

Archéologie

L'Égypte ancienne à l'aune du radiocarbone

Eva Maria Wild et Walter Kutschera

Il y a 60 ans, des objets égyptiens ont servi à mettre
au point la méthode de datation au radiocarbone.
Aujourd'hui, épaulée par la spectrométrie de masse
par accélérateur, la radiodotation contribue à résoudre
les énigmes de la chronologie égyptienne.



*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.

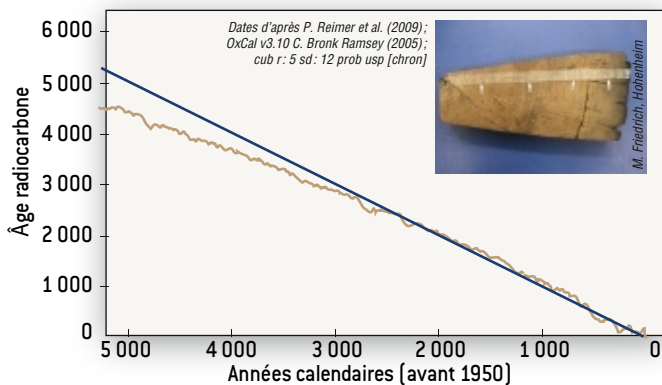
L'ESSENTIEL

✓ 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.

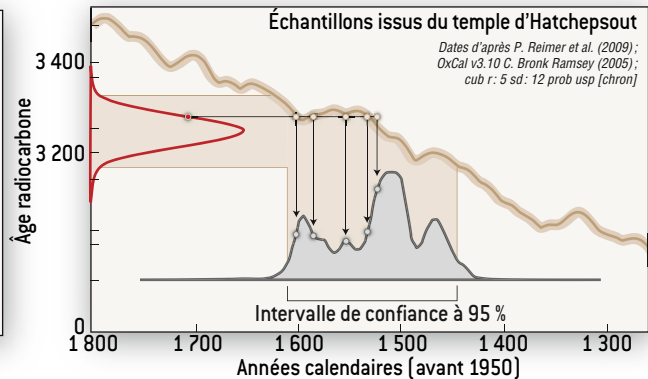
✓ La méthode de datation au carbone 14 est soumise à divers biais dont il faut tenir compte avec soin. Les corrections à appliquer sont résumées par une courbe de calibration, dont la dernière a été élaborée en 2009.

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

© Shutterstock/Lucarelli Temistic



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

apparus entre les datations par le carbone 14 et les âges dendrochronologiques (fondés sur les cernes de croissance des arbres, voir l'encadré ci-dessous). L'idée que la proportion carbone 14/carbone 12 dans l'atmosphère était restée inchangée au cours du temps introduisait manifestement un biais systématique. En réalité, différents facteurs font varier la proportion de carbone 14. C'est pourquoi, depuis les années 1980, on corrige les résultats de la datation au radiocarbone par la dendrochronologie. Le principe est de déterminer la proportion de carbone 14 dans le carbone issu du matériau étudié, puis de trouver un échantillon de bois datable par dendrochronologie et ayant la même teneur en carbone 14.

Dans la pratique, on ne compare pas les contenus en carbone 14 eux-mêmes, mais on détermine un « âge radiocarbone non calibré » de l'échantillon à partir de la mesure de sa proportion de radiocarbone. Pour ce faire, on emploie par convention la valeur de la demi-vie du carbone 14 calculée par

Libby : 5568 ans (la demi-vie est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs présents initialement se sont désintégrés). L'âge non calibré trouvé est ensuite transformé en une année calendaire grâce à une courbe intégrant toutes les corrections de la variation temporelle de la proportion de radiocarbone obtenues par dendrochronologie (voir la figure 2). L'avantage de cette façon de calibrer est que la valeur de la demi-vie du carbone 14, imprécise connue (elle est de 5700 ± 30 ans), n'y joue aucun rôle.

De nombreux biais

Nommée IntCal09, la courbe d'étalonnage utilisée depuis 2009 permet de calibrer des âges jusqu'à environ 50 000 ans. Elle intègre les données issues de la dendrochronologie, qui couvrent les 11 000 dernières années, puis celles provenant des registres à plus longue portée que représentent les concentrations en carbone 14 des coraux

et des carbonates contenus dans les sédiments marins.

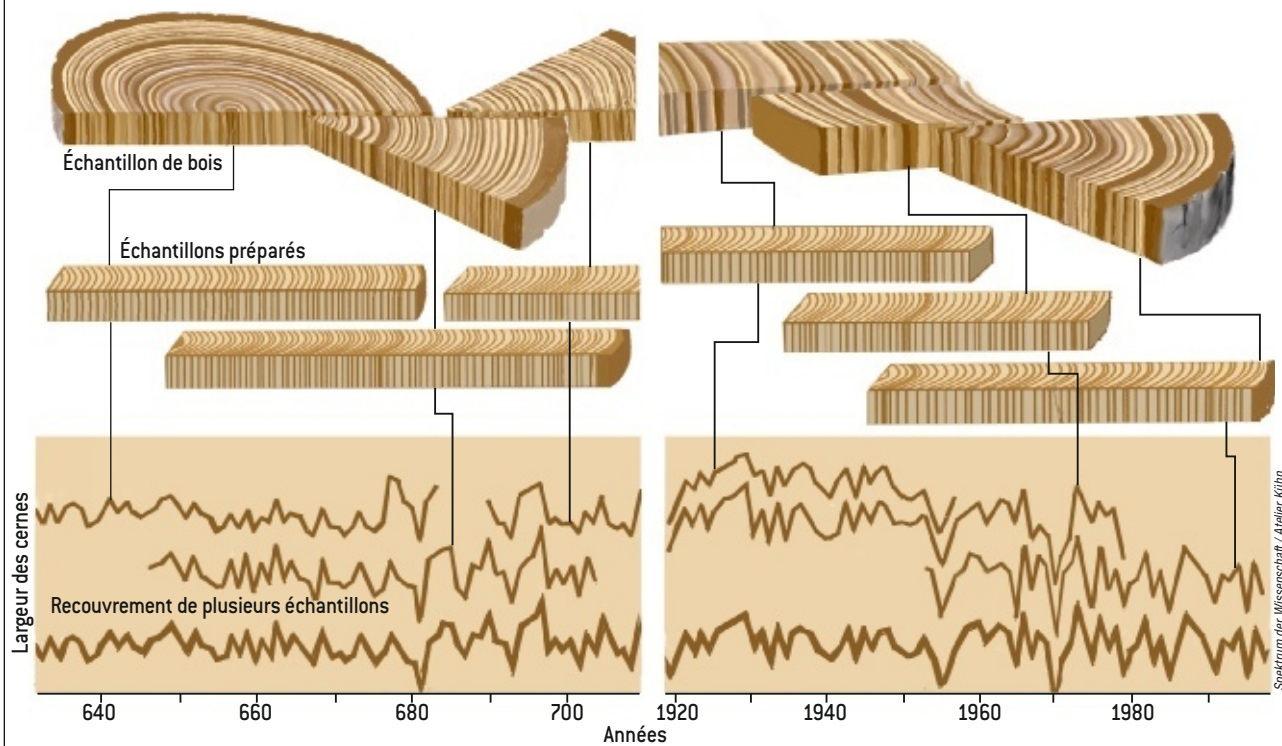
Le magnétisme terrestre n'est en effet pas le seul facteur qui agit sur la concentration atmosphérique de radiocarbone. Parce qu'ils sont de masses différentes, les trois isotopes du carbone ne sont pas ingérés de la même façon par tous les organismes vivants. Plus léger, le carbone 12 est davantage intégré aux plantes par la photosynthèse. C'est pourquoi les valeurs du rapport isotopique $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ varient dans la biosphère, d'où des différences d'âges de quelques centaines d'années entre échantillons de même âge réel...

Par chance, ce problème a une solution fiable. En effet, le carbone 13 est à peu près aussi désavantagé que le carbone 14 par la photosynthèse, de sorte que le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, qu'aucune désintégration ne modifie (le carbone 13 est stable), est resté égal au cours des siècles. Au sein des échantillons issus de la biosphère, la comparaison des rapports

LA DENDROCHRONOLOGIE : L'HORLOGE DES CERNES DE CROISSANCE

Sous les latitudes tempérées, les arbres ne croissent que pendant la période végétative, qui dure du printemps à l'automne. De là viennent les cernes de croissance des arbres. Ils marquent chaque année, et rendent la détermination de l'âge des arbres possible par comptage des cernes depuis le plus ancien, c'est-à-dire le plus intérieur. L'épaisseur des cernes dépend des conditions locales. Ainsi, la plante crée plus de masse pendant les années humides et moins durant les années sèches, de sorte

qu'un motif particulier caractérise chaque série d'années. Ce sont ces motifs qu'exploitent les dendrochronologistes pour dater des événements que l'on peut associer à un échantillon de bois. En Europe, la dendrochronologie par les chênes et les hêtres remonte de 12 500 ans dans le temps, soit jusqu'à la fin de la dernière glaciation. Comme la dendrochronologie fixe la date d'un événement pouvant être associé à un échantillon de bois à une année près, c'est la plus précise des méthodes de datation.



isotopiques $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ et $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ élimine ainsi le biais photosynthétique.

À ce point, on pourrait croire avoir pris en compte tous les biais possibles. Il n'en est rien. Par exemple, le carbone 14 se révèle sous-représenté dans la couche superficielle des océans, par rapport à l'air. Ce phénomène est dû à la lenteur avec laquelle les eaux océaniques se mélangent à mesure que des courants ascendants amènent l'«eau ancienne» du fond en surface, ce qui a pour effet d'y diluer le carbone 14. L'âge radiocarbone des organismes se nourrissant de la mer dépasse pour cette raison de quelque 400 ans leur âge réel, ce qui est pris en compte dans la partie de la courbe d'étalonnage établie à partir d'échantillons marins.

Cet effet aquatique s'étend aux organismes terrestres. Ainsi, on constate qu'après calibration l'âge des échantillons provenant de l'hémisphère Sud, où les mers occupent une surface bien plus importante qu'au Nord, semble excéder l'âge réel de quelque 40 ans... Au Sud,

les échanges entre l'atmosphère et la surface océanique introduisent davantage de carbone 14 dans l'air.

Autre aspect : la courbe de calibration est entachée de petites fluctuations (voir les figures 2 et 3). Bien qu'elles ne soient pas encore comprises dans le détail, on pense que ces petites variations sont dues pour l'essentiel aux changements de l'activité solaire. Les méthodes de mesure d'aujourd'hui permettent en principe d'obtenir un âge précis à des dizaines d'années près, mais ces variations dégradent cette précision à quelques centaines d'années.

Statistiques de Bayes à la rescousse

Par ailleurs, les incertitudes statistiques limitent la précision des mesures physiques en répartissant les résultats sur un certain intervalle autour d'une valeur moyenne. En général, cette répartition suit une courbe en cloche que l'on nomme une gaussienne. Une datation de $X \pm 30$ ans signifie donc

que le sommet de cette courbe est en X tandis que ses points d'inflexion sont distants de 30 ans de chaque côté. Nommé déviation standard, l'intervalle allant d'un point d'inflexion à l'autre (± 30 ans) couvre 68,2 pour cent des résultats de mesure ; il en couvre 95,4 pour cent si on le double (± 60 ans). Ces pourcentages donnent en fait les probabilités que l'âge vrai se trouve à l'intérieur d'un intervalle dit «de confiance», dont la longueur est exprimée en multiples de la déviation standard. Si la relation entre les datations non calibrées et les âges vrais était linéaire, on obtiendrait après calibration une autre courbe de Gauss, mais les petites fluctuations (présomées) solaires compliquent la situation.

Illustrons cela par un exemple tiré de notre pratique. Nous avons daté certains pépins de raisins consommés lors de la construction du temple d'Hatshepsout (voir la figure 1). D'après les chronologies historiques, ce temple aurait été érigé vers 1470 avant notre ère. L'âge radiocarbone non calibré des pépins s'est révélé

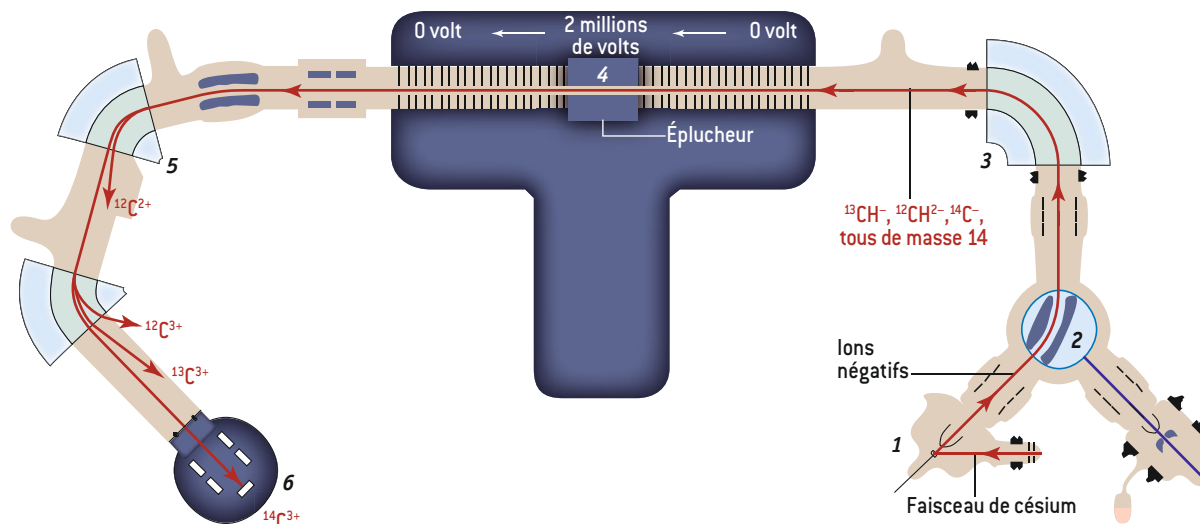
LE PRINCIPE DE LA SPECTROMÉTRIE DE MASSE PAR ACCÉLÉRATEUR

L'âge radiocarbone se détermine à partir de la valeur du rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$, que la valeur du rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ contribue à corriger. On utilise pour mesurer ces rapports isotopiques la spectrométrie de masse. Toutefois, les spectromètres de masse usuels ne conviennent pas, car les ions de carbone 14 y sont noyés dans un flux d'ions d'azote 14, provenant de l'air, et d'autres ions de carbone moléculaire tels $^{13}\text{CH}^-$, $^{12}\text{CH}_2^-$,...

C'est pourquoi on emploie plutôt un spectromètre de masse par accélérateur. Après sa transformation chimique en graphite (1), l'échantillon y est pulvérisé par un faisceau de césium, qui en éjecte des ions négatifs. L'hydrogène étant partout, certains ions sont du carbone moléculaire, d'ailleurs susceptible de se former aussi plus loin. Le faisceau est ensuite pré-accélééré (2), puis défléchi par un premier aimant (3), qui permet de sélectionner tous les ions de masse 14 avant leur introduc-

tion dans un accélérateur électrostatique, où la tension électrique croît jusqu'à plusieurs millions de volts au centre, puis décroît jusqu'à zéro. La collision au centre de l'accélérateur des ions négatifs avec un dispositif nommé éplucheur contenant de l'argon gazeux sous faible pression (4) casse les ions $^{13}\text{CH}^-$, $^{12}\text{CH}_2^-$ et arrache aux atomes de carbone plusieurs électrons, de sorte qu'ils deviennent positifs (C^{2+} , C^{3+} , C^{4+} ,...). Tous les ions positifs ainsi produits sont alors accélérés dans la seconde partie du tandem par la tension électrique décroissante, puis triés par un deuxième aimant et par un aimant d'analyse final (5), qui permet de mesurer les flux de $^{12}\text{C}^{3+}$ et $^{13}\text{C}^{3+}$ et de compter le nombre de $^{14}\text{C}^{3+}$ par unité de temps (6).

Grâce aux spectromètres de masse par accélérateur, on parvient à mesurer des rapports isotopiques de l'ordre de 10^{-15} (10^{-9} pour les spectromètres usuels) à partir d'échantillons archéologiques minuscules.



Pour la Science

être de 3249 ± 32 ans BP. Rappelons que selon la convention usuelle en datation, BP (*Before Present*, avant le présent) indique que l'on compte les années avant 1950. Après calibration, nous avons obtenu une courbe qui, au lieu de la gaussienne initiale, comportait cinq maximums ! L'intervalle de confiance à deux déviations standards (probabilité de 95,4 pour cent que l'âge vrai soit dans cet intervalle) allait pour cette raison de 1611 à 1446 avant notre ère, soit pas moins de 165 années (voir la figure 3). On voit qu'une datation unique ne saurait suffire pour confirmer une date d'historien.

La quasi-certitude surgit de la datation de plusieurs échantillons, mais à condition de savoir les ordonner dans le temps. C'est le mathématicien anglais Thomas Bayes (1701-1761) qui posa les bases de la méthode. Si l'on dispose d'une série de strates archéologiques non perturbées *a*, *b*, *c*, alors un échantillon provenant de la couche inférieure *a* doit être plus vieux qu'un échantillon issu de *b*, lequel sera plus ancien qu'un échantillon venant de *c*. La méthode statistique de Bayes permet alors de déduire de l'ordre de leurs âges et de leurs âges radiocarbone une estimation beaucoup plus précise de l'âge vrai de l'échantillon à dater.

Dans la pratique, on ne peut prélever sur les vestiges archéologiques – présents par milliers dans les musées – qu'une minuscule quantité de matière. À l'époque de Libby, cette contrainte posait de sérieux problèmes aux chercheurs, car ils dataient à l'aide d'un détecteur mesurant la radioactivité. La méthode est imprécise, car moins d'un milliardième des quelque 60 milliards d'atomes de carbone 14 présents dans un gramme de carbone de matière vivante se désintègre chaque minute. En pratique, on constate qu'un tel échantillon éjecte environ 13 électrons en moyenne par minute. Or l'obtention d'une précision de 0,3 pour cent exigerait la détection de 100 000 désintégrations ; cela ne peut être fait en un temps raisonnable que si plusieurs grammes d'échantillon sont disponibles...

Le progrès décisif en datation au radiocarbone est venu de la spectrométrie de masse par accélérateur ou SMA, une technique permettant de compter directement le nombre d'atomes de carbone 14 au sein de l'échantillon (voir l'encadré page précédente). Grâce à la SMA, la masse d'échantillon nécessaire ne se compte plus qu'en milligrammes, et le temps de mesure est raccourci !

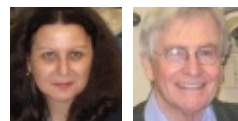
Fort de ces possibilités, Ch. Bronk Ramsey a rassemblé autour de lui une équipe internationale de chercheurs (dont les auteurs de ces lignes) pour préciser la chronologie égyptienne. Afin d'éviter le biais marin, nous avons choisi dans les musées européens et américains des échantillons provenant tous de plantes terrestres. Nous avons aussi exclu tous ceux qui étaient passés par les fleuves et les lacs d'eau douce, car la dissolution de carbonates pauvres en carbone 14 y introduit aussi un biais. De même, le bois et les charbons de bois ont dû être exclus : ils auraient pu provenir de l'intérieur d'un tronc, alors que l'événement archéologique à dater ne s'est produit que bien après l'abattage de l'arbre. Les os non plus ne pouvaient être employés, car les organismes dont ils provenaient ont pu consommer des nourritures de la mer, ce qui réintroduirait le biais marin.

Un travail de fourmi pour obtenir des datations fiables

Malgré toutes ces restrictions, nous avons pu rassembler 211 échantillons égyptiens de l'Ancien Empire, du Moyen Empire et du Nouvel Empire. Il s'agissait de fruits, de grains, de restes de plantes à courte durée de vie (fleurs par exemple), de papyrus, de tissus, etc. Tous pouvaient être clairement attribués à une période. Ils ont été datés une première fois à Oxford, puis la mesure a été refaite indépendamment dans deux laboratoires pratiquant la SMA : le Laboratoire de mesure du carbone 14 (LMC14) du CEA à Saclay, en France (avec Anita Quiles et Christophe Moreau), et le nôtre à Vienne, en Autriche. Certains d'entre eux ont été plusieurs fois analysés après un nettoyage chimique soigneux pour exclure toute contamination. Résultat : sur les 211 datations réalisées, seulement 23 ont dû être ignorées à cause de l'incohérence des différentes mesures, de sorte que nous avons pu produire 188 datations fiables.

Nous avons ensuite pris en compte les contextes de chaque date, tels que l'ordre des règnes et leurs durées, afin d'élaborer par la statistique de Bayes un modèle chronologique. Un léger biais tout juste découvert par l'équipe d'Oxford a même été pris en compte. À partir d'échantillons d'âges connus des XVIII^e et XIX^e siècles, nos collègues anglais ont en effet découvert que la latitude de l'Égypte induit un décalage

LES AUTEURS



Eva Maria WILD et Walter KUTSCHERA, professeurs de physique à l'Université de Vienne, en Autriche, sont spécialistes en datation par spectrométrie de masse par accélérateur.

✓ BIBLIOGRAPHIE

Ch. Bronk Ramsey *et al.*, Radiocarbon-based chronology for Dynastic Egypt, *Science*, vol. 328, pp. 1554-1557, 2010.

M. W. Dee *et al.*, Investigating the likelihood of a reservoir offset in the radiocarbon record for ancient Egypt, *Journal of Archaeological Science*, vol. 37, pp. 687-693, 2010.

E. Hornung *et al.*, Ancient Egyptian Chronology, *Handbook of Oriental Studies*, Brill Academic Publishers, vol. 1, n° 83, Leyde, 2006.

C. Laj, A. Mazaud et J.-C. Duplessy, La datation par le carbone 14, *Dossier Pour la Science* n°42, janvier-mars 2004.

I. Shaw, *The Oxford History of Ancient Egypt*, Oxford University Press, 2003.

K. Spence, Ancient Egyptian chronology and the astronomical orientation of pyramids, *Nature*, vol. 408, pp. 320-324, 2000.

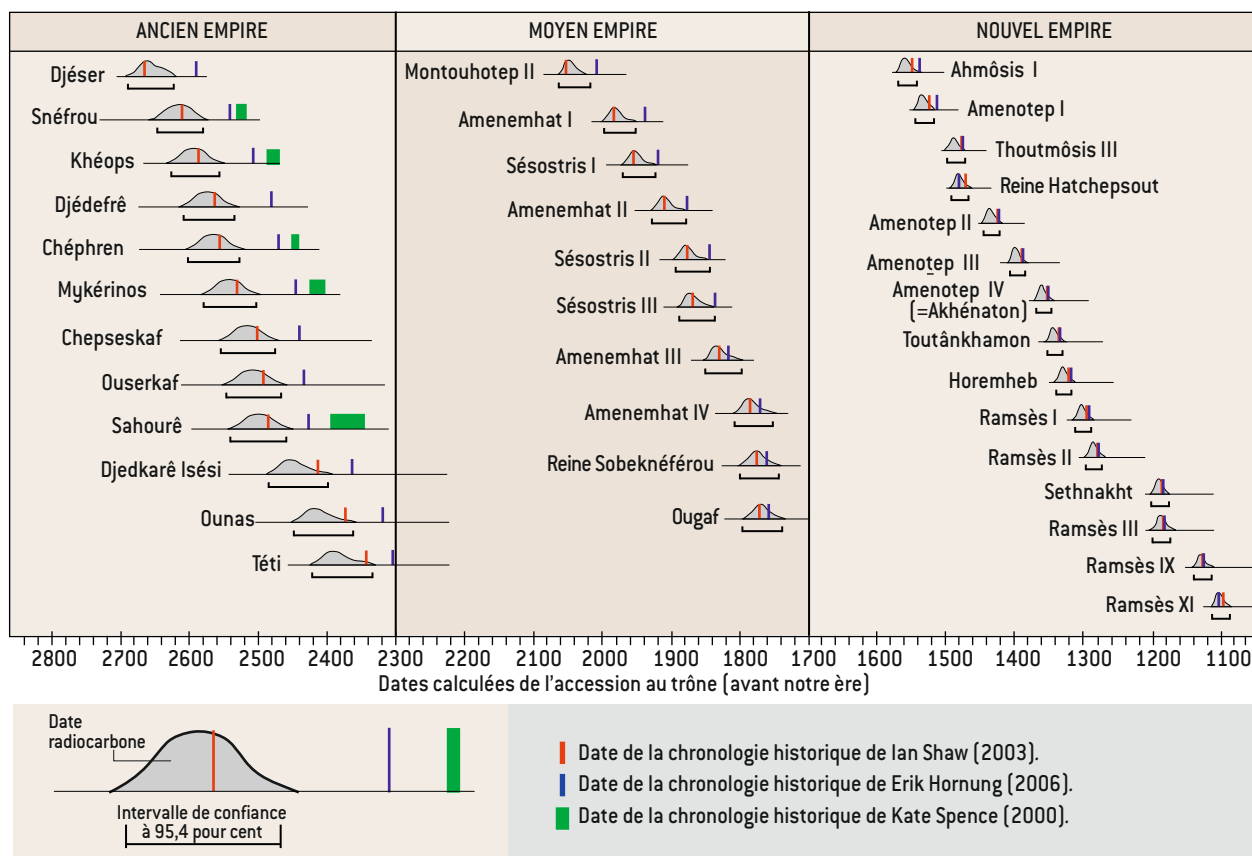
S. Bowman, *Interpreting the Past - Radiocarbon Dating*, British Museum Press, 1990.

J. R. Arnold et W. F. Libby, Age determinations by radiocarbon content : checks with samples of known age, *Science*, vol. 110, pp. 678-680, 1949.

LES DATES ÉGYPTIENNES CERTIFIÉES AU CARBONE 14

Plusieurs équipes de chercheurs se sont associées pour asseoir la chronologie égyptienne sur des datations au radiocarbone aussi fiables que possible compte tenu des différents biais. Ces datations, ou plutôt les lois de probabilité des dates de l'événement, sont comparées aux

prédictions faites par les historiens (*traits rouges, verts et bleus*). Les intervalles indiqués sous les courbes de probabilité sont les intervalles de confiance à 95 pour cent, c'est-à-dire que la date réelle de l'événement est comprise dans cet intervalle avec une probabilité de 95 pour cent.



Spektrum der Wissenschaft/Magazin d'après Ch. Bronk Ramsey et al., Science, vol. 328, 2010

de 19 ± 5 ans des âges radiocarbone. La raison en est simple : la concentration en radiocarbone de la troposphère (la couche inférieure de l'atmosphère) varie d'environ quatre millièmes entre l'été et l'hiver par le jeu de ses échanges avec la stratosphère (la couche atmosphérique située au-dessus). C'est pourquoi les plantes des latitudes tempérées, qui poussent surtout au printemps, incorporent moins de radiocarbone que les plantes d'Égypte, qui poussent surtout pendant les mois d'hiver. L'âge radiocarbone des plantes égyptiennes en est légèrement accru. La correction calculée par nos collègues britanniques est fondée sur l'hypothèse qu'avant la construction en 1902 du premier barrage d'Assouan, l'Égypte a connu des conditions climatiques égales pendant très longtemps.

Le modèle chronologique que nous avons finalement obtenu est d'une précision inédite en égyptologie. En ce qui concerne le Nouvel Empire, les dates de

règne ont pu être précisées à 24 ans près, et il s'avère que c'est la chronologie haute – qui fait commencer les règnes environ dix ans plus tôt – qui coïncide le mieux avec nos datations. Pour l'Ancien Empire et le Moyen Empire, beaucoup moins d'échantillons étaient disponibles, mais nos résultats sont assez précis pour constater un meilleur accord avec la chronologie haute. Aucune affirmation certaine ne peut être faite dans le cas du Moyen Empire, mais la chronologie haute semble là aussi mieux en accord avec les datations.

Accords et désaccords

Il est remarquable que la méthode du radiocarbone contredise si peu les dates des historiens, qu'elle ne fait que corriger de façon minime. *A priori*, nous ne pouvions nous y attendre : il est si souvent arrivé dans le passé que les datations contredisent les chronologies historiques...

À considérer toutes les sources d'erreur que nous avons dû identifier, il se peut que les différences constatées proviennent d'une mauvaise prise en compte de l'un des biais possibles. La date radiocarbone d'un échantillon de bois indique par exemple la date d'abattage de l'arbre dont il provient. Or un bois peut avoir été utilisé et réutilisé des dizaines d'années ou des siècles avant de finir dans une couche archéologique... Autre possibilité : celle qu'une source historique ne soit pas aussi fiable qu'elle en a l'air...

Tell el Dab'a, dans le delta du Nil, illustre-t-il les effets d'un biais ignoré ? Sur ce site occupé depuis le milieu du Moyen Empire, les datations physiques et celles des historiens divergent de 100 à 150 ans... et les physiciens sont aussi sûrs d'eux-mêmes que les historiens... Gageons que la coopération croissante entre ces deux genres de scientifiques résoudra bientôt cette énigme. ■



GMF

C'EST RASSURANT DE POUVOIR COMPTER
SUR UNE **ÉPARGNE SOLIDE
ET PERFORMANTE.**



ÉPARGNE
3,90%*
TAUX SERVI EN 2010

À LA GMF,
VOUS CONSTRUISEZ
VOTRE AVENIR
EN TOUTE SÉRÉNITÉ !

Rendez-vous sur www.gmf.fr

ou appelez le  **N° Vert 0 800 88 11 62**

APPEL GRATUIT DEPUIS UN POSTE FIXE



Assurément Humain

*3,90% - Taux net servi en 2010, frais de gestion déduits et avant prélèvements sociaux pour les contrats d'assurance-vie Altineo, Compte Libre Croissance et les supports réguliers de Multéo et de Certigo. GMF VIE - Société anonyme au capital de 169 787 440 € entièrement versé. Entreprise régie par le Code des assurances. R.C.S. Paris B 315 814 806 - Siège social : 76, rue de Prony - 75857 Paris Cedex 17 - Adresse postale : 10 - 14, avenue Louis Armand - 95127 Ermont Cedex.

Archéologie

Le casse-tête de la chronologie égyptienne





Ouvres humaines, les calendriers changent avec la société. Tandis que l'année de parution du présent magazine désigne le temps écoulé depuis la mort du Christ, d'après les calculs faits vers 525 par un moine nommé Denys le Petit, le calendrier musulman se fonde sur le départ de Mahomet pour Médine. Ainsi, depuis le 26 novembre 2011 du calendrier chrétien, nous sommes dans la 1 433^e année musulmane. Et nous sommes aussi dans la 5 772^e année après la création du monde, d'après le calendrier juif...

Pour leur part, les anciens Égyptiens n'avaient pas de calendrier linéaire démarquant en un certain point temporel. Cela n'empêche pas que nous parvenions à placer dans le temps la construction de la pyramide de Khéops ou les dates du règne de son constructeur. Ces déterminations sont faites par deux types de méthodes : la datation physique, d'une part, et la datation historique, d'autre part.

lors des enterrements royaux sont un autre exemple de sources de données fiables : récemment, elles nous ont permis de fixer à 14 ans la durée du règne du pharaon Horemheb, jusqu'alors très débattue.

De même, les allusions astronomiques, telles que le lever héliaque (juste avant le soleil) de l'étoile Sirius sur l'horizon ou la mention d'une nouvelle lune, peuvent aider. Les astronomes d'aujourd'hui savent les traduire en dates absolues, qui servent ensuite à placer des époques entières dans notre calendrier. Les événements historiques mentionnés à la fois en Égypte et dans les textes d'autres cultures du Proche-Orient permettent aussi de déterminer certaines dates.

Aux époques où l'Égypte était unie, c'est-à-dire pendant l'Ancien, le Moyen, le Nouvel Empire et la Basse Époque qui suivit, nous connaissons presque parfaitement la succession des règnes. Il en va tout autrement pour les périodes dites intermédiaires, qui connurent des boule-

Établir une chronologie fiable pour l'Égypte ancienne est une entreprise de longue haleine. Elle se fonde sur des données historiques nombreuses et variées, que l'on doit aussi confronter aux datations physiques.

Thomas Schneider

L'ESSENTIEL

✓ L'histoire de l'Égypte antique se divise en périodes d'unité politique et des « périodes intermédiaires ».

✓ Les anciens Égyptiens n'avaient pas de calendrier linéaire. Les historiens construisent donc leur chronologie en exploitant des milliers de données éparses.

✓ Ils procèdent en partant d'une date égyptienne sûre du 1^{er} millénaire avant notre ère, puis remontent le temps. Sur ce chemin, les principaux obstacles qu'ils rencontrent se trouvent dans les périodes intermédiaires.

Les datations physiques, tout particulièrement la datation par le carbone 14, la plus utilisée d'entre elles, permettent par exemple d'affirmer qu'avec une probabilité de 95 pour cent, le règne de Khéops – le constructeur de la pyramide du même nom – se situe entre 2640 et 2560 avant notre ère (dans la suite, on omettra la mention « avant notre ère », qui sera sous-entendue pour toutes les dates indiquées).

Des datations peuvent aussi être obtenues en analysant scrupuleusement des sources écrites. Depuis plus de 200 ans, cette approche est à l'origine de toute une tradition, dans laquelle se sont engagées des générations de chercheurs. Les anciens Égyptiens nous ont en effet livré des milliers de données temporelles, que les égyptologues exploitent pour ordonner la succession des règnes. Il s'agira par exemple d'inscriptions mentionnant le règne d'un pharaon ou l'une de ses campagnes militaires. Les amphores de vin que l'on apportait dans la vallée des Rois

versements sociaux et des luttes entre rois régionaux. Les documents relatifs à ces périodes manquent en effet, peut-être à cause du chaos dynastique ambiant. Nos sources les plus importantes pour ces périodes sont les listes de rois de l'administration égyptienne, qui fixaient les noms des souverains recevant un culte dans les temples.

Hérodote (482-420 avant notre ère) raconte dans son deuxième livre une visite, sans doute fictive, qu'il aurait faite en Égypte vers 450. Il y livre une preuve de l'âge de la civilisation égyptienne, pour lui proprement incroyable : *Après ce roi*

1. LA LISTE ROYALE DU TEMPLE FUNÉRAIRE de Séthi I^{er}, pharaon qui accéda au trône vers 1300, comporte 75 ancêtres. Bien qu'elle omette certains rois, elle constitue une source importante pour les chercheurs travaillant à établir la chronologie historique de l'Égypte. La table reproduite ci-contre en est une copie fragmentaire, qui provient du temple funéraire de Ramsès II. Elle est conservée au *British Museum*.