

Chroniques Scientifiques

Avril 2016

MARS EN 3 JOURS LES PROMESSES DE LA PROPULSION PHOTONIQUE

p.4

Trop lourde, Mars a glissé
autour de son noyau
pendant son enfance.

p.5

Des fourmis reprogram-
mées par épigénétique.

p. 4

Comment améliorer la
capacité du cerveau humain
à apprendre?

p. 3

Le premier accident de Google
Car.

p. 2



DOSSIER

Pourquoi les robots ne marchent toujours pas comme
l'homme ? p.1



NAO, le petit robot français autonome et programmable d'Aldebaran Robotics.

Crédits : Aldebaran Robotics

ROBOTIQUE

POURQUOI LES ROBOTS NE SAVENT TOUJOURS PAS MARCHER COMME L'HOMME ?

Le chemin à parcourir pour réaliser une machine à l'image de l'homme est encore long. Pour preuve : la marche, si naturelle pour l'homme, représente un défi complexe à surmonter.

Mardi 23 février 2016, Boston Dynamics, une entreprise d'Alphabet, dévoilait la nouvelle version de son humanoïde Atlas. Un robot impressionnant, capable de marcher sur deux jambes, de se rattraper avant de perdre l'équilibre et de se relever sans dégât en cas de chute. Une performance, étant donné la complexité que représente la marche en robotique humanoïde.

Rien ne semble plus naturel pour l'humain que la marche. A peine sortis du ventre de leur mère, les nouveaux-nés possèdent déjà le réflexe de marche automatique. Mais malgré cette apparente simplicité, marcher sur deux jambes, courir et se déplacer dans l'espace représente un défi de

taille pour les chercheurs en robotique et en intelligence artificielle, qui n'ont pas encore réussi à reproduire à l'identique les pas de l'homme.

« *Marcher comme un humain, on n'y est pas encore* », reconnaît Christine Chevallereau, directrice de recherche en robotique au Centre national de la recherche scientifique (CNRS).

« *Ce que sait faire un robot humanoïde aujourd'hui, c'est avancer lentement, les pieds bien à plat, les genoux un peu pliés, sur un sol assez plat.* »

A l'image d'Asimo, un petit robot développé par le Japonais Honda, l'un

des humanoïdes les plus perfectionnés en ce qui concerne la marche.

Mais un long chemin reste encore à parcourir avant que ces machines soient capables de se déplacer vraiment comme les humains. De nombreuses difficultés restent encore à surmonter, « *il ne faut pas laisser croire aux gens qu'un robot marchera tout de suite à proximité des gens et qu'il pourra leur apporter à manger* », tient à souligner Christine Chevallereau. « Mais on progresse. »

Subtilité de l'équilibre

Première difficulté : l'équilibre. Comme tout bipède, un robot humanoïde est peu stable et chute facilement. « *On sait bien faire de petits*

robots humanoïdes d'une cinquantaine de centimètres qui marchent, comme Nao », poursuit la chercheuse. « *Mais à taille humaine, c'est plus compliqué : ils sont plus lourds, le centre de masse est plus élevé, et le problème de l'équilibre plus important.* » Une complexité bien représentée dans cette compilation de chutes de robots lors du Darpa Robotics Challenge, l'une des plus prestigieuses compétitions de robotique, financée par la défense américaine.

La vidéo a beau être désopilante, un robot qui chute peut représenter un danger pour son entourage immédiat : pas question donc, pour le moment, de faire évoluer de telles machines à taille humaine au contact direct de piétons de chair et d'os.

La question de la taille pose aussi un autre défi : celui de l'alimentation électrique. « *Un robot à échelle humaine nécessite des moteurs plus puissants* », note Christine Chevallereau. « Aujourd'hui, on ne sait pas créer une marche qui ne consomme pas trop d'énergie. » Les robots développés ont donc une faible autonomie.

La course aux muscles artificiels

Les moteurs actuels représentent aussi une limite conséquente au développement d'une marche plus efficace : ils n'offrent aucune flexibilité, contrairement aux muscles qui actionnent notre corps. Les muscles humains peuvent en effet réagir instantanément à l'information qu'ils reçoivent. Si l'on porte un paquet et que quelqu'un en pose un autre dessus, nos muscles vont le sentir et ajuster immédiatement leur effort. Idem avec la marche, dont les muscles vont s'adapter instantanément, par exemple, à un sol accidenté, un sol en pente, un trébu-



Crédits : Boston Dynamic

chement...

« *Les robots actuels ne sont pas souples* », analyse Philippe Souères, responsable au sein du laboratoire LAAS-CNRS de l'équipe Gepetto, consacrée à la robotique humanoïde. « Concevoir un muscle artificiel est un enjeu clé. Des muscles pneumatiques ont été proposés, des systèmes de ressorts réglables... Il y a aussi des gens qui

électrique». Mais un des principaux obstacles réside dans le système de prise de décision, qui envoie des signaux aux moteurs : « *Chaque mouvement implique plusieurs articulations, offrant chacune plusieurs degrés de liberté. Il existe une infinité de façons d'effectuer un geste, alors comment sélectionner les moteurs à mettre en œuvre pour réaliser une tâche ? C'est un problème complexe, car il y a une multitude de solutions. Comment le cerveau fait-il chez l'homme pour sélectionner les muscles nécessaires à la réalisation d'une tâche ? C'est un problème encore ouvert.* »



Ci-dessus : Asimo - Crédits : Honda

cherchent des micro-composants, des matériaux capables de se déformer lorsqu'ils sont parcourus par un courant

Les calculs permettant de faire marcher un robot doivent être réexécutés toutes les cinq millisecondes, selon le chercheur, qui travaille à réduire ce temps au maximum, pour rendre les robots plus rapides. Ce qui permet de réagir si le pied ne se pose pas exactement où cela était prévu en raison d'une aspérité du sol, ou dans la position prévue.

« *On sait mal gérer les aléas, les situations non conformes à ce qu'on avait imaginé* », précise Christine Chevallereau. « *Quand le pied se pose sur son arête, par exemple, le robot ne sait*



pas le gérer, car nous n'avons pas bien prévu cette situation. C'est pour cela qu'on essaie de faire de grands pieds, pour qu'ils soient toujours bien à plat. »

Le défi des escaliers

Cela explique aussi la difficulté que représente une simple montée d'escaliers. Si dans un contexte connu, en laboratoire, avec des marches d'une certaine dimension, le processus fonctionne, les robots humanoïdes ne sont pas capables aujourd'hui de s'adapter à n'importe quel escalier. La recherche réfléchit également à la manière de gérer les situations de déséquilibre, afin d'éviter la chute - ou de faire en sorte que l'humanoïde tombe sans s'abîmer. Comme le robot Atlas de Boston Dynamics, l'un des robots marcheurs les plus avancés au monde.

Le défi s'annonce tout aussi délicat pour faire courir un robot, puisqu'il réunit toutes ces difficultés : l'équilibre, la gestion du poids, une prise de décision encore plus rapide, un risque de chute important... Toutefois, « Asimo a commencé à courir, ce qui est exceptionnel », se félicite Philippe Souères. « Parfois, aucun pied n'est en contact avec le sol, ce qui définit la course.

Mais Honda communique peu sur la technologie mise en œuvre », et rares sont les laboratoires à être arrivés à ce stade de développement.

Si la recherche progresse et qu'elle semble sur la bonne voie pour réussir à surmonter les obstacles de la mécanique de la marche, d'autres problèmes se posent néanmoins avant de voir des robots déambuler à nos côtés. Car même s'ils parviennent à marcher comme nous, encore faut-il qu'ils soient capables de se repérer dans l'espace et de s'y déplacer en évitant les obstacles.

« On est loin de pouvoir mettre un robot dans une maison et qu'il sache se déplacer en toutes circonstances »

Là encore, d'importants progrès en intelligence artificielle ont été accomplis, comme on peut l'observer avec les voitures autonomes comme la Google Car. « Les humanoïdes présentent un autre défaut par rapport à des robots sur roue. La caméra subit des perturbations à cause des secousses de la marche, les images sont donc plus difficiles à traiter », note Christine

Chevallereau. « Pour aller vers un objet précis dans une salle sans obstacle, on peut commencer à faire des choses. Mais dans un environnement encombré, où le robot détecte des objets qu'il faut enjamber par exemple, ça devient plus compliqué. »

Lors du Darpa Robotics Challenge, les robots ont pris 45 minutes pour réaliser des tâches, qui auraient pris cinq minutes pour un humain. « On est loin de pouvoir mettre un robot dans une maison et qu'il sache se déplacer en toutes circonstances », conclut la roboticienne.

Morgane Tual

Le Monde – Blog Pixel

Ce dont les robots humanoïdes sont aujourd'hui capables

- Marcher lentement, sur une surface plane
- Se déplacer dans un espace dénué d'obstacles

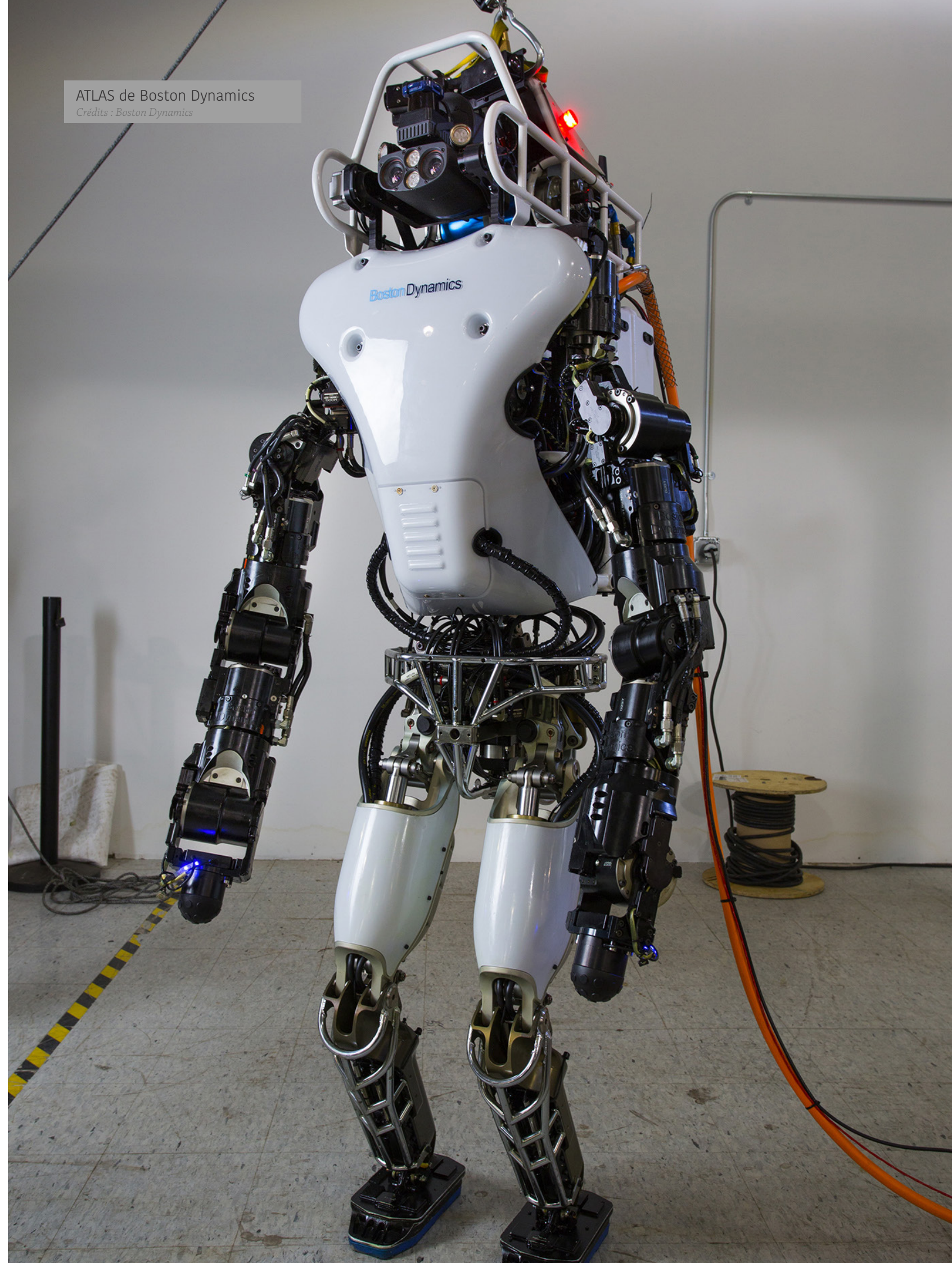
Ce que les robots ne savent pas faire

- Marcher sur n'importe quelle surface
- Se déplacer de façon autonome dans une maison

Les progrès qu'il reste à faire

- Se repérer dans un espace complexe
- Monter tout type d'escalier
- Courir
- Faire marcher des robots de gabarit humain
- Développer des muscles artificiels

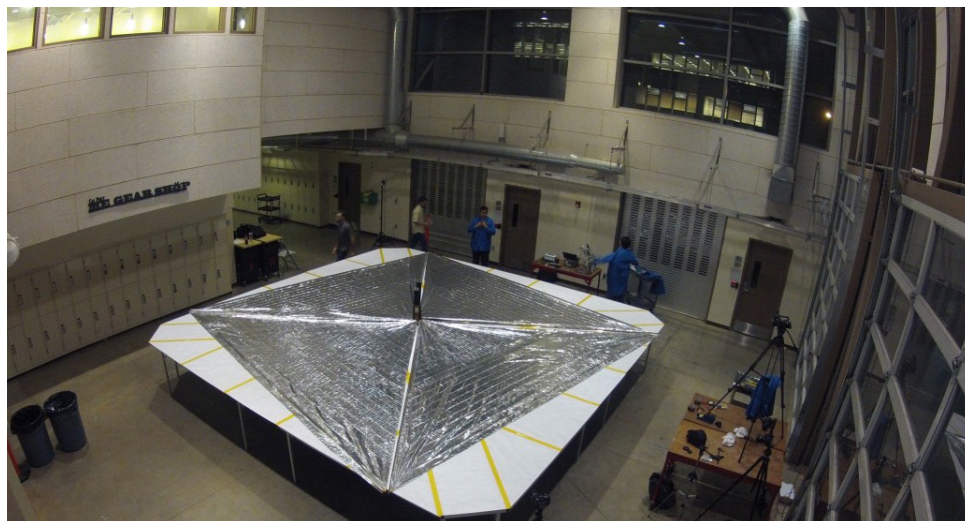
ATLAS de Boston Dynamics
Crédits : Boston Dynamics



PROPULSION PHOTONIQUE : UN VAISSEAU POURRA VOYAGER VERS MARS EN 3 JOURS

Imaginez que le voyage vers Mars ne dure plus 6 mois mais un seul, voire 3 jours avec un petit vaisseau sans être humain à bord... En décuplant notre vitesse de croisière, Pluton ne serait plus qu'à quelques mois et le système de l'étoile Proxima du Centaure à quelques années...

Le physicien Philip Lubin propose de rendre accessible le voyage interstellaire et donc, l'exploration des exoplanètes au terme de voyages de seulement quelques décennies ou siècles, grâce à un système de propulsion photonique nommé Deep In.



Aujourd'hui, il faut six mois pour atteindre notre voisine, la planète Mars. Déjà loin de nous, la sonde Voyager 1, partie de la Terre en 1977 pour explorer Jupiter et Saturne – à ce jour, il s'agit du premier engin de l'histoire à naviguer dans le milieu interstellaire – est si lente qu'elle ne pourrait atteindre l'étoile la plus proche du Soleil, Proxima du Centaure, que dans près de 76.000 ans. La propulsion pho-

tonique pourrait bouleverser tout cela, nous explique Philip Lubin, qui dirige le projet Deep In (Directed Propulsion for Interstellar Exploration). Mars ? Atteignable en trois jours, affirme-t-il. Du moins avec un petit vaisseau de 100 kg. Avec une charge utile plus importante et des êtres humains à bord, le voyage pourrait prendre un mois. Les étoiles les plus proches ? Cela ne prendrait qu'une douzaine ou une quinzaine d'années contre une vingtaine d'années avec des engins se déplaçant à un quart de la vitesse de la lumière.

L'idée n'est pas nouvelle, rappelle le physicien. Tout d'abord, les voiles solaires existent déjà et fonctionnent

sur le même principe. Cependant, il s'agit ici d'utiliser un puissant faisceau laser émis depuis la Terre. Des photons peuvent en effet accélérer un vaisseau équipé de réflecteurs, en quelque sorte des voiles laser sur le mât de nos vaisseaux du futur. Leur taille serait modulable selon la masse de l'objet propulsé.

Le projet Deep In de Philip Lubin, des vaisseaux à voiles photoniques.

Outre le gain de vitesse, et donc de temps, ce système présente l'avantage de faire l'économie de carburant. De petites quantités peuvent toutefois être embarquées pour le besoin des manœuvres. Par ailleurs, le système peut aussi être employé pour dévier des astéroïdes potentiellement dangereux qui nous menaceraient et aussi pour détecter des civilisations « *technologiquement avancées* ».

Philip Lubin vient de proposer une feuille de route pour ce projet de propulsion photonique. Dans un premier temps, elle prévoit d'envoyer une flottille de petits satellites cubiques qui, si tout va bien, conduira à l'étape suivante consistant à tester une unité de défense de la Station spatiale internationale (ISS) contre les débris orbitaux qui la menacent. Ensuite, l'envoi de satellites en orbite basse puis sur des orbites géostationnaires et bien sûr, à terme, des expéditions propulsées vers des corps de notre Système solaire... et au-delà.

Le voyage interstellaire serait alors à notre portée. Philip Lubin préconise des missions robotisées, plus qualifiées pour supporter des traversées de plusieurs années et même décennies, s'il s'agit d'aller explorer des territoires lointains de la Voie lactée, telles des exoplanètes dans d'autres systèmes. Dans le sillage des voiles solaires, ce projet nous ouvre de nouvelles perspectives et, s'il se réalise, promet bien des changements...

Xavier Demeersman
Futura-Science

Photo : NASA

Crédits : NASA

TROP LOURDE, MARS A GLISSÉ AUTOUR DE SON NOYAU PENDANT SON ENFANCE

La planète Mars réserve toujours des surprises. Des chercheurs viennent d'annoncer que sa croûte et son manteau auraient basculé du nord vers le sud durant l'enfance de cette planète âgée alors d'un milliard d'années, une époque considérée comme propice à l'apparition de la vie.

Cette rotation est loin d'être mineure : la surface a bougé d'environ 20 à 25 degrés de latitude. Sur Terre, ce serait comme déplacer Paris au niveau du tropique. A la surface de la Planète rouge, c'est l'équivalent d'un mouvement de plus de 1 400 kilomètres. L'enfant Mars est quasiment tombé du berceau.

« C'est comme si la chair d'un abricot tournait autour de son noyau », résume joliment Sylvain Bouley (université Paris-Sud, laboratoire de géosciences Geops), premier auteur de l'étude publiée par Nature mercredi 2 mars et qui associe en outre plusieurs équipes françaises du CNRS, des universités de Toulouse, Pierre-et-Marie-Curie, Paris-Diderot ainsi que l'université d'Arizona.

Ce basculement est différent d'autres chamboulements comme l'inversion des pôles magnétiques d'une planète ou la modification de l'axe de rotation de la planète sur elle-même. Celle-ci a d'ailleurs déjà eu lieu pour Mars, sur une plus grande amplitude, il y a quelques millions d'années seulement, entraînant des changements climatiques majeurs. Ici, il s'agit d'un effet de gravitation dû à un surpoids colossal qui a commencé il y a

environ 3,7 milliards d'années avec la naissance du dôme dit « Tharsis ».

Bubon géant

Ce point chaud a accumulé pendant des centaines de millions d'années d'énormes quantités de lave, provoquant une excroissance atteignant 5 000 kilomètres de diamètre et 12 kilomètres d'épaisseur. Un bubon géant d'une masse équivalant à 1/70e de celle de la Lune. Cette région est traversée aujourd'hui par l'équateur martien.

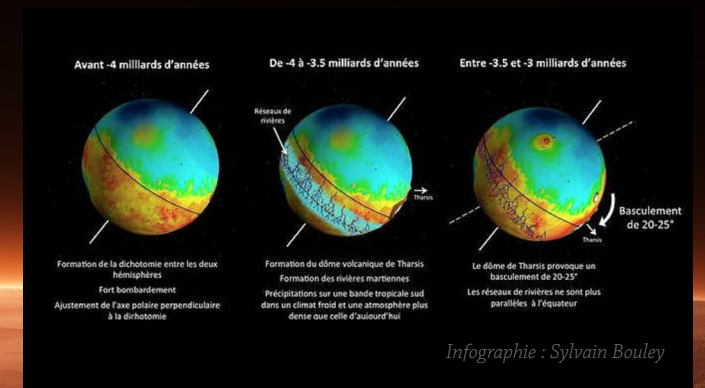
A son voisinage se trouve la plus haute montagne du système solaire, Olympus Mons, qui mesure plus de 21 kilomètres d'altitude. En l'absence de tectonique des plaques comme sur Terre, cette énorme concentration de matière a déformé la croûte et modifié son équilibre gravitationnel, entraînant le basculement.

Celui-ci avait déjà été évoqué en 2010 par Isamu Matsuyama, cosignataire de l'étude de Nature, grâce à des simulations numériques. Cette fois, les chercheurs estiment avoir trouvé des preuves de ce phénomène particulièrement bouleversant pour la morphologie de la planète. D'une part, ils

ont calculé la position du pôle Nord de Mars en remettant la chair de l'abricot à sa place, c'est-à-dire en calculant sa nouvelle position d'équilibre en l'absence de Tharsis. Ils ont alors trouvé au nouveau pôle un point autour duquel des observations antérieures avaient indiqué la présence de glaces souterraines. Comme attendu pour un « vrai » pôle glaciaire.

D'autre part, ils ont analysé la répartition et l'orientation des restes de vallées fluviales martiennes. Aujourd'hui, celles-ci sont localisées sur une bande d'environ 2 000 kilomètres de large située dans l'hémisphère Sud. En décalant cette zone d'une vingtaine de degrés vers le nord, elle se trouve alors au niveau d'une zone tropicale sous-équatoriale. Or, justement, des simulations du climat martien prévoient une accumulation de précipitations (pluie, neige, glaces) au niveau d'une telle bande (un peu comme pour les tropiques terrestres). L'hypothèse du basculement remet donc en quelque sorte les choses à l'endroit.

David Larousserie
Le Monde



Infographie : Sylvain Bouley