

Venons-en aux instruments, en quoi consiste le capteur de flux de chaleur ?

Conçu par l'agence spatiale allemande et l'Institut de recherche planétaire, à Berlin, le capteur repose sur un principe simple. Un percuteur percera un trou dans le sol jusqu'à cinq mètres de profondeur. Des capteurs de température, placés le long de ce forage, mesureront des variations de température en fonction du temps mais surtout en fonction de la profondeur. L'instrument chauffera d'abord le sol et mesurera la diffusion de cette énergie. Nous en déduirons la conductivité thermique de la roche. Et ensuite, nous déterminerons le flux de chaleur s'échappant de la planète qui se refroidit.

Le forage n'ira pas au-delà de cinq mètres ; est-ce suffisant pour mesurer le flux ?

Oui, nous aurons une précision suffisante pour calculer le flux... sauf surprise. En effet, si Mars a connu, par exemple, une période de fort refroidissement dans le passé, le sol, en profondeur, pourrait avoir enregistré ces températures. Nous serons alors incapables de mesurer le flux, mais cette information sur le passé de Mars est aussi intéressante en soi.

Mais pourquoi cette limite de cinq mètres ?

La raison paraît surprenante, mais nous sommes confrontés à une exigence liée à des réglementations très strictes, pour la protection planétaire. On pense qu'entre 5 et 20 mètres sous la surface de Mars, on peut avoir des habitats compatibles avec la survie de bactéries. Pour ne pas contaminer ces zones avec des microorganismes de la Terre, il aurait fallu obéir à des critères de stérilisation drastiques qui auraient considérablement augmenté le budget de la mission *InSight*.

L'instrument principal d'*InSight* est le sismomètre. Quels défis a-t-il représentés ?

La complexité de sa fabrication, supervisée par le Cnes, a nécessité une coopération internationale qui a impliqué notamment l'Institut de physique du globe, l'École polytechnique fédérale de Zurich, l'Imperial College de Londres, le Jet Propulsion Laboratory, l'Institut Max-Planck, avec la participation de l'entreprise Sodern. Cette équipe de plus de 200 ingénieurs et techniciens peut être fière du résultat.

Depuis les sondes *Viking*, la technique a nettement progressé. Le sismomètre est maintenant beaucoup plus sensible. L'un des plus gros défis était de l'isoler des perturbations extérieures. Une double cloche le protège des variations de température (qui sont d'environ 60 °C entre le jour et la nuit sur Mars) et du vent. Le système de protection limite ainsi les variations de température à un maximum de 20 °C en été. Et une jupe empêche le vent de s'engouffrer sous la cloche.

C'est aussi la première fois qu'une mission robotisée installera un instrument au sol grâce à un bras articulé. Jusqu'à présent, les robots approchaient un appareil de mesure de la cible ou prélevaient un échantillon pour le déposer dans l'instrument de mesure à bord de la sonde. D'où l'importance du choix du site d'atterrissage, sur un sol pas trop caillouteux et pas trop

Pour forer au-delà de 5 mètres, les règles de protection planétaire sont plus strictes

dur pour que le percuteur puisse réaliser le forage du capteur de flux de chaleur. Au sol, nous utiliserons des caméras pour sélectionner l'endroit le plus judicieux pour installer le sismomètre et le capteur de flux de chaleur.

Le lancement prévu en 2016 a été reporté à 2018 à cause du sismomètre. Que s'est-il passé ?

Un problème d'étanchéité... Le sismomètre est placé dans une enceinte sous vide pour gagner en sensibilité. Or la fuite, bien que très faible, compromettait la précision de mesure de l'instrument. Il a fallu repenser toute l'enceinte, ce qui a pris du temps. Cela fait partie des aléas du développement de nouvelles techniques dans des conditions extrêmes.

Aujourd'hui, quel est le calendrier de la mission ?

La mission a décollé le 5 mai 2018 de la base de Vandenberg, en Californie [ndlr : lorsque l'entretien a été réalisé, la sonde avait effectué plus de 80% de son voyage]. Elle doit se poser sur Mars le 26 novembre, après sept mois de voyage. Le déploiement des instruments s'effectuera en décembre et en janvier. La phase de mesures scientifiques durera près de deux ans. Point remarquable, elle se fera en partenariat avec des instruments en orbite. Par exemple, les mesures de champ magnétique au sol se feront avec celles de la sonde *Maven*. La moisson de données promet d'être riche en découvertes, de quoi occuper les géologues et les planétologues pendant des années. ■

PROPOS RECUEILLIS PAR SEAN BAILLY

BIBLIOGRAPHIE

P. Lognonné et al., *Planetary seismology, dans Extraterrestrial Seismology*, Cambridge University Press, 2015.

P. Lognonné et al., *Impact seismology on terrestrial and giant planets, dans Extraterrestrial Seismology*, Cambridge University Press, 2015.

P. Lognonné et al., *Mars et ça repart !, Dossier Pour la Science*, n° 84, juillet 2014.

D. Baratoux, *Quatre milliards d'années d'histoire, Dossier Pour la Science*, n° 84, juillet 2014.

F. Forget et al., *La planète Mars, histoire d'un autre monde*, Belin-Pour la Science, 2006.



Que mangeaient nos ancêtres il y a plusieurs dizaines de milliers d'années ? L'examen des traces microscopiques d'usure à la surface des dents fossiles apporte des réponses qui bousculent les idées reçues.

Le vrai régime paléo

L'AUTEUR



PETER S. UNGAR
paléontologue à l'université
d'Arkansas, aux États-Unis.
Son livre le plus récent :
Evolution's Bite (Princeton
University Press, 2017)

L'ESSENTIEL

> Les paléontologues ont longtemps pensé que la taille et la forme des dents des animaux dictaient leur régime alimentaire. Mais la disponibilité des aliments, qui change au fil des saisons et à de grandes échelles de temps, se révèle être un facteur plus important.

> L'analyse des traces microscopiques d'usure que portent les dents

fossiles permet d'obtenir des informations sur ce que nos ancêtres mangeaient réellement.

> La comparaison des régimes avec les données paléo-environnementales apporte de nouveaux éléments sur le rôle qu'ont joué les fluctuations climatiques dans l'évolution humaine.



© Jon Foster

Le moment est resté gravé dans ma mémoire. C'était un soir de 1990. Je me trouvais à la station de recherche de Ketambe, dans le parc national de Gunung Leuser, en Indonésie. Je retranscrivais mes notes dans ma hutte, sur les bords de la rivière Alas, mais quelque chose me tracassait.

Dans le cadre de ma thèse de doctorat, je recueillais des données sur le comportement alimentaire des singes, afin de les relier à leur denture. Selon une idée bien ancrée dans la communauté scientifique, la forme et la taille des dents des animaux – l'homme compris – sont en effet adaptées au type de nourriture qu'ils consomment. Mais les macaques à longue queue (*Macaca fascicularis*) que j'observais depuis quatre jours échappaient à cette règle. Les grandes incisives et les molaires émoussées de ces singes semblaient faites pour mastiquer les fruits. Or ces individus ne mangeaient que de jeunes feuilles.

Il fallait me rendre à l'évidence: la relation entre denture et alimentation est bien plus complexe qu'on ne le pense. Un constat riche de conséquences, puisqu'il allait me permettre d'envisager l'évolution des espèces animales et des humains sous un angle nouveau.

Je suis paléontologue et je gagne ma vie en reconstituant le comportement d'espèces disparues à partir de l'examen de leurs restes fossiles. Plus précisément, mon objectif est de retrouver les stratégies alimentaires des animaux du passé et de voir comment ils se sont adaptés aux modifications de leur environnement. Et ce séjour à Ketambe a forgé ma façon de penser et ma démarche. Je me suis mis à voir la biosphère (l'ensemble des organismes vivants de notre planète et leurs milieux) sous la forme d'un gigantesque buffet en libre-service où les espèces viennent se servir des mets disponibles en un lieu et à un instant donnés. La façon dont chacune d'elles compose son menu, les choix qu'elle fait, détermine sa place dans la nature.

Les dents jouent évidemment un rôle dans les habitudes alimentaires: on a besoin des bons ustensiles! Mais j'ai appris à Ketambe que la disponibilité des ressources est plus importante encore. Si les macaques mangeaient des feuilles, c'est parce que le «buffet biosphérique» les leur offrait à cet endroit et à cette époque de l'année. De fait, leur régime évolue au fil des saisons, à mesure que les feuilles se déploient, que les fleurs s'ouvrent et que les fruits mûrissent. Ils ne peuvent manger ce qui n'est pas disponible... L'idée s'est alors peu à peu imposée à moi que des changements environnementaux avaient pu, par le passé, modifier la composition du buffet biosphérique et la disponibilité naturelle des ressources et, *in fine*,

le régime alimentaire des différentes espèces animales.

La plupart des paléontologues ne raisonnent pas de cette façon sur les formes de vie du passé. La démarche traditionnelle consiste à déduire la fonction de la forme en supposant que la nature a sélectionné au fil du temps les meilleurs outils pour chaque tâche à effectuer. Cependant, si la forme découlait uniquement de la fonction, les macaques ne mangeraient pas de feuilles. Mais comment retrouver les habitudes alimentaires à partir des seuls enregistrements fossiles?

L'examen des traces microscopiques d'usure présentes à la surface des dents se révèle de ce point de vue très pertinent. Cela fait plusieurs décennies que j'étudie ces indices chez les primates, notamment certains des ancêtres de l'homme. L'analyse de la signature chimique laissée dans les dents par les aliments consommés est une autre voie d'investigation. Ces traces physiques et chimiques dépendent du régime alimentaire et se révèlent bien plus précises que la seule forme des dents. Nous allons voir qu'elles sont également riches d'enseignements chez les espèces éteintes.

Confrontées aux marqueurs paléoenvironnementaux, ces empreintes nous permettent en outre de tester des hypothèses relatives à l'impact des changements climatiques sur l'évolution humaine. Surtout, elles jettent une lumière nouvelle sur une question ancienne: pourquoi *Homo sapiens* est-elle la seule espèce d'homininés à avoir survécu?

LE PARADOXE DE LIEM...

L'observation des animaux vivants montre que beaucoup d'entre eux se nourrissent d'aliments autres que ceux pour lesquels ils semblent faits. Lorsque j'étais à Ketambe, Melissa Remis, aujourd'hui en poste à l'université Purdue, étudiait le régime alimentaire des gorilles de Bai Hokou, une forêt humide de basse altitude située dans le parc national Dzanga-Ndoki, au sud-ouest de la République centrafricaine. À cette époque, la plupart des chercheurs pensaient que ces grands singes mangeaient les tiges, les feuilles et la moelle de plantes non ligneuses, comme le céleri sauvage. Ils se fondaient en particulier sur les observations faites auparavant par la célèbre primatologue Diane Fossey dans les forêts brumeuses des montagnes des Virunga, à cheval sur l'Ouganda et le Rwanda.

Cela semblait logique au vu des dents et des appareils digestifs des gorilles. Leurs molaires très aiguisées sont de fait bien adaptées au broyage des parties végétales dures et coriaces. Et leur côlon est suffisamment gros pour accueillir les microorganismes indispensables à la dégradation de la cellulose végétale. Mais ces gorilles des Virunga sont loin d'être

