

> rayons cosmiques avant qu'ils ne puissent faire des dégâts dans l'organisme. Ces blindages seraient placés soit sur le vaisseau et les habitats, soit dans les combinaisons spatiales et les vêtements. Pour le moment, la seule méthode que les scientifiques connaissent pour protéger des rayons cosmiques est d'utiliser des matériaux denses, tels que le plomb. Ils sont efficaces, mais l'idée n'est pas envisageable : envoyer de grandes quantités de plomb dans l'espace, du fait de son poids, coûterait excessivement cher. Des efforts sont en cours pour concevoir des matériaux de blindage innovants, légers et efficaces.

Une autre idée est de limiter le blindage à certaines zones stratégiques de la coque où les astronautes pourraient se réfugier en cas d'éruption solaire par exemple. Les ingénieurs cherchent aussi à concevoir des casques et des combinaisons spatiales qui maximiseraient la protection contre les rayons cosmiques pendant les sorties dans l'espace ou même les heures de sommeil. Mais il faudrait trouver un matériau plus protecteur que tous ceux existant aujourd'hui.

Plutôt que d'utiliser des blindages lourds, une idée à l'étude est de créer un champ magnétique qui engloberait le vaisseau spatial. Mais ce champ devra être très intense (de l'ordre de 20 teslas) et on ignore les effets à long terme d'un tel champ sur l'organisme.

Une autre stratégie repose sur des médicaments et aliments que les astronautes absorberaient régulièrement ou après une exposition aiguë aux rayons cosmiques. Des compléments à base d'antioxydants, par exemple, pourraient neutraliser les radicaux libres et limiter leur action dans l'organisme. Les chercheurs ont aussi fait des progrès dans la conception de substances chimiques pouvant consolider les circuits neuronaux et les aider à maintenir leur fonction quand des dommages se sont produits.

Mais toutes ces approches n'en sont qu'aux premiers stades de développement, et aucune n'a le potentiel d'offrir une protection parfaite. Le mieux que nous puissions espérer est de réduire, et non pas éliminer, les dommages. Nous devons également continuer à explorer les effets du rayonnement cosmique sur le cerveau, ainsi que sur le corps entier, afin d'élucider plus complètement les risques sur la santé à court et à long terme.

NOTRE AVENIR DANS L'ESPACE ?

Quand on pense aux effets d'un rayonnement ionisant, le premier risque qui vient à l'esprit est celui du développement de cancer. Ce danger est mieux connu que celui que nous avons étudié sur la réduction des performances cognitives et les dommages produits sur le cerveau. Cependant, ce risque pourrait être d'une certaine façon moins critique pour une mission

spatiale car la plupart des cancers radiogéniques mettent du temps à se développer. En revanche, nous avons montré que même de petites quantités de rayonnement cosmique entraînent rapidement chez la souris des dommages neuronaux et des déficiences cognitives. Et tout laisse à penser que les rayons cosmiques pourraient avoir le même effet sur les humains.

La persistance de ces altérations induites par le rayonnement est une autre source d'in-



Les performances cognitives des souris avaient chuté d'environ 90 %



quiétude. Les chercheurs n'ont aucun élément permettant de penser qu'une fois endommagées par l'exposition aux rayons cosmiques, la complexité dendritique et la densité d'épines pourraient se rétablir. Et même s'il est prématuré de qualifier ces dégâts de permanents, nous n'avons pas d'indications selon lesquelles les neurones peuvent guérir après ce type d'atteintes. Par conséquent, jusqu'à ce que les chercheurs trouvent des interventions spécifiques capables de promouvoir et accélérer la guérison de ces tissus cérébraux irradiés, nos meilleures options semblent être limitées à protéger nos circuits neuronaux existants.

L'exposition au rayonnement cosmique pourrait bien représenter l'un des plus grands obstacles pour un voyage vers Mars, et encore davantage pour les missions plus longues destinées à explorer des planètes les plus distantes. Bien que certains puissent trouver discutable l'interprétation de ces résultats, il paraît difficile d'éluder ces données et leurs implications potentielles sur l'exploration spatiale. Cela signifie-t-il que nous sommes à jamais liés à la Terre ? Pas forcément. Ces résultats représentent peut-être simplement un obstacle supplémentaire que les chercheurs doivent affronter et surmonter tandis que nous nous préparons à nous embarquer dans ce qui pourrait être le défi le plus redoutable de l'humanité, mais aussi peut-être, qui sait, sa plus grande réussite... ■

BIBLIOGRAPHIE

V. K. Parihar et al., **What happens to your brain on the way to Mars**, *Science Advances*, vol. 1(4), e1400256, 2015.

F. A. Cucinotta et al., **Space radiation risks to the central nervous system**, *Life Sciences in Space Research*, vol. 2, pp. 54-69, 2014.

N. Pattyn et P.-F. Migeotte, **Vivre dans l'espace**, *Pour la Science*, n° 422, décembre 2012.

Göbekli Tepe est un complexe de sanctuaires construits pendant la Préhistoire, des siècles avant l'agriculture et l'élevage.



L'ESSENTIEL

> Il y a 11 000 ans, des chasseurs-cueilleurs ont érigé en Asie mineure des lieux de culte à moitié souterrains, qui semblent annoncer de grandes mutations sociales.

> Si nous ignorons l'essentiel des rituels qui y étaient pratiqués, quelques rares représentations suggèrent une possible forme de chamanisme.

> Beaucoup de ces sanctuaires ont fini par être volontairement détruits et comblés, pendant que d'autres de moindre dimension étaient construits ailleurs.

> Les archéologues voient dans ces constructions monumentales un marqueur du passage vers le nouveau mode de vie qu'impliquait l'économie paysanne.

L'AUTEURE



MARION BENZ
archéologue, spécialiste
des mutations sociales
au Proche-Orient
préhistorique

Les premiers sanctuaires des chasseurs-cueilleurs

IL Y A 11 000 ANS, SUR UNE COLLINE TURQUE SURPLOMBANT LA SYRIE, DES MÉGALITHES DE PLUSIEURS MÈTRES ENCASTRÉS DANS DES MURS FORMAIENT DE MONUMENTALES INSTALLATIONS. LES SANCTUAIRES AURAIENT-ILS PRÉCÉDÉ L'AGRICULTURE ET L'ÉLEVAGE ?

Göbekli Tepe, c'est-à-dire, en turc, la « Colline au nombril », porte-t-elle en son ventre les plus anciens sanctuaires de l'humanité ?

Oui, pour Oliver Dietrich, qui se souvient encore du jour où il a pour la première fois été confronté à ses mégalithes : « Je me sentais écrasé et ne pouvais croire que ce que je voyais avait 11 000 ans ! » Cet archéologue berlinois fouille depuis dix ans ce complexe de sanctuaires découvert en 1995 au sein d'un tell, c'est-à-dire de l'une de ces buttes artificielles constituées par des occupations humaines successives dont regorgent le Levant et la Mésopotamie. Déjà impressionnant en soi, ce tell l'est aussi par son implantation : il se trouve à 800 mètres d'altitude au nord du plateau de Harran, dans le sud-est de la Turquie, de sorte que par beau temps, depuis Göbekli Tepe, on aperçoit la Syrie.

Les archéologues turcs et allemands fouillent le complexe de sanctuaires ensemble. Lee Clare, de l'Institut archéologique allemand, coordonne le travail. Il a succédé à Klaus Schmidt (1953-2014), qui initia les fouilles en 1995. Leurs équipes ont déjà mis au jour six installations culturelles monumentales, et les images satellitaires en révèlent quatorze de plus. Toutes partagent les mêmes caractéristiques principales : elles consistent en espaces ovales d'une douzaine de mètres de long creusés dans le substrat rocheux et bordés de murs de pierres sèches ; dans chacun d'eux, une douzaine de mégalithes en forme de T d'environ 2 mètres de haut sont à moitié encastrés dans les murs ; deux autres mégalithes en T, qui peuvent excéder 5 mètres de haut, se dressent au milieu de l'ovale.

Le fait que ces installations étonnantes datent de 11 000 ans stupéfie les archéologues parce que cela les place plusieurs siècles avant

➤ L'agriculture et l'élevage, qui ont commencé au cours de la première moitié du IX^e siècle avant notre ère au Proche-Orient. De fait, à Göbekli Tepe, les archéologues n'ont mis au jour aucun os d'animal domestique parmi ceux qu'ils ont découverts; en revanche, les restes de gazelles, d'aurochs, d'ânes sauvages, de cervidés, de sangliers et de plantes sauvages abondent. Le fait que les bâtisseurs des sanctuaires de la colline étaient des chasseurs-cueilleurs est donc une évidence.

Cela est d'autant plus remarquable que Göbekli Tepe se trouve sur la bordure nord du Croissant fertile, cet arc géographique allant de l'Égypte à la Mésopotamie en passant par le Levant et l'Anatolie du Sud, où les premières domestications de plantes et d'animaux se sont produites. Plus fort: jamais de telles installations cultuelles n'auraient pu être érigées sans la participation durable de groupes importants de travailleurs bien coordonnés. Cela implique l'existence d'une structure sociale rendant de telles entreprises collectives possibles. Ainsi, tant l'ampleur architecturale du complexe de sanctuaires de Göbekli Tepe que la façon dont il a été réalisé illustrent l'amplitude des transformations des sociétés de chasseurs-cueilleurs qui furent à l'origine de l'avènement du paysan.

DES MOIS POUR PRODUIRE UN SEUL MÉGALITHE

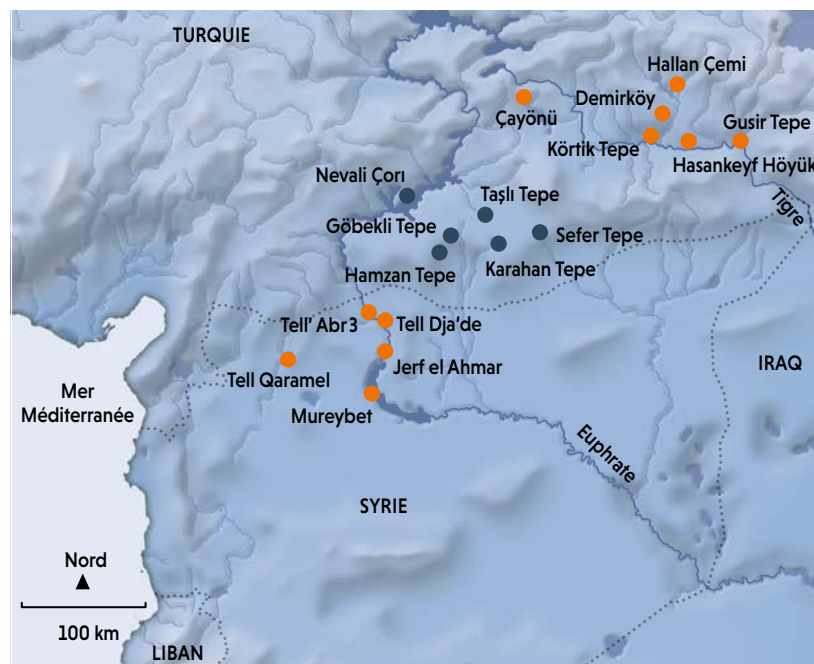
Si cette amplitude est étonnante, les préhistoriens savent depuis longtemps que les mutations économiques et sociales qui ont conduit au Néolithique se sont produites par petites étapes différant d'une région à l'autre (ils évitent désormais de parler de «révolution néolithique»). S'il est clair que les chasseurs-cueilleurs du X^e millénaire avant notre ère vivaient encore de la nature, ils exploitaient déjà les plantes sauvages d'une façon systématique et entretenaient sans doute aussi des cheptels d'animaux sauvages. C'est ainsi qu'ils auraient progressivement acquis les connaissances clés nécessaires à la domestication de plantes et d'animaux. Même s'ils étaient toujours chasseurs, ils s'installaient de façon saisonnière et parfois définitive dans des habitats fixes, où ils n'employaient pas encore la céramique pour stocker, préparer ou consommer leur nourriture. Les installations cultuelles de Göbekli Tepe relèvent de ce stade culturel proto-néolithique dit du Néolithique précéramique A, une période d'un millénaire à peu près, qui s'étend de 9600 à 8600 avant notre ère.

Les tailleurs de pierre et les maçons qui réalisèrent les sanctuaires de la Colline au nombre durent certainement travailler des mois d'affilée sur le site. «Pour façonner les piliers des sanctuaires, ils ont taillé la roche des affleurements calcaires des bords du plateau Harran», explique

Oliver Dietrich (voir la photo page ci-contre). Or, dans un cas au moins, cette opération a échoué: un bloc a été abandonné, qui, s'il avait pu être exploité, aurait donné un pilier de 7 mètres de haut! Une chance pour les archéologues, qui ont pu ainsi reconstituer les techniques de taille et observer les marques d'outils des tailleurs. «Ils s'y prenaient en taillant la forme du pilier dans le calcaire, avant de tenter d'extraire le bloc en T résultant à l'aide de leviers, décrit Oliver Dietrich. Nous ignorons comment les choses se passaient une fois le bloc dégagé, mais il est probable qu'on le faisait avancer sur des rondins jusqu'au lieu où le mégalithe devait être dressé.» Un groupe d'étudiants de l'université de Halle, à qui l'on a demandé de tailler un pilier similaire en calcaire, a calculé que les efforts de vingt personnes pendant plusieurs mois d'affilée sont nécessaires pour obtenir un mégalithe...

La forme en T des mégalithes est certainement une allusion à la silhouette humaine, la tête étant représentée par la traverse supérieure. Détail qui le confirme, des bras repliés ont été sculptés sur certains exemplaires. Nombre de mégalithes portent des bas-reliefs représentant des animaux et/ou des formes géométriques. Les tailleurs de ces piliers avaient certainement une idée très claire du résultat auquel ils voulaient arriver. «Les hauts-reliefs sont travaillés avec une telle précision qu'il ne peut s'agir que de l'œuvre de spécialistes», estime Lee Clare.

Les étapes qui venaient après l'extraction des piliers exigeaient aussi beaucoup



OÙ LA SÉDENTARISATION A COMMENCÉ

Sur le cours supérieur de l'Euphrate et du Tigre, la nature était si généreuse au X^e millénaire avant notre ère que les chasseurs-cueilleurs s'y sont sédentarisés. Ci-dessus, leurs habitats connus (en orange et en noir), dont ceux qui comportaient des mégalithes en T (en noir).