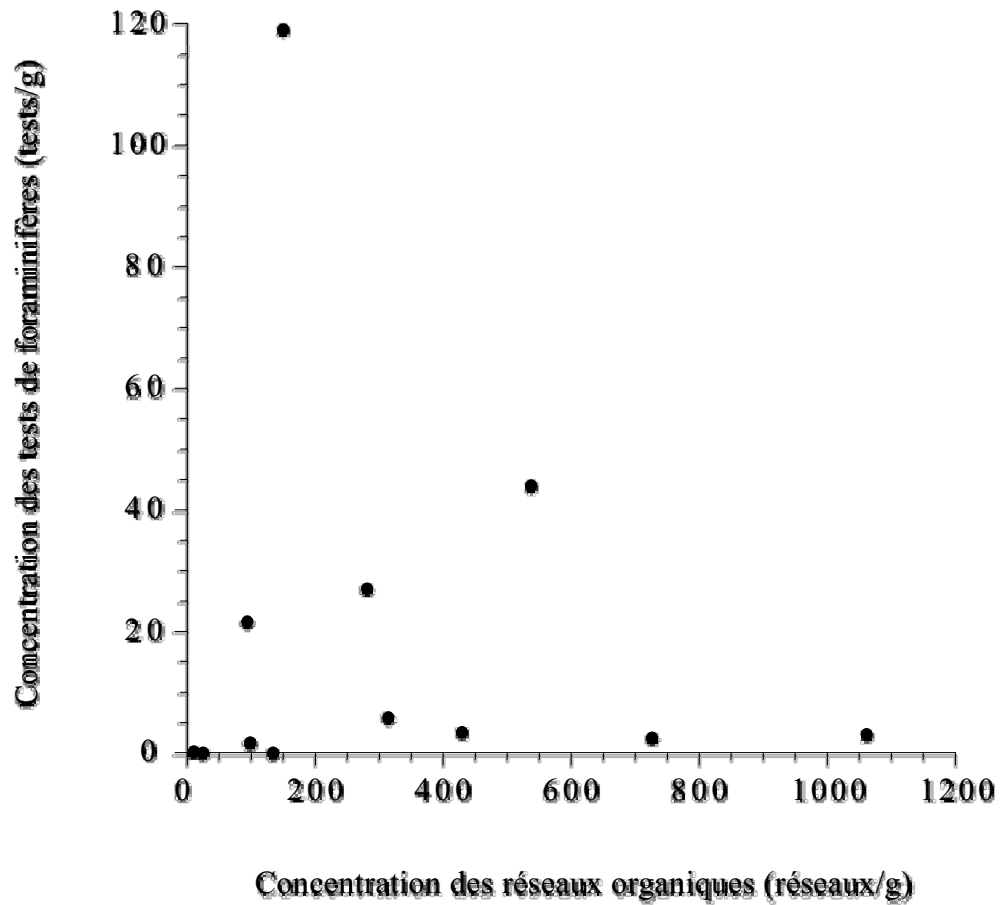


Figure 2. Relation entre le dénombrement des tests et des réseaux de foraminifères benthiques dans les sédiments des 4 sites étudiés dans le fjord du Saguenay. Il est à noter que les échelles verticale et horizontale sont différentes.

