



# L'âge du Berceau de l'humanité

Il ne suffit pas de trouver des hominidés fossiles : encore faut-il savoir quel âge ils ont. Heureusement, les méthodes de datation fondées sur la radioactivité ne cessent aujourd'hui de s'améliorer.

## Vincent Balter

est chargé de recherche au CNRS. Il travaille au laboratoire de sciences de la Terre de l'École normale supérieure de Lyon.

Vincent.Balter  
@ens-lyon.fr

**K**romdraai, Sterkfontein, Swartkrans : disséminés dans une petite vallée de la région du Gauteng, ces sites sud-africains forment, avec d'autres, ce que les autorités locales ont officiellement baptisé le «Berceau de l'humanité» [1]. L'Unesco a même reconnu cette appellation en inscrivant la zone sur la liste du patrimoine mondial. Depuis la découverte initiale de l'«enfant de Taung», premier australopithèque reconnu par Raymond Dart en 1924 (lire « La grande tribu des australopithèques », p. 28), plus d'un millier de restes d'hominidés, des australopithèques, des paranthropes et des représentants du genre *Homo*, y ont été inventoriés. Outre l'importance historique des lieux dans la reconnaissance d'une origine africaine des hominidés, ces fossiles constituent une documentation exceptionnelle sur ces différentes espèces. En particulier, on a décou-

vert à Sterkfontein plusieurs moulages naturels de l'endocrâne d'hominidés, qui permettent de discuter de leurs capacités cognitives. Dans le même site, le premier squelette complet d'australopithèque est actuellement en cours de dégagement.

## Mission impossible

À côté de ces nombreux fossiles, différents vestiges archéologiques, uniques pour les périodes du Pliocène\* et du Pléistocène\*, ont aussi été préservés. Ainsi, à Swartkrans, la découverte d'os brûlés atteste pour la première fois de l'utilisation du feu par les hominidés dès 1,5 million d'années. Les plus anciens outils en os, qui ont à peu près la même ancienneté, ont été découverts sur le même site et à Sterkfontein.

La richesse de ces sites rend d'autant plus paradoxal le fait que, jusqu'à aujourd'hui, aucune chronologie absolue n'en a été proposée. Au contraire, les débats sur leurs data-

tions font rage. Milford Wolpoff, de l'université du Michigan, avait bien résumé la situation en 1996, en intitulant un chapitre de l'un de ses livres : «Mission impossible : dater les sites sud-africains» [2]. Cela ne s'est pas amélioré depuis. Ainsi, en 2003, les *Australopithecus africanus* de Sterkfontein, que l'on pensait âgés d'environ 3 millions d'années, ont été datés de 4 millions d'années [3], avant d'être rajeunis à 2 millions d'années en 2006 par une autre équipe [4]. Comment expliquer de telles divergences ? Et pourrait-on déterminer une date précise et fiable ? Nos résultats récents obtenus sur des fossiles de Swartkrans laissent espérer que oui.

Tous les sites dont nous venons de parler sont des grottes. Creusées dans le karst par les eaux d'infiltration, dès qu'elles ont été ouvertes sur l'extérieur elles ont constitué des pièges où se sont accumulés sédiments et restes animaux. Mais ceux-ci ont



**CE SPECTROMÈTRE DE MASSE, installé à l'École normale supérieure de Lyon, est utilisé pour le dosage des éléments radioactifs ou issus de la décomposition de ceux-ci. Les quantités mesurées dans les fossiles permettent de calculer leur âge.**

aussi été recouverts de morceaux de plafond effondrés, et de planchers stalagmitiques [fig. 1]. En outre, les modifications des régimes hydrographiques à différentes époques ont provoqué des creusements. Tant et si bien qu'il ne subsiste aujourd'hui aucune cohérence stratigraphique dans le remplissage sédimentaire de ces grottes, ce qui complique singulièrement l'établissement de chronologies même relatives. Pour dater les niveaux stratigraphiques que l'on parvient néanmoins à identifier, les paléontologues ont depuis longtemps eu recours à la biostratigraphie. En supposant que les animaux fossiles (principalement les ongulés) retrouvés dans un niveau sédimentaire ont le même âge que leurs congénères est-africains qui sont, eux, précisément datés, on

détermine des intervalles de temps pour l'âge du niveau. Le recouplement des résultats à partir de plusieurs ongulés permet de connaître avec une assez bonne précision les périodes de temps pendant lesquelles se sont accumulés les fossiles.

### Champ magnétique

Dans certains cas, on réussit à affiner ces datations à l'aide de la magnétostratigraphie. Celle-ci repose sur le fait que, lors de la formation des concrétions calcaires, les minéraux qui contiennent du fer s'orientent, par aimantation, dans la direction du champ magnétique terrestre. Or, la polarité de ce dernier s'est inversée au cours du temps avec une fréquence variable (le pôle magnétique qui attire aujourd'hui les boussoles vers le nord, les attirait vers

le sud pendant certaines périodes). Comme l'âge des inversions magnétiques est assez bien connu, on recherche dans des échantillons de concrétions enfermées dans le remplissage sédimentaire une petite séquence qui en contient plusieurs, dont on tente ensuite de déduire l'âge par comparaison avec un référentiel correctement daté. La biostratigraphie et la magnétostratigraphie ne sont toutefois que des méthodes de datation relatives : elles ne permettent de connaître l'âge de fossiles que par des comparaisons avec d'autres régions, et au prix de nombreuses hypothèses. Les géologues ont donc naturellement tenté d'utiliser des méthodes radiochronologiques qui, elles, fournissent des datations absolues. Dans le rift est-africain, où l'on trouve de nombreux volcans, ce type de méthode est appliqué depuis longtemps pour dater précisément la formation des couches de ▶

\* Le **Pliocène** est une période géologique qui s'étend environ de 5,3 à 2,5 millions d'années, le **Pléistocène** environ de 1,8 million d'années à 11800 ans.



▷ cendres volcaniques qui sont intercalées avec les sédiments dans les gisements contenant des fossiles [1]. Mais, en Afrique du Sud, il n'y a pas de volcans, donc pas de cendres. Les méthodes radiochronologiques que l'on peut utiliser pour dater directement les sédiments ou les fossiles eux-mêmes sont alors plus complexes, et elles n'ont été mises en œuvre que très récemment. L'âge de 4 millions d'années donné pour l'en-

fouissement des niveaux inférieurs de Sterkfontein a ainsi été obtenu en 2003 à l'aide de la décroissance radioactive de l'aluminium 26 et du béryllium 10 dans des grains de quartz (c'est à partir d'une méthode assez proche que viennent d'être datés des sédiments du Tchad). En 2006, c'est l'utilisation de la décroissance de l'uranium en plomb dans les planchers stalagmitiques qui a indiqué l'âge de 2 millions d'années.

Enfin, avec mes collègues, nous venons de publier une série d'âges uranium/plomb allant de 1 à 2 millions d'années, mais, cette fois-ci, à partir d'email dentaire d'ongulés fossiles provenant de Swartkrans [5]. Quel crédit apporter à tous ces résultats ? Tout d'abord, ils n'indiquent pas tous l'ancienneté du même type d'événement. Un âge calculé par radiochronologie indique en principe le moment où une certaine quan-

## UN ÉQUILIBRE SÉCULAIRE

Les principes de décroissance radioactive obéissent à des lois exponentielles de la forme  $P_t = P_0 e^{-\lambda t}$ , où  $P_t$  est le nombre d'isotopes\* « pères » restants d'un stock initial d'isotopes  $P_0$ , à un instant  $t$  (ci-dessous, en bleu). Le nombre d'isotopes « fils » à un instant  $t$  est  $F_t = P_0 - P_t = P_0(1 - e^{-\lambda t})$  (en vert).  $\lambda$  est la constante de désintégration, caractéristique de chaque système radioactif : elle est égale à  $(\ln 2)/T_{1/2}$ ,  $T_{1/2}$  étant la demi-vie, soit la durée nécessaire pour que la quantité de l'iso-

tope « père » diminue de moitié.

Dans la plupart des cas, la formation d'un isotope « fils » stable à partir d'un isotope « père » radioactif passe par la formation d'isotopes « fils »

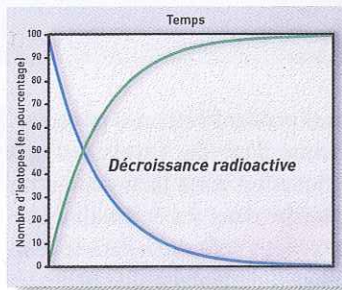
radioactifs intermédiaires : on parle de chaîne de décroissance radioactive. Ainsi, l'uranium 238 se désintègre en uranium 234 avec une demi-vie de 4,5 milliards d'années. L'uranium 234 se désintègre ensuite en thorium 230 avec une demi-vie d'environ 250 000 ans. Enfin, le plomb 206, stable, se forme à partir du thorium 230 (demi-vie de 75 300 ans).

Dans le graphique (ci-contre), la quantité d'atomes de thorium 230 augmente jusqu'à un certain seuil, puis diminue parallèlement à la décroissance de l'uranium 234. Cet exemple illustre la situation d'équilibre séculaire : la décroissance de l'isotope « fils » est uniquement liée à celle de l'isotope « père » (et proportionnelle). Ce qui sort du système (décroissance du thorium 230) est égal à ce qui y entre (décroissance de l'uranium 238). Pour bien comprendre la notion d'équilibre séculaire, imaginons que la chaîne de décroissance uranium 238-thorium 230 soit rompue,

c'est-à-dire que le système s'ouvre. Deux situations peuvent en être à l'origine. Cas A : du thorium 230 est préférentiellement exclu du système. Le thorium 230 restant est comme « inondé » par la décroissance de l'uranium 238, et son taux de décroissance augmente alors jusqu'à ce qu'il corresponde à celui de l'uranium 238. L'équilibre séculaire initial est de nouveau rejoint. Cas B : de l'uranium 238 est préférentiellement exclu du système. Puisqu'il n'y a plus de source radioactive, le taux de décroissance de thorium 230 diminue pour finalement correspondre à celui de l'uranium 238. L'équilibre séculaire atteint est alors différent de l'équilibre séculaire initial.

L'activité étant définie par le produit de la constante de désintégration et du nombre d'atome, on dit alors qu'à l'équilibre séculaire les activités des isotopes « pères » et « fils » sont égales, ou bien encore que leur rapport vaut 1. Cette hypothèse est vérifiée en ce qui concerne l'email dentaire des fossiles de Swartkrans [1]. À Sterkfontein, ce sont les rapports d'activité entre l'uranium 234 et l'uranium 238 des concrétions calcaires qui sont égaux à 1.

[1] D. Curnoe et al.; *J. Hum. Evol.*, 40, 379, 2001.



\* Les **isotopes** d'un élément chimique contiennent des nombres de neutrons différents dans leurs noyaux. Ils sont **radiogéniques** quand ils ont été produits par la décroissance radioactive d'un élément plus lourd. Ils sont **cosmogéniques** quand ils résultent de l'action de rayons cosmiques sur d'autres éléments.

\* L'**apatite** est un phosphate de calcium qui constitue la phase minérale des os et des dents.

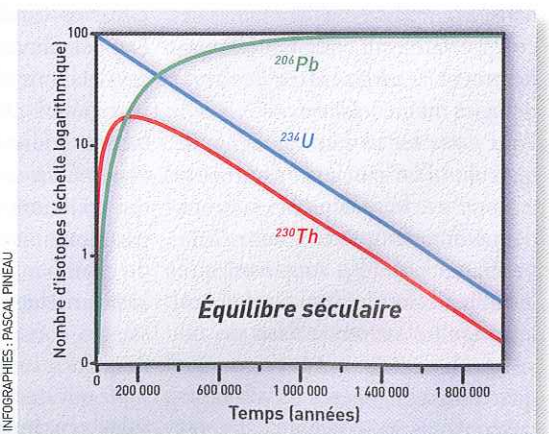
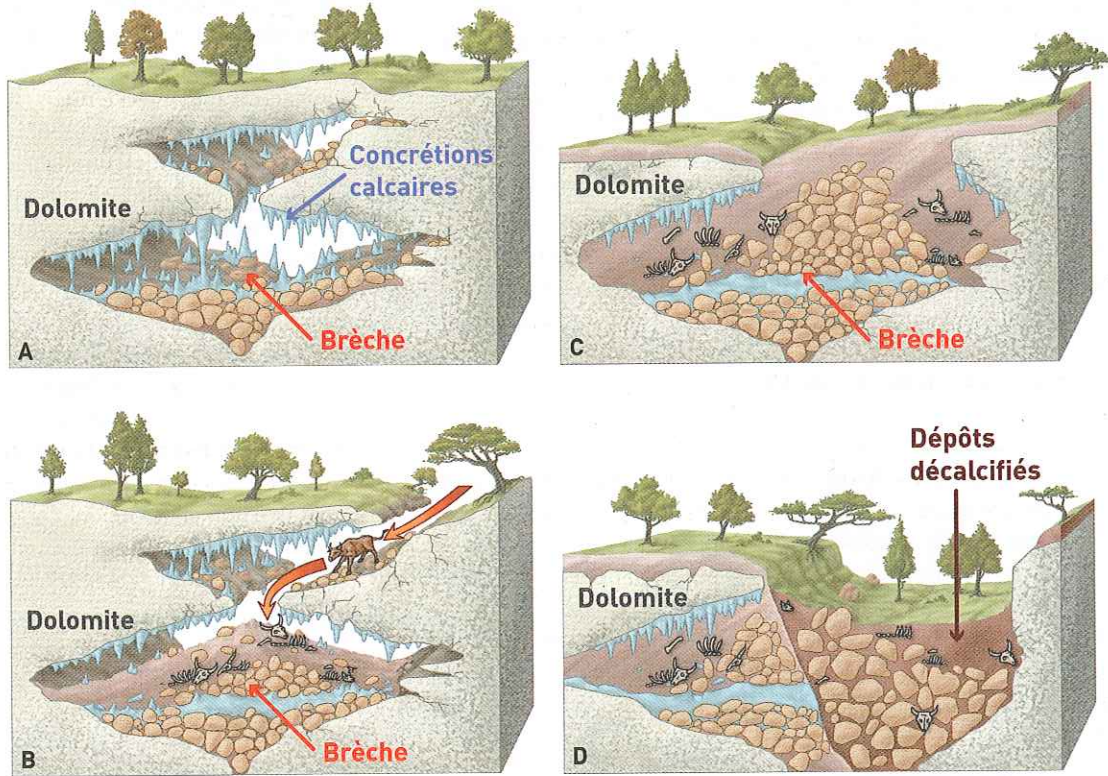




Fig. 1 La formation des sites sud-africains



INFOGRAPHIES : PASCAL PINEAU

**LES GROTTES À FOSSILES D'AFRIQUE DU SUD** se sont creusées par dissolution de la dolomite calcaire, décomposée en concrétions et en brèche par les eaux d'infiltration (A). Lorsque cette dissolution a atteint le plafond, la grotte s'est ouverte, permettant l'entrée d'animaux, vivants ou morts (B). Puis, la sédimentation a rebouché le plafond (C). Les zones où le calcaire avait complètement disparu se sont alors effondrées (D).

tité d'un élément radioactif (l'isotope\* « père ») s'est incorporée dans un minéral, avant de s'y transformer sur place en une série d'isotopes radiogéniques\* (les isotopes « fils »). Dans le cas des isotopes de l'uranium (uranium 234, 235 et 238), ils s'incorporent à la calcite des concrétions pendant leur formation. Dans les organismes vivants, l'uranium est éliminé en permanence à cause de sa toxicité : il ne s'incorpore à l'apatite\* des os et des dents qu'à partir de l'enfouissement du cadavre. Pour les isotopes cosmogéniques\* comme le béryllium 10, la situation est un peu plus complexe, car il est continuellement formé dans la haute atmosphère sous l'influence des rayons du soleil, puis amené, collé sur des aérosols, à la surface terrestre où il s'incorpore aux sédiments. Par

conséquent, ce qui est daté avec le béryllium 10, c'est le moment où le sédiment cesse d'être sous l'influence des rayons du soleil.

### Système clos

Ensuite, la validité d'un âge donné par une méthode de datation dépend de la satisfaction de deux critères. D'abord il faut connaître avec précision le stock initial d'isotopes « pères », et être certain qu'aucun isotope « fils » issu d'un système radiogénique plus ancien ne soit déjà présent. Ensuite, il faut que le système soit resté clos tout au long de son histoire : les variations de concentrations en isotopes « pères » et « fils » ne doivent dépendre que des mécanismes de décroissance radioactive. Le premier critère est évidemment difficile à remplir, puisque le stock

initial d'isotopes « pères », par définition, n'existe plus ! Pour les isotopes cosmogéniques il faut évaluer les éventuelles variations de production liées à l'évolution de l'activité solaire. L'énorme avantage de la méthode uranium/plomb, est qu'il existe deux isotopes de l'uranium (uranium 235 et uranium 238) qui se désintègrent respectivement en plomb 207 et plomb 206 avec des vitesses différentes. Ce différentiel permet de s'affranchir de la connaissance du stock initial d'uranium [6].

En outre, lorsque l'on utilise cette méthode, on fait souvent l'hypothèse que le minéral hôte ne contenait pas de plomb lors de sa formation. C'est juste dans le cas des concrétions calcaires, mais malheureusement faux dans celui de l'émail dentaire, car le plomb (à la différence de ▷

### La Recherche a publié

[1] P. Richet, « La radioactivité, le Soleil, la Terre et la mort de Kelvin », octobre 1996, p. 78.

[11] [1] www.cradleofhumankind.co.za

[2] M. Wolpoff, *Human Evolution*, McGraw-Hill, 1996.

[3] T. Partridge et al., *Science*, 300, 607, 2003.

[4] J. Walker et al., *Science*, 314, 1592, 2006.

[5] V. Balter et al., *Earth Planet. Sci. Lett.* 267, 236, 2008.

[6] C. Allègre, *Géologie isotopique*, Belin, 2005.



## ■ LES DATATIONS DU TCHAD

Comme en Afrique du Sud, l'absence de cendres volcaniques dans les sédiments qui contenaient les hominidés anciens découverts au Tchad, *Australopithecus bahrelghazali* et *Sahelanthropus tchadensis*, ne permet pas d'utiliser la méthode classique de datation argon 40/argon 39. Mais très récemment, une équipe française a eu recours aux isotopes cosmogéniques (béryllium 10/béryllium 9) pour dater certaines fractions de ces sédiments [1]. Un âge de 3,6 millions d'années a ainsi été obtenu pour *Australopithecus bahrelghazali*, faisant de lui un contemporain de Lucy (*Australopithecus afarensis*). En ce qui concerne *Sahelanthropus tchadensis*, une trentaine d'âges convergents permettent de confirmer sa datation biostratigraphique d'environ 7 millions d'années.

[1] A. Lebatard et al., PNAS, 105, 3226, 2008.

▷ l'uranium) est facilement assimilé par les organismes vivants. Nous avons abordé le problème en réécrivant les équations de désintégration en supposant qu'il existait déjà plusieurs sources de plomb distinctes dans les dents fossiles lorsque l'uranium s'y est incorporé. Nous avons résolu l'ensemble des équations

de mélange obtenues grâce à la multiplicité des systèmes isotopiques mis en jeu (uranium 235/plomb 207, uranium 238/plomb 206 et thorium 232/plomb 208).

Le manque de certitude quant à la satisfaction du second critère, la clôture du système, est souvent à l'origine d'erreurs. Nous avons trouvé

une méthode simple et fiable pour y remédier. Celle-ci repose sur la mesure des activités des différents isotopes qui la constituent et permet de vérifier qu'une chaîne de décroissance radioactive est restée fermée (lire « Un équilibre séculaire », p. 36).

Les critères de validité d'une datation absolue semblent être satisfaits avec les nouvelles méthodes uranium/plomb mises au point pour dater les concrétions calcaires et l'émail dentaire vieux de quelques millions d'années. Celles-ci présentent l'avantage d'être plus économes en hypothèses de départ que les cosmogéniques. Il est certain que dans un avenir proche, les sites sud-africains du « Berceau de l'humanité » seront correctement datés grâce à ces nouvelles méthodes uranium/plomb. ■ V. B.

### POUR EN SAVOIR PLUS

▷ Jacques Evin et al., *La Datation en laboratoire*, Errance, 1998.

## Davidson Black

Après des études de médecine à Toronto, Davidson Black, né au Canada en 1884, donne des cours d'anatomie à l'université de Cleveland, aux États-Unis. Son intérêt pour les origines de l'homme lui vient de son supérieur, T. Wingate Todd. En 1914, un voyage en Europe lui fournit l'occasion d'étudier l'anthropologie et la neuroanatomie auprès des grands noms de l'époque. En 1919, convaincu que l'Asie est le « Berceau de l'humanité », il accepte un poste de professeur à Pékin. Il consacre son énergie à la



recherche de fossiles humains en Chine, sans résultat. La découverte en 1923 par un géologue autrichien de deux dents anthropoïdes dans la grotte de Zhoukoudian, proche de Pékin est le tournant de sa vie: il les attribue à un hominidé qu'il nomme *Sinanthropus pekinensis* (aujourd'hui classé dans *Homo erectus*) et organise la fouille complète du site.

D'autres ossements sont trouvés et Pékin devient un centre de recherche en paléanthropologie d'importance mondiale. Black meurt prématurément dans son laboratoire en mars 1934. ■