

**Zeitschrift:** Archives des sciences et compte rendu des séances de la Société  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 35 (1982)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Premières données sur la composition isotopique du test de mollusques actuels de quelques plans d'eau nord-alpins  
**Autor:** Chaix, Louis / Chassaing, Bernard / Olive, Philpe  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740546>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.12.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

PREMIÈRES DONNÉES  
SUR LA COMPOSITION ISOTOPIQUE  
DU TEST DE MOLLUSQUES ACTUELS  
DE QUELQUES PLANS D'EAU NORD-ALPINS

PAR

Louis CHAIX \*, Bernard CHASSAING \*\*, Philippe OLIVE \*\*

ABSTRACT

The malacological fauna from some lakes of the Northern Pre-Alps was studied.  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ratios of carbonate in lakes waters and shells show that molluscs grow principally during summertime.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios indicate a large contribution of biogenic carbon dioxide in the shells construction of these species.

1. INTRODUCTION

L'étude isotopique des carbonates et notamment des tests de mollusques des sédiments lacustres est une des approches possibles pour les reconstitutions paléoclimatiques. Pour la région nord alpine citons les travaux de Serruya *et al.*, 1966; Eicher *et al.*, 1976, 1980, 1981; Blanc *et al.*, 1977; Chaix et Olive, 1980; Lemeille *et al.*, 1981.

A la différence du milieu marin où les modifications climatiques sont largement tamponnées par la masse d'eau, les plans d'eaux continentaux (lacs, étangs, marais) réagissent très vite aux changements climatiques. Aussi il nous est apparu intéressant d'étudier les réponses isotopiques de mollusques vivant actuellement dans une dizaine de plans d'eau du nord des Alpes échelonnés de 400 à 2000 m d'altitude (fig. 1) c'est-à-dire situés dans un domaine de température moyenne allant de 10 à 1° C.

2. MALACOLOGIE

Les mollusques étudiés proviennent de plusieurs milieux différents: 3 sites se trouvent à une altitude supérieure à 1500 m. Il s'agit du marais de Blausee à 2050 m, du lac de Darbon à 1816 m et du lac de Roi à 1659 m. Trois autres petits lacs sont situés à des altitudes comprises entre 900 et 1100 m: le lac de Vallon à 1075 m, le

\* Département d'archéozoologie, Muséum d'Histoire naturelle, Genève, (Suisse).

\*\* Centre de Recherches Géodynamiques, Thonon-les-Bains (France).

lac de Montriond à 1060 m et celui de la Beunaz à 950 m. Plus bas, nous trouvons le marais de Roseire d'Aval à 885 m et le Voua Beudet à 600 m. Enfin, le Léman, dont la cote moyenne à 372 m d'altitude nous a fourni plusieurs échantillons prélevés à diverses profondeurs.

On peut noter tout d'abord que les milieux d'altitude sont soumis à de dures conditions hivernales. Les lacs se trouvant au-dessus de 1500 m sont gelés en surface

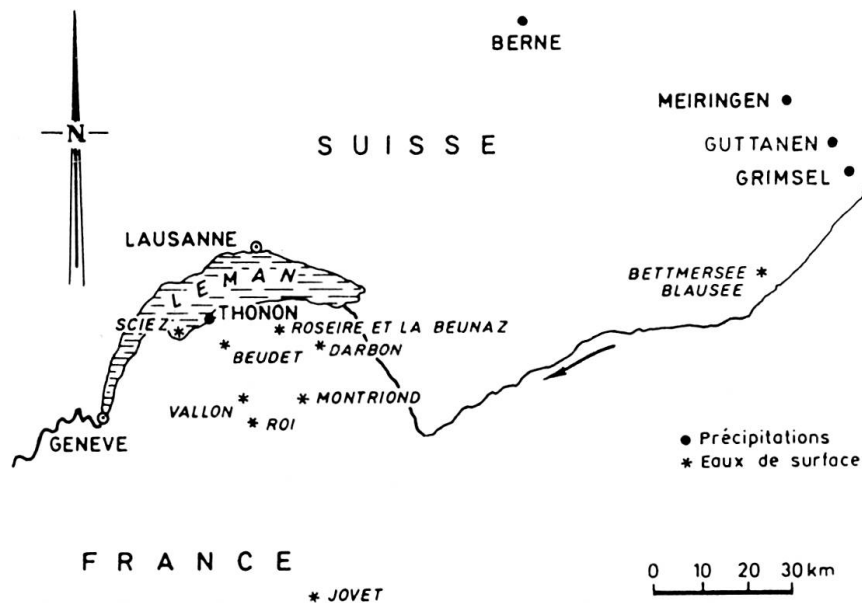


FIG. 1. — Carte de localisation des cinq stations météorologiques et des onze plans d'eau.

durant plusieurs mois (octobre à juin). Ces conditions jointes à des teneurs en carbonates souvent faibles et des ressources nutritives réduites expliquent la pauvreté de la faune de mollusques (tableau 1). Cette faune est essentiellement constituée de *Pisidium*. Ces petits pélécytopodes semblent en effet bien adaptés, du moins certaines espèces, à des conditions difficiles. Ce sont eux que l'on voit envahir rapidement les milieux aquatiques périglaciaires et ils font partie des premiers colonisateurs des plans d'eau après le Dryas III. Dans les milieux étudiés ici, on observe la nette dominance de *Pisidium casertanum* Poli., espèce qui semble bien être caractéristique des milieux haut-alpins (Jayet, 1973). Les individus sont caractérisés par une taille élevée et un test particulièrement mince. Associé à ce *Pisidium*, on trouve également *Pisidium pulchellum* Jen. actuellement relégué au nord de la Scandinavie et qui fait ici partie des faunes reliques de la dernière glaciation.

Le lac de Darbon a livré en outre quelques exemplaires de *Valvata piscinalis* de variété *alpestris* et de mode *major*. Certains individus montrent des formes scalaires. Là encore, cette espèce est l'une des premières à avoir occupé les plans d'eau libérés par le glacier würmien.

ESPECES	SITES								
	Blausee	Darbois	Roi	Vallon	Montriond	La Beunaz	Roseire d'Aval	Voua Beudet	Lac Léman <sup>φ</sup>
<i>Pisidium obtusale</i> C.Pf.							°		
<i>Pisidium casertanum</i> Poli	*		*	°					°
<i>Pisidium pulchellum</i> Jen.		*	°		°				
<i>Pisidium milium</i> Held.			°	°					°
<i>Pisidium nitidum</i> Jen.			°					°	°
<i>Pisidium subtruncatum</i> Malm.					*			°	°
<i>Pisidium</i> sp.			°	°	°				°
<i>Sphaerium corneum</i> L.						°			°
<i>Dreissena polymorpha</i> (Pall.)									°
<i>Valvata piscinalis</i> Müll.		°							°
<i>Valvata cristata</i> Müll.						°		*	°
<i>Bithynia tentaculata</i> L.						°		°	°
<i>Radix ovata</i> Drap.				*		°			°
<i>Radix auricularia</i> L.				°		°			°
<i>Radix peregra</i> Müll.		°		°			°		
<i>Galba truncatula</i> Müll.		°		°	°		°		
<i>Armiger crista</i> L.						°	°	°	°
<i>Anisus nitidus</i> (Müll.)						*		°	
<i>Anisus complanatus</i> (L.)								°	°
<i>Anisus leucostomus</i> Mill.						°	*		
<i>Gyraulus laevis</i> Ald.				°					°
<i>Acroloxus lacustris</i> L.								°	
<i>Succinea pfeifferi</i> Rossm.				°			°		
<i>Succinea oblonga</i> Drap.				°			°		
Nombre d'espèces	1	4	4	11	4	8	7	8	

TABLEAU 1 - Etude malacologique ; \* = espèce dominante ; pour le Lac Léman, Favre (1935) a dénombré 30 espèces de mollusques. Notre décompte est basé uniquement sur les espèces rencontrés dans les autres sites de cette étude.

Dans ce même lac, Dussart (1948) signale la présence de *Radix peregra* Müll. Cette limnée semble également bien adaptée à des milieux difficiles et à des altitudes élevées puisqu'on l'a trouvée jusqu'à 2800 m au Monte Viso (Germain, 1931).

A des altitudes plus basses, on observe un enrichissement de la faune malacologique. Si l'on met à part le cas du Léman (plus de 30 espèces), on constate que le lac de Vallon nous a fourni 11 espèces de mollusques aquatiques. Parmi les mollusques dominants, nous pouvons citer *Radix ovata* Drap. et *Pisidium casertanum* Poli. Là encore, on peut noter qu'il s'agit d'espèces résistantes à des températures défavorables. Le lac de Vallon montre sa surface gelée de novembre à avril (Serra-Bertral, 1976). La zone de prélèvement située au nord-ouest du lac, près de l'exutoire, semble favorable au développement des faunes de mollusques: présence de roselières et zones d'atterrissement. On note également un pourcentage non négligeable d'espèces palustres, Succinées essentiellement.

Un troisième type de milieu est représenté par la Roseire d'Aval à 885 m d'altitude. Il s'agit d'un marais fortement atterri actuellement et soumis à des dessications temporaires. La faune malacologique y est bien développée et caractérisée par la dominance très marquée d'un planorbe, *Anisus leucostomus* Mill. (71,3%). On lui trouve associée une limnée, *Galba truncatula* Müll. (22,1%), ces deux espèces étant bien adaptées à ce type de milieu et supportant des dessications de longue durée (Yacine-Kassab, 1979). Les *Pisidium* sont représentés uniquement par *Pisidium obtusale* C.Pf.. Ce pélécy-pode est la forme caractéristique des eaux stagnantes et des marais riches en végétaux décomposés. Les mollusques terrestres sont également bien représentés (20,3%).

### 3. RAPPEL SUR L'INTÉRÊT DES MESURES ISOTOPIQUES: $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .

3.1. Les compositions isotopiques  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$  sont données en écarts, exprimés en ‰, par rapport à deux standards: SMOW pour l'eau et PDB pour les carbonates. Les incertitudes analytiques sont de  $\pm 0,2\text{‰}$  pour les  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\pm 0,5\text{‰}$  pour les  $\delta^{13}\text{C}$ .

3.2. La teneur en  $^{18}\text{O}$  du carbonate des coquilles des mollusques ( $\delta^{18}\text{O}_c$ ) est fonction de la température de l'eau (t) et de la concentration en  $^{18}\text{O}$  de l'eau du lac ( $\delta^{18}\text{O}_L$ ) au moment où le mollusque élabore son test.

A la suite d'élevages contrôlés en laboratoire sur deux espèces de mollusques à test aragonitique: *Radix peregra* Müll. et *Planorbis corneus* L. il a pu être établi les relations suivantes (Lemeille, 1980; Lemeille et al., 1981):

- (1) Limnées:  $t \simeq 19,43 - 4,00 (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_L)$
- (2) Planorbes:  $t \simeq 24,84 - 3,43 (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_L)$
- (3) Limnées + planorbes:  $t \simeq 22,3 - 3,9 (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_L)$

Ecrites sous forme différentielle ces équations deviennent :

$$(4) \quad \frac{\Delta (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_L)}{\Delta t} \simeq -0,25\text{‰}/^\circ\text{C}$$

C'est-à-dire que dans un milieu où la composition isotopique de l'eau ne varie pas, toute augmentation de température de  $4^\circ\text{C}$  environ, se traduit par un appauvrissement de 1‰ environ de la teneur en  $^{18}\text{O}$  du carbonate des mollusques vivant dans ce milieu.

La légère variation entre la réponse isotopique des limnées et des planorbes montre, qu'à côté de la cause purement physique à l'origine du fractionnement des isotopes de l'oxygène entre l'eau et le carbonate (pente des droites de régression), existe un effet métabolique notable entre les limnées et les planorbes (valeur de l'interception).

3.3. Le carbone du carbonate des mollusques dérive de la précipitation directe de carbone dissous dans les eaux (Digby, 1968). Ce stock est constitué de gaz carbonique dissous ( $\text{CO}_{2\text{aq}}$ ) en équilibre avec le gaz carbonique atmosphérique ( $\text{CO}_{2\text{g}}$ ), d'ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et de carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dont les proportions varient en fonction du pH de l'eau : tableau 2.

pH = 6,3	$\text{CO}_{2\text{aq}} \approx \text{HCO}_{3\text{aq}}^-$ et $\text{CO}_3^{2-} \approx 0$
pH = 10,3	$\text{HCO}_{3\text{aq}}^- \approx \text{CO}_3^{2-}$ et $\text{CO}_{2\text{aq}} \approx 0$

TABLEAU 2 - Proportions relatives des 3 variétés du carbone minéral dissous en fonction du pH de l'eau.

Entre ces diverses formes se produit, à l'équilibre, un fractionnement isotopique (Mook *et al.*, 1974) : tableau 3.

	Fractionnement en ‰	
	5°C	25°C
$\delta^{13}\text{CO}_{2\text{g}} - \delta^{13}\text{CO}_{2\text{aq}}$	1,15	1,06
$\delta^{13}\text{HCO}_{3\text{aq}}^- - \delta^{13}\text{CO}_{2\text{g}}$	10,22	7,93
$\delta^{13}\text{HCO}_{3\text{aq}}^- - \delta^{13}\text{CO}_{2\text{aq}}$	11,37	8,99
$\delta^{13}\text{HCO}_{3\text{aq}}^- - \delta^{13}\text{CaCO}_{3\text{s}}$	0,12	- 0,89

TABLEAU 3 - Valeurs, à 5 et 25°C, du fractionnement en  $^{13}\text{C}$  entre les diverses espèces de carbone minéral.

L'essentiel du fractionnement a lieu entre le  $\text{CO}_2$  gazeux ou dissous et les bicarbonates et il est peu sensible à la température ( $\simeq -0,1\text{‰}/^\circ\text{C}$ ). Ainsi un mollusque élaborant sa coquille à  $25^\circ\text{C}$  à partir d'un carbone dissous en équilibre avec le  $\text{CO}_2$  atmosphérique dont le  $\delta^{13}\text{C} = -7\text{‰}$  vs PDB (Keeling *et al.*, 1979) verra la teneur en  $^{13}\text{C}$  de son test s'établir vers  $\delta^{13}\text{C} \simeq +2\text{‰}$  vs PDB. Par contre si cet équilibre se réalise à partir de  $\text{CO}_2$  dissous provenant de la respiration et/ou de la minéralisation de la flore et de la faune et dont la teneur en  $^{13}\text{C}$  est voisine de  $-27\text{‰}$  vs PDB (Troughton, 1972), le  $\delta^{13}\text{C}$  du test des mollusques sera voisin de  $-17\text{‰}$  vs PDB. Le  $\delta^{13}\text{C}$  des coquilles sera donc compris entre  $-17$  et  $+2\text{‰}$  vs PDB suivant que le  $\text{CO}_2$  initial est d'origine biogénique ou atmosphérique: figure 2.

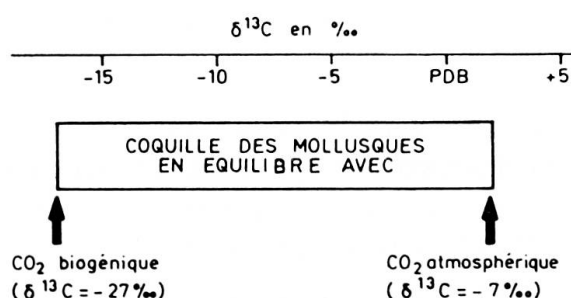


FIG. 2. — Intervalle de variation du  $\delta^{13}\text{C}$  du test calcaire des mollusques en fonction de l'origine du  $\text{CO}_2$ .

Cependant les élevages contrôlés de limnées et de planorbes évoqués précédemment ont permis de mettre en évidence la relation suivante:

$$(5) \quad t \simeq -12,34 - 2,51 \delta^{13}\text{C}$$

où  $\delta^{13}\text{C}$  représente la teneur en  $^{13}\text{C}$  du carbonate de la coquille des mollusques soit aussi:

$$(6) \quad \frac{\Delta\delta^{13}\text{C}}{\Delta t} \simeq -0,40\text{‰}/^\circ\text{C}$$

Cette thermodépendance ne s'explique pas uniquement par un processus physique, insuffisant nous l'avons vu:  $-0,1\text{‰}/^\circ\text{C}$ . Il faut, semble-t-il, faire intervenir la végétation aquatique utilisée par les mollusques. Plus la température du milieu augmente, plus la biomasse se développe et plus le carbone dissous s'appauvrit en  $^{13}\text{C}$ . La nature du substrat (cailloux, sable, vase) et la richesse de sa flore joue également un rôle important.

3.4. En conclusion, le  $\delta^{18}\text{O}$  du carbonate est fonction, à la fois, de la température de l'eau ( $-0,25\text{‰}/^\circ\text{C}$ ) et de la composition isotopique de celle-ci. Le  $\delta^{13}\text{C}$  de ces carbonates reflète la nature et l'abondance de la biomasse lacustre.

#### 4. LA TENEUR EN $^{18}\text{O}$ DES EAUX.

##### 4.1. *Le gradient isotopique des précipitations.*

La teneur en  $^{18}\text{O}$  des précipitations résulte notamment des fractionnements thermodépendants qui ont lieu lors des diverses évaporations et condensations affectant les masses nuageuses. Cette liaison avec la température va se manifester avec l'altitude du lieu. Ainsi pour la région étudiée (fig. 1): Berne, Meiringen, Guttanen, Grimsel (Siegenthaler *et al.*, 1980) et Thonon (Blavoux, 1978), les valeurs moyennes suivantes ont pu être établies durant la période de 1971 à 1978: tableau 4 et figure 3.

Stations	Altitude (m)	Température moyenne annuelle (°C)	Valeur moyenne pondérée en $^{18}\text{O}$ dans les pluies (‰ vs SMOW)
Grimsel	1950	1,2	- 14,4
Guttanen	1055	6,3	- 12,8
Meiringen	632	7,9	- 11,7
Berne	572	8,8	- 10,0
Thonon	380	10,1	- 9,9

TABLEAU 4 - Températures et teneurs moyennes pondérées en  $^{18}\text{O}$  dans les précipitations pour la période 1971 à 1978.

Le gradient thermique sur ce versant des Alpes:

$$(7) \quad \frac{\Delta t}{\Delta h} = -0,55^\circ \text{ C}/100 \text{ m}$$

est à l'origine du gradient en  $^{18}\text{O}$ :

$$(8) \quad \frac{\Delta \delta^{18}\text{O}}{\Delta t} = +0,52\text{‰}/^\circ \text{ C}$$

Ce dernier se traduit (fig. 3) par un appauvrissement de la teneur en  $^{18}\text{O}$  des précipitations de près de 0,3‰ lorsque l'altitude croît de 100 m:

$$(9) \quad \frac{\Delta \delta^{18}\text{O}}{\Delta h} \simeq -0,3\text{‰}/100 \text{ m}$$



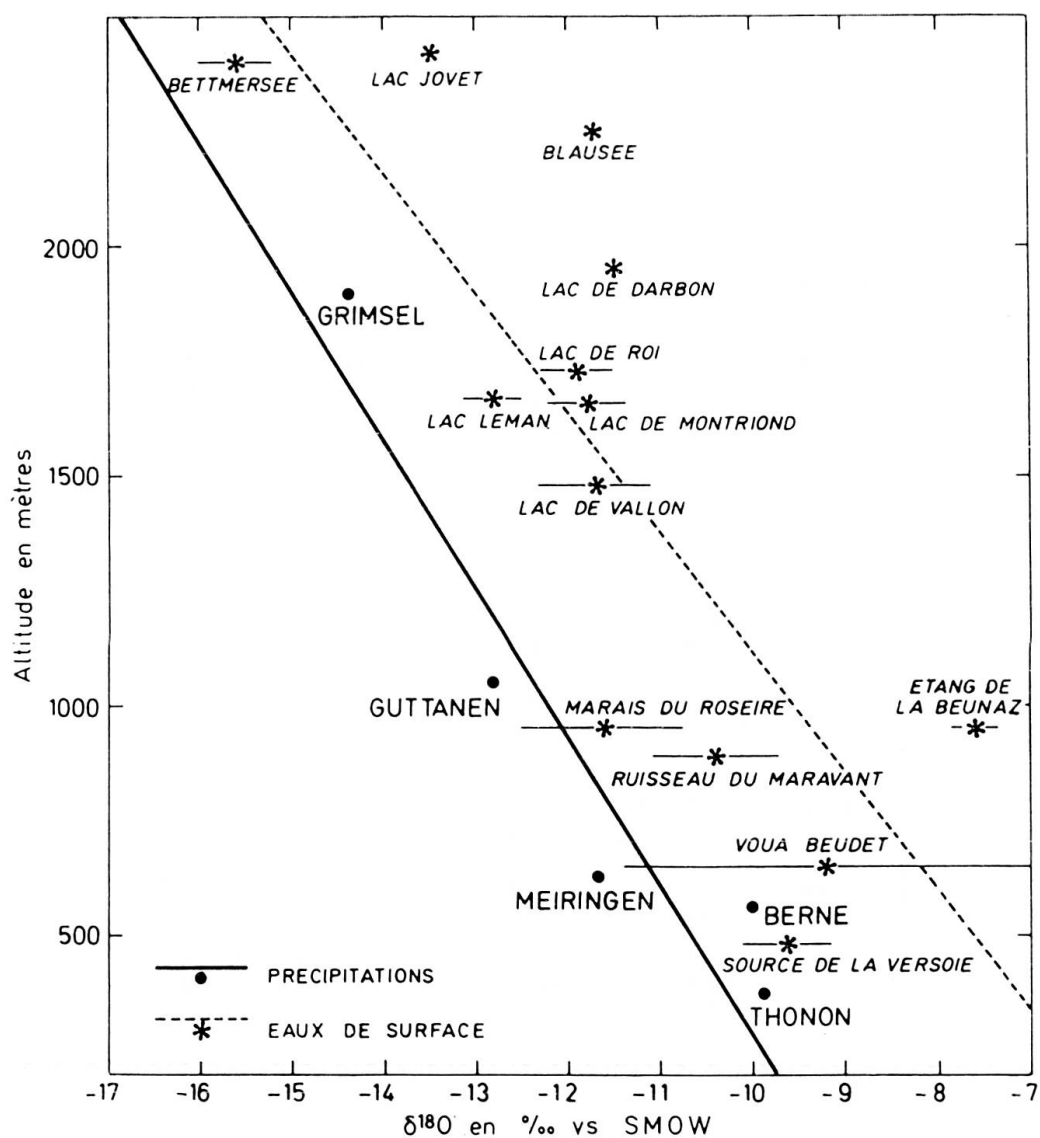


FIG. 3. — Teneurs moyennes en  $^{18}\text{O}$  dans les précipitations en fonction de l'altitude des stations et dans les eaux de surface en fonction de l'altitude moyenne du bassin versant.

#### 4.2. Le gradient isotopique des plans d'eau.

Sur le tableau 5 et la figure 3 sont reportées les teneurs moyennes en  $^{18}\text{O}$  des plans d'eau étudiés en fonction de l'altitude moyenne des bassins versants. On constate, comme pour les précipitations dont ils sont issus, que la teneur en  $^{18}\text{O}$  des lacs diminue lorsque l'altitude croît ( $\approx -0,4\text{‰}/100\text{ m}$ ). De plus on remarque que les eaux de surface sont enrichies d'environ  $2\text{‰}$  par rapport aux précipitations. Cet enrichissement est dû à l'évaporation des masses d'eau. En effet, lors de ce changement de phase, il se produit un fractionnement isotopique qui concentre en isotope lourd l'eau restant dans le lac.

Lieu	Prélèvements				Altitude moyenne du bassin versant
	Date	Altitude (m)	Nombre d'analyses	$\delta^{18}\text{O}$ de l'eau (‰ vs SMOW)	
Lac Jovet	12/09/79	2173	1	- 13,5	2420
Bettmersee	30/10/79	2000	2	- 15,6 $\pm$ 0,4	$\approx$ 2400
Blausee	30/10/79	2200	2	- 11,7 $\pm$ 0,1	$\approx$ 2250
Lac de Darbon	Etés 77 et 78	1816	2	- 11,53 $\pm$ 0,01	1964
Lac de Roi	Etés 77 et 78	1659	3	- 11,9 $\pm$ 0,4	1733
Lac Léman	04/12/79 et 07/05/80	372	9	- 12,8 $\pm$ 0,3	1670
Lac de Montriond	Etés 77 et 78	1060	4	- 11,8 $\pm$ 0,4	1660
Lac de Vallon	06/11/79 et 23/04/80	1075	2	- 11,7 $\pm$ 0,6	1480
Etang de la Beunaz	20/11/79 et 23/04/80	950	2	- 7,7 $\pm$ 0,2	1000
Marais du Roseire	20/11/79 et 23/04/80	885	2	- 11,7 $\pm$ 0,9	950
Ruisseau du Maravant	63, 65 et 70	842	55	- 10,4 $\pm$ 0,7	890
Voua Beudet	06/11/79 et 23/04/80	600	2	- 9,3 $\pm$ 2,2	650
Source de la Versoie	65 à 71	465	235	- 9,6 $\pm$ 0,5	480

TABLEAU 5 - Teneurs moyennes en  $^{18}\text{O}$  des eaux de surface.

Cet enrichissement est fonction de l'importance du flux d'évaporation dans le bilan hydrologique du lac. Ainsi pour le lac Léman où le flux évaporatoire est négligeable par rapport au débit de l'émissaire ( $\approx 4\%$ ) et par rapport au volume du lac ( $0,3\%$ ), le  $\delta^{18}\text{O}$  des eaux reste constant au cours de l'année. Par contre pour le lac Jovet, le Blausee, le lac de Darbon, l'étang de la Beunaz, cet enrichissement peut atteindre  $4\text{‰}$ .

## 5. LES TEMPÉRATURES ISOTOPIQUES

### 5.1. A l'aide de la formule (3) issue d'élevages en laboratoire:

$$t \simeq 22,3 - 3,9 (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_L)$$

et des résultats analytiques reportés dans le tableau 6, il est possible de calculer la température de l'eau des lacs dans laquelle les mollusques ont élaboré leurs coquilles.

Les températures ainsi obtenues figurent dans le tableau 7. Mis à part le Blausee situé à 2050 m d'altitude et le lac de Vallon pris par les glaces lors d'un prélèvement, la température moyenne est de  $14 \pm 5^\circ \text{C}$ . Ces températures isotopiques peuvent

LAC JOVET à 2173 m, 12/9/79

Données in Balvay et Blavoux, 1981

t = 9°C ; pH = 7,9 ; TAC = 1,5°F ; dureté calcique = 1,6°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau de l'exutoire = - 13,5 ‰ vs SMOWBETTMERSEE, lac à 2000 m, 30/10/79

t = 5,5°C ; pH = 7,4 ; TAC = 2,9°F ; dureté calcique = 2,9°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 15,3 ‰ vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 11,3 ‰ vs PDBBETTMERSEE, affluent à 2010 m, 30/10/79

t = 4,0°C ; pH = 7,0 ; TAC = 2,7°F ; dureté calcique = 2,5°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 15,9 ‰ vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 13,5 ‰ vs PDBBLAUSEE, lac à 2210 m, 30/10/79

t = 2,5°C ; pH = 6,4 ; TAC = 0,7°F ; dureté calcique = 0,7°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 11,6 ‰ vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 13,8 ‰ vs PDBBLAUSEE, mare en contrebas à 2050 m, 30/10/79

t = 1,0°C ; pH = 6,0 ; TAC = 0,3°F ; dureté calcique = 0,8°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 11,8 ‰ vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 12,2 ‰ vs PDB*Pisidium casertanum* Poli  $\delta^{18}\text{O}$  = - 6,4 ‰ vs PDB*Pisidium casertanum* Poli  $\delta^{13}\text{C}$  = - 10,4 ‰ vs PDBLAC DE DARBON à 1816 m

Données in Serra, 1976 et Lemeille, 1980

t = 11,5°C ; pH = 8,0 ; TAC = 7,5°F ; dureté calcique = 7,0°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 11,53 ± 0,01 ‰ vs SMOW (n = 2) $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 6,15 ± 0,13 ‰ vs PDB (n = 2)*Pisidium pulchellum* Jen.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,13 ± 0,06 ‰ vs PDB (n = 2)*Pisidium pulchellum* Jen.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 6,09 ± 0,10 ‰ vs PDB (n = 2)*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,78 ± 0,04 ‰ vs PDB (n = 2)*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,93 ± 0,24 ‰ vs PDB (n = 2)*Valvata piscinalis* Müll.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 6,0 ‰ vs PDB

TABLEAU 6 — Résultats analytiques

LAC DE ROI à 1659 m

Données in Serra, 1976 et Lemeille, 1980

 $t = 14^{\circ}\text{C}$  ;  $\text{pH} = 8,0$  ;  $\text{TAC} = 13,5^{\circ}\text{F}$  ; dureté calcique =  $10,2^{\circ}\text{F}$  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau =  $-11,91 \pm 0,39 \text{ ‰}$  vs SMOW ( $n = 3$ ) $\delta^{13}\text{C}$  du CTD =  $-9,37 \pm 0,05 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )*Pisidium pulchellum* Jen.  $\delta^{18}\text{O} = -9,31 \pm 0,06 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )*Pisidium pulchellum* Jen.  $\delta^{13}\text{C} = -9,81 \pm 0,04 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )LAC DE VALLON à 1075 m

Le 6/11/79

 $t = 4^{\circ}\text{C}$  ;  $\text{pH} = 8,05$  ;  $\text{TAC} = 16,0^{\circ}\text{F}$  ; dureté calcique =  $15,8^{\circ}\text{F}$  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau =  $-11,3 \text{ ‰}$  vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD =  $-8,8 \text{ ‰}$  vs PDB*Radix ovata* Drap.  $\delta^{18}\text{O} = -9,3 \text{ ‰}$  vs PDB*Radix ovata* Drap.  $\delta^{13}\text{C} = -11,1 \text{ ‰}$  vs PDB

Le 23/4/80 gelé en surface

 $t = 4,0^{\circ}\text{C}$  ;  $\text{pH} = 7,8$  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau =  $-12,2 \text{ ‰}$  vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD =  $-11,5 \text{ ‰}$  vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD =  $-12,4 \text{ ‰}$  vs PDB*Radix ovata* Drap.  $\delta^{18}\text{O} = -6,1 \text{ ‰}$  vs PDB*Radix ovata* Drap.  $\delta^{13}\text{C} = -5,9 \text{ ‰}$  vs PDBLAC DE MONTRIOND à 1060 m

Données in Serra, 1976 et Lemeille, 1980

 $t = 15^{\circ}\text{C}$  ;  $\text{pH} \approx 8$  ;  $\text{TAC} = 11,3^{\circ}\text{F}$  ; dureté calcique =  $9,7^{\circ}\text{F}$  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau =  $-11,85 \pm 0,41 \text{ ‰}$  vs SMOW ( $n = 4$ ) $\delta^{13}\text{C}$  du CTD =  $-7,70 \pm 0,04 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )*Pisidium pulchellum* Jen.  $\delta^{18}\text{O} = -9,40 \pm 0,05 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )*Pisidium pulchellum* Jen.  $\delta^{13}\text{C} = -7,82 \pm 0,17 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{18}\text{O} = -8,69 \pm 0,16 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{13}\text{C} = -10,55 \pm 0,11 \text{ ‰}$  vs PDB ( $n = 3$ )ETANG DE LA BEUNAZ à 950 m

Le 20/11/79

 $t = 4^{\circ}\text{C}$  ;  $\text{pH} = 7,9$  ;  $\text{TAC} = 13,2^{\circ}\text{F}$  ; dureté calcique =  $12,0^{\circ}\text{F}$  $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau =  $-7,5 \text{ ‰}$  vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD =  $-4,9 \text{ ‰}$  vs PDB

TABLEAU 6 — Résultats analytiques

Le 23/4/80

t = 7,5°C

$\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 7,8 ‰ vs SMOW

*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 8,3 ‰ vs PDB

*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 10,7 ‰ vs PDB

#### MARAIS DU ROSEIRE D'AVAIL à 885 m

Le 20/11/79

t = 3,5°C ; pH = 7,85 ; TAC = 22,6°F ; dureté calcique = 20,3°F

$\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 11,0 ‰ vs SMOW

$\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 6,3 ‰ vs PDB

$\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 10,5 ‰ vs PDB

*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 7,6 ‰ vs PDB

*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,3 ‰ vs PDB

*Anisus leucostomus* Mill.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 8,6 ‰ vs PDB

*Anisus leucostomus* Mill.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 12,2 ‰ vs PDB

Le 23/4/80

t = 4,5°C ; pH = 7,9

$\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,3 ‰ vs SMOW

$\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 9,0 ‰ vs PDB

$\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 7,2 ‰ vs PDB

*Galba truncatula* Müll.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 7,7 ‰ vs PDB

*Anisus leucostomus* Mill.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 7,8 ‰ vs PDB

*Anisus leucostomus* Mill.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 11,5 ‰ vs PDB

#### VOUA BEUDET à 600 m

Le 6/11/79

t = 7°C ; pH = 7,9 ; TAC = 21,6°F ; dureté calcique = 16,8°F

$\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 7,7 ‰ vs SMOW

$\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 4,95 ‰ vs PDB

*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 6,3 ‰ vs PDB

*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 8,4 ‰ vs PDB

Le 23/4/80

t = 11°C ; pH = 7,85

$\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 10,9 ‰ vs SMOW

$\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 9,0 ‰ vs PDB

$\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 7,8 ‰ vs PDB

*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,1 ‰ vs PDB

*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 10,2 ‰ vs PDB

TABLEAU 6 — Résultats analytiques

## LAC LEMAN à 372 m, baie de Sciez, 4/12/79

A - 3 m : t = 8,3°C ; pH = 8,05 ; TAC = 8,6°F ; dureté calcique = 10,9°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,9 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 7,2 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 7,0 ‰ vs PDB*Pisidium amnicum* Müll.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 12,4 ‰ vs PDB*Pisidium amnicum* Müll.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 4,9 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{18}\text{O}$  = - 10,5 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{13}\text{C}$  = - 15,0 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 12,0 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 12,8 ‰ vs PDB

A - 15 m : t = 8,6°C ; pH = 8,05 ; TAC = 8,6°F ; dureté calcique = 10,9°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,8 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 8,2 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 6,8 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{18}\text{O}$  = - 10,6 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,9 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 11,6 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 4,0 ‰ vs PDB

A - 25 m : t = 8,8°C ; pH = 8,00 ; TAC = 8,7°F ; dureté calcique = 11,0°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,9 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 7,8 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 6,6 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,8 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,3 ‰ vs PDB*Planorbis corneus* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,9 ‰ vs PDB*Planorbis corneus* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 9,4 ‰ vs PDB

A - 45 m : t = 8,6°C ; pH = 8,00 ; TAC = 8,7°F ; dureté calcique = 11,0°F

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,9 ‰ vs SMOW $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 7,4 ‰ vs PDB*Radix auricularia* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 8,8 ‰ vs PDB*Radix auricularia* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 11,6 ‰ vs PDB

TABLEAU 6 — Résultats analytiques

## LAC LEMAN à 372 m, baie de Sciez, 7/5/80

A - 3 m : t = 11,0°C

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,4 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 11,1 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 8,4 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{18}\text{O}$  = - 10,0 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,5 ‰ vs PDB

A - 7 m

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,5 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 12,1 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 6,9 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 11,2 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,7 ‰ vs PDB*Sphaerium corneum* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 11,4 ‰ vs PDB*Sphaerium corneum* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 9,9 ‰ vs PDB

A - 15 m : t = 9,2°C

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 13,5 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 10,8 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 6,0 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,8 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{13}\text{C}$  = - 6,8 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 11,0 ‰ vs PDB*Bithynia tentaculata* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 7,3 ‰ vs PDB

A - 25 m : t = 8,0°C

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,9 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 11,3 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 9,4 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{18}\text{O}$  = - 9,5 ‰ vs PDB*Dreissena polymorpha* (Pall.)  $\delta^{13}\text{C}$  = - 5,7 ‰ vs PDB*Planorbis corneus* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 10,5 ‰ vs PDB*Planorbis corneus* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 11,7 ‰ vs PDB

A - 45 m : t = 6,8°C

 $\delta^{18}\text{O}$  de l'eau = - 12,7 ‰ vs SMOW $\delta^{18}\text{O}$  du CTD = - 9,5 ‰ vs PDB $\delta^{13}\text{C}$  du CTD = - 6,8 ‰ vs PDB*Limnea stagnalis* L.  $\delta^{18}\text{O}$  = - 8,9 ‰ vs PDB*Limnea stagnalis* L.  $\delta^{13}\text{C}$  = - 10,8 ‰ vs PDB

TABLEAU 6 — Résultats analytiques

Plan d'eau	Altitude du plan d'eau (m)	Température moyenne de l'air	Température isotopique	Date
Blausee	2050	1	1	30/10/79
Darbon	1816	2	14	Etés 77 et 78
Roi	1659	3	12	Etés 77 et 78
Vallon	1075	6	14	06/11/79
Vallon	1075	6	- 1	23/04/80
Montriond	1060	6	11	Etés 77 et 78
La Beunaz	950	8	24	23/04/80
Le Roseire	885	7	11	20/11/79
Le Roseire	885	7	5	23/04/80
Beudet	600	9	17	06/11/79
Beudet	600	9	15	23/04/80
Léman	372	10	14	04/12/79
Léman	372	10	16	07/05/80

TABLEAU 7 - Températures isotopiques de l'eau des lacs calculées à partir de la formule 3 et températures moyennes de l'air calculées à partir de la formule 7.

être comparées aux températures moyennes de l'air au niveau des différents plans d'eau. On constate que ces dernières sont comprises entre 1 et 10° C.

Il est donc raisonnable de penser que les mollusques élaborent préférentiellement leur test durant la période estivale où la température de l'air, donc de l'eau, est supérieure à environ 10° C.

La température joue en effet un rôle important dans le développement des mollusques dulcicoles et dans la croissance de leur test. Cependant la part d'autres facteurs (teneur en carbonate et/ou en ressources nutritives du milieu), est difficile à définir. Ces facteurs ont également une influence dans les phénomènes de croissance.

En ce qui concerne la température, Fischer (1950) montre qu'il existe pour chaque espèce un optimum thermique de développement correspondant à une assimilation et à une croissance maximales (tissus et coquille). Une température s'éloignant de cet optimum provoque une diminution puis un arrêt de la croissance. On peut citer à ce sujet les arrêts de croissance très marqués observés sur les valves de *Pisidium* vivant dans des plans d'eau d'altitude (Favre, 1941).

La température joue également un rôle dans la croissance des populations de mollusques. Des conditions thermiques défavorables durant la période de reproduction entraînent une baisse importante du nombre d'individus de la génération suivante. Ce phénomène a été particulièrement bien observé sur deux gastéropodes dulcicoles, *Radix peregra* et *Physa fontinalis* (Russell-Hunter, 1961). Mais à ce fac-



teur thermique important, il convient d'en ajouter d'autres comme les variations de l'ensoleillement printanier et l'importance des précipitations estivales.

Au niveau de la croissance du test, les recherches effectuées sur le gastéropode *Bithynia tentaculata* ont fourni les résultats suivants:

- Il semble que dans certaines populations de cette espèce, les individus continuent à se nourrir et à croître durant l'hiver (Lilly, 1953).
- le développement des coquilles de *Bithynia tentaculata* de petits lacs de l'Est canadien est stoppé durant les hivers rigoureux. Il reprend au printemps avec un rythme assez lent (0,2 mm/semaine) et s'accélère du double durant l'été. A cette époque les individus atteignent leur taille adulte (Pinel-Alloul et Magnien, 1971).

La même espèce, observée dans le sud de l'Angleterre (Essex) montre un rythme de croissance continu durant toute l'année alors que pour une population de Suède, ce rythme est très ralenti durant les hivers rigoureux (Lilly, 1953; Hubendick, 1948). Cependant les individus des deux populations atteignent leur taille adulte à la fin de la période de croissance.

La température joue donc un rôle important dans les phénomènes de croissance des individus et également dans le développement des faunes malacologiques. Dans le domaine étudié ici, on peut penser, grâce à l'analyse isotopique des tests que les espèces étudiées montrent le taux de croissance maximum durant la période estivale.

Il semble cependant exister d'autres modèles de croissance (Calow, 1973) et ceci particulièrement pour les mollusques marins. Ainsi Gaillard (1965) distingue des espèces d'affinités méridionales (Trochidés) dont les taux de croissance sont maximum au printemps et en été, et d'autres espèces, d'affinités septentrionales (*Littorina saxatilis*) montrant une croissance maximum en hiver.

On note également une adaptation morphologique des mollusques à l'altitude. Ainsi on observe une tendance générale à une augmentation de la taille de la coquille, ainsi qu'un amincissement considérable de celle-ci. Chez les *Pisidium*, on peut noter également un affaiblissement du plateau cardinal et du système dentaire. Les gastéropodes quant à eux montrent souvent la présence d'individus scalaires. Cette adaptation est peut-être liée à la température: directement ou indirectement par la quantité d'éléments nutritifs présents dans l'eau (Germain, 1931; Jayet, 1973).

5.2. Sur la figure 4 nous avons reporté les résultats obtenus dans le lac Léman (Baie de Sciez).

On constate que:

- la température isotopique, tirée de la formule 3, décroît en fonction de la profondeur d'environ 0,2° C/m. Ce gradient est tout à fait comparable à celui mesuré sur le lac en été, de juin à octobre: tableau 8.

Profondeur	J	F	M	A	M	J*	J*	A*	S*	O*	N	D	Moyennes de juin à octobre
0	6,20	6,50	5,95	8,10	10,50	14,90	15,20	20,90	18,05	14,10	9,55	6,60	16,6
5	6,30	6,20	6,00	7,00	10,40	14,80	14,80	19,80	17,80	12,60	9,50	-	16,0
10	6,40	6,05	6,00	6,70	10,40	12,60	14,50	16,80	17,10	12,60	9,50	6,70	14,7
20	6,40	6,00	6,00	6,80	8,20	9,80	11,20	11,70	11,90	12,60	9,10	6,70	11,4
30	6,40	6,40	6,00	6,70	8,00	8,20	9,30	9,30	9,70	9,10	9,60	6,55	9,1
40	6,30	6,10	6,00	6,50	7,60	8,20	-	7,50	7,80	7,60	9,50	6,80	7,8
50	6,30	6,10	6,00	6,30	6,60	8,30	6,20	6,80	6,80	6,80	9,00	-	7,0
gradient en °C/m de 0 à 40 m	-	-	-	- 0,04	- 0,07	- 0,17	- 0,20	- 0,33	- 0,26	- 0,16	-	-	- 0,22

TABLEAU 8 - Température de l'eau du Lac Léman à la station CRG 3 durant l'année 1980.

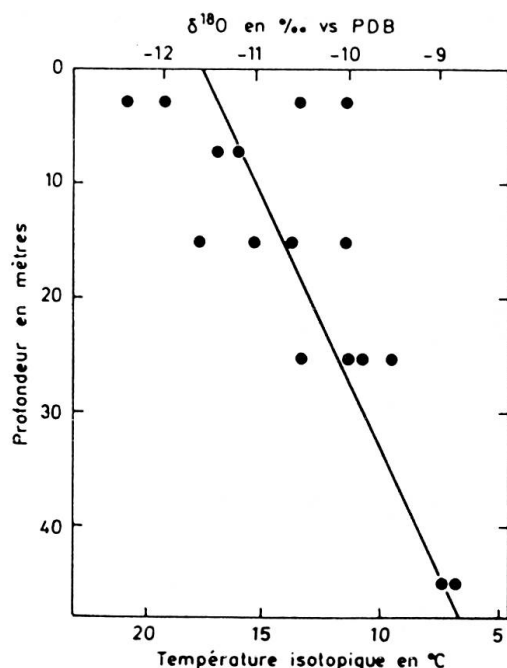


FIG. 4. — Teneur en  $^{18}\text{O}$  du test des mollusques et température isotopique déduite dans le lac Léman.

- les valeurs absolues des températures isotopiques (fig. 4) sont en très bon accord avec les températures estivales mesurées (tableau 8). Ceci est une validation de l'équation 3 et une confirmation de l'élaboration du test principalement pendant l'été.
- les  $\delta^{18}\text{O}$  des tests (tableau 9) sont comparables en été et en hiver (élaboration estivale), par contre ceux du carbone total dissous varient entre les prélèvements d'été et d'hiver.

## 6. LES TENEURS EN $^{13}\text{C}$ .

En août 1981, nous avons mesuré la teneur en  $^{13}\text{C}$  d'éléments de la biomasse du Léman:

- périphyton  $\delta^{13}\text{C} = -15,4\text{‰}$
- phytoplancton  $\delta^{13}\text{C} = -20,3\text{‰}$
- zooplancton  $\delta^{13}\text{C} = -24,4\text{‰}$

Prélevé du 2 au 4 septembre 1981 (par vent du Nord et barbotage de l'air dans la baryte) le  $\text{CO}_2$  atmosphérique avait un  $\delta^{13}\text{C} = -7,9\text{‰}$ .

Ces valeurs sont en accord avec celles de la littérature (fig. 2). Avec en moyenne un  $\delta^{13}\text{C} = -8,3\text{‰}$  les coquilles des mollusques du Léman présentent des valeurs proches de celles du carbone total dissous (tableau 9). Ces valeurs indiquent une participation importante du  $\text{CO}_2$  biogénique dans le système carbone total dissous — test des mollusques.

	$\delta^{18}\text{O}$ en ‰ vs PDB		$\delta^{13}\text{C}$ en ‰ vs PDB	
	carbone total dissous	mollusques	carbone total dissous	mollusques
04/12/79	- 7,7 ± 0,5	- 10,7 ± 1,2	- 7,0 ± 0,3	- 8,6 ± 4,1
07/05/80	- 11,0 ± 1,0	- 10,3 ± 0,9	- 7,5 ± 1,4	- 8,0 ± 2,5
		- 10,5 ± 1,0	- 7,3 ± 1,0	- 8,3 ± 3,3

TABLEAU 9 - Comparaison des teneurs moyennes en  $^{18}\text{O}$  et  $^{13}\text{C}$  du carbone total dissous et des mollusques dans le Léman.

## 7. CONCLUSION

Les mesures isotopiques ( $^{18}\text{O}$  et  $^{13}\text{C}$ ) réalisées sur les coquilles de mollusques dulcicoles actuels des Alpes du Nord ont permis de mettre en évidence:

- la croissance des espèces étudiées a lieu essentiellement durant la période estivale,
- une participation importante de  $\text{CO}_2$  biogénique dans l'élaboration des tests.

## BIBLIOGRAPHIE

- BALVAY G., et B. BLAVOUX (1981). Le grand lac Jovet (Haute-Savoie), milieu oligotrophe de haute montagne. *Rev. Géogr. Alp.*, 69, 422-442.
- BLANC Ph., L. CHAIX, J. C. FONTES, R. LETOLLE, Ph. OLIVE et J. SAUVAGE (1977). Etude isotopique préliminaire de la craie lacustre des grands marais de Genève. *Arch. Sc. Genève*, 30, 3, 421-431.
- BLAVOUX B. (1978). Etude du cycle de l'eau au moyen de l'oxygène-18 et du tritium. *Thèse*, Paris, 333 p.
- CALOW P., (1973). On the regulatory nature of individual growth: some observations from freshwater snails. *Journ. Zool. London*, 170, 415-428.
- CHAIX, L. et Ph. OLIVE (1980). Paléoclimatologie continentale et mollusques dulcicoles. 8<sup>e</sup> Réunion *Ann. Sci. Terre*, Marseille, Soc. Géol. France, 90.
- DIGBY, P.S.B. (1968). The mechanism of calcification in the molluscan shell. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 22, 93-107.
- DUSSART, B. (1948). Contribution à l'étude zoologique des lacs de Haute-Savoie. I. Le lac de Darbon. *Ann. Stat. Centr. Hydrobiol. Appl.*, 2, 187, 220-370.
- EICHER, U. (1980). Pollen und Sauerstoffisotopenanalysen an spätglazialen Profilen vom Gerzensee, Faulenseemoos und vom Regenmoos ob Boltigen, Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft, Bern, 65-80.
- EICHER, U. and U. SIEGENTHALER (1976). Palynological and isotope investigations on late glacial sediment cores from Swiss lakes. *Boreas*, 5, 109-117.
- EICHER, U., U. SIEGENTHALER and S. WEGMULLER (1981). Pollen and oxygen isotope analyses on late and post-glacial sediments of the "Tourbière de Chirens" (Dauphiné, France). *Quaternary Research*, 15, 160-170.
- FAVRE, J. (1935). Histoire malacologique du lac de Genève. *Mém. Soc. Phys. et Hist. Nat.*, Genève, 41, 3, 295-409.

- FAVRE, J. (1941). Les *Pisidium* du canton de Neuchâtel. *Bull. Soc. Neuchâteloise des Sc. Nat.*, 66, 57-112.
- FISCHER, P. H. (1950). Vie et mœurs des mollusques. Payot, Paris.
- GAILLARD, J. M. (1965). Aspects qualitatifs et quantitatifs de la croissance de la coquille de quelques espèces de mollusques prosobranches en fonction de la latitude et des conditions écologiques. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat. Paris*, sér. Zool (A), 38.
- GERMAIN, K. (1931). Faune de France: 21. Mollusques terrestres et fluviatiles. Lechevalier, Paris.
- HUBENDICK, B. (1948). Über den Bau und des konzentrisches Operkulantypus bei Gastropoden. *Arch. Zool.*, 40, 1-28.
- JAYET, A. (1973). Sur quelques *Pisidium* haut-alpins. *Malacologia*, 14, 415-418, Ann-Arbor, Mich.
- KEELING, C. D., W. G. MOOK and P. P. TANS (1979). Recent trends in the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 277, 121-122.
- LEMEILLE, E. (1980). Contribution à la géochimie isotopique et à la minéralogie des carbonates lacustres: l'aragonite des coquilles de mollusques. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle*, Paris Sud, 87 p.
- LEMEILLE, E., R. LETOLLE, F. MELIERES and Ph. OLIVE (1981). Isotope and other physico-chemical parameters of paleolake carbonates: tools for climatic reconstruction. A paraître in Variations of the isotopic composition of precipitation and groundwater during the quaternary as the consequence of climatic changes. *I.A.E.A.*, Vienne.
- LILLY, M. M. (1953). The mode of life and the structure and functioning of the reproductive ducts of *Bithynia tentaculata* (L.). *Proc. of the Malacological Soc. London*, 30, 87-110.
- MOOK, W. G., J. C. BOMMERSON, and W. H. STAVERMAN (1974). Carbon isotope fractionation between dissolved bicarbonate and gaseous carbon dioxide. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 22, 169-176.
- PINEL-ALLOUL, B., et E. MAGNIN (1971). Cycle vital et croissance de *Bithynia tentaculata* L. (Mollusca, Gastropoda, Prosobranchia) du lac St-Louis près de Montréal. *Canad. Journ. of Zool.*, 49, 749-766.
- RUSSEL-HUNTER, W. (1961). Annual variations in growth and density in natural populations of freshwater snails in the west of Scotland. *Proc. of the Zool. Soc. London*, 136, 219-253.
- SERRA-BERTRAL, G. (1976). Etude morphométrique, physico-chimique et sédimentologique de quelques lacs de montagne du Chablais (Haute-Savoie). *Thèse*, Paris, 200 p.
- SERRUYA, C., et C. VERGNAUD-GRAZZINI (1966). Evolution paléoclimatologique des sédiments du lac Léman. *Arch. Sc. Genève*, 19, 2, 197-210.
- SIEGENTHALER, U. and H. OESCHGER (1980). Correlation of  $^{18}\text{O}$  in precipitation with temperature and altitude. *Nature*, 285, 314-317.
- TROUGHTON, J. H. (1972). Carbon isotope fractionation by plants, Proceedings of the 8<sup>th</sup>. International conference on radiocarbon dating, Lower Hutt, New Zealand, 421-438.
- YACINE-KASSAB, M. (1979). Etude écologique des mollusques Gastéropodes d'eau douce de quelques milieux aquatiques peu profonds de la vallée du Rhône en amont de Lyon. *Thèse, Sc. Nat. Grenoble*, 2 tomes.