

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 !

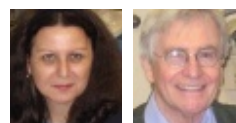
Fort de ces possibilités, Ch. Bronk Ramsey a rassemblé autour de lui une équipe internationale de chercheurs (dont les auteurs de ces lignes) pour préciser la chronologie égyptienne. Afin d'éviter le biais marin, nous avons choisi dans les musées européens et américains des échantillons provenant tous 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.

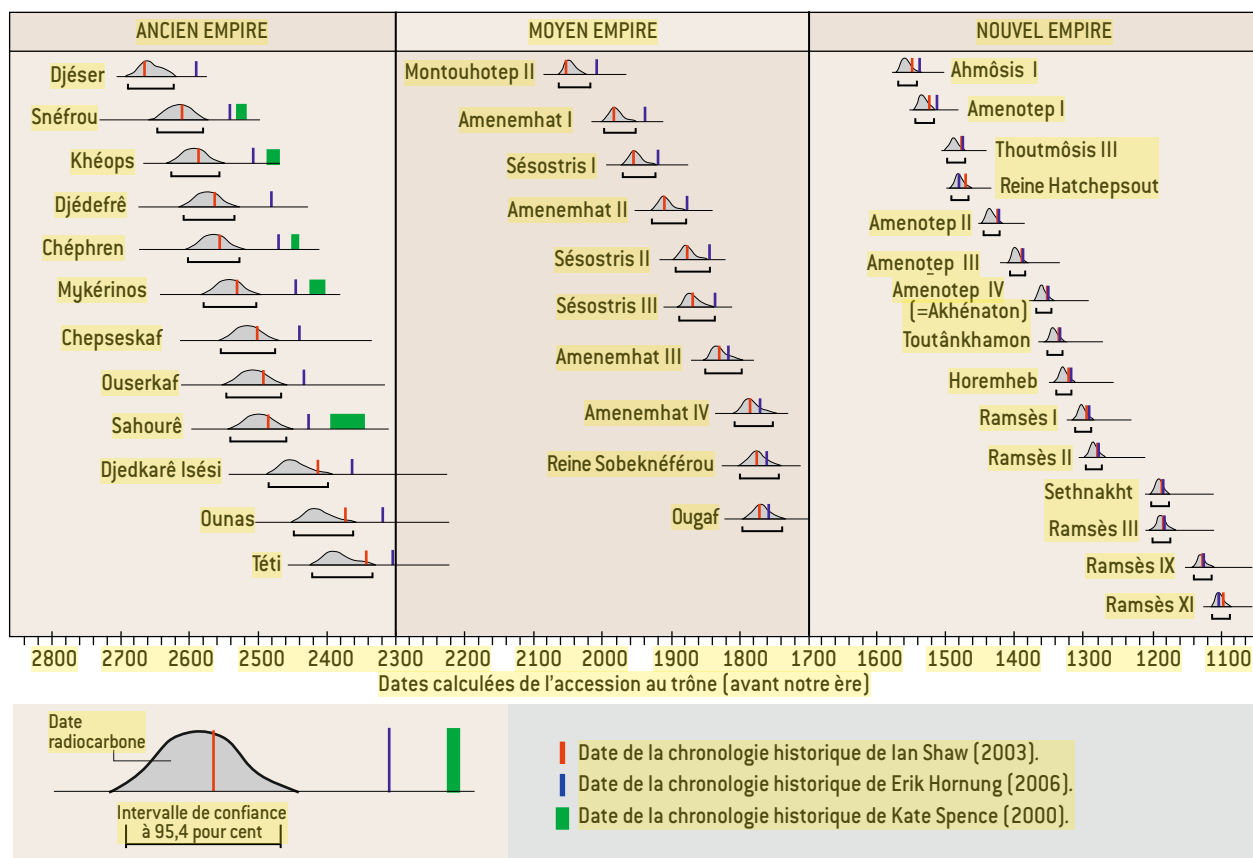
S. Bowman, *Interpreting the Past - Radiocarbon Dating*, British Museum Press, 1990.

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.



Spectrum 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.