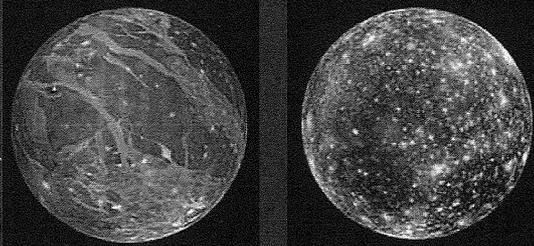


UN SYSTÈME SOLAIRE PLUS HABITABLE QUE PRÉVU

DEROULEMENT DE L'ÉPREUVE :

25 minutes d'interrogation comprenant :

- La lecture du résumé comportant au maximum 10 lignes,
- La lecture des mots clés (5 maximum),
- Un exposé structuré (10 minutes maximum),
- Des réponses aux questions scientifiques posées par les examinateurs à partir du texte.



Clichés de Ganymède (à gauche) et de Callisto (à droite) pris par la sonde Galileo.

Un système solaire plus habitable que prévu

25 km

La recherche de vie extraterrestre est depuis longtemps synonyme de recherche d'eau liquide. Et pour cause : partout où il y a de l'eau liquide sur Terre, on trouve quasi systématiquement de la vie. Ce principe a conduit les exobiologistes à lier la zone d'habitabilité des systèmes planétaires à l'éloignement de leur étoile : n'étaient habitables que les corps situés à une distance où l'énergie apportée par les radiations de l'étoile permettait le maintien d'une eau à l'état liquide. Ce qui, dans le système solaire, correspond à une bande située entre les orbites de Vénus et de Mars.

Une planète rouge aride mais remplie d'eau

Or, si l'on n'a pas trouvé la moindre trace d'humidité sur Vénus, les missions martiennes qui se sont succédé depuis le milieu des années 1990 ont apporté la preuve que la planète rouge regorge d'eau, que ce soit sous forme de glace, de vapeur ou de minéraux hydratés. « Si on combinait tous les dépôts de glace d'eau détectés à ce jour, ce qui inclut notamment la calotte de 1 000 kilomètres de diamètre qui

recouvre le pôle Nord de Mars, note Franck Montmessin, du Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales (Latmos)⁷, on obtiendrait une masse d'eau équivalente à celle d'un océan global de 30 mètres environ de profondeur. » La découverte de formations géologiques similaires aux réseaux fluviaux terrestres indique que, par le passé, l'eau a abondamment coulé et que la planète a donc un jour été habitable, si ce n'est habitée. Malheureusement, aujourd'hui, on ne trouve plus d'eau liquide stable à la surface de Mars. En effet, la très faible pression atmosphérique martienne fait que la glace d'eau, quand elle fond, ne s'y transforme pas en liquide, mais se sublime directement en vapeur d'eau.

Les chercheurs n'ont toutefois pas abandonné la traque aux indices d'une vie martienne, présente ou passée. Surtout depuis que plusieurs équipes indépendantes ont détecté des bouffées de méthane dans l'atmosphère martienne. Or, si la présence de méthane est souvent liée à une activité biologique, elle peut aussi résulter de processus géophysiques comme le volcanisme. La sensibilité des appareils actuels ne permet pas de déterminer l'origine de ce gaz. « L'orbiteur de

7. Unité CNRS/UPMC/UVSQ/Cnes.

Lire notre article « Vie sur Mars : l'enquête progresse » sur lejournal.cnrs.fr

Cliché d'Europe avec zoom sur sa croûte glacée qui recouvre un océan profond d'une centaine de kilomètres.

© NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA



Vue d'artiste du rover européen ExoMars 2018, aussi appelé Pasteur.

Mars : quatre allers pour préparer un retour

« On a changé de paradigme, affirme Franck Montmessin, du Latmos. La seule recherche d'eau n'est plus la priorité. On s'intéresse désormais à l'environnement géochimique martien actuel et aux indices qu'il fournit sur l'évolution de son habitabilité, voire de son activité biologique. » Ainsi, au cours des cinq prochaines années, pas moins de quatre missions complémentaires sont programmées qui s'intéresseront à la structure interne, à la chimie du sol et à l'atmosphère de la planète. Deux seront pilotées par la Nasa, Insight en 2016, puis Mars 2020 ; et deux autres seront issues d'une collaboration entre les agences spatiales européenne (ESA) et russe, ExoMars 2016 et ExoMars 2018. Outre la mise en orbite par ExoMars 2016 du satellite TGO (Trace Gas Orbiter), équipé d'instruments de détection des gaz de l'atmosphère, toutes ces missions prévoient un atterrissage sur Mars, qu'il s'agisse d'une station fixe (l'atterrisseur européen Schiaparelli et l'américain Insight en 2016) ou des rovers européen puis américain. Ces explorations doivent conduire à une mission assurant le retour d'échantillons martiens sur Terre. Le lancement d'ExoMars 2016 est prévu en janvier 2016, pour une mise en orbite martienne de TGO et un atterrissage de Schiaparelli le 19 octobre 2016 ; une première pour l'Europe depuis l'échec de la sonde Beagle 2 en 2003. || Y. P.

la mission ExoMars 2016 sera équipée de deux spectromètres qui augmenteront les seuils de sensibilité d'un facteur 10 à 100, précise Franck Montmessin. Ils permettront d'établir un premier inventaire détaillé des gaz présents sur Mars et pourront apporter des éléments pour contraindre les hypothèses sur l'origine du méthane détecté. » Les rovers des missions ExoMars 2018 et Mars 2020 se chargeront ensuite d'analyser des roches vieilles de plus de 3 milliards d'années, quand la planète disposait d'une atmosphère bien plus dense et que l'eau liquide y abondait. Avec l'espoir d'y trouver les traces d'une chimie prébiotique, voire d'une activité biologique.

De la vie sous la glace ?

Parallèlement aux efforts déployés pour autopsier notre voisine, les données collectées par les sondes Galileo et Cassini ont montré que Mars n'était peut-être pas le seul corps du système solaire à avoir pu abriter une vie extraterrestre. « De récentes découvertes sur les lunes de Jupiter et de Saturne ont complètement remis en cause nos notions d'habitabilité, reconnaît Athéna Coustenis, planétologue au Lésia. Les effets de marée qu'exercent les géantes gazeuses sur leurs lunes glacées leur procurent une source d'énergie

constante qui entretient leur activité géologique et permet l'existence d'océans liquides sous la glace, ce qui les rend potentiellement habitables. » Rien qu'autour de Jupiter, si Europe apparaît comme la candidate la plus prometteuse, avec son océan de 100 kilomètres de profondeur, Callisto pourrait, elle aussi, cacher un océan sous une épaisse couche de glace ; quant à Ganymède, le plus gros satellite du système solaire, on le soupçonne d'être recouvert d'un millefeuille alternant couches glacées et liquides.

C'est dans ce contexte que l'Agence spatiale européenne (ESA) a validé, en novembre dernier, la mission Juice (Jupiter Icy Moon Explorer), la première grande mission du programme Cosmic Vision 2015-2025. « Juice permettra, entre autres, de déterminer l'habitabilité des satellites de Jupiter Europe, Callisto et Ganymède, explique Athéna Coustenis. L'orbiteur emportera une dizaine d'instruments, certains développés par des équipes du CNRS, destinés à l'étude de l'atmosphère et de la magnétosphère jovienne ainsi qu'à la caractérisation de ces lunes, de leur exosphère et de leur océan enfoui sous la glace. » Le lancement est prévu en 2022, pour une mise en orbite autour de Ganymède en 2030, juste après le survol d'Europe à deux reprises. || Y. P.

Exoplanètes : quels climats pour quelle vie ?

Véritables fournaies, rafales de vent ou encore saunas permanents, le climat des **exoplanètes** pourrait se révéler très exotique. C'est ce que montre le travail de prospective de François Forget et Jérémy Leconte, chercheurs en météorologie dynamique⁸. Ils développent depuis 2008 un modèle numérique permettant d'imaginer le climat de ces planètes en dehors du système solaire. « *C'est un travail fondamental qui ouvre un nouveau champ de recherche, affirme Vincent Coudé du Foresto, astronome spécialiste des exoplanètes à l'Observatoire de Paris. Car, si on est tout à fait capable de déterminer à quoi ressemble une étoile, ce n'est pas encore le cas pour les exoplanètes.* »

« *Pour simuler le climat d'une exoplanète, on a besoin de connaître au moins trois paramètres : son insolation, les mouvements qu'elle effectue et la composition de son atmosphère* », explique François Forget. L'insolation de la planète varie en fonction de sa distance à l'étoile et à la taille de cette dernière. Plus l'étoile est proche et massive, plus il fera chaud. L'orbite de la planète et sa rotation sur elle-même

influencent sur la météo et peuvent provoquer des variations climatiques à l'image des saisons sur Terre. D'ailleurs, certaines exoplanètes pourraient montrer en permanence une seule face à leur Soleil, comme la Lune avec la Terre. Une face resterait donc dans l'obscurité et le froid permanent. L'atmosphère, elle, est composée de différents gaz, azote, soufre, oxygène, vapeur d'eau... qui, en fonction de leur nature et de leur concentration, jouent sur le climat.

Des atmosphères encore mal connues

Le but de ces recherches est notamment de déterminer s'il existe beaucoup de planètes dont le climat permet à la vie de se développer. La présence d'eau est nécessaire, mais pas suffisante, car celle-ci peut, en fonction des conditions climatiques, être totalement gelée ou n'exister que sous forme de vapeur. Or l'eau à l'état liquide est indispensable pour la vie telle que nous la connaissons. Plus de 1 800 exoplanètes ont déjà été répertoriées⁹, mais les observations restent très incomplètes. « *Pour l'instant, on connaît plusieurs planètes évoluant dans des zones d'habitabilité par rapport à leur*

EXOPLANÈTE

Planète en orbite autour d'une autre étoile que le Soleil, appelée aussi planète extrasolaire.

8. Laboratoire de météorologie dynamique (CNRS/École polytechnique/ENS/UPMC). 9. Source : The Extrasolar Planets Encyclopaedia : <http://exoplanet.eu>



étoile, mais on ne sait pas concrètement si leur atmosphère, elle, est habitable», constate François Forget.

L'atmosphère, c'est donc le paramètre le plus problématique pour nos chercheurs. En effet, il est très difficile de déterminer la composition de l'atmosphère de corps célestes qui se trouvent à des années-lumière de la Terre : 4,3 années-lumière pour la planète la plus proche, Alpha Centauri B, soit une distance 40 000 fois plus importante que celle qui nous sépare de Jupiter. La technologie actuelle permet d'analyser les atmosphères par spectroscopie quand la planète passe devant son étoile. À partir du spectre, on détermine les espèces chimiques présentes dans l'atmosphère et on estime leur concentration. Mais cela n'est réalisable que pour des exoplanètes relativement grosses, de type Jupiter chaud, et qui tournent autour d'étoiles plus petites que le Soleil. Des conditions qui expliquent qu'on ne connaisse encore l'atmosphère d'aucune exoplanète rocheuse, plus similaire à la Terre.

Un défi pour l'imagination

Ce manque de données n'a pas suffi à arrêter François Forget et Jérémie Leconte. Au contraire, ils ont commencé par bâtir une classification des atmosphères : « Nous avons essayé de déterminer quelles pouvaient être les atmosphères possibles des exoplanètes, raconte le météorologue. Cette classification est très certainement fautive, mais on a beaucoup de mal à anticiper ce qui changera avec les futures données. » Pas facile, en effet, de deviner les propriétés d'atmosphères encore jamais rencontrées dans le système solaire. « Si on ne connaissait pas Saturne, personne n'aurait pensé que les planètes pouvaient être entourées d'anneaux », fait remarquer en souriant François Forget. Comme point de départ, les chercheurs ont donc utilisé les paramètres atmosphériques des planètes de notre système, mais ils savent que ce ne sera pas suffisant. « Par exemple, on ne s'attendait pas du tout à observer des planètes de type Jupiter si près du Soleil », souligne le météorologue.

Dernière étape, les chercheurs n'ont plus qu'à utiliser le modèle générique de climat global, le programme développé pour prévoir les climats. « On crée une sphère à laquelle on applique nos paramètres, l'insolation, le mouvement planétaire, la composition de l'atmosphère, mais aussi le relief, les règles appliquées à la propagation de la lumière... Puis on lance la simulation », décrit François Forget. Il est alors possible de constater la formation de couvertures nuageuses, de glaciers ou encore d'océans. Le logiciel, similaire à ce qui existe pour prévoir la météo sur Terre, génère des scénarios climatiques qui correspondent plutôt bien à ce qui se passe sur les planètes du système solaire. « Mais cette comparaison nous permet aussi d'identifier les phénomènes que nous avons du mal à simuler, comme la circulation des vents sur Vénus ou les tempêtes de poussières sur Mars », explique le chercheur.

Mais alors, quel climat règne sur nos lointaines exoplanètes ? La simulation permet d'extrapoler les conditions climatiques de plusieurs planètes déjà répertoriées. Pour des planètes rocheuses très proches de leur soleil et qui ne lui montre qu'une face, des océans de lave se formeraient côté ensoleillé. Le côté opposé présenterait, lui, une perpétuelle nuit. La différence de température entre les deux faces serait alors à l'origine de vents de plusieurs centaines de kilomètres par heure. Corot-7b, dont la découverte avait été très médiatisée en 2009, pourrait être une de ces planètes. Les chercheurs imaginent aussi des planètes recouvertes d'eau qui, si leur température était suffisamment élevée, deviendraient des planètes sauna, c'est-à-dire enveloppées de vapeur d'eau. Ce pourrait être le cas de Gliese 1214b. On peut aussi trouver des planètes yoyo, dont l'orbite est très excentrique, comme 16 Cygni Bb. Elles connaîtraient des hivers très longs et des étés très

“Pour simuler le climat d'une exoplanète, il faut connaître son insolation, les mouvements qu'elle effectue et la composition de son atmosphère.”

courts. Pour perfectionner la simulation, il faut maintenant recueillir un maximum de données sur les exoplanètes et les confronter au modèle.

La stabilité du climat nécessaire à la vie

Au-delà de l'incroyable diversité des simulations, les scénarios météorologiques générés par François Forget et son équipe montrent surtout combien l'équilibre du climat est fragile. « Le climat d'une planète peut basculer brutalement à la suite des plus infimes variations de paramètres, explique-t-il. Or un des critères permettant à une planète de contenir de la vie, c'est aussi de conserver un climat stable pendant longtemps car, dès qu'il penche vers un extrême de température, c'est toute l'eau liquide qui disparaît. » La Terre, qui a réussi à retenir son eau pendant 4 milliards d'années, est-elle une exception ? En tout cas, les chercheurs du Laboratoire de météorologie dynamique ont montré qu'il suffit de l'éloigner légèrement du Soleil pour qu'en vingt-cinq ans elle se transforme en boule de neige. « Il n'est pas impossible que le climat terrestre soit une exception », affirme le météorologue. La plus étrange des planètes pourrait bien être la Terre. ■ T. C.