

Chronologie ^{14}C des événements paléogéographiques du Québec depuis 14 000 ans

Radiocarbon chronology of paleogeographic events in Québec since 14 000 BP

Serge Occhietti et Claude Hillaire-Marcel

Volume 31, numéro 1-2, 1977

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1000058ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/1000058ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Occhietti, S. & Hillaire-Marcel, C. (1977). Chronologie ^{14}C des événements paléogéographiques du Québec depuis 14 000 ans. *Géographie physique et Quaternaire*, 31(1-2), 123–133. <https://doi.org/10.7202/1000058ar>

Résumé de l'article

Une courbe de distribution des datations des mers post-glaciaires de l'Est du Canada a été obtenue en intégrant l'erreur calculée par les laboratoires. La plupart des variations notées sur la courbe semblent refléter, de façon qualitative, des fluctuations climatiques secondaires. Les valeurs positives de la courbe correspondraient à des améliorations climatiques et à des remontées eustatiques supérieures ou égales au relèvement isostatiques; les valeurs négatives indiqueraient un abaissement relatif du niveau de la mer par rapport au socle ainsi que différentes étapes de la glaciation. Les repères chronologiques de la courbe ont été associés à des événements paléogéographiques connus actuellement au Québec et ailleurs. De ce fait, la courbe constitue un cadre chronologique de référence, avec toutes les limites qu'elle implique. Cette courbe est susceptible de montrer des décalages importants par rapport aux âges solaires. Chaque datation est en effet soumise aux limites de la méthode du ^{14}C et aux variables qui modifient la teneur initiale en ^{14}C des organismes marins. Nous proposons donc un cadre chronologique étalonné en temps ^{14}C — coquilles de mers froides. Sa validité est assurée par le grand nombre de datations analysées uniformément. Sa signification paléoclimatique semble être attestée par la distribution de mêmes modes d'une mer post-glaciaire à l'autre et par des corrélations concordantes avec les phénomènes connus notamment dans la région des Grands Lacs.

CHRONOLOGIE ^{14}C DES ÉVÉNEMENTS PALÉOGÉOGRAPHIQUES DU QUÉBEC DEPUIS 14 000 ANS

Serge OCCHIETTI et Claude HILLAIRE-MARCEL, respectivement du Département de géographie et du Département des sciences de la Terre, Université du Québec à Montréal, c.p. 8888, Montréal, Québec H3C 3P8.

RÉSUMÉ Une courbe de distribution des datations des mers post-glaciaires de l'Est du Canada a été obtenue en intégrant l'erreur calculée par les laboratoires. La plupart des variations notées sur la courbe semblent refléter, de façon qualitative, des fluctuations climatiques secondaires. Les valeurs positives de la courbe correspondraient à des améliorations climatiques et à des remontées eustatiques supérieures ou égales au relèvement isostatiques; les valeurs négatives indiqueraient un abaissement relatif du niveau de la mer par rapport au socle ainsi que différentes étapes de la glaciation. Les repères chronologiques de la courbe ont été associés à des événements paléogéographiques connus actuellement au Québec et ailleurs. De ce fait, la courbe constitue un cadre chronologique de référence, avec toutes les limites qu'elle implique. Cette courbe est susceptible de montrer des décalages importants par rapport aux âges solaires. Chaque datation est en effet soumise aux limites de la méthode du ^{14}C et aux variables qui modifient la teneur initiale en ^{14}C des organismes marins. Nous proposons donc un cadre chronologique étalonné en temps ^{14}C — coquilles de mers froides. Sa validité est assurée par le grand nombre de datations analysées uniformément. Sa signification paléoclimatique semble être attestée par la distribution des mêmes modes d'une mer post-glaciaire à l'autre et par des corrélations concordantes avec les phénomènes connus notamment dans la région des Grands Lacs.

ABSTRACT Radiocarbon chronology of paleogeographic events in Québec since 14 000 BP. A distribution curve of dates on post-glacial marine shells in Eastern Canada was compiled taking into account laboratory error. Most of the variations identified on this curve may be qualitative indicators of secondary climatic fluctuations. Positive values would be related to climatic warming and to rises of mean sea level greater than or equal to isostatic rebound; negative values would indicate a relative lowering of shorelines in relation to the uplifting land and also represent different steps in the deglaciation. Fluctuations in the curve are correlated with paleogeographic events already identified in Québec and elsewhere. The curve therefore provides a chronological frame of reference, with its limits. The curve shows some major disparities in relation to calendar years. Each date is subject to the limits of the ^{14}C method and to variables modifying initial ^{14}C composition of marine organisms. Therefore the proposed time scale of the chronological frame of reference is divided up into " ^{14}C cold water marine shell" years. Statistical validity is assured because of the large number of uniformly analyzed radiocarbon dates. Paleogeographic relevance can be seen from the persistence of the same modes from one postglacial sea to the other and by good chronological correlations with the events of the Great Lakes area.

РЕЗЮМЕ ХРОНОЛОГИЯ УГЛЕРОДНОЙ ДАТИРОВКИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В КВЕБЕКЕ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 14000 ЛЕТ. Кривая распределения датировок после-ледниковых морей восточной части Канады была получена при интегрировании погрешности определенной лабораториями. Большая часть вариаций на кривой как будто отражают качественным способом второстепенные климатические колебания. Положительные значения кривой соответствуют климатическим мелиорациям и эвстатическим подъемам которые являются то больше, то равные изостатическим поднятиям. Отрицательные значения указывают относительное снижение уровня моря по отношению к подстилающему пласту также как и разные этапы отступления. Хронологические указательные черты на кривой имели отношение к палеогеографическим явлениям известные в наше время в Квебеке также как и в других местах. Тем самым, со всеми пределами ей сущими, кривая представляет собой хронологическую рамку. Эта кривая может указать на важные разхождения по отношению к солнечным эпохам. Каждая датировка подвергалась границам надежности радиоуглеродной датировки и переменным величинам модифицирующих начальное углеродное содержание морских веществ. Предлагаем хронологическую рамку градуированную по углеродному возрасту ракушек северных морей. Большое количество датировок однообразно анализируемых подтверждает пригодность вышеуказанной рамки. Её палеоклиматическое значение как будто удостоверяется двумя факторами: распределением одинаковых состояний от одного ледникового моря к другому и корреляциями согласными с явлениями известными именно в районе Великих Озёр.

INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, les radiodatations au ^{14}C disponibles étaient en nombre restreint. L'âge des événements paléogéographiques était basé, dans ces conditions, sur quelques rares mesures radiométriques ayant avant tout une signification locale. La compilation des datations au ^{14}C connues jusqu'en 1975 montre qu'il existe aujourd'hui suffisamment de données pour permettre une étude statistique. L'âge des événements, mis en évidence par cette méthode cumulative, a une plus grande validité et une signification beaucoup plus générale.

On trouvera dans un article rédigé en 1975 (HILLAIRE-MARCEL et OCCHIETTI, 1977a), la description détaillée et la critique de la méthode statistique employée, les différentes figures résultantes et un certain nombre de corrélations n'apparaissant pas dans ce texte. Par rapport à cette publication, l'exposé qui suit décrit avec plus de précision la courbe obtenue. On insiste également sur les corrélations entre les fluctuations de la courbe et les phénomènes climatiques et paléogéographiques connus au Québec et dans les régions voisines, entre le début de la déglaciation et 8000 BP.

MÉTHODE D'ANALYSE DE LA DISTRIBUTION DES DATATIONS MARINES AU ^{14}C

Plus de 800 datations au ^{14}C de l'Est du Canada (Québec, Ontario, Maritimes, terre de Baffin, basses terres de la baie d'Hudson et du bassin de Foxe) et de la Nouvelle-Angleterre ont été rassemblées en une banque de données informatisées. De celle-ci, nous avons extrait 365 radiodatations obtenues à partir d'organismes marins (coquilles de mollusques, Foraminifères, os de Baleine) plus jeunes que 14 000 ans.

Afin de ne pas influencer les résultats, ce lot de données inclut la quasi-totalité des datations marines connues. Elles ont été traitées statistiquement de la manière suivante, avec l'aide de programmes informatisés :

1. INTÉGRATION DE L'ERREUR PUBLIÉE PAR LES LABORATOIRES

Afin de tenir compte de l'écart à l'intérieur duquel les datations sont valables, chaque datation n'est pas représentée par la valeur 1 dans la classe de 100 ans (ou de 200 ans) qui lui correspond, mais plutôt par une courbe de Gauss dont la largeur est égale à deux fois l'erreur publiée par le laboratoire de radiodation et dont la somme des poids répartis dans les classes de 100 ans (ou de 200 ans) est égale à 1 (Fig. 1). Dans une classe donnée, le poids donné à la datation exprime la probabilité pour que celle-ci soit comprise à l'intérieur de la classe, avec un coefficient de confiance

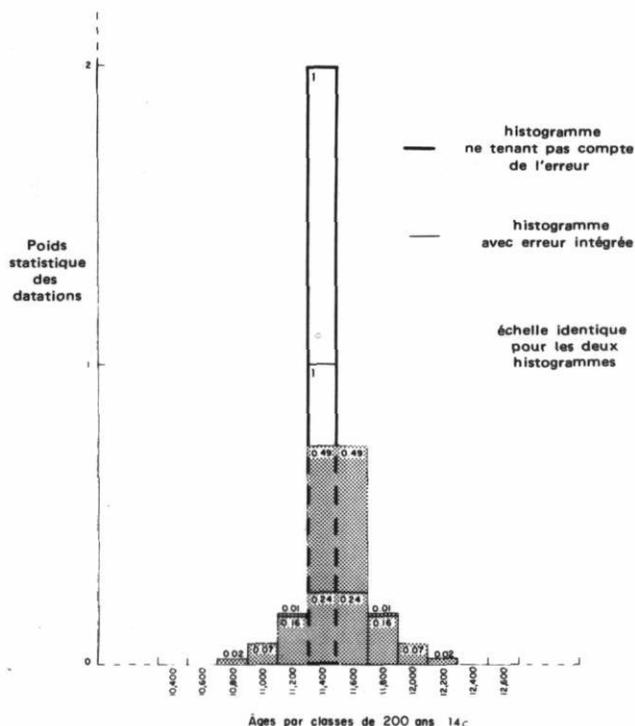


FIGURE 1. Comparaison entre les deux types d'histogrammes avec et sans erreur intégrée. Exemple de deux échantillons cumulés de la mer de Champlain: (a) $11\,500 \pm 630$, GSC 1526 (GADD, 1972), échantillon: 3,7 g de Foraminifères; (b) $11\,500 \pm 160$, GSC 475-2 (McDONALD, 1970), échantillon: coquilles marines et fragments de coquilles. L'âge de l'échantillon GSC 1526 a été réévalué à $11\,600 \pm 630$.

Comparison of the two types of histograms (corrected and uncorrected). Example of two Champlain Sea cumulative dates: (a) $11\,500 \pm 630$, GSC 1526 (GADD, 1972), sample: 3,7 g of Foraminifera; (b) $11\,500 \pm 160$, GSC 475-2 (McDONALD, 1970), sample: marine shells and fragments of shells. The date of sample GSC 1526 was reevaluated to $11\,600 \pm 630$.

de 95% et pour une moyenne égale à la datation. Plus l'erreur publiée est grande, plus la courbe de Gauss est surbaissée et les fractions de 1 réparties dans de plus nombreuses classes. Au contraire, une datation dont l'erreur de comptage est inférieure à 100 ans peut être représentée par une courbe de Gauss répartie, par exemple, sur deux classes adjacentes: dans ce cas, le poids statistique de la datation est égal à 0,5 dans chacune des deux classes.

2. HISTOGRAMME DE FRÉQUENCE ET NOMBRE STATISTIQUE DES DATATIONS (FIG. 2)

Pour construire l'histogramme de fréquence des datations, on totalise donc dans les classes de 100 ans les poids statistiques des 365 datations. On obtient alors un « nombre statistique de datations » pour chacune des 150 classes de l'histogramme. Ce dernier exprime à

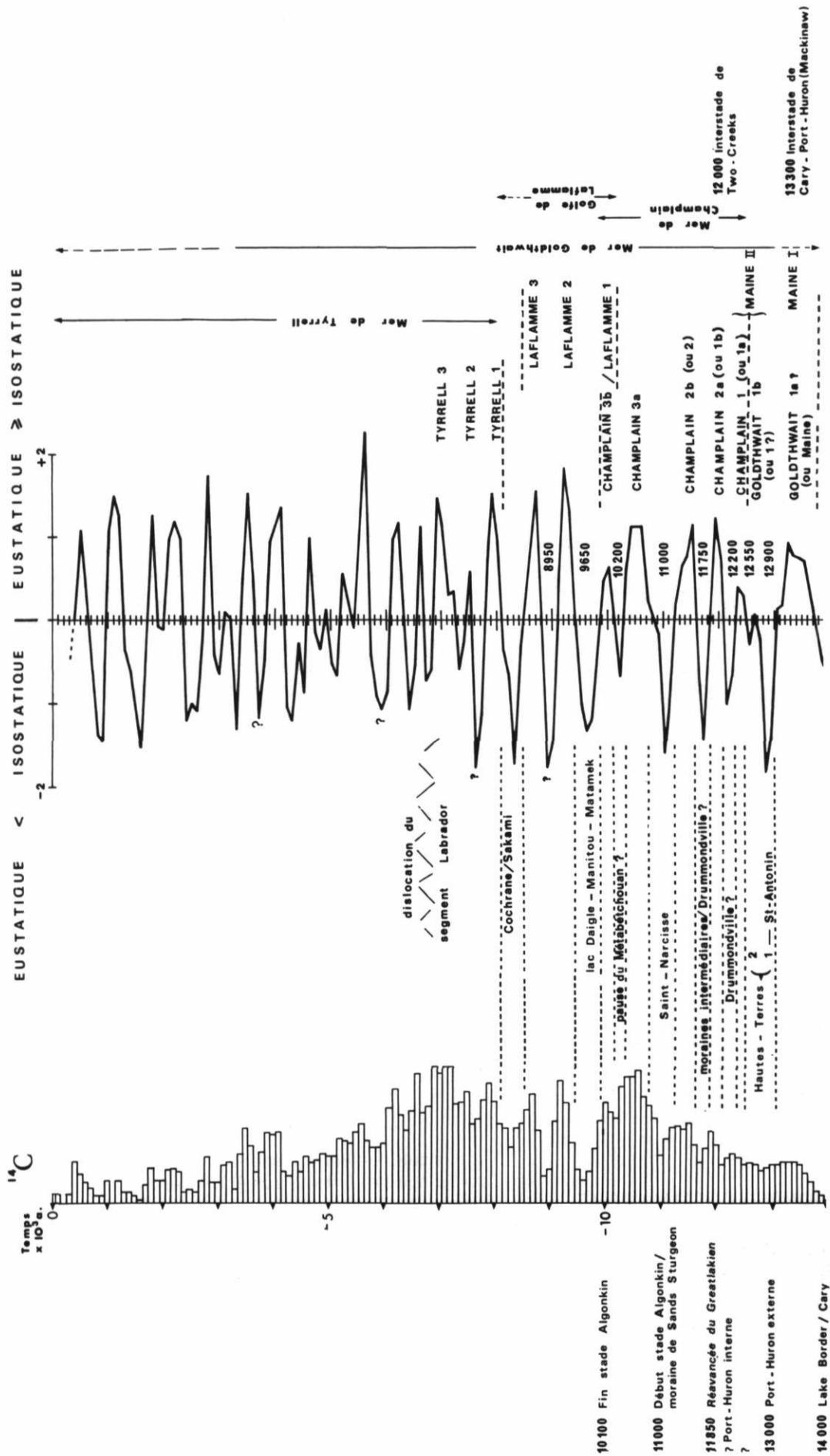


FIGURE 2. Histogramme de fréquence statistique, courbe des écarts-sigma et corrélations: chronologie des événements paléogéographiques de l'Est du Canada depuis 14 000 ans. Histogram of statistic distribution, standard deviation curve and correlations: chronology of the paleogeographic events of eastern Canada since 14 000 years.

la fois des variations naturelles paléogéographiques et climatiques (voir plus loin) et des variations dues à l'échantillonnage humain. En effet, la densité de l'échantillonnage varie d'une région à l'autre. On dénombre par exemple 61 datations pour la mer de Champlain et seulement 25 pour la mer de Goldthwait beaucoup plus étendue dans le temps et dans l'espace. L'histogramme ne peut de ce fait être utilisé tel quel.

3. COURBE DES ÉCARTS-SIGMA (FIG. 2)

Compte tenu du fait que l'échantillonnage n'est pas homogène, les nombres statistiques de datations ne sont pas comparables entre eux. Pour annuler cette variable, on compare, non plus les valeurs absolues des nombres statistiques de datations, mais les écarts-sigma de ceux-ci par rapport aux moyennes glissantes calculées sur 500 ans. Ainsi, pour le nombre statistique de datations x_n de la classe d'âge n ,

- la moyenne glissante m_n de 500 ans centrée sur n est calculée à partir de x_n et des x des deux classes de chaque côté de n suivant la formule :

$$m_n = \frac{\sum_{n-2}^{n+2} x}{5}$$

- l'écart-type de x_n par rapport à la moyenne glissante centrée sur n est alors :

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{n-2}^{n+2} (x_n - m_n)^2}{5}}$$

- l'écart-sigma E_n de x_n par rapport à la moyenne glissante est égal à :

$$E_n = \frac{x_n - m_n}{\sigma_n}$$

La courbe des écarts-sigma obtenue montre des valeurs positives ou négatives qui expriment une abondance relative ou un déficit relatif de radiodatations à un temps donné. Elle est partiellement indépendante des conditions d'échantillonnage lorsque celui-ci est suffisant. En raison du type de traitement statistique utilisé, par rapport à des moyennes glissantes, les fluctuations enregistrées n'ont qu'une valeur qualitative.

SIGNIFICATION PALÉOCLIMATIQUE, PALÉO-EUSTATIQUE ET PALÉOGÉOGRAPHIQUE DES FLUCTUATIONS DE LA COURBE DES ÉCARTS-SIGMA

La courbe des écarts-sigma a été construite à partir des échantillons des mers post-glaciaires de l'Est du Canada et de la Nouvelle-Angleterre. Ces mers se sont chevauchées ou succédées dans le temps depuis 15 000 ans (côte atlantique, de 15 000 ans BP à aujourd'hui,

mer de Goldthwait, de 13 500 ans BP à aujourd'hui, etc., fig. 2). Elles sont caractérisées par un fort relèvement glacio-isostatique partiellement compensé par le relèvement du niveau marin mondial. On sait que le relèvement isostatique est continu et décroissant tandis que le relèvement eustatique, globalement croissant jusqu'à 6000 BP, est soumis à des fluctuations secondaires (FAIRBRIDGE, 1961). Sur le terrain, les fluctuations eustatiques secondaires positives compensent momentanément le relèvement isostatique et favorisent la construction de formes littorales stables et riches en fossiles. Au contraire, les fluctuations eustatiques négatives, impliquent une exondation rapide du littoral défavorable à l'accumulation de dépôts et de fossiles. En conséquence, la distribution des radiodatations d'organismes littoraux reflète les fluctuations eustatiques positives. Ces dernières ont lieu à l'échelle mondiale et résultent de réchauffements climatiques secondaires qui affectent également la dynamique de l'inlandsis laurentidien. Il existe donc une relation entre les niveaux littoraux fossilifères stables et radiodatables, les pics de la courbe statistique des datations au ^{14}C , les fluctuations eustatiques secondaires positives, les réchauffements climatiques de deuxième ordre et les événements paléogéographiques continentaux (recul du front glaciaire et ouverture de bassins marins). Au contraire, aux creux de la courbe statistique correspondent une rareté de sites fossilifères, une stabilisation ou un abaissement du niveau eustatique, un refroidissement climatique secondaire et une stabilisation ou une réavancée du front glaciaire. Les limites de ces corrélations ont déjà été reconnues (HILLAIRE-MARCEL et OCCHIETTI, 1977a).

La courbe obtenue a donc, à l'intérieur de certaines limites, une signification paléoclimatique, paléoeustatique et paléogéographique. Elle peut constituer un cadre chronologique de référence pour l'Est du Canada.

COURBE CHRONOLOGIQUE DES ÉVÉNEMENTS PALÉOGÉOGRAPHIQUES DU QUÉBEC DEPUIS 14 000 ANS

Les détériorations, identifiées entre 14 000 et 8000 BP sur la courbe, ont été corrélées avec des événements connus au Québec et dans les régions voisines, entre autres, celle des Grands Lacs qui se révèle très sensible du point de vue paléogéographique.

Les améliorations climatiques de la courbe ont été associées à des noms de régions ou de bassins marins connus dans l'Est du Canada et en Nouvelle-Angleterre.

La durée des fluctuations est variable. Afin de simplifier leur description, elles sont identifiées par leur âge moyen, apparent sur la courbe, qui ne correspond pas

nécessairement à la phase paroxysmale de la fluctuation enregistrée.

Les fluctuations négatives ou les détériorations climatiques

FLUCTUATIONS MINEURES ENTRE 14 000 ET 13 000

Au cours de la longue période de déglaciation et de transgression marine dénommée Maine 1/Goldthwait, quelques changements de pente sur la courbe marquent des fluctuations froides mineures. Celles-ci correspondent probablement aux positions frontales de Cherry River, Mégantic, Ditchfield et Woburn, décrites dans l'extrême sud des Appalaches du Québec par SHILTS et McDONALD (*in* GADD *et al.*, 1972).

FLUCTUATIONS DE SAINT-ANTONIN/HAUTES TERRES 1 (12 900) ET HAUTES TERRES 2 (12 650)

L'ensemble de ces fluctuations a été associé au complexe morainique des Hautes Terres (*Highland front morainic system*, GADD, 1964) qui s'étend sur environ 400 km de long, de Rivière-du-Loup (rive S de l'estuaire du Saint-Laurent) à la vallée du lac Champlain. Il est constitué d'un ensemble de positions frontales qui peuvent représenter plusieurs alignements distincts. La première fluctuation (12 900), très marquée, est rattachée à la moraine de Saint-Antonin (LEE, 1962) dont l'âge est supérieur à $12\,720 \pm 170$ (QSC-102, GADD *et al.*, 1972). Cette moraine, située à l'extrémité nord-est du complexe des Hautes Terres, marque une position externe et ancienne de celui-ci. La petite fluctuation suivante, centrée sur 12 550, est liée vraisemblablement à la position interne, récente, du complexe des Hautes Terres; elle concorde avec l'âge (12 600 BP) que McDONALD (1968) attribuait avec réserves à ce dernier. Ces corrélations avec le complexe morainique sont provisoires, compte tenu des nombreuses inconnues qui subsistent sur la paléogéographie finiglaciaire des Appalaches du Québec.

La fluctuation froide de Saint-Antonin centrée sur 12 900 coïncide avec la phase froide de Port-Huron externe (*Outer Port Huron*) très marquée dans la région des Grands Lacs (EVENSON *et al.*, 1976) et datée à 13 000 BP. Il est possible, mais peu probable, que la fluctuation des Hautes Terres 2 corresponde à la position interne de Port-Huron (*Inner Port Huron*) qui n'est toutefois pas datée (*cf.* ci-après).

FLUCTUATION DE DRUMMONDVILLE: 12 200

Cette fluctuation est moins marquée que celle de Saint-Antonin ou celle qui est centrée sur 11 750. Dans la vallée du Saint-Laurent, les positions frontales de l'inlandsis en retrait sont partiellement masquées par les

dépôts de la mer de Champlain ou fortement remaniés. La moraine de Drummondville définie par GADD (1960) n'a pas encore été datée avec précision. Compte tenu de sa position en retrait par rapport au système des Hautes Terres et sur le bord SE du bassin de la mer de Champlain, il semble plausible de l'associer à la fluctuation froide centrée sur 12 200. Cette fluctuation précède apparemment l'ouverture définitive du bassin aux eaux de la mer de Champlain. En raison de son importance sur la courbe, nous proposons de comparer cette fluctuation à la phase interne de Port Huron, non encore datée.

MORAINES INTERMÉDIAIRES? FLUCTUATION DE 11 750

Cette fluctuation est très bien marquée sur la courbe. Il est possible qu'elle date l'alignement très discontinu de masses morainiques que l'on trouve dans la plaine de Montréal et jusqu'à Trois-Rivières: dépôts des localités de Rigaud, Sainte-Thérèse, Joliette, Sainte-Ursule, Trois-Rivières. La fluctuation centrée sur 11 750 est pratiquement synchrone de la réavancée du début du sous-étage greatlakien daté à 11 850 BP (EVENSON *et al.*, 1976). Au Québec, elle est suivie de la phase Champlain 2b caractérisée par un net enrichissement faunistique et l'afflux de datations (*cf.* plus loin).

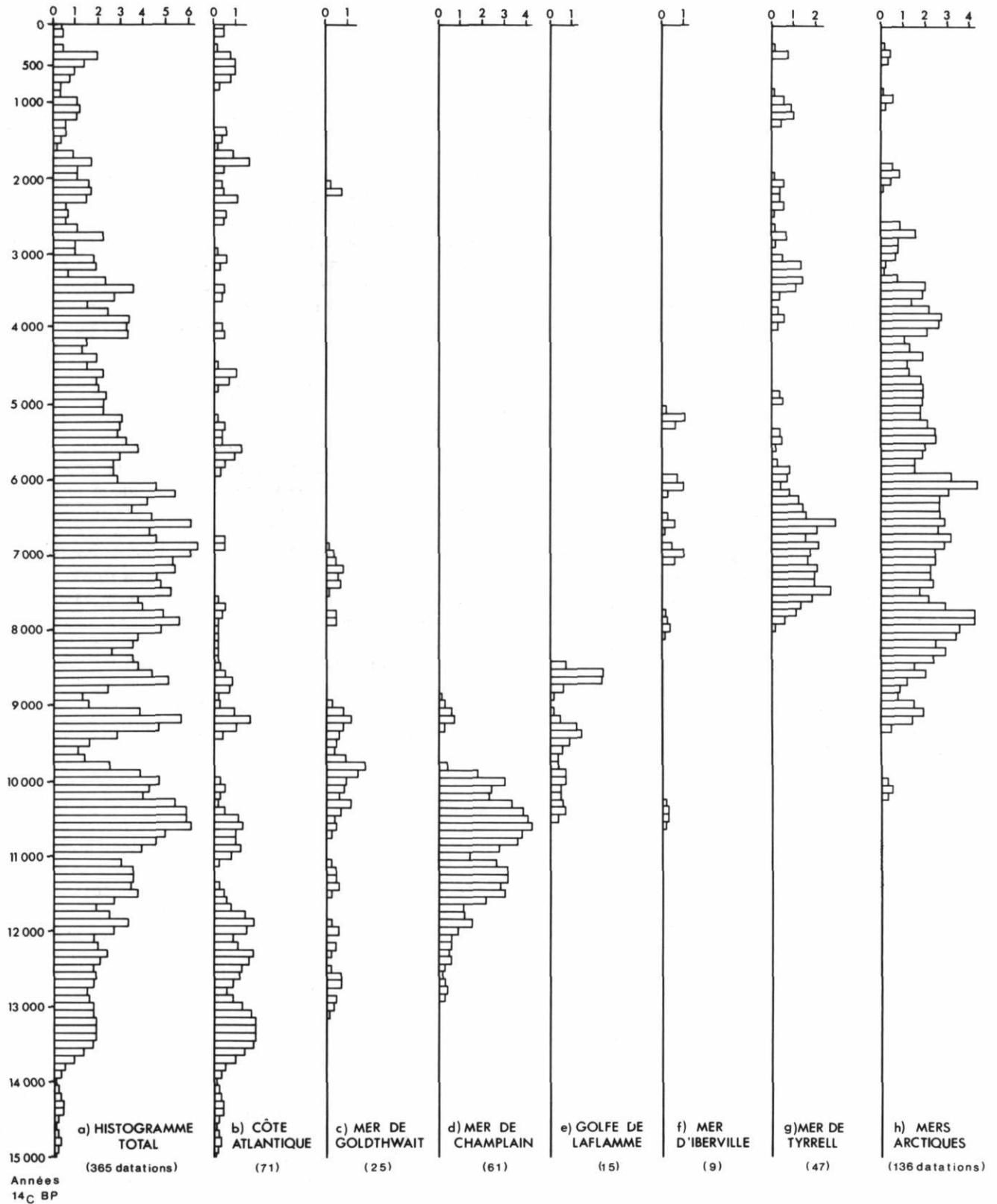
FLUCTUATION DE SAINT-NARCISSE: 11 000

La fluctuation centrée sur 11 000, entre 11 200 et 10 800, apparaît également sur les histogrammes de la côte atlantique, des mers de Goldthwait et de Champlain (fig. 3). Elle est associée à l'épisode glaciaire de Saint-Narcisse dont on peut suivre les traces pendant 500 km, à peu près sur le rebord sud des Laurentides. Tous les bourrelets et dépôts glacio-marins associés à ce complexe morainique ne sont pas nécessairement synchrones. Signalons que dans la région de Trois-Rivières, des dépôts marins mis en place au sud de la moraine et corrélés avec la phase de réactivation de la glace, ont donné des âges plus jeunes que 11 000 ans (10 900 et 10 600; OCCHIETTI, 1977).

La fluctuation centrée sur 11 000 est corrélée avec la moraine de Sands Sturgeon datée de 11 000 ans BP (EVENSON *et al.* 1976; DREIMANIS, 1977) et avec le début du stade Algonkin défini en 1974 par Saarnisto (OCCHIETTI, 1976). Cette fluctuation marque, à partir de 11 000, le début du refroidissement du Dryas III qui est à l'origine, en Scandinavie, d'un des alignements morainiques de la Salpausselka ou des moraines centrales de Suède.

FLUCTUATIONS DE MÉTABETCHOUANE: 10 200

Cette petite fluctuation correspond peut-être à la pause de Métabetchouane définie par DIONNE (*in* GADD



Nombre de datations par classes de 100 ans

FIGURE 3. Histogrammes de fréquence statistique des datations des différentes mers post-glaciaires de l'Est du Canada, en classes de 100 ans.

Corrected histograms of statistical distribution of ¹⁴C dates in the various postglacial seas of eastern Canada, in 100 year classes.

et al., 1972). Elle marque apparemment la fin du stade Algonquin que SAARNISTO (1974) place vers 10 100 ans BP.

FLUCTUATION DU LAC DAIGLE: 9 650

Cette fluctuation est marquée sur le terrain par la moraine du lac Daigle dans la région de Sept-Îles (DREDGE, 1971), sur la côte nord du golfe du Saint-Laurent. Cette moraine se prolonge vers l'E selon le système d'arcs morainiques de Manitou — Matamek (DUBOIS, 1976, 1977).

FLUCTUATION DE 8950

Cette fluctuation froide, très nette sur la courbe, est présente également sur les histogrammes des différentes mers. Elle marquerait une fluctuation eustatique négative générale. La position du front glaciaire éventuelle qui lui correspondrait serait située dans le Moyen Nord québécois, entre le N du lac Saint-Jean où l'on trouve les témoins de la pause de Métabetchouane et la région du lac Mistassini, situé dans l'axe de la moraine de Sakami plus récente.

FLUCTUATION DE SAKAMI: 8300

Une longue fluctuation, entre 8500 et 8100, est peut être à l'origine du plus jeune complexe morainique observé au Québec; celui de la moraine de Sakami. Cette dernière, qui s'étend de Poste-de-la-Baleine, au bord de la baie d'Hudson, jusque dans l'axe du lac Mistassini, est située chronologiquement à 7975 BP par HARDY (1976) et à 8100 BP par l'un de nous (HILLAIRE-MARCEL, 1977a). Elle marquerait ainsi la phase finale de cette fluctuation froide, vers 8100. Cette dernière semble, par ailleurs, être plus ou moins synchronisée avec la moraine de Cockburn dans l'Arctique (IVES et ANDREWS, 1963; FALCONER *et al.*, 1965; MILLER et DYKE, 1974) et avec au moins une des crues glaciaires de Cochrane (HUGHES, 1955; HARDY, 1976).

FLUCTUATIONS FROIDES POSTÉRIEURES À 8000 BP

À partir de 8000 BP, il devient pratiquement impossible d'établir des corrélations entre les fluctuations froides de la courbe et les phénomènes glaciaires du Nouveau-Québec. Toutefois, il existe des relations convaincantes entre la courbe et certaines récurrences ou haltes glaciaires dans l'Arctique (BLAKE, 1966, 1972) et le Groenland (TEN BRINK et WEIDICK, 1974).

En conclusion, il existe une très bonne corrélation entre les fluctuations froides de la courbe statistique et les épisodes glaciaires connus dans l'Est du Canada, la Nouvelle Angleterre et les Grands Lacs, entre 14 000 et 9 000 BP. La corrélation des fluctuations centrées sur 8950 et 8300 est moins évidente. La première n'est

pas associée à un phénomène glaciaire connu au Québec, bien qu'il puisse exister dans des régions peu accessibles; la seconde est peut être décalée par rapport à la moraine de Sakami. On remarque, d'autre part, qu'en raison du resserrement de la vallée inférieure du Saint-Laurent, entre Trois-Rivières et Québec, les positions glaciaires frontales y sont plus difficiles à situer dans le temps que les étapes glaciaires de la région des Grands Lacs. Enfin, rappelons qu'un décalage chronologique entre un refroidissement et la réponse au front de l'inlandsis est possible; d'autre part, certaines crues glaciaires à l'origine de moraines frontales peuvent être dues simplement à un changement de la dynamique glaciaire d'origine non climatique (HILLAIRE-MARCEL et OCCHIETTI, 1977a).

LES FLUCTUATIONS POSITIVES OU LES AMÉLIORATIONS CLIMATIQUES

FLUCTUATION DE MAINE 1/GOLDTHWAIT 1A: DE 13 700 À 13 050

Cette longue fluctuation positive est à l'origine de la première transgression marine dans le Maine (STUIVER et BURNS, 1975). Des dates récentes (LOCAT, 1976; LEBUIS et DAVID, 1977; DIONNE, 1977) confirment l'ancienneté de la mer de Goldthwait sur la rive S du golfe du Saint-Laurent (DIONNE, 1972). Cette fluctuation majeure semble être en corrélation avec l'interstade de Cary — Port Huron (Mackinaw) de la région des Grands Lacs, daté vers 13 300 BP (EVENSON *et al.*, 1976; DREIMANIS, 1977).

FLUCTUATIONS DE GOLDTHWAIT 1B (12 650) ET DE CHAMPLAIN 1 (12 400)

Ces deux fluctuations, séparées par un léger refroidissement relié à la phase tardive des Hautes Terres 2, peuvent être groupées en une seule fluctuation marquée par la deuxième phase transgressive du Maine (STUIVER et BURNS, 1975). La fluctuation centrée sur 12 400 est basée, en partie, sur les plus anciennes datations connues de la mer de Champlain. Celles-ci proviennent, paradoxalement, des extrémités E (région de Québec: LASALLE, *in* GADD *et al.*, 1972) et O (région d'Ottawa-Hull: RICHARD, 1975) de la mer de Champlain. La fluctuation Champlain I précéderait la moraine de Drummondville.

FLUCTUATIONS DE CHAMPLAIN 2A et 2B: 11 950 et 11 500

Ces fluctuations sont associées à la phase transgressive majeure du bassin de la mer de Champlain avec des moraines intermédiaires intercalées vers 11 750. La fluctuation de Champlain 2a, centrée sur 11 950, semble correspondre à l'interstade de Two Creeks

de la région des Grands Lacs (EVENSON *et al.*, 1976; DREIMANIS, 1977).

FLUCTUATIONS DE CHAMPLAIN 3A (10 800 À 10 300) ET DE CHAMPLAIN 3B/LAFLAMME 1 (10 000)

Ces deux fluctuations de la courbe dépendent en grande partie des datations de la mer de Champlain. La fluctuation 3a est caractérisée par la disparition complète du front glaciaire du domaine marin et par l'exondation progressive sur le rivage sud de la mer de Champlain. La fluctuation 3b est associée à la régression de la mer de Champlain et à l'ouverture du golfe de Laflamme.

FLUCTUATIONS DE LAFLAMME 2 (9250) et de LAFLAMME 3 (8650)

Les fluctuations centrées sur 9200 et 8650 ressortent surtout dans le golfe de Laflamme.

FLUCTUATIONS PLUS RÉCENTES QUE 8000 BP

Il existe des corrélations satisfaisantes entre les fluctuations de la courbe statistique, celles des courbes eustatiques de FAIRBRIDGE (1961, 1975) et d'autres auteurs (*cf.* HILLAIRE-MARCEL et OCCHIETTI, 1977a) et celles des courbes de variation du taux de fluctuation eustatique établies par Hillaire-Marcel à partir des plages soulevées de la baie d'Hudson (HILLAIRE-MARCEL, 1977; HILLAIRE-MARCEL et FAIRBRIDGE, 1977). Une série de 14 fluctuations a été définie (HILLAIRE-MARCEL et OCCHIETTI, 1977b) à partir de ces corrélations. Elle confirme la validité climatique et eustatique de la courbe.

PRÉCISION DE LA COURBE CHRONOLOGIQUE PROPOSÉE

Signification de chaque radiodation au ^{14}C

Que signifie chacune des datations d'échantillon marin utilisée dans cette courbe? Mise à part toute contamination post-sédimentaire ou anthropique, l'âge calculé dépend de l'activité ^{14}C originelle de l'organisme au moment de sa mort. Cette activité ^{14}C originelle obéit à plusieurs variables (HILLAIRE-MARCEL, 1975 et 1977b).

- 1) La composition isotopique du réservoir où vivait l'animal, en l'occurrence la mer. Cette composition isotopique dépend essentiellement du transfert du ^{14}C atmosphérique dans les eaux marines.
- 2) Le fractionnement isotopique dû à l'animal. L'activité ^{14}C originelle des organismes marins peut être plus grande que celle du milieu ambiant.
- 3) La variation de la production et donc du taux d'activité du ^{14}C dans la haute atmosphère en fonction

notamment du champ magnétique terrestre et de l'intensité du rayonnement cosmique.

Chaque datation au ^{14}C aura donc tendance à montrer des écarts par rapport à l'âge sidéral ou réel de l'échantillon, selon l'importance de ces trois variables. La troisième variable liée à la production de ^{14}C dans l'atmosphère s'applique indifféremment à tous les types d'échantillons radiodatés. Des corrections pourraient être apportées à la courbe entre 7000 BP et aujourd'hui à l'aide des courbes de calibration dendrochronologique (FERGUSSON, 1970; OLSON, 1970; etc.) ou varvaire. Cette variable implique par conséquent des distorsions de la courbe statistique qui affecteraient n'importe quelle autre courbe établie à l'aide du ^{14}C .

La deuxième variable s'applique plus particulièrement aux coquilles marines dont le fractionnement isotopique est différent de celui des végétaux. Toutes les autres variables étant égales, les coquilles marines donneraient un âge plus jeune que celui de leur réservoir. Les corrélations chronologiques entre des datations des deux types d'échantillons, coquilles marines et végétaux, ne doivent pas négliger cette variable. La deuxième variable, assez constante et accessible par la composition en ^{13}C , pourrait être introduite systématiquement dans les calculs d'âge.

La première variable, au contraire, n'est pas constante. En effet, l'équilibre isotopique du ^{14}C entre l'atmosphère et le réservoir marin n'est pas toujours atteint et varie en fonction de plusieurs facteurs. D'une part, l'équilibration isotopique paraît incomplète dans les mers de hautes latitudes (FONSELIUS et OSTEUND, 1959; MANGERUD et GUILLIKSEN, 1975), ce qui entraîne un déficit en ^{14}C de ces réservoirs. D'autre part, la composition isotopique des mers post-glaciaires peut varier en fonction de leur éloignement par rapport au réservoir marin principal. Ainsi, l'un de nous (HILLAIRE-MARCEL, 1977b) a mis en évidence l'appauvrissement en isotopes lourds d'un bassin fermé comme la mer de Champlain par rapport à la mer de Goldthwait ouverte sur l'Atlantique. Enfin, à l'intérieur d'un même bassin, notamment la mer de Champlain, il peut y avoir des différences de composition isotopique des eaux marines en fonction de la profondeur: les eaux de surface, plus douces, proviennent surtout des eaux de fonte glaciaire dont on ignore l'équilibre isotopique avec l'atmosphère, tandis que les eaux profondes salées, plus anciennes («fossiles») et de provenance océanique, peuvent être déficitaires en ^{14}C . Dans ce cas il y aura une distorsion entre les âges des espèces littorales et d'eau profonde. La première variable introduit des écarts difficiles à évaluer et donc des distorsions par rapport aux âges sidéraux. Dans certains cas, ces distorsions vont compenser l'enrichissement isotopique de la deuxième variable ou l'effet de périodes

de plus grande activité du ¹⁴C atmosphérique (variable 1); dans d'autres cas, la troisième variable sera négligeable. De ces faits, on peut conclure qu'une datation isolée de coquilles d'une mer post-glaciaire est peu significative, à moins que l'on soit capable de reconstituer les variables originelles du réservoir et de faire des corrections en conséquence, ce qui demeure une opération délicate. Par contre, l'analyse statistique d'un nombre suffisant de datations ne peut que refléter des phénomènes concordants à caractère général, dans le cadre d'une chronologie ¹⁴C.

Caractère de la courbe chronologique proposée

Compte tenu des trois variables qui affectent chaque radiodation, la courbe de référence proposée est une courbe au ¹⁴C, non corrigée, étalonnée à partir de l'activité ¹⁴C de coquilles marines. Les distorsions dues aux déficits en isotopes lourds des eaux marines froides obligent à préciser qu'il s'agit d'une courbe étalonnée avec des âges ¹⁴C de coquilles de mers froides.

CONCLUSION

L'approche statistique appliquée aux radiodations des mers post-glaciaires de l'Est du Canada donne une bonne validité aux fluctuations mises en évidence et leur assure un âge ¹⁴C certain, alors que des datations prises isolément sont sujettes à de sérieuses réserves. La coïncidence surprenante entre les phénomènes connus au Québec, en Nouvelle-Angleterre et dans la région des Grands Lacs et les fluctuations de la courbe confirme la validité de celle-ci. La courbe permet également de poser clairement certains problèmes chronologiques, notamment l'âge de la moraine de Drummondville. Elle peut aussi induire la recherche, sur le terrain, de positions frontales de l'inlandis en retrait, comme par exemple la localisation éventuelle d'une moraine vers 9000 ans BP dans le Moyen Nord du Québec. Pour ces raisons, la courbe chronologique étalonnée en années ¹⁴C de coquilles de mers froides est proposée comme courbe de référence pour le Québec et les régions périphériques.

RÉFÉRENCES

- BLAKE Jr, W., (1966): End moraines and deglaciation chronology in northern Canada, with special reference to southern Baffin Island, *Geol. Surv. Can.*, Pap. 66-26, p. 1-31.
- (1972): Climatic implications of radiocarbon dated driftwood in the Queen Elisabeth Islands, Arctic Canada, in *Climatic changes in Arctic areas during the last ten-thousand years*, Y. Vasari, H. Hyvärinen et S. Hicks (éd.), Acta Universitatis Ouluensis, Ser. A, Scientiae Rerum Naturalium, 3, Geologica 1, p. 77-104 (Finlande).
- BORNS Jr, H. W. (1973): Late Wisconsin Fluctuations of the Laurentide ice sheet in southern and eastern New England, in *The Wisconsinian Stage*, *Geol. Soc. Am., Mem.*, 139, p. 37-45.
- CONNALLY, G. G. et SIRKIN, L. A. (1973): Wisconsinian history of the Hudson-Champlain lobe, in *The Wisconsinian Stage*, *Geol. Soc. Am., Mem.*, 136, p. 47-69.
- DIONNE, J.-C. (1972): La dénomination des mers postglaciaires au Québec, *Cah. Géogr. Qué.*, vol. 16 (39), p. 483-487.
- (1977): La mer de Goldthwait au Québec, *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXI, n°s 1-2, p. 61-80.
- DREDGE, L. A. (1971): Surficial geology: Sept-Iles Cap-Chat (parts of 226-J), *Geol. Surv. Can.*, Pap., 72(1), p. 153-154.
- DREIMANIS, A. (1977): Correlation of Wisconsin glacial events between the Eastern Great Lakes and the St. Lawrence Lowlands, *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXI, n°s 1-2, p. 37-51.
- DUBOIS, J.-M. (1976): Levé préliminaire du complexe morainique de Manitou-Matamek sur la Côte Nord de l'estuaire maritime du Saint-Laurent, *Com. Géol. Can.*, Étude 76-1B, p. 89-93.
- (1977): La déglaciation de la Côte Nord du Saint-Laurent, Québec, *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXI, n°s 3-4, p. 229-246.
- EVENSON, E. B., FARRAND, W. R., ESCHMAN, D. F., MICKELSON, D. M. et MAHER, L. J. (1976): Greatlakean Substage: A Replacement for Valderan Substage in the Lake Michigan Basin, *Quat. Res.*, vol. 6, n° 3, p. 411-424.
- FAIRBRIDGE, R. W. (1961): Eustatic changes in sea level, *Phys. Chem. Earth*, vol. 44, p. 99-185.
- (1975): Holocene sea level and the marginal bulge hypothesis, *EOS*, vol. 54, n° 4.
- FALCONER, G., ANDREWS, J. T. et IVES, J. D. (1965): Late Wisconsin end moraines in northern Canada, *Science*, vol. 147, n° 3658, p. 608-610.
- FERGUSON, C. W. (1970): Dendrochronology of bristlecone pine, *Pinus aristata*. Establishment of a 7484 years chronology in the White Mountains of eastern and central California, USA, in I.U. Olsson (éd.), *12th Nobel Symposium, Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*, p. 237-260.
- FONSELIUS, S. et OSTLUND, G. (1959): Naturally radioactive measurements of surface waters from the North Atlantic and Arctic Sea, *Tellus*, vol. 11, p. 77-82.
- GADD, N. R. (1960): *Surficial geology of the Bécancour map-area*, *Geol. Surv. Can.*, Pap. 59-8.
- (1964): Moraines in the Appalachian region of Quebec, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 75(12), p. 1249-1254.
- GADD, N. R., LASALLE, P., DIONNE, J.-C., SHILTS, W. W. et McDONALD, B. C. (1972): *Quaternary geology and geomorphology of southern Québec*, Int. Geol. Congress, 24th Sess., Montréal, Guide-Book, Field-Trip A44-C44, 69 p.
- HARDY, L. (1976): *Contribution à l'étude géomorphologique de la portion québécoise des basses terres de la Baie James*, thèse de doctorat, Univ. McGill, Montréal, 264 p. (non publ.).

- HILLAIRE-MARCEL, C. (1975): *Données isotopiques sur les mers quaternaires du Québec*, notes de cours non publ., 43 p.
- (1977a): La déglaciation et le relèvement isostatique sur la côte est de la baie d'Hudson, *Cah. Géog. Qué.*, vol. 20, n° 50, p. 185-220.
- (1977b): Les isotopes du carbone et de l'oxygène dans les mers post-glaciaires du Québec, *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXI, n°s 1-2, p. 81-106.
- HILLAIRE-MARCEL, C. et FAIRBRIDGE, R. W. (1977): Isostasy and Eustasy on Hudson Bay, *J. Geol.*, soumis pour publ.
- HILLAIRE-MARCEL, C. et OCCHIETTI S. (1977a): Fréquence des datations au ^{14}C de faunes marines post-glaciaires de l'Est du Canada et variations paléoclimatiques, *Pal., Pal., Pal.*, vol. 21, n° 1, p. 17-54.
- (1977b): Chronologie ^{14}C des mers post-glaciaires de l'Est du Canada et variations paléoclimatiques, résumé, X^e Congrès INQUA, Birmingham, 1977.
- HUGHES, O. L. (1955): *Surficial geology of Smooth Rock and Iroquois Falls map area, Cochrane District, Ontario*, thèse de Ph. D., Univ. of Kansas, Lawrence, 190 p.
- IVES, J. D. et ANDREWS, J. T. (1963): Studies in the physical geography of north-central Baffin Island, Northwest Territories, *Geogr. Bull. Can.*, vol. 19, p. 5-48.
- LEBUISS, J. et DAVID, P. P. (1977): La stratigraphie et les événements du Quaternaire de la partie occidentale de la Gaspésie, *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXI, n°s 3-4, p. 275-296.
- LEE, H. A. (1962): Surficial Geology of Rivière-du-Loup and Trois-Pistoles area, Québec, *Geol. Surv. Can.*, Pap. 61-32, p. 1-2.
- LOCAT, J. (1976): *Quaternary geology of the Baie-des-Sables/Trois-Pistoles area, Québec; with some emphasis on the Goldthwait sea clays*, thèse de maîtrise, Univ. Waterloo, 214 p. (non publ.).
- McDONALD, B. C. (1968): Deglaciation and differential post-glacial rebound in the Appalachian region of southeastern Quebec, *J. Geol.*, vol. 76, p. 664-677.
- MANGERUD, J. et GULLIKSEN, S. (1975): Apparent radiocarbon ages of recent marine shells from Norway, Spitsbergen and Arctic Canada, *Quat. Res.*, vol. 5(2), p. 263-274.
- MILLER, G. H. et DYKE, A. S. (1974): Proposed extent of late Wisconsin Laurentide ice on eastern Baffin Island, *Geology*, vol. 2(3), p. 125-130.
- MÖRNER, N. A. et DREIMANIS, A. (1973): The Erie interstade, in *The Wisconsinian Stage*, *Geol. Soc. Am., Mem.*, 136, p. 107-134.
- OCCHIETTI S. (1976): Dépôts et faits quaternaires du Bas St-Maurice, Québec (2^e partie); *Com. Géol. Can.*, Étude 76-7C, p. 217-220.
- (1977): Stratigraphie du Wisconsinien de la région de Trois-Rivières-Shawinigan, Québec, *Géogr. phys. Quat.*, vol. XXXI, n°s 3-4, p. 307-322.
- OLSSON, I. U. (1970): Plate IV (h.t.) et Explanation of plate IV, in I.U. Olsson (éd.), *12th Nobel Symposium, Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*, p. 625-630.
- RICHARD, S. H. (1975): Surficial geology mapping: Ottawa Valley Lowlands (Parts of 31 G, B, F), *Geol. Surv. Can.*, Pap. 71-B, p. 113-117.
- RONDOT, J. (1974): L'épisode glaciaire de Saint-Narcisse dans Charlevoix, Québec, *Rev. Geogr. Montr.*, vol. 28(4), p. 375-388.
- SAARNISTO M. (1974): The deglaciation history of the Lake Superior Region and its climatic implications, *Quat. Res.*, vol. 4, p. 316-339.
- STUIVER, M. et BURNS, H. W. (1975): Late Quaternary marine invasion in Maine: its chronology and associated crustal movement, *Bull. Geol. Soc. Am.*, vol. 86(1), p. 99-104.
- TEN BRINK, N. W. et WEIDICK, A. (1974): Greenland ice sheet history since the last glaciation, *Quat. Res.*, vol. 4, p. 429-440.
- TERS, M. (1973): Les variations du niveau marin depuis 10 000 ans le long du littoral atlantique français, in *Contribution française, 9^e Congrès INQUA*, Wellington (N.Z.), p. 114-135.

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Commentaire écrit de J. T. ANDREWS:

I meant to comment on your talk but there was no time for discussion. However, I am very concerned that most people interpret moraines in a simple climatic sense. If you look at the glacial map of Canada there are many major moraines systems which closely parallel the marine limit and I think one can develop a very simple and plausible model of glacier recession into a sea or lake which would demonstrate that as soon as the calving ceases or diminishes then in order to adjust to this change in mass balance the ice will advance. This advance has nothing to do with climate *per se*, but reflects an adjustment of the ice sheet margin to changes in ablation at its front (*i.e.* calving versus a non calving mode). If you wish to look at this further I discussed it in 1973 in a paper in *Arctic and Alpine Res.* Now clearly some moraines systems cannot be explained this way but equally surely many of them can.

I have done much the same as you have in terms of grouping the dates and agree that there are some major clusterings but I never did get around to going further than that so I am pleased to see your careful compilation. However, I think the above cautionary note should be kept in mind.

Réponse de S. OCCHIETTI et de C. HILLAIRE-MARCEL:

Nous partageons votre point de vue sur la signification non climatique de certaines moraines frontales. Cette réserve a d'ailleurs été formulée dans l'article axé sur la méthode

d'analyse des datations (Hillaire-Marcel et Occhietti, 1977a, p. 39, sous presse) antérieur à cette communication. Nous y faisons remarquer qu'une récurrence ou une halte glaciaire pouvait «accompagner simplement un changement de l'écoulement glaciaire [impliquant les taux d'ablation] ou une augmentation des précipitations, sans refroidissement climatique». En fait, cette question de la correspondance entre des refroidissements climatiques et des variations négatives de la courbe se pose en termes différents. Cette courbe est établie à partir de données marines et les variations négatives ont avant tout une signification climatique générale, si l'on admet qu'elles marquent une stabilisation ou un abaissement du niveau eustatique et un appauvrissement faunistique. À ces variations négatives, mises en évidence en milieu marin, nous avons associé des noms de moraines frontales, avec certaines réserves (*op. cit.*).

En d'autres termes, il se trouve que les âges approximatifs attribués aux moraines frontales correspondent aux variations

négatives de la courbe, ce qui tendrait d'ailleurs à limiter le nombre de moraines frontales sans signification climatique.

À ce propos, il peut être utile de souligner qu'une stabilisation ou une récurrence d'une marge glaciaire, en contact avec la mer ou un lac proglaciaire et antérieurement en retrait continu, est reliée à plusieurs facteurs, en particulier :

- l'augmentation de la vitesse d'écoulement de la glace (contrôle topographique, augmentation de la température à la base des glaciers, allègement de la marge par transgression marine...)
- l'accroissement du bilan glaciaire (variations des précipitations, de la température moyenne).
- la diminution du taux d'ablation marginale (baisse des températures moyennes au front du glacier).

Sauf quelques exceptions, ces facteurs impliquent un refroidissement.