

ÉVOLUTION DES PEUPELEMENTS BENTHIQUES APRÈS LA CRUE ÉCLAIR DE 1996 DANS LA BAIE DES HA! HA!, FJORD DU SAGUENAY (QUÉBEC)

Gaston Desrosiers, Matthieu Gonon, Laure de Montety, Émilien Pelletier, Christian Nozais, Institut des Sciences de la mer de Rimouski, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, Canada

Emma Michaud, Georges Stora, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Université de la Méditerranée, COM, Campus de Luminy, Marseille, France

Bernard Long, INRS-ETE, Québec, Canada

Hélène Tremblay, Jacques Locat, Département de Géologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, Canada

ABSTRACT

Following a flash flood which occurred in the Saguenay area in July 1996, the bottom of the Baie des Ha! Ha! was covered by a large quantity of new sediment. Its thickness decreased from the head of the bay towards the mouth. Perturbations in the benthic macrofauna resulting from this event have been more important in stations located near the mouth of the Rivière des Ha! Ha!. A 5-year benthic monitoring study was carried out at 5 stations (annual sampling). It has shown a recolonisation process of the new sediments layers mainly by polychaetes. A different succession was observed for the major polychaete species between the stations located at the head of the bay and to the other sites. This succession was linked to the decrease of the deposit layer thickness. At station 2, the benthic macrofauna was mainly composed by deposit feeder. On the other hand, stations 5, 7, 9 and 13 were colonized by the subsurface deposit feeder *Scoloplos armiger* and carnivorous like *Lumbrinereis fragilis*. Statistical analysis showed that station 2 evolved differently from the other studied stations.

RÉSUMÉ

Suite à la crue éclair qui s'est produite dans la région du Saguenay en 1996, le fond de la baie des Ha! Ha! a été recouvert par une grande quantité de sédiments, sous la forme d'une couche d'épaisseur décroissante de la tête de la baie vers son embouchure. Les perturbations observées sur la macrofaune benthique résultant de cet événement ont été plus importantes pour les stations situées à proximité de l'embouchure de la rivière Ha! Ha!. Une étude portant sur 5 stations de référence localisées sur une radiale durant 6 ans a permis de démontrer une recolonisation des sédiments par les annélides polychètes, avec une succession d'espèces caractéristiques entre les stations situées à la tête de la baie par rapport aux autres stations, en fonction de la décroissance de la nouvelle couche de dépôt. La macrofaune benthique à la station 2, est majoritairement composée d'espèces dont le régime trophique les classent comme des dépositivores de surface tandis que pour les autres stations (5, 7, 9, 13) on retrouve des dépositivores de subsurface (*Scoloplos armiger*) et même des carnivores (*Lumbrinereis fragilis*). Cet isolement de la station 2 est renforcée par les études statistiques montrant que cette station suit une évolution significativement différente des autres stations localisées sur cette radiale.

1. INTRODUCTION

Sur le plan des relations de la faune et du milieu, le changement de la nature de la couverture sédimentaire peut affecter dans de grandes proportions la répartition des différentes espèces composant les communautés benthiques en place. En règle générale: l'étude des communautés végétales et animales du domaine benthique représente une approche favorable pour évaluer de façon correcte les effets des perturbations dans le milieu marin. La composition des communautés du macrobenthos reflète globalement les conditions du milieu non seulement existantes lors de prélèvement mais encore depuis le moment où elles se sont établies, ce qui, dans le cas de communautés climatiques peut représenter des années, voire des siècles. Cette composition correspond à une sorte d'intégration à plus ou moins long terme des divers facteurs ambiants (Bellan 1976).

En plus des effets dus à des perturbations liées à la pollution, la modification physique des sédiments (dépôts de dragage, glissements de terrain) peuvent par synergie provoquer un déséquilibre important des espèces de

l'écosystème touché (Stora 1982, Desrosiers *et al.* 1984). Suite à de telles perturbations, les possibilités de recolonisation par l'arrivée des larves représentent le facteur primordial conditionnant la survie d'un écosystème perturbé ou sa réadaptation lorsque les conditions du milieu deviennent plus favorables (Stora 1982).

En juillet 1996, une crue éclair provoquée par des pluies diluviennes (150 à 280 mm selon le secteur) a entraîné un apport de six millions de m³ de graviers, sables et argiles sur les fonds benthiques de la baie des Ha! Ha!, Fjord du Saguenay, Québec (Lapointe *et al.* 1998). Ces nouveaux sédiments se sont déposés dans la baie sous la forme d'une couche d'épaisseur décroissante, variant de 40 à 10 cm, de la tête (station 2) vers l'embouchure de la baie (station 13) (Pelletier *et al.* 1999 ; Crémer *et al.* 2002) recouvrant les communautés benthiques en place.

En effet, on a observé, suite à cette crue, une disparition partielle ou totale de la faune benthique en place, en fonction de la localisation des diverses stations échantillonnées (Pelletier *et al.* 1999).

L'objectif de notre étude suite à celle de Pelletier et al (1999) a été de suivre la recolonisation des peuplements benthiques aux mêmes 5 stations sur une période de 5 années. Ces stations ont été alignées le long d'une radiale, localisée dans l'axe de la baie des Ha! Ha!, en tenant compte de ce gradient de perturbation.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Aire d'étude

La baie des Ha! Ha! est située dans la partie supérieure du fjord de Saguenay (Fig. 1). Cette baie de 9 km de long par 3 km de large, a une profondeur qui atteint 175 m dans sa partie avale. Son bassin de drainage orienté nord-sud représente une aire de 608 km². Deux rivières principales se jettent dans la partie proximale de la baie, la rivière à Mars au centre et la rivière au Ha! Ha! au sud. Les deltas des deux rivières sont indépendants l'un de l'autre. Ils forment deux cônes intertidaux séparés par le port Alfred de la ville de Saguenay. Le delta sous-marin formé à la sortie de la rivière Ha! Ha! est de type sub-boréal et il peut-être soumis à des glissements de terrain et aux variations de débit de cette rivière (Schafer et al, 1980).

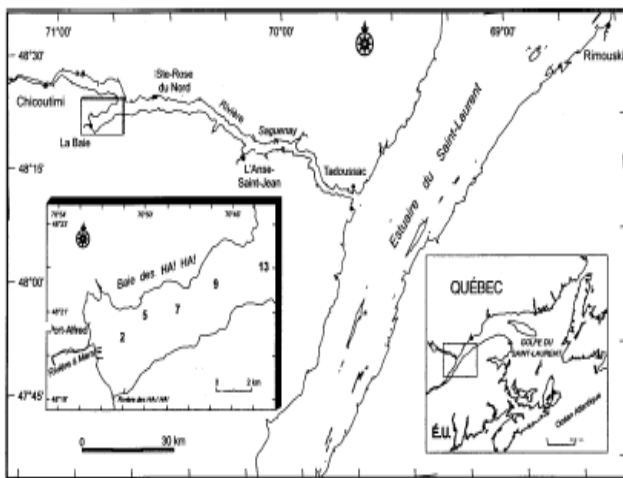


Figure 1. Localisation de la baie des ha! Ha! Et des stations d'échantillonnages

Entre le 18 et le 20 juillet 1996, des pluies torrentielles se sont abattues dans la région du Saguenay (Yu *et al.*, 1997). Ces précipitations ont provoqué la rupture du barrage du lac Ha! Ha!, entraînant un volume de 26 millions de m³ d'eau dans la baie en l'espace de 18 heures (Pelletier *et al.*, 1999a).

Pendant cet événement plus de 6×10⁶ m³ de sédiments se sont déversés dans la baie des Ha! Ha! sous forme de courants de turbidité se déposant sur les anciens sédiments, sur une épaisseur approximative de 50 à 10 cm, de la tête de la baie vers son embouchure (Pelletier *et al.* 1999b).

Tableau 1. Caractéristiques granulométriques des différentes stations après la crue éclair.

Stations	2	5	7	9	13
Sable %	5,1	8	2	4,8	2
Silt %	72,2	56	64	58,7	60
Argile %	22,9	36	34	36,5	38

Le tableau 1 nous indique que la totalité des stations se réfèrent à un sédiment de vase sableuse.

2.2 Prélèvements de la macrofaune

Afin de déterminer l'abondance et la richesse spécifique des organismes macrobenthiques aux différentes stations localisées sur la même radiale (Fig. 1) échantillonnée depuis 1996 par Pelletier et al (1999), trois échantillons ont été prélevés à chacune de ces stations avec une benne Van Veen (1/8 m²) au mois de mai à chaque année depuis 1997 jusqu'à 2001. Chaque échantillon a été tamisé sur une maille de 1 mm pour recueillir la macrofaune qui a été conservée dans une solution tamponnée de formol à 4% et colorée au rose Bengale. Pour chaque échantillon les organismes ont été triés, identifiés et dénombrés sous loupe binoculaire jusqu'au niveau spécifique.

2.3 Analyse de la macrofaune

Pour chacune des stations nous avons étudié l'évolution spatio-temporelle de l'abondance des espèces au sein des différentes stations à l'aide d'une analyse de variance (ANOVA). Cette anova a été réalisée sur les valeurs logarithmiques des abondances d'organismes pour homogénéiser les variances. Afin de déterminer l'évolution spatio-temporelle de la composition spécifique des peuplements macrobenthiques aux différentes stations, des analyses hiérarchiques ont été réalisées (Clarke et Warwick, 1994). Elles ont été réalisées à partir de deux coefficients de similitude, Sorensen (Sorensen, 1948) et Bray-Curtis (Bray-Curtis, 1957), qui sont respectivement basées sur la présence/absence et sur la dominance des mêmes espèces. L'interprétation des regroupements par le coefficient de Bray-Curtis a été effectuée en déterminant la structuration des espèces dominantes et subdominantes au sein des stations.

3. RÉSULTATS

3.1 Densité de la macrofaune

La densité des organismes macrobenthiques récoltés aux stations 2, 5, 7, 9 et 13 entre 1997 et 2001 a été utilisée pour suivre le processus de recolonisation amorcé suite à la crue éclair de 1996 (Fig. 2). Une étude préliminaire conduite en septembre 1996 par Pelletier et al. (1999b) a montré l'absence d'organismes benthiques à la station 2 et des densités plus faibles à la station 13 par rapport aux autres stations, localisées au centre de la baie des Ha! Ha!. A la station 2, les premiers organismes sont apparus en 1997 et

ils ont continué à occuper la colonne sédimentaire jusqu'à 1999 (3162 ind/m²). Cette dynamique de recolonisation s'est brusquement arrêtée pour atteindre 803 ind/m² entre 1999 et 2000. Suite à l'échantillonnage effectuée en mai 2001, les résultats montrent une forte augmentation du nombre des individus à cette station (3132 ind/m²). On observe aussi une augmentation plus faible à la station 9 alors que pour les autres stations de la radiale (stations 5, 7 et 13), ce sont des diminutions de faibles amplitudes des densités de la macrofaune qui sont observées. Nous observons également que le nombre d'individus par m² à la station 2 est très supérieur (4 fois plus élevé) par rapport aux densités enregistrées pour l'ensemble des autres stations (Fig. 2)

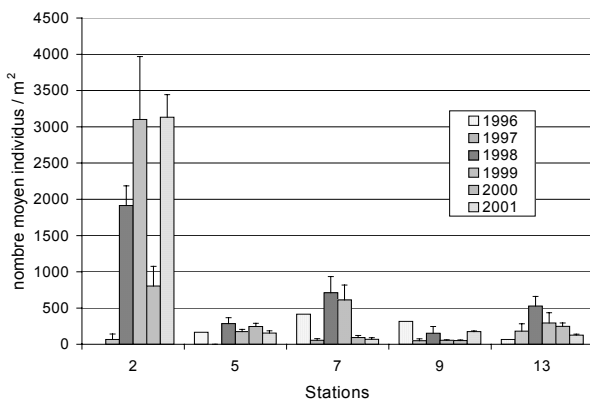


Figure 2. densités moyennes individus/m² aux 5 stations entre 1996 et 2001

Lors de l'étude station par station, les résultats montrent tout d'abord une tendance générale, à savoir la forte dominance des annélides polychètes au sein des peuplements benthiques présents à l'ensemble des 5 stations. Pour l'ensemble des années à la station 2, nous observons la dominance des annélides polychètes lors de la recolonisation de cette station, puisqu'ils représentent plus de 96% des espèces présentes et ce depuis 1997. Au sein de ce groupe taxonomique, c'est le Cirratulidae *Chaetozone setosa* qui est le mieux représenté (69,2% du total des individus récoltés en 2001). Viennent ensuite respectivement l'Orbinidae *Scoloplos armiger* (9,5%) et l'Ampharatiidae *Ampharete cf. arctica* (7,4%).

A la station 5, une augmentation de l'abondance relative des polychètes s'observe depuis 1998. Ils deviennent le taxon dominant en 1999 et les années suivantes. Les polychètes représentent alors plus de 80% des individus récoltés sur ce site. Cette abondance relative due aux espèces *Ampharete cf. arctica* (44,8%) et *Scoloplos armiger* (15,5%) se fait à l'encontre des autres groupes taxonomiques comme les crustacés qui représentaient 40% du total des individus en 1996 et seulement 1,7% en 2001.

A la station 7 on observe encore une forte abondance relative des polychètes (plus de 88% de 1996 à 2001), Chez les autres groupes taxonomiques le deuxième plus

important en terme d'abondance est celui des bivalves représentés par *Macoma calcaria*. Chez les espèces dominantes à cette station on retrouve les polychètes *Ampharete cf. arctica* (34,6%) et le Lumbrineridae *Lumbrineris fragilis* (19,2%).

Pour la station 9 on retrouve encore la forte dominance des annélides polychètes. Les deux espèces les plus fréquemment retrouvées sont *Scoloplos armiger* (39,4% et *Lumbrineris fragilis* (27,3%). L'année 2001 voit la disparition de nombreux groupes taxonomiques présents en 2000 (Mollusques, Échinodermes, Hémichordés et Sipunculien). Seuls subsistent les Crustacés mais en proportion plus faible.

À la station 13, les annélides polychètes dominent encore mais en proportion moins importante par rapport à l'ensemble des autres stations de la radiale (<80% en moyenne sur l'ensemble des années 1997 à 2001 par rapport au 100% observés suite à l'échantillonnage réalisé après la crue éclair en 1996. Le polychète *Lumbrineris fragilis* domine encore le peuplement (25%) sur l'ensemble des années, avec en 2001, une proportion similaire pour le genre *Spionidae* sp. (27,1%). On remarque aussi à cette station la forte proportion des mollusques, ceci malgré une diminution du nombre d'individus par m² amorcée depuis 1997, l'espèce *Macoma calcaria* représente encore 10,45% des organismes récoltés en 2001.

Après une transformation logarithmique des données afin d'homogénéiser les variances, l'analyse des variances montre une différence significative des densités entre les stations ($F_{4,24}=33,09$; $p=0,0001$) et le temps entre 1997 et 2001 ($F_{4,24}=20,04$; $p=0,0001$). On remarque aussi une Interaction significative entre les stations et le temps. L'évolution des densités en fonction du temps au sein de chaque station n'est pas identique. Les peuplements de chaque station évoluent de manière indépendante en fonction des contraintes environnementales locales.

3.2 Coefficients de similarité

3.2.1 Indice de Sorensen

Sur un plan qualitatif (Fig. 3), l'analyse hiérarchique réalisée met en évidence la présence de 5 groupes. Le premier groupe (a) rassemble la station 13 en 1997 associée aux stations 5, 7 et 13 pour l'année 2001, le second groupe (b) est formé du regroupement de la station 2 en 2001 et de l'ensemble des stations échantillonnées en 1998 et 1999 à l'exception de la station 9 en 2000 et de la station 5 en 1998 qui forment le troisième groupe (c). Le quatrième groupe (d) rassemble les stations 7 et 9 respectivement pour l'année 1997 et 2001. Le dernier groupe (e) est formé par l'association des stations 2 et 9 en 1997. L'affinité supérieure ou proche de 50% entre les groupes a, b et c traduit pour l'ensemble de stations concernées la présence d'un stock d'espèce commune important entre les différentes stations indépendamment du temps. La séparation des groupes d et e des autres groupes marque la phase de recolonisation des sédiments des différentes

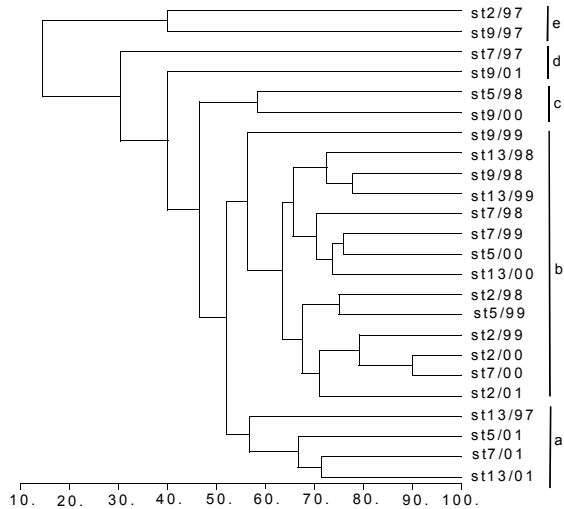


Figure 3. Indice de similarité de Sorensen. Stations 2,5,7,9 et 13 de 1997 à 2001

stations en 1997 (à l'exception de la station 13) et un incident particulier en 2001 au niveau de la station 9.

3.2.2 Indice de Bray-Curtis

Sur un plan quantitatif (Fig. 4), l'analyse hiérarchique fait apparaître 4 groupes de stations. Le premier groupe (a) rassemble l'ensemble des prélèvements réalisés sur la station 13 pour l'ensemble des années d'étude associés à la station 9 en 2001 et aux stations 7 et 9 en 1997. Le second groupe (b) est formé par les stations 5 et 7 échantillonnées en 2000 et 2001 et la station 9 pour les années 1998,1999,

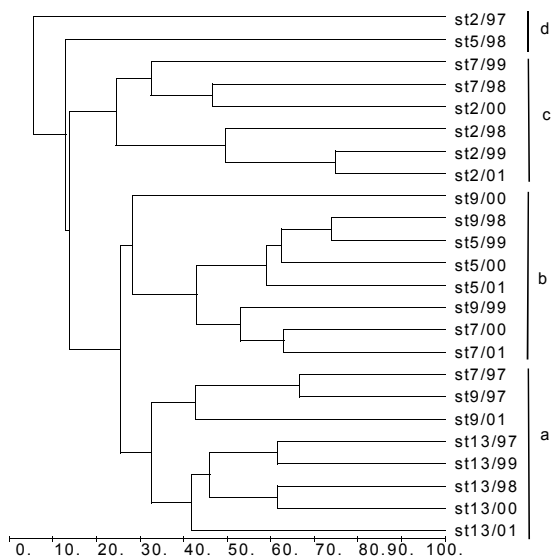


Figure 4. Indice de similarité de Bray-Curtis pour les stations 2, 5, 7, 9 et 13 de 1997 à 2001

et 2000. Le troisième groupe (c) rassemble la station 7 pour les années 1998 et 1999 et l'ensemble des prélèvements de la station 2 à l'exception du prélèvement réalisé en 1997 qui avec la station 5 en 1998 forme le quatrième groupe (d). Il existe une forte variabilité intra et inter-groupe qui montre que si la plupart de stations présentent un stock spécifique commun, on constate une structuration différentes des peuplements dans l'espace et dans le temps se traduisant par une distribution des espèces dominantes et sub-dominantes variables au sein des stations en fonction des conditions environnementales régnant au sein de chaque station.

4. DISCUSSION

Les résultats obtenus lors de cette étude indiquent une recolonisation importante par les annélides polychètes, pour l'ensemble des stations de la radiale (2,5,7,9, et 13). Les polychètes représentent le groupe taxonomique le mieux représenté aux différentes stations, que ce soit en terme de densité ou de diversité. Nous retrouvons dans ce groupe taxonomique plusieurs espèces pionnières possédant un recrutement larvaire important comme *Chaetozone setosa*, *Cossura longocirrata* et *Ampharete cf. arctica*, déjà signalés par Pelletier et al. (1999b). En effet, dans l'évolution théorique des communautés benthiques, suite à de telles catastrophes écologiques, ces dernières espèces à stratégie de reproduction opportuniste de type R et d'ordre 1 (Pearsons et Rosenberg 1978) apparaissent comme les premiers organismes colonisateurs d'un tel milieu (Rhoads et Germano, 1986).

La station 2, se démarque par de fortes densités d'organismes au m² alors que d'autres stations, comme la 13, possèdent une plus grande diversité en groupes taxonomiques, et ce depuis 1996. Cette plus forte densité d'organismes observée à la station 2, localisée dans le prolongement des rivières à Mars et Ha! Ha! peut être attribuée aux fortes quantités de matière organique terrigènes, transportées lors de la crue avec les sédiments qui ont formé le cône deltaïque. Cette apport de matériel organique a du favoriser l'apparition et ensuite la forte dominance des dépositivores de surface (*Chaetozone setosa*, *Ampharete cf. arctica* et *Cossura longocirrata*) comme l'a d'ailleurs observée de Montety en 2002, dans une étude concernant la quantification des structures biogènes dans la nouvelle couche sédimentaire apportée par la crue (de Montety, 2002).

Cette station s'isole de façon significative des autres stations de la radiale (5, 7, 9 et 13), comme le confirment les diverses analyses statistiques. Pour les stations les plus au centre de la baie, l'espèce dominante est le polychète tubicole *Scoloplos armiger* dont le mode trophique est dépositivore de subsurface. Puis en s'éloignant vers l'embouchure de la baie (stations 9 et 13), cette espèce est remplacée par un autre vers tubicole mais dont le mode trophique est carnivore : *Lumbrineris fragilis* (Fauchald et Jumars 1979)

Enfin la diminution brutale du nombre d'organismes au m², observée en 2000 aux stations 2 et 7, peut être reliée à un glissement de terrain en profondeur, érodant en partie la couche sédimentaire de surface et les organismes qui y étaient présents (Michaud et al. 2001, 2002). En effet, la station 2 est localisée au niveau de la rupture de pente du cône deltaïque de dépôt formé par l'arrivée massive des sédiments lors de la crue, à proximité de la rivière Ha ! Ha ! (Michaud et al., 2001). La diminution des abondances observée à la station 7 serait due à un autre événement sédimentaire important dû à la formation d'une faille, localisée dans ce secteur sur la rive nord de la baie (Locat, communication personnelle).

RÉFÉRENCES

- Bellan, G. 1976. Action des facteurs de pollution sur les communautés benthiques. In : Pollution des eaux marines, Gauthiers-Villars, ed. Paris. Pp. 141-158.
- Bray, J. R. et Curtis, J.T. 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* Vol. 27, pp. 325-349.
- Crémer, J.-F., Long, B., Desrosiers, G., de Montety, L. et Locat, J. 2002. Application de la scanographie à l'étude de la densité des sédiments et à la caractérisation des structures sédimentaires : exemple des sédiments déposés dans la rivière Saguenay (Québec, Canada) après la crue éclair de juillet 1996. *Can. Geotech. J.* Vol. 39, pp. 440-450.
- Clarke, K. R., Warwick, R. M. 1994. Change in marine community. An approach to statistical analysis and interpretation. Marine Laboratory, Plymouth, 144p.
- de Montety, L., Long, B., Desrosiers, G., Crémer, J.-F. et Locat, J. 2000. Quantification des structures biogènes en fonction d'un gradient de perturbation dans la baie des Ha ! Ha ! à l'aide de la tomodynamométrie axiale. 53^{ième} Conférence canadienne de Géotechnique (Montréal), Vol. 1. pp. 131-135.
- de Montety, L. 2002. Étude qualitative et quantitative de l'occupation de l'espace par les structures biogènes dans la colonne sédimentaire. Baie des Ha ! Ha !, fjord du Saguenay. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski.
- Desrosiers, G., Brêthes, J.-C. et Long, B. 1984. L'effet d'un glissement de terrain sur une communauté benthique médiolittorale du nord du golfe du Saint-Laurent. *Oceanol. Acta.* Vol. 7, pp. 251-258.
- Fauchald, K. et Jumars, P. 1979. The diet of worms : a study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.* Vol. 17, pp. 193-284.
- Lapointe, M.F., Secretan, Y., Driscoll, S.N., Bergeron, N. and Leclerc, M. 1998. Response of Ha! Ha! River to flood of July 1996 in the Saguenay region of Quebec: large-scale avulsion in a glaciated valley. *Wat. Resour. Res.* Vol. 34, pp.2383-2392.
- Michaud, E., Long, B., Crémer, J.-F., Desrosiers, G. et de Montety, L. 2001. Les phases de construction deltaïques, influence d'un apport catastrophique. In : Long, B.F. (Ed.), *Can. Coast. Conf. Québec. Compte rendu de la conférence canadienne sur le littoral 2001, Québec, 16-19 Mai 2001*, pp. 533-547.
- Michaud, E., Desrosiers, G., Long, B., de Montety, L., Crémer, J.-F., Pelletier, E., Locat, J., Gilbert, F et Stora, G. 2002. Use of axial tomography to follow temporal changes of benthic communities in an unstable sedimentary environment (Baie des Ha ! Ha!, Saguenay fjord). *J. Exp. Mar. Biol. and Ecol.* (sous-presse)
- Pearson, T. H. et Rosenberg, R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of marine environment. *Oceanogr. Mar. Ann. Rev.* Vol. 16, pp. 229-311.
- Pelletier, E., Mostajir, B., Roy, S., Gosselin, M., Gratton, Y., Chanut, J.-P., Belzile, C., Demers, S. et Thibault, D. 1999a. 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. *J. Can. Sci. Halieut. Aquat.* Vol. 56, pp. 2120-2135.
- Pelletier, E., Deflandre, B., Nozais, C., Tita, G., Desrosiers, G., Gagné J.-P. et Mucci, A. 1999b. Crue éclair de juillet 1996 dans la région du Saguenay (Québec) : Impacts sur le sédiments et le biote de la baie des Ha ! Ha ! et du fjord du Saguenay. *J. Can. Sci. Halieut. Aquat.* Vol. 56, pp. 2136-2147.
- Rhoads, D. C. et Germano, J. D. 1986. Interpreting long-term changes in benthic community structure: a new protocol. *Hydrobiologia.* Vol 142. pp. 291-308.
- Schafer, C. T., Smith, J.N. et Loring, D.H. 1980. Recent sedimentation events at the head of Saguenay fjord. *Can. Environ. Geol.* Vol. 3, pp. 139-150.
- Sorensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its applications to analysis of the vegetation on Danish commons. *Biol. Skr. Udg. K. Dan. Vidensk. Selsk.* Vol. 5, pp. 1-34.
- Stora, G. 1982. Recherche de bionomie descriptive et expérimentale (in vivo et in vitro) dans quelques biotopes littoraux soumis à des variations naturelles ou artificielles des conditions du milieu (notamment dans l'étang de Berre et le Golfe de Fos).Thèse de Doctorat d'État, Université d'Aix-Marseille II. (2 tomes).
- Yu, W.C., Lin, A. et Benoit, R. 1997. High resolution simulation of the severe precipitation event over the Saguenay, Quebec, region in July 1996. *Geophys. Res. Lett.* Vol. 24, pp. 1951-1954.