



© ESO/L. CALCADA, 2010

CoRoT-7b est la plus proche exoplanète connue de son étoile hôte. Sa masse est équivalente à cinq fois celle de la Terre.
The exoplanet CoRoT-7b is in fact the closest known to its host star. Its mass is five times that of Earth.

Exobiologie / Une exploration au cœur d'un autre monde

LILIANE FEUILLERAC POUR LE CNES

La vie « ailleurs ». Depuis Fontenelle (1686), les écrivains en ont souvent rêvé, les scientifiques continuent à la chercher. En 1995, les astronomes suisses Michel Mayor et Didier Queloz détectent une première planète hors du Système solaire, dans la constellation de Pégase. Cette découverte déclenche une multitude d'observations et stimule les améliorations technologiques. Depuis, toutes méthodes confondues, plus de 560 exoplanètes ont été détectées. Aujourd'hui, l'exobiologie, une jeune science qui rassemble les connaissances de nombreuses disciplines, cherche un signe, une trace d'une vie dans l'Univers et étudie l'origine de la vie sur Terre. Des disciplines scientifiques diverses : physique, chimie, mathématiques, astronomie, biologie, géologie... abordent, chacune avec ses outils, la question de la vie et de l'évolution du vivant. Une large place leur est faite dans les programmes des lycées. S'intéresser aux singularités de la Terre, en étudier les particularités au regard de sa masse, de sa distance au Soleil, définir les zones d'habitabilité autour des étoiles, comprendre la parenté chimique entre vivant et non-vivant... sont autant de points passionnants, notamment pour les élèves des classes de seconde en SVT.



Portrait Profile
Philippe Laudet
> P. 4

www.cnes.fr

www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs/

Exobiology Exploring worlds apart

LILIANE FEUILLERAC FOR CNES

Ever since Fontenelle (1686), authors have often dreamed of other-worldly life and scientists are still searching for it today. In 1995, Swiss astronomers Michel Mayor and Didier Queloz detected the first planet outside the Solar System, in the Pegasus constellation, a discovery that sparked a flurry of observations and technology improvements. In all, 560 exoplanets have since been found using various methods.

Today, the young, cross-disciplinary science of exobiology is looking for a sign, a trace of life in the Universe and studying the origin of life on Earth. Each discipline—physics, chemistry, mathematics, astronomy, biology, geology and others—seeks to resolve the riddle of life and its evolution with its own tools. All these fields are widely covered in the high-school curriculum. Studying Earth's singular features with respect to its mass and distance from the Sun, defining habitability zones around stars and understanding how living and non-living things are chemically related are fascinating subjects, particularly for 10th grade life and Earth science classes.

LES EXOPLANÈTES EN TROIS QUESTIONS

Qu'appelle-t-on une exoplanète ?

Une exoplanète est une planète qui tourne autour d'une étoile autre que le Soleil. On les appelle aussi des « planètes extrasolaires ». La plupart des exoplanètes découvertes à ce jour se trouvent autour d'étoiles situées à moins de 400 années-lumière de notre Système solaire.

Comment les détecte-t-on ?

Les deux méthodes les plus utilisées sont celle des vitesses radiales et celle du transit. La mesure des vitesses radiales s'appuie sur l'étude du spectre lumineux de l'étoile. En orbitant autour de son étoile, la planète provoque des perturbations et influence le mouvement de celle-ci. Cette perturbation du mouvement se traduit par une modification par effet Doppler de la lumière reçue par le télescope. Cette altération signe des variations de vitesse radiale de l'étoile. Si elles sont périodiques, elles indiquent la présence presque certaine d'une exoplanète. Ces observations apportent aussi des informations sur la position de l'orbite de la planète ainsi que sur sa masse. Cette méthode de détection est la plus performante pour des planètes massives qui évoluent très près de leur étoile. L'autre méthode consiste à détecter un « transit ». Lorsqu'une planète passe devant son étoile, pendant une courte fraction de temps, elle occulte une partie de la surface, et la luminosité apparente de l'étoile baisse légèrement. Cette mesure fournit des informations très précises sur la taille de la planète. Bien que très utilisée au sol, cette méthode des transits est aussi adaptée aux missions spatiales qui fournissent de grands champs et de longues durées d'observation.

Comment définir une zone d'habitabilité ?

Les astronomes ont défini autour des étoiles une zone d'habitabilité. Une planète se situant dans cette zone peut abriter de l'eau liquide à sa surface, comme la Terre. Trop près, la température serait trop élevée, et l'eau s'évaporerait. Trop loin, la température serait trop basse, et l'eau n'existerait que sous forme de glace. Il ne suffit pas toutefois qu'une planète soit dans cette zone pour être effectivement habitable. Il faut que sa masse ne soit ni trop faible (comme celle de Mars) ni trop élevée. Il faut aussi qu'elle ait assez d'eau et de gaz pour constituer une atmosphère. Mars, avec une atmosphère très ténue (13 millibars, un centième de la pression terrestre), ne peut conserver d'eau liquide en surface, et sa température moyenne est de l'ordre de -60°C .

Des méthodes diverses

Plusieurs méthodes sont utilisées pour détecter et observer les étoiles et leurs planètes. Outre la *mesure des vitesses radiales* et le *transit*, les scientifiques peuvent avoir recours à :

- **La microlentille gravitationnelle** — Cet effet se produit lorsque le champ gravitationnel d'une étoile dévie la lumière issue d'une étoile distante située derrière, à la manière d'une lentille. Si l'étoile qui dévie la lumière possède une planète, cette dernière peut être détectée comme une perturbation de la déviation observée.
- **L'imagerie** — La coronographie est une méthode de détection directe. Elle va chercher à mesurer directement les photons réfléchis ou émis par la planète.
- **Le chronométrage** — Cette méthode consiste à mesurer une variation dans le temps d'arrivée d'un signal régulier émis par l'étoile. Elle est assez peu utilisée pour observer les étoiles « normales », qui n'émettent pas un signal suffisamment régulier, mais a détecté plusieurs planètes extrasolaires autour d'un pulsar dès 1992.



© NASA/ESA/H. BOND/STSC

Résultat Hubble de V838 Monocerotis, étoile de la constellation de la Licorne. Elle a produit un éclat très intense en éjectant une coquille de poussières. Hubble image of V838 Monocerotis, a star in the Unicorn (Monoceros) constellation. The star produced a very bright flash, illuminating surrounding dust as it ejected dust shells.

Exoplanet Q&A

What is an exoplanet?

An exoplanet is a planet orbiting a star other than our Sun. Exoplanets are also called extrasolar planets. Most exoplanets discovered so far are orbiting stars at least 400 light-years from our Solar System.

How do we detect one?

The two methods most used are the radial velocity and planetary transit methods. The radial velocity or “wobble” method looks at a star’s light spectrum. As a planet orbits its star, it causes it to wobble slightly. This movement can be detected by measuring the Doppler shift in the light spectrum viewed through a telescope, which signals variations in the star’s radial velocity. If the variations are periodic, they are almost certainly the result of an orbiting exoplanet. Such observations also yield information about the position of the planet’s orbit and its mass. This detection method is the most effective for massive planets orbiting very close to their star. The transit method consists in detecting when a planet crosses in front of its star. When this occurs, it hides part of the star’s surface for a short fraction of time and the star’s brightness dips slightly. This detection method tells us very precisely how large the planet is. Although widely used with ground telescopes, it is also suitable for space missions affording wide fields of view and long periods of observation.

How is a habitability zone defined?

Astronomers have defined what is termed a “habitability” zone around stars. A planet inside this zone may harbour liquid water on its surface, like Earth. It is sometimes called the “Goldilocks” zone because if a planet is too close to its star, temperatures are too hot and water would evaporate; if too far away, temperatures are too cold and water could only exist in the form of ice. But being inside this zone is not sufficient for a planet to be actually habitable. Its mass must not be too low (like Mars) or too high. There must also be enough water and gas to form an atmosphere. Due to its very tenuous atmosphere (at a pressure of 13 millibars, one-tenth that of Earth’s), Mars is unable to sustain liquid water on its surface and its average temperature is around -60°C .

Detection methods

Several methods are used to detect and observe stars and their planets. In addition to the radial velocity and transit methods (see p.2), scientists also use:

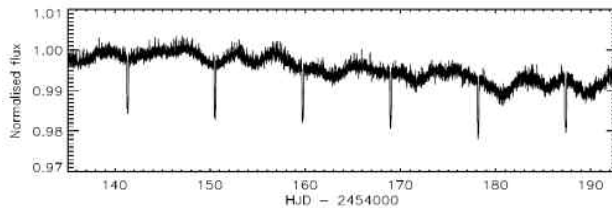
- **Gravitational microlensing** - This effect occurs when a star’s gravitational field bends the light from a more-distant star behind it, like a lens. If the star bending the light has a planet, the planet can be detected by observing distortion in the deviation of the light from the background star.
- **Direct imaging** - Coronagraphy is a direct detection method that measures photons reflected or emitted by a planet.
- **Pulsar timing** - This method measures a variation in the time taken by a regularly emitted signal from a star to arrive. It is not often used to observe normal stars that do not emit a sufficiently regular signal, but it has detected several exoplanets around a pulsar since 1992.

EXERCICE DE PHYSIQUE

COROT DÉCOUVRE UN SYSTÈME PLANÉTAIRE INÉDIT

Le satellite d'observation Corot utilise la méthode des transits pour détecter des planètes extrasolaires, mesurant l'assombriement de l'éclat d'une étoile lorsqu'une éventuelle planète, un compagnon, passe « en transit » devant elle. Corot a ainsi découvert très récemment CoRoT-Exo-4b. C'est une planète géante gazeuse semblable à Jupiter: 0,72 fois moins massive et 1,17 fois plus grande qu'elle.

Ci-contre, la courbe de lumière de l'étoile CoRoT-Exo4 donnant le flux lumineux en fonction du temps en jours. The light curve of CoRoT-Exo-4b showing light flux as a function of time in days.



1. En quoi la courbe donnant le flux lumineux en fonction de temps montre-t-elle un événement périodique ?

Réponse : On observe sur la courbe un motif élémentaire qui se reproduit à intervalles de temps réguliers.

2. Expliquer pourquoi le flux lumineux diminue brusquement pour une brève durée, et cela à plusieurs reprises.

Réponse : À chaque révolution autour de l'étoile, l'exoplanète occulte une partie de l'étoile, et le flux lumineux reçu par le satellite diminue. Le fait d'observer un tel phénomène lumineux régulier avec une période fixe est, avec cette technique, le premier signe de la présence possible d'une exoplanète autour d'une étoile.

3. Déterminer, en jours (au dixième), la période T du phénomène observé.

Réponse : Le premier pic est lisible au 141^e jour, le dernier au 187^e jour. Soit $187 - 141 = 46$ jours pour 5 périodes.
 $T = \frac{46}{5} = 9,2$ jours

4. Conclure sur l'intérêt d'avoir un temps d'observation suffisamment long pour observer un phénomène périodique.

Réponse : L'intérêt est double: 1) Si le temps d'observation est long, il est possible d'observer des phénomènes ayant une période plus longue; 2) pour un phénomène ayant une période donnée, plus le temps d'observation est long, plus le nombre de transits est important, et plus la période calculée est précise.

5. Dans quelle situation une exoplanète qui tourne autour de son étoile ne pourra pas être détectée par la méthode des transits (à ces distances, le satellite, la planète et l'étoile sont assimilés à des points géométriques) ?

Réponse : Si l'exoplanète ne passe pas devant son étoile par rapport au satellite, donc si l'orbite de l'exoplanète ne coupe pas le segment défini par les deux points: étoile, satellite d'observation, ou si sa période est trop longue par rapport à la durée de l'observation. Si, trop petite, elle n'occulte pas suffisamment de lumière de l'étoile pour que la variation du signal lumineux soit détectée.

PHYSICS EXERCISE

CoRoT discovers a new planetary system

The CoRoT spacecraft uses the transit method to detect extrasolar planets, measuring the dip in brightness when a companion planet crosses in front of its star. CoRoT recently discovered a new planet called CoRoT-Exo-4b, a gas giant similar to Jupiter: 0.72 times less massive but 1.17 times larger.

1. How does a periodic event show up in the light curve?
 Answer: We can see a dip in the curve repeated at regular time intervals.

2. Explain why the light flux dips suddenly for a short time at several points on the curve.
 Answer: On each orbital revolution of its star, the exoplanet hides part of the star and the light flux from it is reduced. With this technique, observing a regular dip in brightness with a fixed period is the first tell-tale sign that an exoplanet might be orbiting the star.

3. Determine, in days (to within 1/10th of a day), the period T of the phenomenon observed.
 Answer: The first dip is on the 141st day and the last on the 187th day.
 $T = \frac{46}{5} = 9,2$ days Therefore, $187 - 141 = 46$ days over 5 periods.

4. What is the value in having a long enough observation time to see a periodic phenomenon?
 Answer: There is a dual advantage: 1) A long observation time means we can observe phenomena with longer periods. 2) For a phenomenon with a given period, the longer the observation time, the more transits we will see and the more accurately we will be able to calculate the period.

5. In what case would we not be able to detect an exoplanet using the transit method (at such distances, the satellite, planet and star can be equated to geometric points)?
 Answer: If the exoplanet does not cross in front of its star within the satellite's field of view; that is, if the exoplanet's orbit does not intersect the segment defined by the star and the observing satellite or if its period is too long with respect to the observation period. And if the exoplanet is too small to block enough light from the star for the variation in its brightness to be detected.

EXERCICE DE SVT

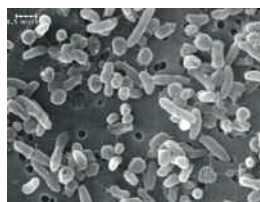
VIVRE EN CONDITIONS EXTRÊMES

En 1977, sont découverts au fond des océans, près de sources hydrothermales sulfurées, des procaryotes (c'est-à-dire, des organismes sans noyau: bactéries et archées) capables de vivre dans des conditions que l'on croyait alors incompatibles avec la vie. Ces micro-organismes ont été baptisés « extrémophiles ». Dès lors, plusieurs micro-organismes présentant ces facultés de vie en milieu extrême ont été découverts.

On distingue, par exemple:

- les hyperthermophiles, capables de résister et de se multiplier à des températures supérieures à 80 °C (certains au-delà de 100 °C);
- les psychrophiles, capables de survivre et de se reproduire en dessous de 10 °C et jusqu'à des températures négatives;
- les acidophiles, présents en milieu ultra-acide, et les alcalophiles, présents en milieu ultra-basique;
- Les barophiles, résistants à de très fortes pressions.

La bactérie *Herminiimonas glaciei* a été découverte en état de dormance dans un glacier du Groenland, par -56 °C et à plus de 3 000 m de profondeur. Elle a été réactivée par des chercheurs de l'université de Pennsylvanie. Ils l'ont d'abord chauffée à 2 °C pendant sept mois, puis à 5 °C pendant quatre mois. À l'issue de



ce processus, ils ont constaté l'apparition de petites colonies bactériennes.

Questions

1. Recenser les conditions extrêmes évoquées dans ce texte.
2. Effectuer une recherche Internet sur le satellite jupitérien Europe. Montrer en quoi les caractéristiques d'Europe et celles de la bactérie *Herminiimonas glaciei* intéressent les exobiologistes.

Réponses

1. Forte température, basse température, forte pression, milieu acide, milieu basique, milieu soumis à des radiations, dessiccation, milieu avec la présence de substances oxydantes.
2. Europe présente des températures très basses, avec la présence de glace (dont de la glace d'eau) formant des blocs posés sur une partie liquide. Des organismes comme *Herminiimonas*, présent au sein d'un glacier du Groenland, pourraient préfigurer ce à quoi pourraient ressembler d'hypothétiques organismes vivants sur ce satellite.

LIFE AND EARTH SCIENCE EXERCISE

Living in extreme conditions

A discovery was made in 1977 near sulphur-bearing hot springs on the ocean floor: prokaryotes, which are organisms with no cell nucleus (bacteria and archaea), capable of living in conditions previously thought inhospitable to life. A new name was coined for these microorganisms: "extremophiles". Several microorganisms able to survive in extreme environments have since been discovered:

- Hyperthermophiles capable of surviving and proliferating in temperatures above 80 °C (and some above 100 °C).
- Psychrophiles capable of surviving and reproducing at temperatures below 10 °C and even below zero.
- Acidophiles living in ultra-acid environments and alkaliphiles in ultra-basic environments.
- Barophiles able to withstand very high pressures.

The bacteria *Herminiimonas glaciei* was found dormant inside a glacier in Greenland at a temperature of -56 °C and a depth of more than 3,000 metres. It was reactivated by researchers at the University of Pennsylvania. After warming the bacteria at 2 °C for seven months and then at 5 °C for four months, small colonies began to develop.

Questions

- 1) List extreme conditions described in this document
- 2) Do a search on the Internet for Jupiter's moon, Europa. Explain why the features of Europa and of the bacteria *Herminiimonas glaciei* interest exobiologists.

Answers: 1) High temperatures, low temperatures, high pressure, acidic environment, basic environment, environment subjected to radiation, desiccation, environment containing oxidizing substances.
 2) Europa has very low temperatures in which ice (including water ice) forms blocks floating on a liquid. Organisms like *Herminiimonas* found in glaciers in Greenland could prefigure what organisms living on this Moon might look like.



“ JE FRÉQUENTE DEUX... UNIVERS. C'EST JUSTE UNE QUESTION D'ÉQUILIBRE. ”

“I live in two different worlds... It's all about getting the balance right.”

© CNES/S. GIRARD, 2011

Philippe Laudet, responsable du Centre de mission Corot. Philippe Laudet, CoRoT mission centre manager.

Pour l'hybridation des Univers

« Je suis de la génération Apollo 11, j'avais 9 ans quand Neil Armstrong a marché sur la Lune; cette image ne m'a jamais quitté », précise Philippe Laudet. De fait, cette image va rester la toile de fond de sa vie, même si, aujourd'hui, il est passé de la Lune à Mars, en devenant chef de projet de la contribution française à ExoMars !

Bon élève, Philippe Laudet se place sur la bonne trajectoire via un bac D. Dans la logique, il suit la filière scientifique dans une école d'ingénieurs à préparation intégrée en région parisienne. Un DEA d'astrophysique l'amène à l'université Paul-Sabatier de Toulouse... à deux pas du CNES ! Passion aidant, il consolide son cursus avec un doctorat d'astrophysique et physique du Système solaire consacré à la mission Sigma, une immersion au cœur des rayons X... « Je menais mes travaux dans un labo scientifique; pendant trois ans, cette aventure m'a passionné. » Elle n'a fait que confirmer sa vocation. En 1988, il intègre le Centre spatial de Toulouse... Un vrai cadeau, dont il se réjouit toujours : « Ce qui me plaît dans le spatial, et au CNES en particulier, c'est qu'en vingt-trois ans j'ai changé au moins quatre fois de métier ! » Topex-Poséidon, Doris, Hélios 2, Corot, son parcours est alors parsemé de défis exaltants ! Chef de projet de la contribution française à ExoMars, il reconnaît : « Électrotechnique, orbitographie, qualité image, puis astronomie avec Corot, les acquis de ces expériences se mêlent, se mélangent, et me facilitent l'approche du management dans les projets scientifiques. Mais c'est aussi l'aventure humaine qui me motive ! Définir des objectifs en équipe, élaborer des stratégies communes, puis partir en mission ensemble, c'est très valorisant », confirme-t-il ! C'est un peu comme jouer en formation sur son autre monde... celui de la musique, l'autre passion dont il ne s'est jamais défait : « C'est tout à fait parallèle. J'ai découvert la musique à peu près en même temps que l'espace, et ça ne m'a jamais quitté non plus. » Trompettiste et pianiste confirmé, il met la même rigueur à composer ou à interpréter qu'à préparer les missions dont il est chargé. Il a juste choisi : de la Lune et de l'espace, il a fait son métier, de la musique son hobby, qu'il exerce de concert en festival au sein d'orchestres à géométrie variable... « Je fréquente deux... Univers. C'est juste une question d'équilibre », s'amuse-t-il !

PROFILE: PHILIPPE LAUDET
French project leader, ExoMars
Living in hybrid worlds

“I’m a child of the Apollo 11 generation. I was 9 when Neil Armstrong first walked on the Moon and that picture has stayed in my mind to this day,” says Philippe Laudet. In fact, it has been the backdrop for his life ever since, even though today he has switched his attention from the Moon to Mars as French project leader for ExoMars.

Philippe Laudet was a bright pupil and his abilities in science led him naturally to engineering school in Paris after his Baccalaureate. Several years later, a postgraduate degree in astrophysics took him to Paul Sabatier University in Toulouse... a stone's throw from CNES! There he consolidated his qualifications and developed his passion for the subject with a PhD in astrophysics and Solar System physics on the Sigma mission, immersing himself in the world of X-rays. “I was working in a science lab, an adventure that kept me fascinated for three years.” This simply confirmed his vocation. In 1988, he joined the Toulouse Space Centre: “What I like about space, and about CNES in particular, is that in 23 years I've changed jobs at least four times!” Having been involved with TOPEX/Poseidon, DORIS, Helios 2 and CoRoT, Philippe has seen plenty of exciting challenges. Now French project leader for ExoMars, he acknowledges that “working in electrical engineering, orbitography, image quality and then astronomy with CoRoT has enabled me to gain a good mix of experience, standing me in good stead for managing science projects. But it's also the human side of the adventure that motivates me, defining team goals and strategies, and then going on a mission together,” he says. It's a bit like playing music together, the other passion in his life. “It's very similar. I really got into music at about the same time as space, and it's been with me ever since.” An accomplished trumpet player and pianist, he applies the same rigour to composing and performing as he does to preparing missions. He chose to make the Moon and space his career, and music his hobby, playing concerts and festivals where his inspiration takes him. “I live in two different worlds... It's all about getting the balance right,” he quips.

(NDR. Nos remerciements vont à Stéphane Blat et Jean-Paul Castro, professeurs de physique, Yves Darbarie, professeur de SVT, Michel Vouzelle, professeur chargé de mission auprès du CNES, Michel Viso, Philippe Laudet et Olivier Vandermarck, CNES) / (Editor's note: Our thanks to physics teachers Stéphane Blat and Jean-Paul Castro; life and Earth science teacher Yves Darbarie; Michel Vouzelle, teacher and advisor to CNES; and Michel Viso, Philippe Laudet and Olivier Vandermarck, CNES).

Cursus

- 1978 – Bac D
- 1983 – Diplôme d'ingénieur (science)
- 1984 – DEA
- 1987 – Doctorat
- 1988 – Entrée au CNES
- Career path
- 1978 - Baccalaureate (science)
- 1983 - Engineering diploma
- 1984 - Postgraduate diploma
- 1987 - PhD
- 1988 - Joins CNES