

*Soldats! Songez que du haut de ces pyramides,
40 siècles vous contemplent.*
Bonaparte, bataille des Pyramides, 1798

Napoléon avait tort avec ses « 40 siècles », mais il ne se trompait que de 400 ans... Du moins en ce qui concerne la pyramide de Khéops, puisque la seule des sept merveilles du monde encore visible a été construite au XXVI^e siècle avant notre ère, il y a plus de 4500 ans. Ainsi, l'estimation de Napoléon était plutôt bonne, si l'on tient compte du fait que l'étude scientifique de l'Égypte ancienne ne commença qu'avec l'arrivée sur les rives du Nil des bataillons de... savants du général Bonaparte.

Depuis, beaucoup d'eau a coulé dans le Nil et une multitude de scientifiques ont travaillé à décrypter la civilisation de l'Égypte ancienne. L'un de leurs principaux efforts consiste à établir une chronologie absolue des règnes pharaoniques. Or, après plus de deux siècles de travail, nombre d'incertitudes demeurent. Les discussions entre égyptologues ont abouti à l'emploi de deux chronologies : la chronologie « haute » et la chronologie « basse ». Leurs divergences sont d'autant plus grandes qu'elles concernent des époques lointaines.

Rappelons que l'histoire égyptienne se divise en trois grandes ères historiques – l'Ancien Empire (qui a débuté vers 2700 avant notre ère), le Moyen Empire (depuis 2050 environ) et le Nouvel Empire (depuis 1550 avant notre ère) –, séparées par des « périodes intermédiaires ». Pour le Nouvel Empire, les divergences entre les chronologies haute et basse sont de l'ordre de dix ans ; pour l'Ancien Empire, elles dépassent le siècle !

C'est pourquoi, sous la direction de Christopher Bronk Ramsey, de l'Université d'Oxford, une équipe de chercheurs israéliens, français, britanniques et autrichiens (nous-mêmes) a travaillé trois ans durant pour réduire ces désaccords en utilisant la datation par le carbone 14. Après avoir présenté cette méthode, nous expliquerons comment nous l'avons appliquée pour clarifier la chronologie égyptienne.

La datation est un problème essentiel pour toutes les sciences du passé. Notamment en préhistoire, où les sources

1. LE TEMPLE DE LA REINE HATCHEPSOUT
a livré les pépins des raisins consommés par ses constructeurs. Ils ont été datés par le carbone 14 pour préciser la durée de son règne.

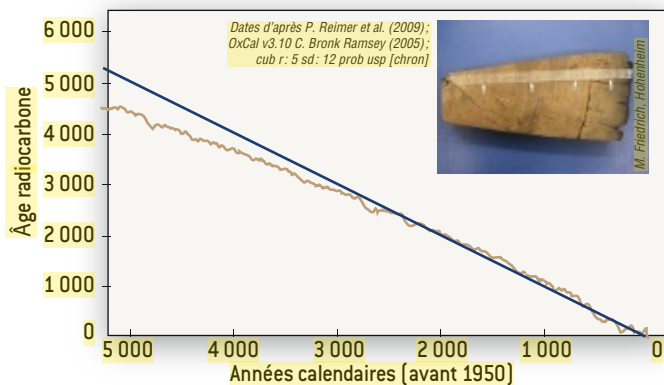
L'ESSENTIEL

✓ Produit en continu dans la stratosphère, le carbone 14 est un isotope radioactif à la base d'une méthode de datation très utile en archéologie.

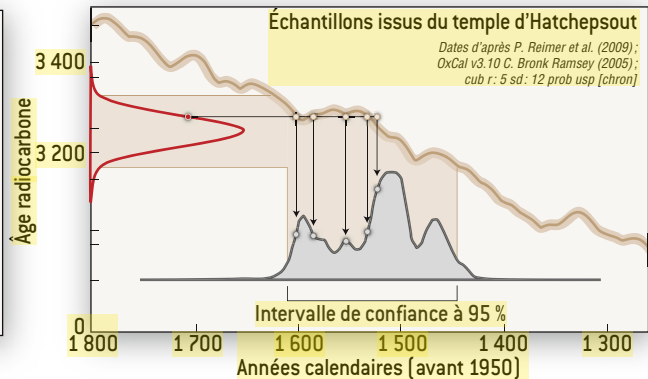
✓ La méthode de datation au carbone 14 est soumise à divers biais dont il faut tenir compte avec soin. Les corrections à appliquer sont résumées par une courbe de calibration, dont la dernière a été élaborée en 2009.

✓ La datation au carbone 14 de 211 échantillons issus des musées vient de préciser la chronologie de l'Égypte ancienne.

© Shutterstock/Lucarelli Temist



2. UNE PROPORTION CONSTANTE DE CARBONE 14 dans l'atmosphère implique un âge radiocarbone variant linéairement en fonction du temps réel (*droite bleue*). Cependant, les variations du champ magnétique terrestre modifient la production de carbone 14 dans l'atmosphère. Les physiciens se sont appuyés sur la datation par les cernes de croissance des arbres, qui permet par exemple de dater un objet en bois (*cartouche*), et d'autres méthodes pour élaborer la courbe de calibration « IntCal09 » (*en brun*), qui permet de corriger les âges calculés par la radiodation.



3. LES PETITES VARIATIONS DE LA COURBE DE CALIBRATION compliquent la datation. Les âges radiocarbone possibles d'un échantillon suivent une loi de probabilité décrite par une gaussienne (*en rouge*). Mais en tenant compte de la courbe de calibration et de ses irrégularités (*en marron*), on trouve que la loi de probabilité (*en gris*) que suivent les dates corrigées est plus étalée et comporte plusieurs sommets. L'intervalle de confiance qui contient l'âge de l'échantillon avec une probabilité de 95,4 pour cent couvre ainsi environ 165 ans.

textuelles sont absentes, on doit restituer les cultures à partir d'artefacts, par exemple lithiques. Après le Paléolithique, les principaux marqueurs temporels préhistoriques sont les tessons de poterie, puisque le style des céramiques s'est renouvelé à chaque remplacement d'une culture par une autre.

Ces datations typologiques ne sont toutefois que relatives, c'est-à-dire qu'elles ne se réfèrent pas à un point déterminé sur l'échelle temporelle. La toute première datation absolue, qui se réfère explicitement à une date de notre calendrier et non à un événement évoqué dans un texte, a été rendue possible par la méthode du radiocarbone mise au point vers 1945 par Willard Libby (1908-1980).

Ce physico-chimiste américain a découvert que les protons issus du rayonnement cosmique produisent des neutrons lorsqu'ils rencontrent les molécules de l'air stratosphérique. Ces neutrons entrent ensuite en collision avec les atomes d'azote de l'air et forment notamment des atomes de carbone 14, un isotope radioactif noté ^{14}C et souvent nommé radiocarbone.

Sur le plan chimique, le radiocarbone se comporte comme les isotopes bien plus fréquents que sont le carbone 12 (l'isotope dominant, ^{12}C) et le carbone 13 (^{13}C). Les réactions avec l'oxygène produisent ainsi des molécules de dioxyde de carbone intégrant cet isotope, $^{14}\text{CO}_2$. Le dioxyde de carbone étant assimilé par photosynthèse, le radiocarbone se retrouve dans la chaîne alimentaire, est intégré aux organismes vivants et retourne dans l'atmosphère *via* la respiration et la décomposition de

la matière organique. Outre ce cycle lié à la vie, un échange de radiocarbone se produit entre l'air et la surface océanique.

Libby supposa d'abord que le transport du carbone 14 dans la biosphère, sa production dans la haute atmosphère et sa désintégration radioactive spontanée concourent à ce que la proportion par rapport au carbone 12 du carbone 14 dans l'air et la biomasse se soit établie au cours du temps à une valeur stable.

Le carbone 14, une horloge naturelle

À la mort d'un organisme vivant, tous ses échanges de carbone avec l'extérieur prennent fin. À cet instant, une horloge naturelle – l'horloge au carbone 14 – se déclenche, car la proportion de carbone 14 dans l'organisme se met à décroître exponentiellement avec le temps selon un rythme connu, par radioactivité. Dans l'hypothèse où la concentration atmosphérique de carbone 14 n'a pas varié au cours du temps, il suffit alors de comparer la proportion de carbone 14 d'un échantillon avec la proportion atmosphérique pour déduire l'âge de l'échantillon, ou plus exactement le temps écoulé depuis que l'organisme correspondant est mort. Tel est le principe de la datation au radiocarbone.

Libby et son équipe ont réalisé leurs premières datations sur des échantillons égyptiens d'âges connus et certains. Cherchant à prouver que l'intensité du rayonnement cosmique était restée égale dans le temps, ils ont procédé en supposant une

concentration atmosphérique constante de carbone 14; ils voulaient par ailleurs établir le principe de l'horloge au carbone 14, c'est-à-dire qu'il existait bien de la matière organique où seule la désintégration par radioactivité, et non les conditions du stockage ou d'autres causes, fait varier la proportion de radiocarbone.

À cet effet, ils employèrent notamment un échantillon de bois provenant du bateau funéraire de Sésostri III, que les archéologues faisaient remonter à 1843 avant notre ère, à 50 ans près. Or la nouvelle méthode donna un âge de 3700 ± 400 ans, soit 1750 ans avant notre ère à 400 ans près. Ce résultat passait pour précis, mais nous savons aujourd'hui que les 800 ans d'incertitude résultent de sources d'erreurs alors inconnues.

En réalité, la proportion de carbone 14 dans l'atmosphère n'est pas constante dans le temps. C'est pourquoi les mesures réalisées après les premiers travaux de Libby sur des échantillons datant de l'Ancien Empire divergeaient de plusieurs centaines d'années des datations historiques. Vers 2500 avant notre ère, le champ magnétique terrestre s'est en effet affaibli, ce qui a laissé davantage de rayons cosmiques pénétrer dans l'atmosphère. La concentration atmosphérique en carbone 14 a augmenté alors, d'où un biais dans l'âge mesuré en laboratoire par la méthode de Libby.

Ce biais faillit discréditer auprès des historiens la méthode de datation inventée par Libby. De son côté, ce dernier mettait en cause les datations historiques... En outre, au début des années 1960, des écarts sont