



## Climat des exoplanètes: d'habitables à infernales, un rien suffit

Une équipe de l'UNIGE et du CNRS est parvenue à simuler de manière complète l'emballlement de l'effet de serre, qui peut rendre une planète totalement inhabitable.

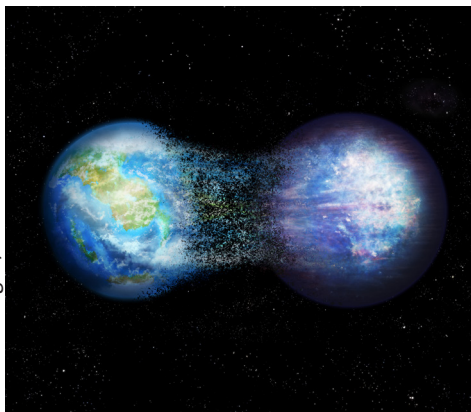
**La Terre est une magnifique planète bleue et verte, couverte d'océans et de vie, alors que Vénus est une boule jaune stérile totalement inhospitalière. Pourtant, la différence entre les deux ne tient qu'à quelques degrés seulement. Une équipe d'astronomes de l'Université de Genève (UNIGE), avec le soutien des laboratoires du CNRS de Paris et Bordeaux, a réalisé une première mondiale en parvenant à simuler la totalité du processus d'emballlement de l'effet de serre, qui peut transformer le climat d'une planète idyllique et parfaitement habitable en un environnement plus qu'inhospitalier. Les scientifiques ont par ailleurs démontré que dès les premiers signes du processus, les structures de l'atmosphère et de la couverture nuageuse sont modifiées en profondeur, conduisant à un emballlement de l'effet de serre quasi-inéluctable et extrêmement compliqué à inverser. Sur Terre, une élévation de seulement quelques dizaines de degrés Celsius de la température moyenne globale, provoquée par une légère augmentation de la luminosité du Soleil, serait suffisante pour provoquer cet emballlement et rendre notre planète inhabitable. Ces résultats sont à découvrir dans *Astronomy & Astrophysics*.**

L'idée d'un emballlement de l'effet de serre n'est pas nouvelle. Dans ce scénario, une planète peut évoluer d'un état tempéré semblable à la Terre à un véritable enfer, avec une surface à plus de 1000°C. En cause? La vapeur d'eau, gaz à effet de serre naturel. Celle-ci empêche le rayonnement solaire absorbé par la Terre d'être réémis vers le vide spatial, sous forme de rayonnement thermique. La vapeur d'eau piège donc la chaleur, un peu à la manière d'une couverture de survie. Un soupçon d'effet de serre est utile – sans lui, la Terre aurait une température moyenne négative, ressemblant alors à une boule couverte de glace et hostile à la vie.

À l'opposé, un effet de serre trop important augmente l'évaporation des océans et donc la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère. «Il existe un seuil critique pour cette quantité de vapeur d'eau au-delà duquel la planète ne peut plus refroidir. À partir de là, tout s'emballle, jusqu'à ce que les océans finissent par s'évaporer totalement et que la température atteigne plusieurs centaines de degrés», explique Guillaume Chaverot, ancien chercheur post-doctorant au Département d'astronomie de l'UNIGE, et auteur principal de l'étude.

### Première mondiale

«Jusqu'à présent, les autres études clés en climatologie se sont concentrées sur l'étude soit de l'état tempéré avant l'emballlement, soit de l'état inhabitable à l'issue de l'emballlement», révèle Martin Turbet, chercheur dans les laboratoires CNRS de Paris et Bordeaux,



L'emballlement de l'effet de serre peut transformer une planète habitable tempérée, avec un océan de surface d'eau liquide, en une planète hostile à toute vie, à l'atmosphère dominée par de la vapeur très chaude.

### Illustrations haute définition

## contact

### **Guillaume Chaverot**

Post-doctorant  
Département d'astronomie  
Faculté des sciences  
UNIGE

Institut de Planétologie  
et d'Astrophysique de Grenoble  
Université Grenoble Alpes

+33 4 76 63 58 39  
guillaume.chaverot@  
univ-grenoble-alpes.fr

### **Émeline Bolmont**

Professeure assistante  
Département d'astronomie  
Directrice  
Centre pour la Vie dans l'Univers  
Faculté des sciences  
UNIGE

+41 22 379 24 44  
emeline.bolmont@unige.ch

### **Martin Turbet**

Chercheur CNRS  
Laboratoire de Météorologie  
Dynamique  
Institut Pierre et Simon Laplace  
Laboratoire d'Astrophysique  
de Bordeaux  
CNRS

+33 1 44 27 74 02  
martin.turbet@lmd.ipsl.fr

**DOI: 10.1051/0004-6361/202346936**

et co-auteur de l'étude. «C'est la première fois qu'une équipe étudie la transition en elle-même avec un modèle 3D de climat global, et s'intéresse à la façon dont le climat et l'atmosphère évoluent durant ce processus».

L'un des points clés de l'étude décrit la mise en place d'un motif nuageux bien particulier, participant à l'effet d'emballement et rendant le phénomène inexorable. «Dès le début de la transition, on peut voir que des nuages très denses se développent dans la haute atmosphère. Cette dernière ne présente d'ailleurs plus l'inversion de température typique de l'atmosphère terrestre et séparant ses deux couches principales: la troposphère et la stratosphère. La structure de l'atmosphère est modifiée en profondeur», indique Guillaume Chaverot.

### **Des conséquences pour la recherche de vie ailleurs**

Cette découverte est un élément central pour l'étude du climat sur d'autres planètes, en particulier sur les exoplanètes – des planètes orbitant autour d'autres étoiles que le Soleil. «En étudiant le climat d'autres planètes, l'une de nos principales motivations est de déterminer le potentiel de celles-ci d'abriter la vie», détaille la professeure Émeline Bolmont, directrice du Centre pour la Vie dans l'Univers (CVU) de l'UNIGE et co-auteure de l'étude.

Le CVU mène des projets de recherche interdisciplinaires de pointe sur l'origine de la vie sur Terre et sur la recherche de la vie dans notre système solaire et les systèmes exoplanétaires. «Grâce à de précédentes études, nous soupçonnions déjà un tel seuil de vapeur d'eau critique, mais la formation du motif de nuages est une vraie surprise!», s'enthousiasme Émeline Bolmont. «Nous avons étudié en parallèle comment ce motif pourrait créer une "empreinte" spécifique détectable lors de l'observation des atmosphères exoplanétaires. La prochaine génération d'instruments devrait être à même de la détecter», précise Martin Turbet. L'équipe ne compte d'ailleurs pas s'arrêter là, Guillaume Chaverot ayant en effet reçu une bourse de recherche pour poursuivre cette étude à l'Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble (IPAG). Cette nouvelle étape du projet de recherche se concentrera sur le cas spécifique de la Terre.

### **Une planète Terre à l'équilibre fragile**

Avec ces nouveaux modèles climatiques, les scientifiques ont calculé qu'un accroissement infime de la luminosité du Soleil - conduisant à une augmentation de seulement quelques dizaines de degrés de la température moyenne terrestre - pourrait être suffisant pour enclencher ce processus irréversible sur Terre et rendre celle-ci aussi inhospitalière que Vénus. L'un des enjeux climatiques actuels est de réussir à limiter le réchauffement moyen sur Terre, résultant des émissions de gaz à effet de serre, à seulement 1.5 degrés d'ici 2050. L'une des questions de la bourse de recherche de Guillaume Chaverot

est de déterminer si les gaz à effet de serre peuvent démarrer ce processus d'emballement comme le ferait un accroissement de la luminosité du Soleil. Si oui, la question suivante sera de déterminer si les températures de déclenchement sont les mêmes pour les deux processus.

La Terre n'est donc pas si loin de ce scénario apocalyptique. «Dans l'hypothèse où ce processus d'emballement s'enclencherait, une évaporation de seulement 10 mètres de la surface des océans résulterait en une augmentation de la pression atmosphérique au sol d'1 bar. En quelques centaines d'années, nous atteindrions une température de plus de 500°C au sol. Plus tard, nous atteindrions même jusqu'à 273 bars de pression et plus de 1500°C, lorsque la totalité des océans finirait par être évaporée», conclut Guillaume Chaverot.

### ***Les exoplanètes à Genève: 25 ans d'expertise couronnés par un prix Nobel***

La première exoplanète a été découverte en 1995 par deux chercheurs de l'Université de Genève, Michel Mayor et Didier Queloz, lauréats du prix Nobel de physique 2019. Cette découverte a permis au [Département d'astronomie de l'Université de Genève](#) de se situer à la pointe de la recherche dans le domaine avec notamment la construction et l'installation de HARPS sur le télescope de 3,6m de l'ESO à La Silla en 2003.

Ce spectrographe est resté pendant deux décennies le plus performant du monde pour déterminer la masse des exoplanètes. HARPS a cependant été surpassé en 2018 par ESPRESSO, un autre spectrographe construit à Genève et installé sur le Very Large Telescope (VLT) à Paranal, au Chili.

La Suisse s'est aussi engagée dans les observations depuis l'espace des exoplanètes avec la mission CHEOPS, résultat de deux expertises nationales, d'une part le savoir-faire spatial de l'Université de Berne avec la collaboration de son homologue genevoise, et d'autre part l'expérience au sol de l'Université de Genève secondée par sa consœur de la capitale helvétique. Deux compétences scientifiques et techniques qui ont également permis de créer le [Pôle de recherche national \(PRN\) PlanetS](#).

### ***Le Centre pour la Vie dans l'Univers: un pôle d'excellence interdisciplinaire***

Le [Centre pour la Vie dans l'Univers \(CVU\)](#) est un centre interdisciplinaire de l'Université de Genève (UNIGE) créé en 2021, à la suite de l'obtention en 2019 du prix Nobel de physique par les professeurs Michel Mayor et Didier Queloz. Grâce aux progrès réalisés au cours de la dernière décennie, à la fois dans les domaines de l'exploration du système solaire, des exoplanètes et de la structure organique de la vie, la question de l'émergence de la vie sur d'autres planètes peut désormais être abordée de manière tangible, et non plus spéculative. À la convergence de l'astronomie, de la chimie, de la physique, de la biologie et des sciences de la Terre et du climat, le CVU a pour objectif de comprendre les origines et la répartition de la vie dans l'Univers. Initié par le Département d'astronomie, le CVU réunit des chercheuses et chercheurs de nombreux instituts et départements de l'UNIGE, ainsi que de multiples universités partenaires à l'international.

**UNIVERSITÉ DE GENÈVE**  
**Service de communication**  
24 rue du Général-Dufour  
CH-1211 Genève 4  
Tél. +41 22 379 77 17  
media@unige.ch  
www.unige.ch