

VALIDITÉ DE LA DATATION DES SÉDIMENTS DU PROCHE QUATERNAIRE PAR LE DOSAGE DU CARBONE 14 DANS LES COQUILLES MARINES

par Jean THOMMERET et Yolande THOMMERET

Les tâches confiées à un laboratoire de datation, tel que celui du Centre scientifique de Monaco, au moyen de la technique du Carbone 14 sont variées. Outre le problème de la datation des survivances archéologiques il y a celui, plus complexe, des datations géologiques.

Les datations géologiques dont nous avons à nous occuper se présentent sous plusieurs aspects :

- carottes sédimentaires d'un fond de bassin océanique ou alluvionnaire;
- coquilles individuelles ou groupées représentant soit une époque géologique définie, soit un niveau marquant une transgression marine ou un changement de niveau lacustre;
- concrétions calcaires : stalactites ou stalagmites;
- inclusions carbonées dans des laves, etc... la liste n'est pas exhaustive.

Dans la plupart des datations géologiques l'on ne dispose pour dater l'objet que d'une substance minérale : le carbonate de calcium, alors que les échantillons archéologiques sont le plus souvent constitués par du carbone engagé sous forme organique, facilement purifiable des substances minérales polluantes qui l'entourent.

Quelle valeur peut-on accorder à la méthode du carbone 14 pour la fixation de l'âge dans le cas où l'on utilise un carbonate minéral d'origine biologique? C'est l'objet de notre exposé.

Nous rappellerons sommairement que le carbone 14 se produit dans la haute atmosphère par action du rayonnement cosmique sur les noyaux d'azote : réaction ${}^7\text{N}^{14} (n,p) {}^6\text{C}^{14}$, que ce carbone 14 se retrouve très dilué au niveau du sol à l'état oxydé de gaz carbonique, que sa teneur est supposée constante au cours des millénaires nous ayant précédés, enfin qu'il est radioactif par émission bêta avec une période d'environ 5 700 ans. Le gaz carbonique se dissout dans les mers, qui constituent un volant régulateur de sa concentration dans l'atmosphère, et il subit le cycle de la vie végétale sur les continents. Le carbone 14 constitue donc un marqueur pour ces phénomènes : on peut « dater » une eau océanique, avec cette restriction qu'ici « âge » signifie « temps de résidence ».

Nous avons déjà établi dans une publication précédente (1) qu'en Méditerranée quelques animaux marins possédant un squelette ou une coquille calcaire édifient ceux-ci avec un carbone d'origine contemporaine. Leur support ou leur environnement calcaire n'influe pas, dans les conditions actuelles de la biogénèse, sur la composition carbonée de leurs concrétions minérales (c'est le cas des moules, des gorgones, de certaines éponges calcaires, des madréporaires, fixés sur les rochers calcaires jurassiques du cap Martin). Le carbone entrant dans la composition des concrétions provient uniquement de l'eau dans laquelle vivent ces animaux et de leurs aliments.

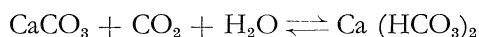
En théorie, il semble donc possible d'assigner un âge aux coquilles ou autres squelettes calcaires, représentants des époques passées, s'ils se trouvaient dans un biotope analogue. Doit-on considérer qu'un changement de biotope puisse modifier cette possibilité? Il semble bien que l'on puisse répondre par l'affirmative.

En effet, on peut diviser en deux catégories les phénomènes qui perturbent la teneur en carbone 14 d'un échantillon de carbonate minéral :

1^o) l'échange C¹⁴ radioactif contre C¹³ inactif après la mort de l'animal;

2^o) pendant la vie de l'animal, le déséquilibre C¹⁴/C¹² du milieu où vivait l'animal par rapport à l'équilibre C¹⁴/C¹² du CO₂ atmosphérique.

Le premier de ces effets, l'échange C¹⁴ → C¹³ n'a jamais lieu dans l'air, il ne se produit jamais avec le carbone organique, mais uniquement avec le carbone engagé sous forme minérale. Il pourrait se produire dans l'eau ou au contact de l'eau servant de véhicule à l'échange (2), une réaction qui se note :



Si le carbone échangé provient du CO₂ de l'air (directement ou indirectement par la respiration des racines dans le cas des échantillons enterrés, on pourrait penser obtenir un rajeunissement du carbonate de l'échantillon, par échange du carbone 14 du milieu extérieur, avec le carbone 12 de l'échantillon; mais si le carbone échangé provient d'un carbonate minéral infiniment ancien qui a été dissout par l'eau (eau dure) il provoquera un vieillissement apparent de l'échantillon.

Dans le cas des os, W.S. BROEKER et E.A. OLSON (3) rapportent qu'ils ont toujours observé un effet de rajeunissement des parties minérales des os, lorsque l'on a pu doser dans ceux-ci la fraction minérale et la fraction organique.

Le second effet perturbateur de la datation des débris calcaires animaux est lié à l'écart entre les rapports C¹⁴/C¹³ du biotope et C¹⁴/C¹³ du milieu atmosphérique pendant la vie de l'animal. De ce fait et parce que l'on n'a pas d'autres moyens de connaître cet écart, la datation est erronée.

Ce phénomène, aisément prévisible, et qui a été déjà signalé (21), (22), semble cependant encore trop souvent être ignoré, ou plutôt négligé, par les géologues, qui demandent au radio-physicien de dater certaines coquilles marines ou lacustres. Obtenant des résultats surprenants et inexplicables, certains doutèrent de la valeur de la méthode et firent dater des coquilles analogues mais récentes. Les âges divers obtenus furent alors utilisés pour corriger les premiers résultats.

Si maintenant on examine les datations effectuées sur des portions de carottes sédimentaires, lacustres ou marines, à partir des carbonates d'origine biologique on est aussi surpris par la divergence des résultats. En effet, si les âges obtenus montrent presque toujours une progression logique en fonction de la profondeur, par contre, il arrive que ceux-ci diffèrent de plusieurs millénaires suivant la granulométrie utilisée pour trier l'échantillon. Par exemple une carotte de la région ouest méditerranéenne a été datée par le laboratoire d'Uppsala (4). On a fait trois fractionnements de chaque tranche de la carotte : granulométrie supérieure à 44 μ, de 4 à 44 μ, et inférieure à 44 μ. Les dates obtenues sont respectivement, pour une tranche :

14 200 ± 480 ans 26 600 ± 800 ans 17 300 ± 300 ans.

L'auteur commente ainsi ses mesures : « les résultats montrent que les fractions les plus fines fournissent les résultats les plus médiocres » sans préciser quel critère il utilise pour en décider ainsi.

Par contre, dans d'autres laboratoires (5) on n'a observé que des divergences négligeables entre les diverses fractions d'une même portion de carotte marine.

Dans une thèse récente (6) soutenue à la Columbia University en 1963, E.A. OLSON a examiné en détail les causes qui perturbent les datations par le carbone 14. Les exemples

qu'il cite ont presque tous été extraits du journal « Radiocarbon ». J'ai repris quelques-uns des exemples qu'il a fournis.

La revue « Radiocarbon » est un catalogue annuel résumant assez brièvement les travaux de datation effectués par les laboratoires mondiaux. Sauf exception, les personnes qui s'occupent des mesures de datation et qui rédigent les résumés de leurs travaux dans cette revue, ne sont, ni des archéologues, ni des géologues, ni des biologistes très spécialisés, mais plutôt des électroniciens ou des physicochimistes qui se servent, pour leurs commentaires, des indications fournies par les spécialistes ayant soumis les pièces à dater. La lecture de « Radiocarbon » est donc un moyen de connaître la presque totalité des travaux de datation des laboratoires et d'avoir un commentaire assez impartial nous renseignant fidèlement sur l'opinion de « l'utilisateur ». Les datations par coquilles représentent environ 10 % des datations effectuées jusqu'en 1963 par la méthode du radiocarbone; le bois, le charbon ainsi que les cendres, représentant 50 % des datations, le reste étant constitué par la tourbe, les os et autres débris animaux de nature plus ou moins organique (ivoire, dents, etc.).

Nous avons pu relever ainsi dans de très nombreux cas un manque de concordance entre les datations de coquilles et celles de débris organiques provenant d'un même dépôt sédimentaire, particulièrement lorsqu'il s'agit de dépôts lacustres ou de dépôts caractérisant des régressions glaciaires. Ainsi à Little Pic River, région du Lac Supérieur du Canada, le laboratoire de géologie d'Ottawa (7) a daté deux échantillons de bois situés respectivement dans deux couches sédimentaires bien stratifiées, séparées par une couche contenant des coquilles (*Sphaerium sulcatum*). Les coquilles ont un âge commun de 7 060 ans contre 5 940 pour le bois soit 1 120 ans d'écart. Le commentaire de cette mesure signale d'ailleurs que cette différence peut être due au recyclage de vieux carbonates pendant la vie des mollusques.

Dans certains cas, les coquilles marines présentent aussi des divergences par rapport à l'âge du milieu où elles ont été trouvées (8). A Long Island on a daté des coquilles de « *Mercenaria campechiensis* » : $1\ 495 \pm 75$ ans, intercalées entre une couche supérieure de tourbe vieille de 760 ans, et une couche inférieure de sable contenant un débris de bois évalué à moins de 200 ans. Aucun commentaire n'est donné pour expliquer ces anomalies.

Parfois les dates obtenues sur des coquilles confirment certains faits géologiques (9) : datation de moraines glaciaires en Norvège par de nombreuses coquilles : *Pecten* sp., *Macoma calcarea* (CHEMNITZ), *Mya truncata* L., etc. Les dates fournies concordent entre elles et parfaitement avec l'âge géologique attendu. Il existe de nombreux autres cas où la datation de coquilles semble bien s'accorder avec ce que l'on connaît de l'histoire géologique.

D'autres fois des datations analogues semblent modifier les schémas chronologiques admis. Par exemple (7) trois datations de coquilles de la Green Bay à Terre Neuve fixent à 12 000 ans le retrait des glaces. Le commentaire publié reflète la divergence de ces résultats avec ceux que l'on croyait obtenir (moins 10 000 ans).

On pourrait ainsi citer de nombreux exemples où les datations par coquilles « font supposer des remaniements géologiques » postérieurs aux événements que celles-ci prétendaient marquer, ou même des « erreurs de collecte ». Un auteur ayant étudié la chronologie des changements du niveau marin à Hawaï par la datation de coquilles conclut, devant la divergence des résultats, que « la question paraît tellement complexe qu'il serait nécessaire de l'étudier d'une manière plus approfondie » (10).

Afin de confirmer la validité de leurs résultats certains laboratoires ont effectué la datation de coquilles contemporaines (11) :

coquilles de <i>Astarte borealis</i> CHEMNITZ	coquilles de <i>Margarites undalata</i> SEWERBY
<i>Cardium ciliatum</i> FABRICIUS,	<i>Mya arenaria</i> L.
<i>Hiatella arctica</i> (L.)	<i>Mya truncata</i> L.

draguées de — 2 à — 115 mètres au NE du Groënland à 50 km du Kong Oscars Fjord.

Ils ont trouvé un âge apparent de 550 ± 70 ans pour toutes ces coquilles et cet âge leur a servi à corriger les valeurs d'autres datations faites sur des coquilles fossiles retrouvées sur le rivage.

Au cours de nos travaux, il nous a été demandé de dater une coquille de *Cyprina islandica* L. caractéristique d'une époque glaciaire récente en Méditerranée. Age trouvé $13\ 000 \pm 700$ ans. Pour contrôler la validité de notre mesure nous avons alors daté une coquille de même espèce draguée en 1898 par S.A.S. le Prince Albert 1^{er} au Spitzberg au voisinage de Thorshavn (Faervor). L'âge trouvé pour cette coquille, sûrement contemporaine (les débris organiques chitineux de sa charnière y adhéraient encore) a été trouvé égal à $1\ 300 \text{ ans} \pm 300 \text{ ans}$.

Une dizaine d'autres mesures de coquilles contemporaines (citées dans la thèse de E.A. OLSON) ont montré que l'erreur sur l'âge était d'une manière générale supérieure de $1\ 000$ à $3\ 000$ ans pour les coquilles d'eau douce, et inférieure à $1\ 000$ ans pour les coquilles marines dans le sens d'un vieillissement.

Il semble donc que le biotope influe sur la teneur en carbone 14 des coquilles.

Pour confirmer cette assertion nous donnerons quelques appréciations de spécialistes prises au hasard de la littérature et qui sont citées par OLSON dans sa thèse.

« Le carbonate provenant de coquilles a fourni des résultats de précision variable à cause des altérations chimiques ultérieures » (12).

« On peut utiliser les coquillages pour la datation, à condition que les possibilités d'échanges ultérieurs des carbonates aient été faibles et que la composition de l'eau dans laquelle ils se développaient soit connue » (13).

« Dans le cas des coquilles on n'a aucune garantie que le matériau n'ait pas été altéré. Cependant d'après nos résultats sur la teneur en carbone 14 de coquilles anciennes trouvées avec de la matière organique et ceux du Professeur UREY sur la teneur en ^{18}O , les coquilles qui ont une apparence de bonne conservation ont beaucoup de chance d'authenticité » (14).

« D'après notre expérience, les coquilles nous ont souvent donné des âges beaucoup trop grands. Nous avons particulièrement noté cet effet par rapport à des échantillons collectés dans les eaux intérieures, les baies, les estuaires. Il est assez évident que, dans certains milieux, les mollusques ne secrètent pas leurs coquilles avec un carbonate où le carbone serait en équilibre avec celui de l'atmosphère » (15).

On trouverait encore de très nombreuses appréciations peu encourageantes concernant la validité des résultats de datations à l'aide de coquilles.

Au laboratoire du Centre Scientifique de Monaco nous avons donc tenté d'établir une relation entre le rapport $\text{C}^{14}/\text{C}^{12}$ de l'eau d'un grand lac à environnements calcaires, que l'on supposait déficiente en carbone 14 et celui des coquilles issues de ce lac.

Dans notre esprit, ces mesures pourraient donner une indication sur l'importance quantitative de la modification de composition isotopique des coquilles, due à l'eau, dans le cas des eaux douces.

Un certain nombre de travaux ont déjà été effectués dans cette voie et le cycle du carbone a bien été précisé par L.S. DEVEY, H. STUIVER et N. NAKAI (16) dans plusieurs lacs différents en étendue et en dureté calcaire, dont l'équilibre des carbones air-eau n'est pas établi.

Ces auteurs rapportent que la matière organique de l'un des lacs étudiés contenait 25 % en moins de carbone 14 que le carbone actuel, ce qui la vieillit de $2\ 000$ ans. Ils établissent, à l'aide du carbone 13 stable, un schéma des déséquilibres isotopiques du carbone tel qu'on le constate en passant de l'air à l'eau, puis aux organismes vivants et à la vase. Ils notent l'importance des fermentations bactériennes anaérobies, comme source de carbone déficient en carbone 14 ainsi que l'apport des solubilisations minérales. Enfin, ils donnent des indications concernant les proportions de CO_2 ancien et de CO_2 récent que l'on peut espérer trouver dans les diverses composantes d'un lac : eau profonde, eau de surface et vase dans laquelle 20 % de la totalité du CO_2 proviendrait des fermentations de l'humus.

P.E. HARE (17) a montré que les coquilles — il s'agissait de coquilles marines, mais nous pensons qu'il en va de même pour les coquilles lacustres ou de rivières — sont constituées par du carbonate de calcium sous forme de cristaux d'aragonite et de calcite, liés entre eux comme les briques d'un mur dont le ciment serait la conchioline, acide aminé polypeptidique

complexe dans la formule duquel on retrouve les squelettes de l'alanine, de la glycine, de la sérine, de l'acide aspartique, etc. (20). Ces substances protéiniques se trouvent dans le milieu marin à l'état très dilué. Elles sont synthétisées par certaines bactéries lors des fermentations aérobies ou non des boues marines. Dans son livre « La Microbiologie du milieu marin » (1955) J. BRISOU dit que « la lignine est ce que le végétal conserve de plus difficile à détruire. Sa destruction, mal connue, est principalement le fait des bactéries aérobies ». Le phytoplancton est particulièrement riche en lignine et l'humus marin contient une forte proportion de cette substance. La destruction de la lignine n'a lieu qu'en présence d'oxygène, sans quoi la décomposition serait lente ou nulle.

Les « *Pseudomonas* » bactéries des sédiments marins contribuent fortement à la destruction de la lignine. Comme pour former leur enveloppe cellulaire, elles utilisent directement le calcium et le magnésium de l'eau de mer, ainsi que l'a montré L.J. GREENFIELD (18) dans un récent travail, on peut dire que les bactéries sont des agents de reminéralisation des composés du carbone.

« A côté des espèces qui s'emploient à cette reminéralisation, d'autres tout aussi actives, et parmi elles les bactéries photosynthétiques, sont capables de réaliser la synthèse des produits organiques de base et contribuent à la fermeture du cycle du carbone » (J. BRISOU).

Je n'ai pas vu de travaux sur la durée possible de ce cycle, mais si l'on tient compte du fait que l'on retrouve de l'humus et des matières organiques dans des carottes sédimentaires plusieurs fois millénaires, il est probable qu'une fraction importante des matières organiques constituant l'humus marin soit âgée de plusieurs siècles. On aurait ainsi, par l'intermédiaire des bactéries, en dehors de l'introduction de carbone actuel lors de la photosynthèse, une réintroduction de carbone ancien dans le milieu marin. On peut le montrer identiquement pour un milieu lacustre. De plus, les fermentations aérobies étant moins intenses dans les mers froides durent plus longtemps et il est probable que l'âge du carbone réintroduit dans le cycle soit plus grand aux latitudes élevées.

GREENFIELD a encore étudié le mécanisme de formation de la coquille du mollusque gastéropode *Strombus gigas* L. à l'aide des radioéléments qu'il introduisait dans le milieu sous forme de polypeptides marqués C^{14} et de sels minéraux marqués Ca^{45} et Na^{24} . Il en conclut que, pour construire sa coquille, *Strombus gigas* L. utilise entre autres, les nombreuses substances dissoutes dans la mer qui sont synthétisées par les bactéries, en précisant que le lieu d'absorption de ces substances n'est pas limité à la paroi intestinale. Tout semble démontrer que dans le milieu marin, comme d'ailleurs dans le milieu lacustre il existe pour les mollusques plusieurs voies d'introduction du carbone dans leurs coquilles. Les bactéries mortes, les hydrates de carbonates provenant des algues, les carbonates minéraux dissous, les protéines bactériennes dissoutes etc. constituent les principales sources de carbone et celles-ci peuvent se trouver en concentrations extrêmement variables suivant les conditions climatiques et l'habitat du mollusque : pleine eau, vase, embouchure des fleuves etc. Le rapport isotopique C^{14}/C^{12} de chacune de ces sources étant variable, il est donc impossible de prévoir quelle est la part de radiocarbone introduite par un mollusque dans sa coquille calcaire.

Il semble donc vain de vouloir dater une coquille par sa teneur en carbone 14, bien que certains auteurs aient prétendu pouvoir le faire à l'aide de la matière organique (19).

D'après R. BERGER, A.G. HORNEY, W.F. LIBBY, la conchioline des coquilles ne représente guère que 1 à 2 % du poids des coquilles fraîches et moins de 0,1 % pour les coquilles anciennes.

Par un traitement laborieux de préparation, les auteurs cités ont pu dater les fractions minérale et organique de deux lots de plusieurs coquilles d'*Haliotis* de Californie, d'âges respectifs 7 000 et 1 000 ans. Ils ont trouvé un accord satisfaisant entre les fractions minérale et organique, mais il ne nous semble pas que cet accord soit la preuve d'une datation correcte. Il prouve seulement que les diverses sources de carbone utilisées par l'animal avaient la même concentration isotopique en carbone 14.

On peut alors se poser la question de savoir si l'on peut conserver les résultats des datations obtenues par la mesure des coquilles. Un grand nombre de celles-ci (30 % environ) parais-

sant confirmer ce que l'on sait de l'histoire géologique, il est hors de doute qu'il doit se rencontrer assez fréquemment des conditions de vie qui, pour les mollusques, ne leur permettent que l'assimilation du carbone contemporain.

En utilisant les travaux précédemment décrits, on peut même concevoir de telles conditions de vie : des mollusques marins vivant sur des rochers en pleine eau, avec absence de vase à proximité, absence d'apports d'eau douce littorale (éloignement des estuaires) et sous une latitude inférieure à 60°, devraient posséder des coquilles dans lesquelles le rapport C¹⁴/C¹² s'identifie avec celui du CO₂ de l'air. Par contre, des mollusques vivant dans des vases ou des sédiments où l'eau est plus ou moins stagnante, ou provient d'estuaires fluviaux plus ou moins chargés des apports calcaires du bassin, devraient posséder un rapport C¹⁴/C¹² plus faible que le précédent.

Nous avons donc tenté la comparaison entre des mollusques pélecypodes vivant dans les conditions que nous venons approximativement de décrire.

1) *Mytilus galloprovincialis* L., collectées à la fin de 1963, avaient pour habitat les rochers du cap Martin (bordure est de la baie de Roquebrune). L'eau de mer qui les baignait a été prélevée en septembre 1962 à 10 milles au large de Monaco. La teneur en C¹⁴ du CO₂ de prélèvements atmosphériques a été confrontée avec ces mesures.

Les résultats montrent :

a) pour les coquilles de <i>Mytilus</i> un enrichissement	$\delta C^{14} = + 103 \pm 10 \text{ ‰}$
b) pour l'eau de mer superficielle un enrichissement	$\delta C^{14} = + 58 \pm 10 \text{ ‰}$
c) pour l'eau de mer prélevée à — 50 m un enrichissement nul	$\delta C^{14} = 0 \pm 10 \text{ ‰}$
d) pour l'eau de mer prélevée à — 2 000 m un appauvrissement	$\delta C^{14} = - 50 \pm 10 \text{ ‰}$
e) pour le CO ₂ atmosphérique prélevé à Monaco en août 1962 un enrichissement	$\delta C^{14} = + 349 \pm 10 \text{ ‰}$
en décembre 1962 un enrichissement	$\delta C^{14} = + 353 \pm 10 \text{ ‰}$

Les valeurs δC^{14} ont été calculées par rapport à l'activité de l'étalon d'acide oxalique du National Bureau of Standard selon la formule :

$$\delta C^{14} = \frac{A \text{ éch.} - A \text{ st.} \times 0,95}{A \text{ st.} \times 0,95} \times 1000 \text{ où } \begin{array}{l} A \text{ éch.} = \text{activité de l'échantillon} \\ A \text{ st.} = \text{activité de l'étalon N.B.S.} \end{array}$$

Ces résultats permettent de constater que *Mytilus* secrète pour sa coquille un carbonate plus concentré en C¹⁴ que celui qu'elle trouve à l'état minéral dissous dans l'eau de son milieu, mais cependant inférieur en concentration au CO₂ de l'air. C'est donc qu'elle a assimilé le CO₂ de l'air, soit directement, soit par l'intermédiaire du phytoplancton, des bactéries ou des substances hydrocarbonées provenant des algues. Mais le fait essentiel pour nous est que la concentration en C¹⁴ de la coquille de *Mytilus* diffère de celle existant à la même époque dans les végétaux terrestres.

2) Si l'on considère maintenant les mollusques pélecypodes de lac : *Anodonta anatina* LINNÉ qui ont été collectés en février 1964 dans les vases du rivage du lac d'Annecy⁽¹⁾ (Haute-Savoie) (45°52' N Lat., 6° 10' E Long.) et que l'on compare de la même manière la teneur en C¹⁴ de leur coquille à celle de l'eau du même lac, prélevée en septembre 1964, on obtient les résultats suivants :

pour les coquilles d' <i>Anodonta</i> un appauvrissement :	$\delta C^{14} = - 62 \pm 10 \text{ ‰}$
pour l'eau du lac,	

(1) Nous remercions M. le Dr P.L. SERVETTAZ, Maire-Adjoint, Président du Club sub-aquatique et la Municipalité d'Annecy pour les facilités de travail qui nous ont été accordées et pour les prélèvements d'échantillons.

- a) prise au centre du lac, niveau — 10 m, un enrichissement : $\delta C^{14} = + 119 \pm 10 \text{ ‰}$
b) prise au lieu de collection d'*Anodonta*, un enrichissement : $\delta C^{14} = + 107 \pm 10 \text{ ‰}$

Les deux teneurs en C^{14} de l'eau du lac étant indiscernables, nous admettons une valeur moyenne $\delta C^{14} = + 113 \pm 10 \text{ ‰}$.

Contrairement au cas de *Mytilus* en milieu marin, la coquille d'*Anodonta* est déficiente en C^{14} par rapport au CO_2 de l'eau du lac. L'explication la plus élémentaire est qu'*Anodonta* utilise, en plus du carbone moderne provenant de son alimentation, un carbone ancien provenant soit du CO_2 des fermentations de l'humus, soit des substances de dégradation bactérienne des composés organiques formant cet humus, soit des bactéries elles-mêmes qui constituent une partie de son alimentation. Il semble difficile de pouvoir chiffrer cette proportion de carbone ancien assimilé par *Anodonta* et celle-là doit être extrêmement variable suivant les conditions de l'environnement biologique. Dans le cas de *Mytilus*, mollusque de mode battu dont les conditions de vie au cap Martin diffèrent profondément de celles d'*Anodonta*, mollusque lacustre, on peut tenir pour négligeable l'apport de carbone ancien par les fermentations humiques, par rapport au carbone moderne provenant de l'alimentation en algues et phytoplancton.

Quoi qu'il en soit, si l'on considère les différences obtenues sur les concentrations en C^{14} dans les coquilles, non plus en variation relative, mais en temps, on trouve que *Mytilus* diffère de 340 ± 100 ans par rapport à son milieu actuel dans le sens d'un « rajeunissement » ($+ 45 \text{ ‰}$ de variation relative par rapport à l'eau de mer) et qu'*Anodonta* diffère de $1\,600 \pm 150$ ans dans le sens d'un « vieillissement » ($- 175 \text{ ‰}$ de variation par rapport à l'eau du lac).

Ces exemples pris parmi tant d'autres, confirment donc l'imprécision des datations des coquilles. Si l'on ajoute à ceci la possibilité de contaminations ultérieures par l'échange $C^{14} \rightleftharpoons C^{12}$ des coquilles, tel que je l'ai exposé au début, il est certain que le géologue devra se montrer très prudent dans l'interprétation des résultats obtenus par la méthode du carbone 14 appliquée aux coquilles. Les dates obtenues devront si possible être confirmées par plusieurs mesures sur d'autres témoins ou par d'autres méthodes de datation.

*Laboratoire de radioactivité appliquée.
Centre scientifique de Monaco.*

RÉFÉRENCES

- (1) THOMMERET (J.), 1963. — *Comm. int. Explor. sci. Mer Médit., Rapp. et P.V.*, **17** (3), p. 953.
- (2) FRANCKE (H.W.), MÜNNICH (K.O.) et VOGEL (C.S.), 1961. — *Atompraxis*, **7** (8), p. 298.
- (3) OLSON (E.A.) et BROECKER (W.S.), 1961. — *Lamont Natural Radiocarbon Measurements*, **7**; *Radiocarbon*, **3**, p. 142.
- (4) OLSSON (I.U.) et KILICCI (S.), 1964. — *Uppsala Radiocarbon Measurements*, **4**; *Radiocarbon*, **6**, p. 293.
- (5) RUSNAK (G.A.), BOWMAN (A.L.) et GÖTE ÖSTLUND (H.), 1964. — *Miami Natural Radio-carbon Measurements*, **3**; *Radiocarbon*, **6**, p. 208.
- (6) OLSON (E.A.), 1963. — *Columbia University Thèse*.
- (7) DYCK (W.) et FYLES (J.G.), 1963. — *Geological Survey of Canada, Radiocarbon Dates II*. — *Radiocarbon*, **5**, p. 45.
- (8) RUSNAK (G.A.), BOWMAN (A.L.) et GÖTE ÖSTLUND (H.), 1963. — *Miami Natural Radiocarbon Measurements II, Radiocarbon*, **5**, p. 30.
- (9) NYDAL (R.), 1962. — *Trondheim Natural Radiocarbon Measurements III, Radiocarbon*, **4**, p. 167.

- (10) HUBB (C.), BIEN (G.S.) et SUESS (H.E.), 1962. — La Jolla Natural Radiocarbon Measurements II, Radiocarbon, **4**, p. 211.
 - (11) STUIVER (M.) et DEEVEY (S.E.), 1962. — Yale Natural Radiocarbon Measurements VII Radiocarbon, **4**, p. 251.
 - (12) FLINT (R. FOSTER), 1951. — Nature, **167**, p. 835.
 - (13) KULP (J. Laurence), 1952. — Scientific Monthly, **75**, p. 259-267.
 - (14) LIBBY, 1954. — Radiocarbon Dating, p. 44.
 - (15) CRANE (H.R.), 1956. — University of Michigan radiocarbon dates I, Science, **124**, p. 654.
 - (16) DEEVEY (L.S.Jr.), STUIVER (H.) et NAKAI (N.), 1963. — Science, **139**, p. 407.
 - (17) HARE (P.E.), 1963. — Science, **139**, p. 216.
 - (18) GREENFIELD (L.J.), 1963. — Uptake of radionuclides. University Marine Laboratory, Miami, Final report april 1963, rapport TID 20499 — O T S Washington D.C.
 - (19) BERGER (R.), HORNEY (A.G.) et LIBBY (W.F.), 1964. — Science, **144**, p. 999.
 - (20) PARSONS (T.R.), 1963. — Suspended organic matter in sea water. Progress in oceanography, **1**, p. 205, Éd. M. SEARS, Pergamon Press.
 - (21) KEITH (M.L.) et ANDERSON (G.M.), 1963. — Science, **141**, p. 634.
 - (22) BROECKER (W.), 1963. — Science, **143**, p. 596.
-