

Étude isotopique préliminaire de la craie lacustre des Grands Marais de Genève

Autor(en): **Blanc, Philippe / Chaix, Louis / Fontes, Jean-Charles**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **30 (1977)**

Heft 3

PDF erstellt am: **10.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-739829>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ÉTUDE ISOTOPIQUE PRÉLIMINAIRE DE LA CRAIE LACUSTRE DES GRANDS MARAIS DE GENÈVE

PAR

**Philippe BLANC,¹ Louis CHAIX,² Jean-Charles FONTES,¹
René LETOLLE,¹ Philippe OLIVE³ et Jacqueline SAUVAGE⁴**

ABSTRACT

A tentative interpretation of ^{13}C and ^{18}O measurements on the carbonate matrix and shells of lacustrine chalk from holocene marshes near Geneva ^{14}C dated circa 11,000 BP. Some palynological data and hypotheses on the validity of isotope records as climatological indicators lead to a proposed mean temperature equal or less than 11°C .

Les « Grands Marais » de Genève, asséchés vers 1920, se situent, à une altitude de 430 m, dans une vaste dépression à l'Est de l'extrémité du Lac Léman.

On reconnaît facilement 3 unités superposées. De bas en haut: de l'*argile glaciaire*, de couleur bleue, de la *craie lacustre* blanche, qui peut atteindre 2 m d'épaisseur et une couche de *tourbe* dont l'épaisseur atteint 4 m au centre du marais.

RÉSULTATS ANTÉRIEURS

L'étude malacologique de ces marais a été réalisée par Favre en 1927. Cet auteur y distingue deux horizons principaux: de la craie lacustre reposant sur de l'argile d'origine morainique d'une part et des tourbes et limons argileux surmontant la craie d'autre part. Pour Favre, la craie lacustre appartient à l'époque de transition de la fin du Dryas jusqu'au Boréal. Le passage de la craie à la tourbe daterait de l'Atlantique.

¹ U.E.R. des Sciences de la Terre, Université Pierre et Marie Curie, Place Jussieu. 75005 Paris.

² Département d'Anthropologie, Université de Genève, 12, rue Gustave-Revilliod, 1227 Genève.

³ Centre de Recherches Géodynamiques, Avenue de Corzent, 74203 Thonon-les-Bains.

⁴ Laboratoire de Géologie Historique, 91400 Orsay.

La craie renferme des espèces de type archaïque comme *Radix ovata* Drap. ainsi que des *Pisidium* de type nordique, comme *P. hibernicum* Westerl., *P. lilljeborgi* Cless. On note également l'abondance de la variété *alpestris* de *Valvata piscinalis* Müll. Cette faune serait contemporaine de l'association terrestre à *Discus ruderatus* Hartm.

La tourbe et les limons argileux par contre montrent un changement assez radical de la faune malacologique. Les espèces citées plus haut régressent rapidement puis disparaissent. La variété *alpestris* de *Valvata piscinalis* Müll. est remplacée par des formes basses, les variétés *macrostoma* et *pulchella*. Enfin, on note l'arrivée massive de formes austro-occidentales: *Planorbis planorbis* L., *Acroloxus lacustris* L., *Pisidium obtusale* Pf., etc.

En 1965 Martini et Duret mirent en évidence, dans la craie, le précieux niveau repère des cendres de l'Eifel qui caractérise l'Allerød (≈ 11.300 ans B.P.).

En 1973 Jan du Chêne, par une étude palynologique fine, caractérisa, dans les niveaux tourbeux, les niveaux du Boréal, de l'Atlantique, du Sub Boréal et du Sub Atlantique.

Notons de plus que ces deux recherches montrèrent que le passage craie/tourbe pouvait durer du Boréal au Sub Atlantique.

Enfin en 1975 Burdet reconstitua, à l'aide d'herbiers, la flore de ces marais.

RECALAGE PALYNOLOGIQUE ET DATES AU RADIOCARBONE

En novembre 1975 nous avons réalisé un sondage à proximité de celui qu'avait effectué Jan du Chêne. Les coordonnées sont les suivantes: carte nationale de la Suisse au 1/25.000^e, feuille 1301-Genève: 507080/121040.

Une carotte de 250 cm a été obtenue, constituée de 0 à 50 cm par de la tourbe, de 50 à 150 cm par de la craie lacustre et le reste (150 à 250 cm) par de l'argile bleue avec passées sableuses.

Afin de préciser la position stratigraphique de la craie, deux analyses palynologiques ont été effectuées. Si le sommet présente des pollens très nombreux, la base de la craie, par contre, en a livré peu: tableau 1.

On assiste au passage, vers le milieu de la craie, d'une période froide avec arbustes et herbacées à une phase sylvatique plus chaude à pins et bouleaux. Ceci suggère un âge proche de la limite Dryas récent/Préboréal.

Deux datations au ¹⁴C ont été effectuées sur le carbonate de la craie:

milieu de la craie:	10.920 ± 140 ans B.P.
base de la craie:	11.410 ± 300 ans B.P.

On notera l'accord entre les données de la palynologie, les âges radiométriques et les résultats des auteurs précédents: figure 1.

Niveaux		Auteurs	Phases	Années B.P.	
Tourbe		JAN DU CHENE	Sub Atlantique { (X) (IX)	≈ 4500	Post-glaciaire
			Sub Boréal (VIII)		
Craie lacustre		ce travail	Atlantique { (VII) (VI)	≈ 7500	
			Boréal (V)	≈ 9000	
			Préboréal (IV)		
Cendres volcaniques		MARTINI et DURET	Dryas récent (III)	≈ 11300	Tardi-glaciaire
			Allerød (II)		
Argile bleue			Dryas moyen (Ic)	≈ 17000	
			Bølling (Ib)		
			Dryas ancien (Ia)		

FIG. 1. — Stratigraphie et chronologie des Marais de Genève.

TABEAU 1

Pourcentage des pollens du sommet et de la base de la craie lacustre

Sommet		Base	
<i>Pinus silvestris</i>	57 %	<i>Betula cf. pubescens</i>	42%
<i>Betula cf. pubescens</i>	34,5%	<i>Artemisia</i>	32%
Graminées	5,5%	<i>Pinus silvestris</i>	10%
<i>Juniperus</i>	2 %	Composées	6%
<i>Artemisia</i>	1 %	<i>Juniperus</i>	4%
		Graminées	4%
		Aquifoliacées	2%

Trois autres datations au ^{14}C ont été réalisées: deux sur les charbons: 10200 ± 900 ans B.P. et les ossements: 9700 ± 800 ans B.P. provenant d'un foyer magdalénien de la carrière Achard à Veyrier (Jayet, 1937), la dernière: 9945 ± 220 ans B.P. a été effectuée sur des ossements de batraciens (grenouilles et crapauds) provenant de la station magdalénienne des Grenouilles, toujours à Veyrier (Montandon et Gay, 1919).

LES TENEURS EN CARBONE-13: effet du couvert végétal

Le mètre de carotte de craie lacustre a été divisé en tranches de 5 cm. On a séparé trois genres de mollusques: *Limnaea*, *Valvata* et *Pisidium* de la matrice calcaire. Sur ces échantillons ont été mesurées les teneurs en carbone-13 et en oxygène-18 qui sont exprimées en δ ‰ par rapport au standard PDB: tableau 2.

La teneur en ^{13}C d'un échantillon calcaire permet de mettre en évidence le rôle, éventuel, d'un CO_2 organique pendant la cristallisation du carbonate.

1) *Origine purement physico-chimique des carbonates*

Lorsque l'équilibre entre le gaz carbonique du tampon atmosphérique et les carbonates est atteint, via les bicarbonates, les carbonates sont enrichis d'environ 10‰ en ^{13}C par rapport au gaz carbonique atmosphérique:

$$(1) \quad \delta^{13}\text{calcite} - \delta^{13}\text{CO}_2\text{atm.} = 10,17\text{‰} \text{ à } 20^\circ \text{ C (Emrich, Ehhalt et Vogel, 1970)}$$

On sait d'autre part que:

$$(2) \quad \delta^{13}\text{CO}_2\text{atm.} \simeq -7\text{‰} \text{ (Keeling, 1961)}$$

Si bien que finalement, équations (1) et (2), le $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates devrait être proche de $+3\text{‰}$ dans le cas d'une cristallisation en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère.

2) *Origine organique des carbonates*

La respiration et la décomposition des plantes, dont le carbone est très déficitaire en ^{13}C , est à l'origine d'un CO_2 lui même pauvre en ^{13}C :

$$(3) \quad \delta^{13}\text{CO}_2 \simeq -26\text{‰} \text{ (Lerman et Raynal, 1972)}$$

Ainsi une mesure de la tourbe du site de Sionnet a donné un $\delta^{13}\text{C} = -26,2\text{‰}$, valeur habituellement rencontrée pour ce type de matériel (Stahl, 1968).

Ce déficit peut se répercuter jusqu'aux carbonates dont en théorie le $\delta^{13}\text{C}$ devrait être, équations (1) et (3), égal à -16‰ .

La calcite précipitée en équilibre isotopique devrait donc montrer un $\delta^{13}\text{C}$ compris entre $+3\text{‰}$ et -16‰ : la première valeur correspondant à un système sans intervention de CO_2 d'origine organique (échange facile avec l'atmosphère), la seconde à un système entièrement fermé sur le CO_2 biogène.

3) La matrice calcaire est essentiellement constituée de calcite provenant de tiges de Characées comme dans les dépôts de Götland récemment étudiés par Mörner et Wallin (1977), et a une teneur moyenne en ^{13}C de -1‰ . Cette valeur est proche du pôle minéral. La participation « p » d'un CO_2 organique, dans l'hypothèse d'un équilibre isotopique, est donc assez faible. On peut l'évaluer ainsi à 20% :

$$(4) \quad -1\text{‰} = p. (-16\text{‰}) + (1-p). (+3\text{‰}).$$

Par contre les *Pisidium*, constitués aussi de calcite (diffraction x) présentent une teneur moyenne $\delta^{13}\text{C} \simeq -5,3\text{‰}$, qui trahit une influence notable du CO_2 organique qui dépasse 40%.

Cette différence de quelques ‰ entre matrice et mollusques lacustres a déjà été observée par Stuiver (1970).

4) Si l'on examine maintenant l'évolution en ^{13}C de la matrice calcaire (fig. 2) on constate qu'elle débute par une valeur positive voisine de +1 pour augmenter et se stabiliser vers une valeur négative. Cet appauvrissement en ^{13}C traduit une participation de plus en plus importante du CO_2 organique. On peut relier cette évolution à celle du couvert végétal. Au début du fonctionnement du lac, vers 11.000 ans, le couvert végétal était peu développé, d'où un ^{13}C légèrement positif. Puis la végétation devient arbustive, la contribution du matériel organique croît et les teneurs en ^{13}C baissent jusqu'à la valeur stable de mélange entre les CO_2 atmosphérique et biogène. La teneur moyenne en ^{13}C des mollusques lacustres reste elle aussi constante ($\delta^{13}\text{C} \simeq -5,7\text{‰}$). Ils se sont développés très rapidement dès l'installation du lac.

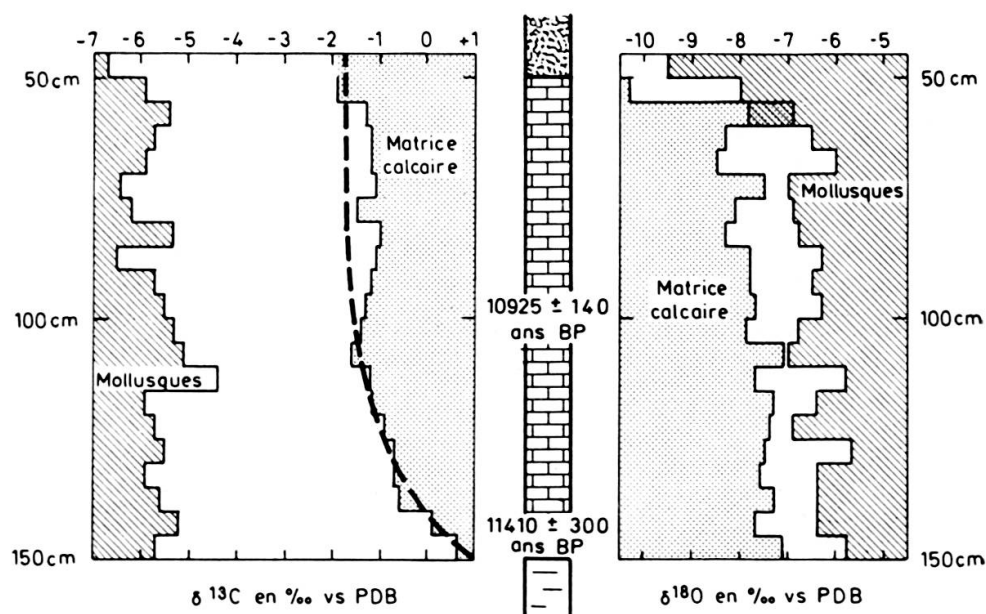


FIG. 2. — Teneurs moyennes en ^{13}C et ^{18}O des mollusques et de la matrice de la craie lacustre.

LES TENEURS EN ^{18}O : PALÉOTEMPÉRATURES

Deux relations vont nous permettre d'évaluer les paléotempératures de ce lac.

1) Les travaux de l'équipe de Urey ont établi qu'un carbonate précipitant, en équilibre avec l'eau, présente un fractionnement des isotopes de l'oxygène qui varie avec la température. Il suffit de mesurer les $\delta^{18}\text{O}$ du carbonate (δ) et de l'eau (A) pour en déduire la température (t) du milieu. La relation (Craig, 1965), simplifiée, est la suivante:

$$(5) \quad t = 16,9 - 4,2 (\delta - A)$$

Dans cette relation δ et A sont exprimés par rapport au même standard à partir des méthodes classiques de préparation: extraction acide du CO_2 des carbonates et équilibration avec CO_2 dans le cas des eaux.

Cette équation ne peut être résolue, ayant mesuré le $\delta^{18}\text{O}$ du carbonate, qu'en faisant une hypothèse sur la valeur du $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau du paléolac.

2) Celle-ci peut être reconstituée de la façon suivante. D'une part la relation entre la teneur en ^{18}O des eaux de pluie et la température moyenne annuelle de l'air dans nos régions est de la forme:

$$(6) \quad \delta^{18}\text{O}_{\text{pluie}} = 0,4 t - 13,7\text{‰} \quad (\text{Blavoux, communication personnelle, 1977})$$

Le $\delta^{18}\text{O}$ pluie est ici repéré dans la même échelle que δ et A de l'équation (5).

D'autre part il y a équilibre thermique, à l'échelle interannuelle, entre la température de l'air et la température de l'eau des eaux superficielles qu'elles soient lacustres ou souterraines (*Archives du C.R.G. de Thonon*).

On assimilera donc le $\delta^{18}\text{O}$ du lac, c'est-à-dire A, à celui de la pluie. L'équation (6) devient alors:

$$(7) \quad A \equiv \delta^{18}\text{O}_{\text{pluie}} = 0,4 t - 13,7\text{‰}$$

Reportons (7) dans (5), on obtient:

$$(8) \quad t = 6,2 \delta + 59,8$$

On fait ici 2 postulats. La composition isotopique de l'eau des précipitations est représentative de celle de l'eau de la nappe et la teneur en isotopes lourds des eaux de la nappe n'est pas modifiée par l'évaporation lorsque la nappe affleure dans les dépressions topographiques. En effet ces petits lacs établis dans les creux morainiques auraient un temps de renouvellement des eaux suffisamment rapide pour ne pas porter la marque d'un enrichissement en ^{18}O dû à l'évaporation.

TABLEAU 2

Teneurs en calcite (en %), en ^{18}O (en ‰ vs PDB) et en ^{13}C (en ‰ vs PDB) des mollusques et de la matrice de la craie lacustre. (n.d. = non dosé, — = pas de matériel, * = 100% de calcite).

Niveaux en cm	Limnaea			Valvata			Pistidium (*)		Matrice (*)	
	Calcite	^{18}O	^{13}C	Calcite	^{18}O	^{13}C	^{18}O	^{13}C	^{18}O	^{13}C
45-50	82	-7,1	-5,8	0	n.d.	n.d.	-11,9	-7,5	n.d.	n.d.
50-55	45	-7,4	-5,9	0	-8,5	-5,9	-8,0	-5,8	-10,3	-1,9
55-60	—	—	—	0	-7,0	-5,5	-8,6	-5,3	-6,9	-1,3
60-65	32	-5,7	-5,4	46	-7,0	-6,1	-6,7	-5,8	-8,3	-1,2
65-70	43	n.d.	n.d.	54	-5,1	-5,8	-6,8	-6,0	-8,5	-1,2
70-75	51	-7,4	-7,7	0	-7,0	-5,4	-6,7	-6,0	-7,5	-1,1
75-80	66	-7,3	-7,7	42	-6,9	-5,6	-6,5	-5,3	-8,1	-1,5
80-85	43	-6,2	-5,4	36	-7,3	-6,1	-7,0	-4,4	-8,3	-1,0
85-90	42	-6,6	-7,1	34	-6,7	-6,5	-5,7	-5,9	-7,8	-1,1
90-95	30	-5,6	-5,7	n.d.	-8,1	-5,9	-5,9	-5,4	-7,8	-1,2
95-100	30	-6,8	-5,9	34	-7,2	-6,0	-5,0	-4,7	-7,7	-1,3
100-105	55	-6,5	-4,9	38	-6,9	-6,0	-6,9	-5,0	-7,9	-1,4
105-110	45	-7,1	-4,6	35	-6,5	-4,6	-7,3	-6,0	-7,1	-1,6
110-115	48	-5,1	-3,3	0	-6,8	-5,6	-5,5	-4,3	-7,7	-1,2
115-120	66	-6,3	-5,8	0	-6,4	-7,3	-6,4	-4,6	-7,3	-1,2
120-125	46	-7,4	-5,0	20	-6,3	-6,3	—	—	-7,4	-0,9
125-130	32	-5,1	-5,3	28	-5,7	-5,7	-6,3	-5,4	-7,5	-0,7
130-135	n.d.	-6,5	-6,4	8	-6,2	-5,5	—	—	-7,6	-0,7
135-140	38	-6,4	-6,8	35	-6,2	-5,0	-6,6	-4,9	-7,3	-0,6
140-145	n.d.	-5,8	-6,4	0	n.d.	n.d.	-6,9	-3,9	-7,7	+0,1
145-150	27	-5,4	-5,4	0	-5,6	-6,9	-6,4	-4,7	-7,1	+0,6

On peut aussi penser avec Stuiver (1970), Eicher et Siegenthaler (1976) que l'évaporation enrichisse, de façon notable, l'eau en ^{18}O . Si bien que la température calculée dans la première hypothèse devient de ce fait une limite supérieure.

3) La teneur moyenne en ^{18}O de la matrice calcaire est de $-7,8\text{‰}$. On peut en déduire, en utilisant la relation (8), une température moyenne de 11°C . Cette température pour un lac situé à 400 m est d'un ordre de grandeur tout à fait raisonnable, la température moyenne de l'air au niveau du Léman (370 m) étant actuellement de 10°C . Pour les *Pisidium* où: $\delta^{18}\text{O} \simeq -6,9\text{‰}$, on calcule une $t \simeq 17^\circ\text{C}$. En l'absence d'élément précis sur les températures préférentielles de développement des *Pisidium* on peut penser, avec Stuiver (1970), que les mollusques fabriquent leur test à une époque où la température des lacs est la plus clémente.

L'examen de la figure 2, où est reportée l'évolution en ^{18}O de la matrice et des mollusques, montre clairement, à la fin de la série lacustre, une dérive vers des teneurs en ^{18}O légèrement plus basses. Ceci traduit, suivant la première hypothèse, un refroidissement local très net avant l'installation de la tourbière. Dans la seconde hypothèse le refroidissement ne serait qu'apparent et traduirait l'effet du manteau tourbeux qui substituerait l'évapotranspiration (sans effet sur la teneur en ^{18}O de l'eau) à l'évaporation.

LES VARIATIONS INTERGÉNÉRIQUES

Si nous reportons sur le tableau 3 les moyennes et les écarts types tirés des valeurs du tableau 2, on constate, tant pour les teneurs en ^{18}O qu'en ^{13}C , une différence systématique entre les mollusques et la matrice (1‰ en ^{18}O et 5‰ en ^{13}C) dont on a précédemment rendu compte tout au moins pour le ^{13}C .

TABLEAU 3

Valeurs moyennes et écarts types des teneurs en ^{18}O et ^{13}C des mollusques et de la matrice de la craie lacustre.

	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$
<i>Limnaea</i>	$-6,4 \pm 0,8$	$-5,8 \pm 1,1$
<i>Valvata</i>	$-6,7 \pm 0,8$	$-5,9 \pm 0,6$
<i>Pisidium</i>	$-6,9 \pm 1,5$	$-5,3 \pm 0,8$
Matrice	$-7,8 \pm 0,7$	$-1,0 \pm 0,6$

Par contre entre les mollusques l'écart, plus faible, est quand même de 0,5‰ en ^{18}O ce qui entraîne un écart de température de 3° C.

Dans l'état actuel de nos connaissances sur l'écologie précise des mollusques, mettre cet écart sur le compte d'assimilations différentes reste une hypothèse. Et ce d'autant plus que cette différence de 3° semble forte.

Aussi avons-nous tenté de voir si la nature du test n'influe pas sur les teneurs isotopiques. En effet il existe un fractionnement entre la calcite et l'aragonite :

$$(9) \quad \delta^{13}\text{aragonite} - \delta^{13}\text{calcite} = 1,8\text{‰} \text{ à } 25^\circ \text{ C (Rubinson et Clayton, 1969)}$$

$$(10) \quad \delta^{18}\text{aragonite} - \delta^{18}\text{calcite} = 0,6\text{‰} \text{ à } 25^\circ \text{ C (Tarutani, Clayton et Mayeda, 1969).}$$

La seule relation significative trouvée l'a été entre les teneurs en calcite et ^{18}O des *Limnaea*. Pour ce genre où $\delta^{18}\text{O} = -6,4 \pm 0,8\text{‰}$ soit une température de 19° C et un % de calcite = $46 \pm 15\%$ la correction, pour des *Limnaea* fictives à 100% de calcite amène à un $\delta^{18}\text{O} = -8,2\text{‰}$ soit une température corrigée de 9° C proche de celle calculée pour la matrice calcaire.

CONCLUSIONS

1) La palynologie et le radiocarbone ont permis de montrer, compte tenu des résultats précédents, que les marais de Genève présentent une série Tardi et Post-Glaciaire continue. Une étude plus fine, basée essentiellement sur des mollusques déterminés spécifiquement, et sur une stratigraphie présentant une étude palynologique complète et détaillée permettra de mieux préciser l'environnement des magdaléniens du Salève et de leurs successeurs.

2) La diminution de la teneur en ^{13}C est synchrone du passage Dryas/Pré-Boréal. On peut espérer que le $\delta^{13}\text{C}$ puisse servir de marqueur du développement du couvert végétal.

3) Les petits lacs qui se sont installés dans les dépressions morainiques semblent être des lieux propices pour déterminer les paléotempératures. Dès maintenant nous proposons, à titre d'essai, la relation suivante :

$$t \leq 6,2 \delta + 59,8 \quad \text{où } t \text{ en } ^\circ\text{C}$$

$$\delta = \delta^{18}\text{carbonate en } \text{‰} \text{ vs PDB}$$

Appliquée aux marais de Genève cette relation donne une température moyenne de 11° C (sans évaporation) ou inférieure à 11° C (avec évaporation) relativement constante pendant le Dryas récent et le Pré-Boréal.

4) Au stade actuel des recherches, et afin d'assurer la cohérence interne de l'interprétation des données isotopiques qui seules permettent d'aboutir à une paléoclimatologie quantitative, deux directions doivent être prospectées. En labora-

toire des élevages de mollusques permettront de préciser les processus de fractionnement dans des conditions expérimentales strictes. Ce sera la poursuite des travaux de Keith, Anderson et Eichler (1964) et de Fritz et Poplawski (1974). Un contrôle sera effectué sur l'écologie des mollusques actuels vivant dans les lacs de montagne dont le contexte hydroclimatologique est connu. On poursuivra par ailleurs, sur les sites Tardi et Post-Glaciaires du bassin lémanique, des études du triple point de vue palynologique, malacologique et isotopique.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier F. Chessel, A. Filly, G. Olivier et J. F. Saliège pour leur collaboration technique.

BIBLIOGRAPHIE

- BURDET, H. M. (1975). Histoire, Géographie et flore des « Grands Marais » de Genève, *Saussurea*, 6, 231-244.
- CRAIG, H. (1965). The measurement of oxygen isotope paleotemperatures, Stable isotopes in Oceanographic studies and paleotemperatures, *Spoletto*, 161-182.
- EICHER, U. and U. SIEGENTHALER (1976). Palynological and isotope investigations on late glacial sediment cores from Swiss lakes, *Boreas*, 5, 109-117.
- EMRICH, K., D. H. EHHALT and J. C. VOGEL (1970). Carbon isotope fractionation during the precipitation of calcium carbonate. *Earth Plan. Sc. Let.*, 8, 363-371.
- FAVRE, J. (1927). Les mollusques post-glaciaires et actuels du Bassin de Genève, *Mém. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, 40/3, 171-434.
- FRITZ, P. and S. POPLAWSKI (1974). ^{13}O and ^{18}C in the shells of fresh water molluscs and their environments. *Earth Plan. Sc. Let.*, 24, 91-98.
- JAN DU CHENE, R. (1973). Analyse pollinique des sédiments post-glaciaires de l'ancien marais de Sionnet près de Meinier. Genève. *Arch. Sc. Genève*, 26, 69-78.
- JAYET, AD. (1937). Les stations magdaléniennes de Veyrier. Quelques observations nouvelles, *Genava*, 15, 36-45.
- KEELING, C. D. (1961). Concentration and isotopic abundances of carbon dioxide in rural and marine air. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 24, 277-298.
- KEITH, M. L., G. M. ANDERSON and R. EICHLER (1964). Carbon and oxygen isotopic composition of mollusk shells from marine and fresh waters environments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1757-1786.
- LERMAN, J. C. et J. RAYNAL (1972). La teneur en isotopes stables du carbone chez les Cypéracées: sa valeur taxonomique. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 275, 1391-1394.
- MARTINI, J. et J. J. DURET (1965). Etude du niveau de cendres volcaniques des sédiments post-glaciaires récents des environs de Genève. *Arch. Sc. Genève*, 18, 563-574.
- MONTANDON, R. et L. GAY (1919). Découverte d'une nouvelle station paléolithique à Veyrier-sous-Salève (Haute-Savoie), *Arch. Suisses Anthropol. Gén.*, 3, 183-199.
- MÖRNER, N. A. and B. WALLIN (1977). A 10,000 year temperature record from Götland, Sweden. *Paleogeogr. Paleoclimato. Paleoeco.*, 21, 113-138.

- RUBINSON, M. and R. N. CLAYTON (1969). Carbon 13 fractionation between aragonite and calcite. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 33, 997-1002.
- STUIVER, M. (1970). Oxygen and carbon isotope ratios of fresh-water carbonates as climatic indicators. *J. Geophys. Res.*, 75, 5247-5257.
- STAHL, W. (1968). Die verteilung der $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotopenverhältnisse von torf, holz und holzkohle. *Brennstoff Chemie*, 49, 69-73.
- TARUTANI, T., R. N. CLAYTON and T. MAYEDA (1969). The effect of polymorphism and magnesium substitution on oxygen isotope fractionation between calcium carbonate and water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33, 987-996.

