

dans les abysses sombres et tranquilles, à un rythme d'environ quatre centimètres tous les 1000 ans.

Les sédiments à cet endroit sont un mélange de carbonate de calcium de couleur claire, provenant de coquilles fossilisées de plancton, et de grains limoneux plus foncés apportés des terres africaines et de la péninsule Arabique par les vents de mousson (voir la figure 2). Les carottes présentent des strates aux couleurs et à l'aspect variés. Lorsque le mélange est plus foncé et granuleux, cela indique que le climat africain était sec et poussiéreux. Lorsqu'il est clair, cela reflète des conditions plus humides, peu de poussière étant emportée par le vent.

En observant la carotte de sédiments sur une table du laboratoire du bateau, nous pouvions voir que les couches foncées et claires se répétaient avec une certaine régularité tous les mètres environ, soit tous les 23 000 ans. Ces relevés ont mis en évidence que le climat africain avait présenté une alternance régulière de conditions humides et sèches. Il était clair que le scénario d'une transition unique de la

forêt vers la savane ne correspondait pas à ces données. Les ancêtres de l'homme avaient dû faire face à des changements climatiques réguliers.

Quelle est l'origine de ce cycle d'environ 23 000 ans ? Cette périodicité reflète la sensibilité connue de la mousson africaine et asiatique à la précession des équinoxes terrestres. L'axe de rotation de la Terre ne pointe pas toujours dans la même direction (cette direction décrit au cours du temps un cône avec une période qui est aujourd'hui de 25 800 ans, mais cette valeur n'est pas constante). La précession est due au couple exercé par les forces de marée du Soleil et de la Lune sur le renflement équatorial de la Terre. Du fait de cette variation dans l'inclinaison de la Terre, le Nord de l'Afrique et l'Asie du Sud reçoivent plus ou moins de chaleur au cours de l'été, ce qui augmente ou diminue l'intensité de la mousson et de ses précipitations. Pendant ce cycle de 23 000 ans, les régions touchées par la mousson sont alors alternativement plus humides ou plus sèches.

Ainsi, il faut imaginer qu'à certaines époques humides, le Sahara était une région

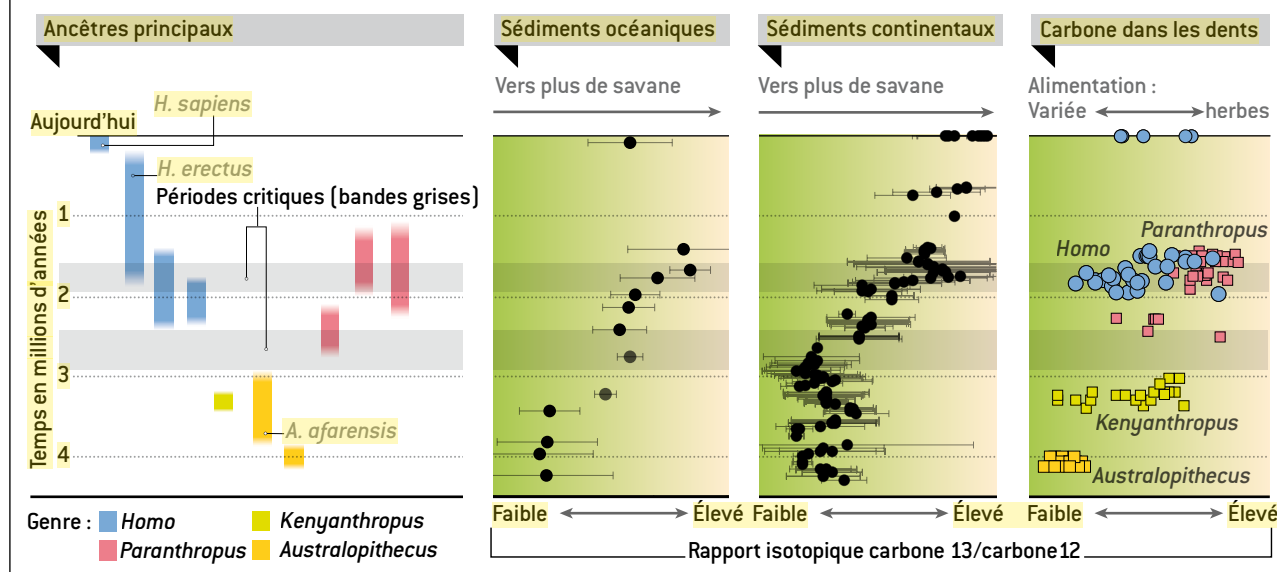
verte occupée par de nombreux animaux – éléphants, hippopotames, girafes, crocodiles – et par des chasseurs de gazelles. L'art rupestre d'il y a entre 5 000 et 10 000 ans témoigne de cet environnement riche en eau qui est aujourd'hui recouvert de dunes de sable. Le Nil était bien plus important qu'aujourd'hui et déversait dans la mer Méditerranée des sédiments noirs riches en matière organique, nommés sapropels. On retrouve sur le fond marin méditerranéen l'alternance de couches blanches accumulées durant les périodes sèches et de couches sombres de sapropels, qui racontent la même histoire du climat africain que les couches de poussière de la mer Rouge.

En plus de ces cycles réguliers alternant des périodes sèches et humides, on observe des transitions plus marquées vers des climats secs. Ces épisodes ont modifié radicalement la végétation en remplaçant la forêt par la savane. Il y a huit millions d'années, l'Afrique de l'Est ne présentait que quelques parcelles de prairies. Cinq millions d'années plus tard, le paysage était dominé par de vastes savanes permanentes, telles la plaine du Serengeti en Tanzanie.

LES CONSÉQUENCES D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA LIGNÉE HUMAINE

Deux étapes dans la lignée humaine semblent coïncider avec des changements climatiques en Afrique de l'Est. Il y a trois millions d'années, l'espèce *Australopithecus afarensis* s'est éteinte. Deux groupes, *Paranthropus* et *Homo*, sont apparus. Durant cette période de transition, le rapport isotopique du carbone dans les sédiments continentaux et marins suggère que la végétation est-africaine a évolué d'un environnement boisé et humide vers celui de savanes sèches. Il y a deux millions d'années, un proche parent

de l'homme moderne, *Homo erectus*, quitte en partie l'Afrique. L'étude du carbone montre qu'à cette époque, un deuxième changement climatique a accentué la domination de la savane. L'analyse isotopique des dents de *H. erectus* suggère que son alimentation variée lui a permis de s'adapter à ce nouveau changement climatique. En revanche, *Paranthropus*, dont le régime alimentaire était plus spécialisé, n'a pu survivre au changement des milieux.



Ce changement radical n'a pas été sans impact sur l'évolution de l'homme : Lucy et ses semblables ont disparu. Son espèce, *Au. afarensis*, est apparue il y a 3,9 millions d'années en Afrique de l'Est et y a vécu 900 000 ans avant de s'éteindre. Elle a laissé la place aux genres *Paranthropus* et *Homo*, qui a fait son apparition quelques centaines de milliers d'années après *Paranthropus*.

Et Lucy s'est éteinte

Une étude détaillée de la végétation de cette époque et de l'alimentation des uns et des autres a permis de constater que les changements chez les ancêtres de l'homme ont coïncidé avec les changements climatiques. Lucy n'aurait pas su s'adapter au changement de végétation qui a accompagné les modifications climatiques. Il en aurait été de même un peu plus tard pour *Paranthropus*, lors d'un deuxième changement important, qui a donné lieu à des savanes encore plus sèches.

Les savanes sont des écosystèmes tropicaux dominés par des plantes herbacées et parsemés d'arbres et d'arbustes contenant de la lignine. Les herbes de savane se développent dans les régions chaudes et sèches car, pour absorber le carbone de l'atmosphère, elles utilisent un type de photosynthèse spécifique dit en C4. Dans ce processus, la perte d'eau par évaporation est limitée, ce qui est un avantage dans un milieu sec. Ces plantes exploitent aussi mieux le dioxyde de carbone que celles utilisant un autre type de photosynthèse, dit en C3, ce qui est le cas des plantes ligneuses telles que les arbres et certaines herbes. Comme le processus en C3 utilise aussi plus d'eau, les plantes en C3 sont mieux adaptées aux environnements humides que les plantes en C4.

Thure Cerling et ses collègues, à l'Université de l'Utah, ont développé une manière de reconstruire l'histoire de la végétation des anciens paysages grâce à des proportions isotopiques qui diffèrent selon le type de photosynthèse utilisé par les plantes. Le carbone dans la nature est principalement à l'état de carbone 12, mais il est présent en petite quantité sous forme de carbone 13 (le noyau de carbone présente un neutron supplémentaire par rapport au carbone 12). Les herbes en C4 absorbent plus de carbone 13 que les arbustes et les plantes ligneuses en C3. Par conséquent, ces dernières ont un rapport de carbone 13

sur carbone 12 plus bas. Les chercheurs ont découvert que l'analyse des échantillons de sol d'un environnement donné et la mesure du rapport isotopique carbone 13 / carbone 12 fournissent une estimation précise de la part d'herbe par rapport aux plantes ligneuses présentes dans la région.

En utilisant cette approche dans les sédiments est-africains issus de sites où l'on avait trouvé de nombreux fossiles d'hominines, les chercheurs ont appris que, il y a plus de huit millions d'années, les paysages étaient essentiellement constitués de forêts et d'arbustes en C3. Ensuite, la proportion de plantes ligneuses en C4 a augmenté graduellement. Puis un changement relativement important et rapide s'est produit il y a entre trois et deux millions d'années.

Au cours de cette transition, les savanes se sont étendues rapidement à travers le Kenya, l'Éthiopie, et la Tanzanie d'aujourd'hui. Cette extension a été accompagnée d'une augmentation des populations de mammifères herbivores ; le nombre abondant de fossiles retrouvés dans les roches de cette époque le confirme. Vers deux millions d'années, les antilopes africaines semblent avoir subi, comme nos ancêtres, diverses spéciations, extinctions et adaptations – la forme des cornes diffère selon les espèces et permet de suivre la dynamique des différentes populations.

Les bovins, la famille à laquelle appartiennent ces ongulés, représentent près d'un tiers de tous les fossiles africains mis au jour. Ils fournissent une collection bien plus riche que les fossiles de nos ancêtres, beaucoup plus rares. La paléontologue Elisabeth Vrba, de l'Université Yale, a conduit une analyse dans toute l'Afrique sur l'évolution des bovins durant les six derniers millions d'années. Elle a identifié des époques spécifiques durant lesquelles les taux de spéciation et d'extinction des bovins étaient supérieurs à la moyenne sur l'ensemble de la période. Les deux événements les plus importants se sont produits il y a près de 2,8 et 1,8 millions d'années, soit aux époques d'extension des prairies observées par les géologues.

La coïncidence ne serait cependant pas aussi marquée, selon René Bobe, de l'Université George Washington et Anna Behrensmeyer, de l'Institut Smithsonian. En analysant près de 8 000 fossiles de bovins d'Afrique de l'Est, ils ont montré que nombre d'espèces ont développé des molaires spécialisées pour mâcher l'herbe abrasive de

■ L'AUTEUR



Peter deMENOCAL est professeur au Département de sciences de l'environnement à l'Observatoire de la Terre à l'Université Columbia, aux États-Unis.

■ BIBLIOGRAPHIE

S. C. Antón et al., *Evolution of early homo : an integrated biological perspective*, *Science*, vol. 345, pp. 1-13, 2014

F. d'Errico et W. E. Banks, *Tephra studies and the reconstruction of Middle-to-Upper Paleolithic cultural trajectories*, *Quaternary Science Reviews*, 2014.

T. E. Cerling et al., *Stable isotope-based diet reconstructions of Turkana basin hominins*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110(26), pp. 10501-10506, 2013.

P. B. deMenocal, *Climate and human evolution*, *Science*, vol. 331, pp. 540-542, 2011.