

Utilisation du carbone-14 pour la datation

Jean-Luc Michelot

FRE "OrsayTerre" CNRS-Université de Paris-Sud, Orsay

Dès la démonstration de l'existence du carbone-14 en 1947, existait l'idée d'utiliser ce radioélément pour la datation dans une gamme de temps recouvrant environ les quarante derniers millénaires. Les progrès des techniques de mesure, et en particulier le recours à la spectrométrie de masse par accélérateur (SMA), permettent actuellement d'étendre cette gamme à environ 60 000 ans. En outre, la technique SMA autorise une miniaturisation des prélèvements, puisqu'une quantité de carbone de l'ordre de quelques milligrammes est suffisante.

En théorie, tout ce qui contient du carbone-14 peut être "daté" par le carbone-14, à partir d'une simple loi de décroissance radioactive :

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \text{d'où} \quad t = (\ln A_0 / A) / \lambda$$

avec A : Activité en carbone-14 mesurée,

A_0 : Activité en carbone-14 initiale,

λ : Constante de désintégration du carbone-14.

Cette constante est égale à $\ln 2/T$, T représentant la période du carbone-14 (5730 ans), ce qui conduit simplement à :

$$t = (\ln A_0 / A) 8266,6 \text{ ans}$$

Toutefois l'âge brut ainsi obtenu (ou "âge apparent") doit subir certaines corrections, variables selon le type de matériel utilisé, pour se rapprocher d'une réalité "calendaire". Dans la pratique, on peut subdiviser l'ensemble des matériels concernés en deux catégories : les matériels qui contiennent du carbone organique, et ceux qui contiennent du carbone inorganique (minéral).

Datation par le carbone-14 sur des matériels organiques.

Les applications sont nombreuses et concernent des domaines variés, tels que l'archéologie et l'histoire (datation de bois, de charbon de bois, d'os, de tissu, de graine...), les études concernant les paléoenvironnements et les paléoclimats (datation de bois, de sédiments, de paléosols,...), la volcanologie (datation d'arbres ou de sols carbonisés lors d'une éruption), la séismologie (datation de paléosols enfouis à l'occasion du fonctionnement de failles)... et même la répression des fraudes (mise en évidence de différences entre produits naturels et produits de synthèse issus de la pétrochimie).

Les matériaux organiques proviennent d'organismes végétaux ou animaux, qui assimilent de façon plus ou moins directe le CO_2 atmosphérique et dont les tissus possèdent de leur vivant une activité carbone-14 égale à celle de l'atmosphère. A la mort de ces tissus, les échanges avec l'atmosphère sont coupés et la décroissance du carbone-14 commence, avec une activité initiale (A_0) qui est celle de l'atmosphère. Cette activité atmosphérique fut considérée jusqu'à la fin des années cinquante comme constante, hormis les quelques perturbations récentes engendrées par l'activité humaine, et fixée par convention à 100 % ("de l'activité du carbone moderne", 100 PMC pour les anglo-saxons). Les mesures d'activité en carbone-14 sont exprimées en pourcentage par rapport à ce "standard" (qui équivaut à 13,56 dpm ou 0,227 Bq par gramme de C). Le calcul d'âge repose alors sur une simple formule :

$$t = (\ln 100 / A\%) 8266,6 \text{ ans}$$

De fait, les premières “dates carbone-14” ont été calculées sur la base d’une période de 5568 ans, admise à l’époque, ce qui conduisait à une formule légèrement différente. Cette période est encore utilisée, par convention, pour le calcul d’âges notés B.P. (Before Present).

Les corrections qui doivent être apportées aux âges bruts obtenus sur un matériel organique sont essentiellement de trois types :

- 1- Une correction qui tient compte des effets de fractionnement isotopique (biologique ou physico-chimique) que peut subir le carbone dans la nature lors du passage d’un réservoir à un autre, et qui sont susceptibles de modifier le rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, interférant avec la décroissance radioactive. Cette correction est fondée sur la mesure du rapport isotopique stable $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ qui subit des fractionnements analogues et les enregistre de façon pérenne (pas de décroissance radioactive).
- 2- Lorsque le CO_2 assimilé par les organismes vivants transite depuis l’atmosphère par un réservoir intermédiaire, il est possible que ce CO_2 ait le temps de perdre une partie de son activité carbone-14, si son temps de résidence dans le réservoir intermédiaire coupé de l’atmosphère n’est pas négligeable. L’activité initiale réelle des organismes que l’on cherche à dater est alors inférieure à celle de l’atmosphère, ce qui conduit à une surestimation de l’âge. Ce cas est typiquement celui des organismes marins qui fixent le CO_2 dissous dans les océans, plus pauvre en carbone-14 que celui de l’atmosphère. La correction à appliquer varie avec le lieu et la profondeur où vivent ces organismes, et n’est pas toujours facile à déterminer avec précision.
- 3- La correction la plus “universelle” est celle qui tient compte des variations dans le passé de l’activité du CO_2 atmosphérique. Les changements d’origine anthropique (émission de CO_2 pauvre en carbone-14 par l’utilisation des combustibles fossiles, production de carbone-14 dans l’atmosphère sous l’effet des essais d’armes nucléaires) sont trop récents pour affecter de façon conséquente la datation carbone-14. En revanche, il est rapidement apparu des discordances entre la chronologie carbone-14 et celles fournies par d’autres méthodes (datation historique, dendrochronologie, ou plus récemment datation Th/U). C’est que, contrairement à l’hypothèse initialement admise, l’activité du CO_2 atmosphérique a varié de façon très significative au cours des 60 derniers millénaires, conséquence de variations du taux de production et/ou de modifications dans les échanges entre les différents réservoirs terrestres de carbone. La prise en compte de ces variations de l’activité initiale est possible par l’utilisation de courbes, tableaux, ou logiciels de “calibration” qui corrigent les âges carbone-14 par comparaison avec les données issues d’autres méthodes chronologiques, en particulier la dendrochronologie et les datations Th/U sur coraux. Cette calibration des âges carbone-14 est en perpétuelle amélioration, au fur et à mesure de l’acquisition de nouvelles données comparatives.

Datation par le carbone-14 sur des matériaux inorganiques.

Les applications sont en particulier tournées vers la paléoclimatologie (datation de coquilles, de carbonates sédimentaires, de spéléothèmes...) et l’hydrogéologie (datation des eaux souterraines, de traces de paléocirculations...).

Les corrections évoquées pour les matériaux organiques sont également valables pour les matériaux inorganiques. En outre, ces derniers posent un problème supplémentaire important. La datation est effectuée sur les ions bicarbonates (HCO_3^-) dissous (cas des eaux) ou sur des carbonates (CO_3^{2-}) solides qui ont précipité de façon chimique ou biologique à partir de ces bicarbonates dissous. En milieu continental, les ions bicarbonates se forment habituellement par réaction entre le CO_2 dissous dans les eaux de pluies qui s’infiltrent et les minéraux du sous-sol, qui peuvent contenir du carbone (roches carbonatées). Dans la plupart

des cas, il est certain que le CO₂ des eaux d'infiltration possède une activité en carbone-14 identique à celle de l'atmosphère (activité voisine de 100%) et que les roches carbonatées sont assez anciennes pour être dépourvues de carbone-14 (activité : 0%). Cependant, le problème est de d'évaluer les contributions respectives du CO₂ dissous et des minéraux carbonatés dans la formation des ions bicarbonates, puisque ces proportions déterminent l'activité initiale de ces ions. Plusieurs modèles de correction, fondé sur les caractéristiques chimiques des eaux et le rapport des isotopes stables ¹³C/¹²C dans les ions bicarbonates permettent de résoudre ce problème dans la grande majorité des cas.

La méthode de datation par le carbone-14 a profondément évolué depuis son avènement, il y a 55 ans, et continue à progresser. La sophistication croissante des techniques d'analyses et le raffinement des schémas d'interprétation permettent de dater, avec toujours plus de précision, des matériels de plus en plus variés, tout en minimisant les prises d'essai. La plus populaire des méthodes de datation est toujours à la pointe de la recherche.