

La mission

COROT a été lancé depuis le Cosmodrome de Baïkonour, par une fusée Soyuz le 27 décembre 2006.

Son orbite circulaire et inertielle survole les pôles de la Terre à 896 km d'altitude avec une période d'environ 1h43.

Cette orbite permet d'observer continuellement pendant 180 jours la même zone du ciel, alors que depuis des observatoires terrestres, la rotation de la Terre autour du Soleil ne nous permet d'observer la même région du ciel que 2 à 3 mois de suite, tous les ans, et seulement pendant la nuit !

Deux fois par an, lorsque le plan de l'orbite se rapproche du Soleil, le satellite effectue une manœuvre de basculement afin que l'instrument ne soit pas ébloui par le Soleil, permettant d'observer deux régions opposées du

ciel en alternance tous les 6 mois.

Les directions d'observation sont proches de la perpendiculaire au plan de l'orbite ; elles ont été choisies pour optimiser le programme scientifique ; en été c'est une région proche du centre de la Galaxie qui est visée et en hiver la direction opposée.

Pendant 6 ans, il a observé 163882 étoiles distinctes, certaines plusieurs fois, dans 26 champs stellaires de 2 ou 4 degrés carrés pendant des durées allant de 25 à 158 jours.

L'instrument et sa plate-forme

COROT a été conçu pour observer les infimes variations de la luminosité des étoiles.

Il s'agit de détecter des variations de l'ordre du millième dans le signal des étoiles, et d'atteindre un niveau de bruit mille fois plus faible que ce que l'on peut faire de mieux depuis le sol. On doit donc s'affranchir de l'atmosphère terrestre et aller dans l'espace.

Les défis techniques à relever à bord de ce satellite sont nombreux :

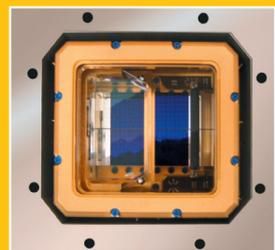
- la très grande stabilité de pointage, qui revient à viser en permanence une pièce de 1€ à une distance de 30 km,
- la protection exceptionnelle de la lumière envoyée par la Terre grâce à un baffle, dont le coefficient de réjection bat tous les records (10-12 : sur mille milliards de photons parasites entrant dans le baffle, un seul pourrait arriver sur les détecteurs),
- la stabilité thermique des détecteurs, qui malgré un environnement externe fortement changeant, doit être meilleure

que 5 centièmes de degrés par heure.

L'instrument, d'une masse de 300kg, est constitué :

- d'un télescope de 27 cm à miroirs hors d'axe réducteur de pupille, qui permet de minimiser la lumière parasite,
- d'un objectif imageur dioptrique,
- de quatre détecteurs CCD de grande dimension enchâssés dans le bloc focal,
- d'une case à équipement sur laquelle est monté le télescope, et dans laquelle sont intégrés les équipements électroniques ainsi que les moyens nécessaires à la régulation thermique de l'instrument, et le logiciel de vol qui assure le pointage précis, la programmation des observations et le prétraitement des données.

Il est monté sur la plate forme PROTEUS, qui lui fournit l'énergie et assure les télécommunications avec le sol.



Le bloc focal de COROT avec ses 4 détecteurs (19cm x 16,5cm)



Intégration du satellite COROT : l'instrument est mis en place sur la plate-forme

L'idée d'un projet d'observation dans l'espace de la variabilité des étoiles date de 1984.

Ce sont des équipes françaises qui ont présenté les premières propositions.

En 1989, l'instrument EVRIS, embarqué à bord de la sonde russe Mars 96, s'est écrasé quelque part sur la Terre.

Le CNES a retenu le projet COROT en 1993. À l'époque, le programme visait seulement à détecter des oscillations analogues à celles du Soleil dans une variété d'étoiles brillantes. En 1995, après la découverte de la première planète extra-solaire, il est vite apparu que le même instrument pourrait détecter des planètes lorsqu'elles passent devant leur étoile.

Le programme de COROT s'est ainsi enrichi de la recherche d'exoplanètes par la méthode des transits. L'instrument est plus ambitieux et devient plus complexe.

Les obstacles ont été nombreux : aléas financiers, évolution de la programmation spatiale, recherche de partenaires. En octobre 2000, le Comité des Programmes Scientifiques du CNES sélectionne définitivement COROT comme troisième mission de la filière PROTEUS. Encore 6 ans de travail et le satellite sera lancé fin 2006 .

Vingt-huit ans après les prémices, COROT s'est arrêté le 2 novembre 2012 ! Que de résultats !

Entre temps MOST, un micro satellite canadien, inspiré d'EVRIS, a été lancé en 2003 et vole toujours. En 2008 la NASA a lancé *Kepler*, le grand frère de COROT, qui a volé 4 ans.

Le projet COROT, ce sont des années de travail, pour concevoir l'instrument, pour le réaliser, pour l'exploiter en vol, pour analyser les données et publier les résultats scientifiques.

De nombreux partenaires ont participé au projet : le CNES, maître d'oeuvre, des laboratoires de recherche français et étrangers et des industriels français et européens.

Plus de 250 personnes, de métiers très divers y ont contribué : observateur, instrumentaliste, chef de projet, opticien, thermicien, électronicien, mécanicien, informaticien, secrétaire, documentaliste, physicien théoricien...

Et l'interprétation des résultats ne fait que commencer...



Pour en savoir plus ...

<http://smc.cnes.fr/COROT/Fr/>

L'Astronomie - Mars 2004 - vol. 118 · L'Astronomie - Avril 2013 - vol. 127 · Pour la Science - n°409 - Novembre 2011

DÉCOUVRIR DE NOUVEAUX MONDES

Une mission spatiale en Astronomie

patriceamoyel.com

Document écrit par l'équipe COROT - juin 2013



Pour la première fois, un satellite observait continuellement les variations d'éclat des étoiles pendant de très longues périodes. Les scientifiques du monde entier commencent à répondre à des questions nouvelles :
Que se passe-t-il à l'intérieur des étoiles ?
Existe-t-il des planètes extrasolaires de petite taille ?



La physique stellaire

Les étoiles sont des sphères de gaz ionisé, en équilibre sous l'action de leur propre poids. Beaucoup sont animées de mouvements périodiques. Elles vibrent, tel un instrument de musique. COROT observe ces vibrations.

Les vibrations d'un corps nous renseignent sur son état physique. Une assiette fêlée ne sonne pas comme une assiette intacte et la note produite par une corde de violon dépend de sa longueur, de sa tension et de son diamètre.

Pour les étoiles, ces vibrations sont les seuls signaux (avec les neutrinos) à provenir de l'intérieur même. En effet, le rayonnement que nous observons habituellement ne provient que de leur surface, trop opaque pour nous révéler leurs couches profondes.

Elles se manifestent par des variations de

luminosité, et c'est ainsi que COROT les détecte. C'est le domaine de la sismologie stellaire.

Bien avant COROT, de telles pulsations avaient été observées dès 1963 dans le Soleil. Les périodes sont de l'ordre de quelques minutes et les amplitudes de quelques millièmes.

En sismologie, l'analyse des "courbes de lumière" se fait dans l'espace des fréquences, représenté par "un Spectre de Fourier" (voir figure).

Chaque pic, avec sa fréquence et son amplitude (intensité), correspond à une pulsation de l'étoile.

La surprise des géantes rouges

COROT a, pour la première fois, détecté des oscillations dans des milliers de "géantes rouges".

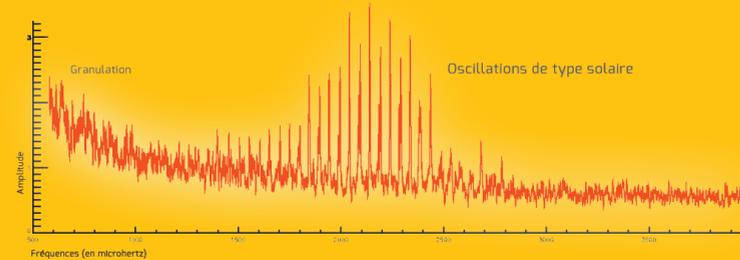
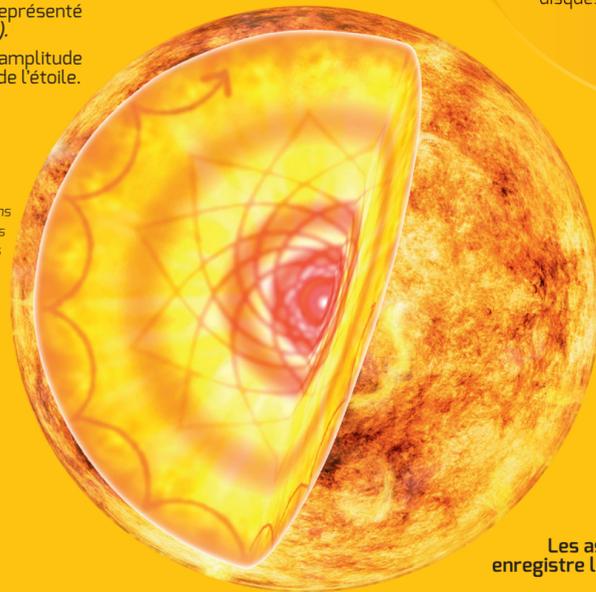
On y a mesuré des "indices sismiques" comme la fréquence du maximum et l'écartement du peigne de fréquences. Complétés par des observations effectuées depuis la Terre, ils permettent d'estimer le rayon, la masse et même l'âge de ces étoiles.

Ces vieux objets en fin de vie sont très lumineux, donc visibles à très grande distance. Ils vont nous permettre de comprendre comment évoluent les étoiles au fin fond de notre Voie lactée.

La sismologie nous fait comprendre la structure et l'évolution de notre Galaxie.

Kepler et COROT sont complémentaires car ils observent dans des régions différentes du ciel, et vont permettre de les comparer.

Coupe schématique d'une étoile : les régions centrales très chaudes sont le siège de réactions nucléaires, les couches externes plus froides sont brassées sans cesse. Les courbes schématisent les ondes (vibrations) qui se propagent du centre à la surface.



Spectre de Fourier d'une étoile de type solaire observée par COROT. On distingue la structure en peigne caractéristique des oscillations de type solaire et dans les basses fréquences, une augmentation de l'amplitude liée aux mouvements lents de matière à sa surface.

La recherche des exoplanètes

Cela fait maintenant une vingtaine d'années que l'on a trouvé des planètes gravitant autour d'autres étoiles que le Soleil. Aujourd'hui on en compte près de 900.

La majorité de ces planètes a été découverte par la planète sur le mouvement de l'étoile par rapport à nous par "effet Doppler".

La méthode des "transits", a été employée dans l'espace pour la première fois par COROT.

Elle apporte une nouvelle information, celle du rayon de la planète. L'observation est très délicate car l'étoile est très brillante et la planète très petite, très sombre et très proche de son étoile.

Ainsi, l'assombrissement de la luminosité solaire lorsque la Terre passe devant le disque du Soleil n'est que d'un dix millième.

Au total, 625 candidats exoplanètes ont été détectés. Parmi eux, 32 planètes ont été complètement caractérisées.

Les planètes découvertes par COROT sont très diverses. Ainsi les géantes gazeuses ont des caractéristiques très différentes les unes des autres: certaines ont un intérieur très enrichi en éléments lourds ou d'autres au contraire, comme Saturne "flotteraient" sur l'eau. Certaines ont une longue période orbitale, d'une dizaine de jours et même, comme COROT-9, de près de 100 jours.

autour de son étoile en 0,85 jour. Elle serait constituée de roche comme notre Terre.

À l'instar de son petit frère COROT, le satellite Kepler, avait pour but principal la découverte d'exoplanètes ressemblant à la Terre. Kepler utilisait comme COROT la méthode des transits, mais avec un instrument plus puissant. Il a détecté de nombreux candidats planètes et commencé à en confirmer un bon nombre. Parmi eux quelques petites planètes, et en particulier des jumelles de COROT-7b.

Contre toute attente, COROT a révélé l'existence de naines brunes très proches de leur étoile, ces objets rares, intermédiaires entre étoile et planètes.

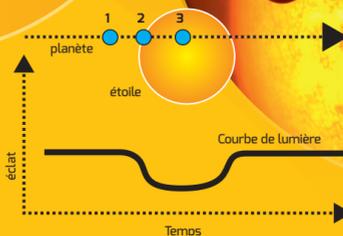
La découverte la plus spectaculaire a été celle de COROT-7b, première planète de taille comparable à celle de la Terre. Cette "super-Terre" de quelques masses terrestres tourne

Comment COROT observe-t-il?

Bien d'autres domaines bénéficient des observations de COROT

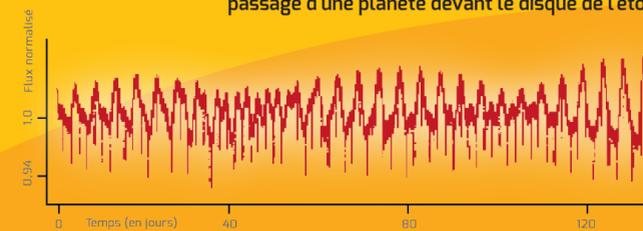
Par exemple la granulation, conséquence visible à la surface des étoiles des mouvements convectifs présents en leur sein, ou bien le déplacement des taches à la surface des étoiles, qui permet de mesurer précisément leur vitesse de rotation.

Grâce à leur précision, leur durée et leur continuité, elles jettent un regard nouveau sur les étoiles binaires, les étoiles jeunes, les disques d'accrétion....



Transit d'une planète : quand la planète passe devant son étoile, la luminosité que celle-ci nous envoie diminue légèrement.

Les astronomes choisissent les étoiles qui vont être observées et COROT enregistre les variations de la lumière émise par ces étoiles au cours du temps. Ce sont ces "courbes de lumière" qui sont analysées. On peut y déceler des phénomènes très différents, comme des vibrations périodiques à haute fréquence, des traces de la rotation de surface et le passage d'une planète devant le disque de l'étoile.



Courbe de lumière de l'étoile COROT-2, où l'on voit des variations lentes, qui sont interprétées comme le signe de la rotation de l'étoile, et des "trous" périodiques tous les 2 jours, qui sont les "transits" de la planète COROT-2b, grosse planète gazeuse découverte par COROT.



Les observations complémentaires sur Terre

Les données recueillies dans l'espace sont complétées par des observations faites depuis la Terre.

Ainsi en physique stellaire, l'analyse fine du rayonnement des étoiles par spectroscopie avec de très grands télescopes permet de déterminer en particulier leur température et leur composition chimique de surface.

Un grand programme à l'Observatoire Européen Austral (ESO) a suivi au même moment les variations de la luminosité de certaines cibles obtenues par COROT et celles de leur

"spectre" avec un spectrographe très performant.

Pour caractériser les candidats exoplanètes, les moyens au sol sont également fondamentaux.

Il faut :

- S'assurer que le transit a bien lieu sur l'étoile la plus brillante observée par COROT et non sur une étoile voisine et moins lumineuse.
- Vérifier que le transit est bien produit par une planète passant devant le disque de son étoile.

en mesurant sa masse avec des spectrographes performants, depuis l'Observatoire de Haute-Provence, et à l'ESO.

A partir de cette masse, et du rayon mesuré par COROT, on déduit la densité de la planète, et on peut savoir si elle est gazeuse ou rocheuse. Ces observations mesurent aussi la forme de l'orbite et indiquent l'angle entre l'orbite de la planète et le plan équatorial de l'étoile. Elles déterminent la masse, le rayon et l'âge de l'étoile. Le système étoile-planète est ainsi très bien connu...

La courbe de lumière du transit de COROT 2b.

Lorsque le transit a été détecté sur la courbe de lumière et que sa période a été mesurée, le signal est "replié" à la période du transit afin de diminuer le bruit sur le signal. Ceci permet la mesure la plus précise possible de la forme et de la profondeur du transit dont on déduit le rayon de la planète.

Ce transit a été observé 78 fois, pendant 152 jours sans interruption.

