

Le projet spatial CoRoT

Le **satellite**, placé sur une orbite à l'altitude de 896 km, emporte un **télescope** capable d'observer de façon ininterrompue de nombreuses étoiles, pendant des périodes très longues et de mesurer les variations de leur éclat avec une extrême précision.

CoRoT a été lancé en 2006 et réalise une grande première mondiale car il détectera des phénomènes et des objets jamais observés à ce jour.

CoRoT poursuit deux objectifs scientifiques principaux :

- "Voir" l'intérieur des étoiles en détectant et en étudiant leurs oscillations grâce aux méthodes de la **sismologie**.
- Rechercher des **planètes extrasolaires** en détectant leur passage devant les étoiles autour desquelles elles gravitent.

Pour cela il mesure avec une très grande précision les variations d'éclat d'étoiles sélectionnées, pendant de très longues périodes.

CoRoT va recueillir une exceptionnelle quantité de données de très haute précision sur les variations infimes de l'éclat de milliers d'étoiles au cours du temps. Outre ses deux objectifs principaux, il contribuera à comprendre de nombreux autres sujets et étudiera une grande variété d'autres phénomènes qui se manifestent par des variations d'éclat des étoiles.

L'acronyme CoRoT rappelle les principaux phénomènes que CoRoT permettra de comprendre, la Convection et la Rotation des étoiles, ainsi que les Transits des planètes extra-solaires.



Logo de CoRoT et affiche réalisés par Patrice Amoyel
Crédit : CNES

Le satellite

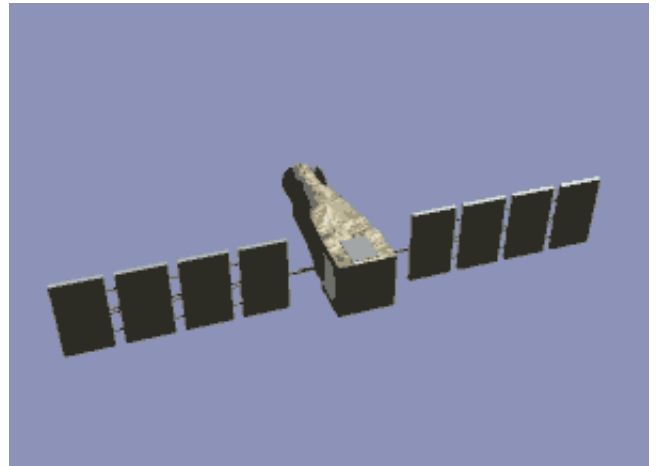
CoRoT est la troisième mission du programme de "petites missions du CNES" sélectionnée en octobre 2000. Le satellite a été lancé en 2006 par une fusée Soyuz.

Les communications avec le satellite et son contrôle sont effectués par le "segment sol", situé au CNES à Toulouse.

En 1993 le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) a lancé un programme de petites missions. Il s'agit d'un projet de taille moyenne, ne pesant pas plus de 600 kg, utilisant la plateforme **PROTEUS**, et devant évoluer sur une orbite basse. Son coût ne doit pas dépasser 50 MEuros, pour la contribution du CNES.

CoRoT a été sélectionnée comme troisième mission de ce programme après les missions **JASON 1**, lancée en Décembre 2001 et **CALIPSO**, qui a été lancée en avril 2006.

Le satellite est constitué par un seul instrument, le télescope photométrique, monté sur la plateforme PROTEUS. Ses caractéristiques sont compatibles avec celles d'un "minisatellite".



Observons le schéma du satellite CoRoT sous tous les angles.

Credit : Observatoire de Paris / UFE

Les principales caractéristiques du satellite CoRoT

Masse	entre 570 et 630 kg
Masse Charge Utile	environ 270 kg
Longueur	4100 mm
Diamètre	1984 mm
Puissance électrique	380 W
Précision du pointage	0.5 arcsec
Télémetrie	900 Mbit/jour
Capacité mémoire de masse	2 Gbit
Capacité de pointage	120 m/s
Durée de la mission	2.5 ans minimum

La plateforme PROTEUS

La plateforme PROTEUS (Plateforme Reconfigurable pour l'Observation, pour les Télécommunications et les Usages Scientifiques), conçue pour des satellites de masse environ 500 kg au lancement, est construite par la Société Alcatel Space Industries, à Cannes (Alpes Maritimes, France). La masse de COROT sera comprise entre 570 et 630 Kg en configuration de lancement.

La plateforme Proteus, cube d'un mètre de côté, a été développée chez ALCATEL à Cannes pour CoRoT

Elle fournit toutes les ressources nécessaires au fonctionnement du satellite dans l'espace :

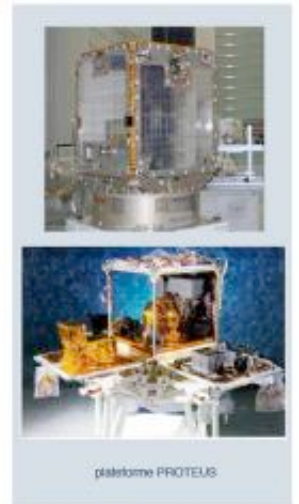
- Contrôle de la trajectoire, grâce à un ensemble complexe de contrôle d'attitude
- Puissance électrique, grâce à ses panneaux solaires
- Communication avec la Terre, grâce à une antenne



La plateforme PROTEUS

Credit : CNES / Alcatel / Observatoire de Paris

PROTEUS



La fusée

La gamme des lanceurs possibles pour une « petite mission » est limitée, essentiellement pour des questions de coût, mais aussi de taille et de performances.

Lancement d'une fusée Soyuz, à Baïkonour
Crédit : CNES / STARSEM

SOYOUZ est la fusée qui a été la plus utilisée au monde. Sa capacité en orbite basse est de 7,5 tonnes. Elle mesure 49 m de haut et pèse environ 310 tonnes.

- Son premier étage est constitué de quatre accélérateurs latéraux de 19,8 m de haut, propulsés par des moteurs à ergols liquides (kérosène et oxygène) qui développent 102 tonnes de poussée par accélérateur.
- Son deuxième étage centre du lanceur a une hauteur de 28 m. Son moteur développe 96 tonnes de poussée.
- Son troisième étage de 8,1 m de haut pour un diamètre de 2,66 m développe 30 tonnes de poussée.
- Au décollage, les premier et deuxième étages s'allument simultanément.

Le Lanceur de CoRoT était une version de la fusée Soyuz, fabriquée à Samara par la Société [STARSEM](#) qui en assure la commercialisation et l'exploitation.

Les actionnaires de Starsem sont Arianespace, EADS, l'Agence Aérospatiale Russe et le Centre Spatial de Samara.

Le lancement s'est fait depuis le cosmodrome de Baïkonour au Kazakhstan.

Le segment sol

Le "Segment Sol" regroupe l'ensemble des moyens sol nécessaires à l'envoi et à la réception des informations échangées avec le satellite et aux traitements des données reçues.

Les composantes du segment sol sont :

- Une station sol principale et une station sol secondaire pour l'émission et la réception des données
- Le Centre de Contrôle CoRoT (CCC) qui transmet au satellite toutes les informations montantes
- Un réseau de transmission de données
- Le Centre de Mission CoRoT (CMC) qui prépare les observations (chaîne montante), traite les informations reçues du satellite (chaîne descendante) et effectue les premiers traitements sur les données scientifiques
- Le Centre de Données CoRoT' (CDC) est en charge de la qualité finale des données et de leur distribution à la communauté scientifique

sur Terre



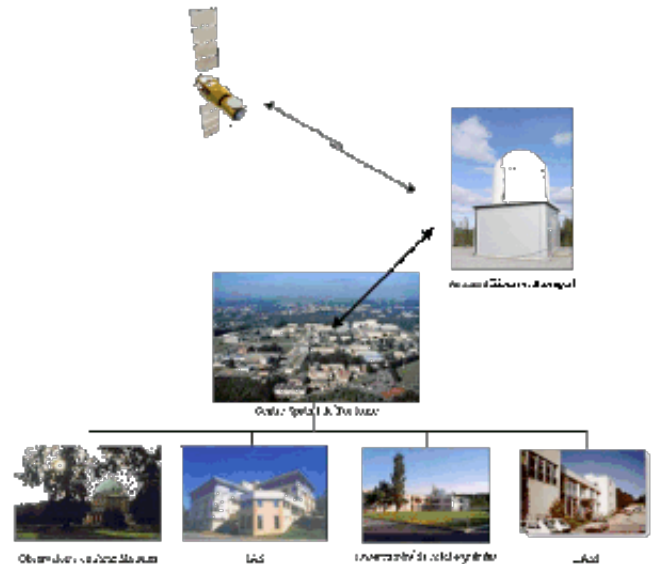
Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Le centre de données CoRoT

Station principale au sol

La station sol principale assure le lien bord/sol avec le satellite, c'est-à-dire : la transmission des télé-commandes au satellite, la réception des données (télémessures) provenant du satellite et l'envoi en temps réel au Centre de Contrôle CoRoT des informations vitales de surveillance.

La station sol principale appartient au réseau de stations ICONES. Ce réseau comprend actuellement deux stations situées à Kiruna et Aussaguel compatibles avec les programmes PROTEUS et Myriade. Il s'agit de stations automatiques bande S au standard CCSDS, munies d'une antenne de 3m de diamètre sous radôme et télégérées par les centres de contrôle.



Station secondaire au sol

La composante sol opérationnelle est complétée d'une seconde station sol, dite secondaire et implantée au Brésil. Cette station a pour fonction d'accroître la capacité du lien bord/sol (communications avec le satellite) dans les phases de calibrations et de mise en station, et d'accroître la volumétrie de données scientifiques dans les phases d'observations.

La station, située à Natal et mise à disposition par le coopérant brésilien, est du même type que celles mises en œuvre au sein d'ICONES (compatible avec l'ensemble des interfaces PROTEUS).

La composante sol est constituée de plusieurs entités réparties dans différents lieux géographiques. Elle se compose du Centre de Mission, du Centre de Contrôle, du réseau de communication et d'une station sol principale, complétée d'une station secondaire.
Credit : Observatoire de Paris / CNES / LESIA

Distribution des données

Les données scientifiques validées sont mises à disposition à travers Internet par l'archive du projet installée à l'IAS (Institut d'Astrophysique Spatiale) situé sur le [campus universitaire d'Orsay en région parisienne](#). La communauté associée à CoRoT bénéficie d'un accès réservé pendant un an.

A plus long terme les données seront transférées au [Centre de Données astronomiques de Strasbourg](#) où leur accessibilité au travers des outils de l'Observatoire Virtuel sera assurée.

Le télescope

CoRoT doit mesurer avec une très grande précision les variations de la lumière reçue des étoiles.

Toute perturbation de cette intensité, provoquée par l'instrument lui-même ou par l'environnement spatial est donc à minimiser, en particulier la lumière parasite générée par la Terre. C'est ce qui a déterminé la conception optique de l'instrument.

CoRoT est un télescope à grand champ de 27 cm de diamètre fonctionnant dans le domaine visible, qui collecte et concentre les **photons** et forme une image du ciel sur les détecteurs, installés dans le bloc focal.

Une case à équipement contient tous les équipements électroniques nécessaires au fonctionnement de l'instrument et le ordinateur de bord en charge du traitement des données.

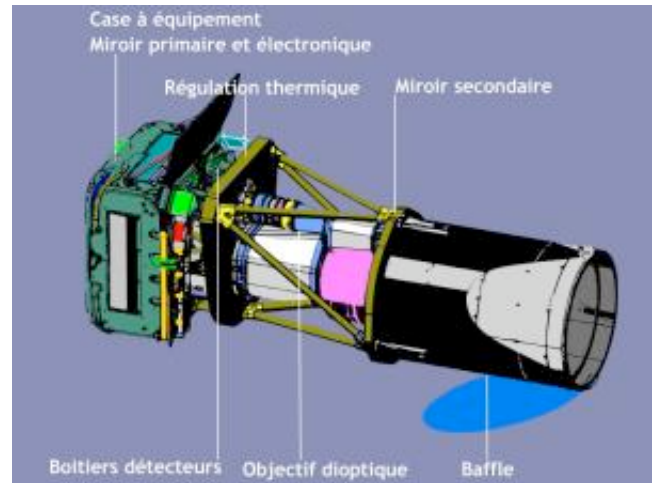


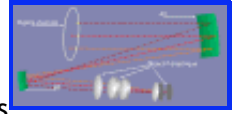
schéma du télescope CoRoT

Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Principe du télescope

Le télescope CoRoT a pour fonction de collecter et concentrer les photons.

- Le collecteur afocal est composé de deux miroirs hors axe qui réduisent la taille du faisceau lumineux d'un facteur 9. Il permet aussi une bonne uniformité d'image dans le champ de vue .
- Il est ensuite repris par un objectif dioptrique de 1200 mm de focale ouvert à $f/4$. Il permet d'offrir un grand champ d'observation ($2,7^\circ \times 3,05^\circ$) tout en assurant une excellente protection à la lumière parasite à l'intérieur du télescope.
- Il permet aussi une bonne uniformité d'image dans le champ de vue.

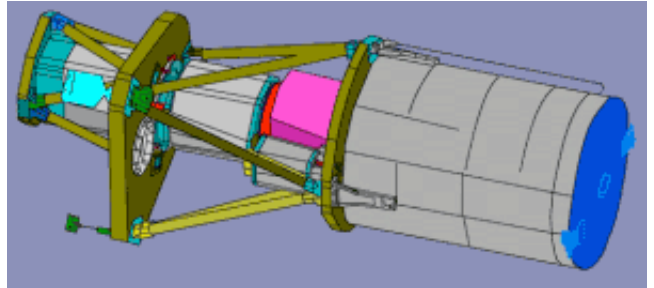


Le collecteur afocal

Le collecteur afocal est constitué de deux miroirs confocaux paraboliques travaillant hors axe. Il est complété par :

- un baffle dont la fonction est de stopper la lumière parasite venant de la Terre (taux de réjection de 10-13).
- un couvercle de protection qui sera ouvert en vol après les premières mesures réalisées en obscurité.

Collecteur afocal



Structure mécanique du télescope : à gauche, le plateau supérieur porte le miroir M1 ; à droite, le plateau inférieur le miroir M2, et le plateau intermédiaire l'objectif dioptrique et le bloc focal avec son baffle et son couvercle.

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA / UFE

L'objectif dioptrique

L'objectif dioptrique est composé de 6 lentilles. Il forme l'image du ciel dans le plan focal sur les détecteurs.

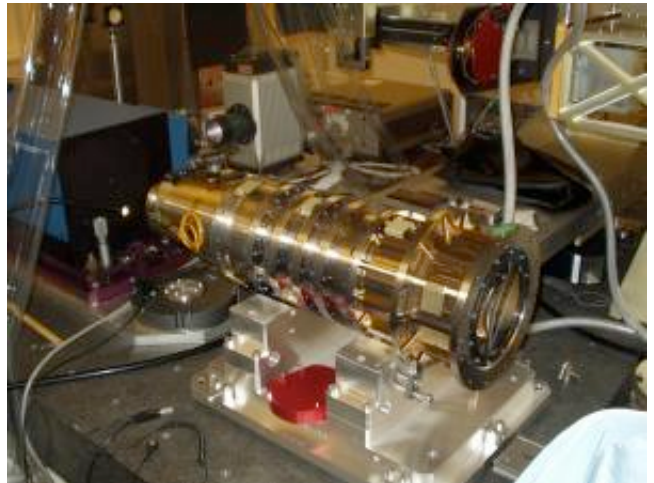
- Sa focale est de 1200 mm.
- Il est ouvert à f/4.

Le nombre de lentilles, les indices des verres et les rayons de courbure de chacune d'entre elles ont été soigneusement choisis pour obtenir une bonne uniformité des images des étoiles dans le champ de vue.

La caméra est constituée de l'objectif dioptrique et du bloc focal. Elle est intégrée à l'Institut d'Astrophysique Spatial (IAS)

L'objectif dioptrique est réalisé par la société [SODERN](#). Associé au bloc focal il constitue la caméra.

La caméra



L'objectif dioptrique en cours de réglage.

Crédit : CNES / SODERN

Le bloc focal

Les photons collectés sont concentrés par le télescope dans le plan focal.

Les détecteurs sont installés dans une enceinte étanche, appelée "bloc focal" , de la taille d'une boîte à chaussures, permettant de contrôler leur propreté et leur température.

Ce bloc assure aussi, par un blindage efficace, la protection contre les radiations très énergétiques de l'environnement de la Terre.

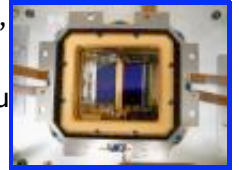
- Une bague d'interface et une cale de réglage entre l'objectif dioptrique et le bloc focal assurent une bonne « focalisation » de la lumière sur les détecteurs.
- La température des détecteurs est maintenue au voisinage de -40°C et est stabilisée à 5 millidegrés.

La [photo du bloc focal](#) montre à droite les 2 détecteurs dédiés au programme de sismologie, à gauche les détecteurs dédiés au programme exo-planète, surmontés d'un prisme.

CCD

Un capteur **CCD** est un dispositif à transfert de charge (Charge Coupled Device), composé d'une multitude de photosites (**pixels**) microscopiques sensibles à la lumière.

Les capteurs sont placés dans le plan focal. Deux capteurs CCD sont dédiés au programme **astérosismologie**, et deux autres capteurs CCD au programme exoplanètes.



Astérosismologie

Les capteurs dédiés au programme astérosismologie :

- Ce sont des matrices de 4 millions de pixels par CCD.
- Chaque pixel est un carré de 13 **microns**.
- Ils fonctionnent à une température la plus constante possible, au voisinage de -40°C , stabilisée par un système de contrôle très précis.
- L'image des étoiles est formée dans une moitié du détecteur appelée "zone image" (à gauche sur la photo)
- Les électrons accumulés dans la zone image sont ensuite transférés dans la zone mémoire pour y être comptés



Bloc bi-prisme

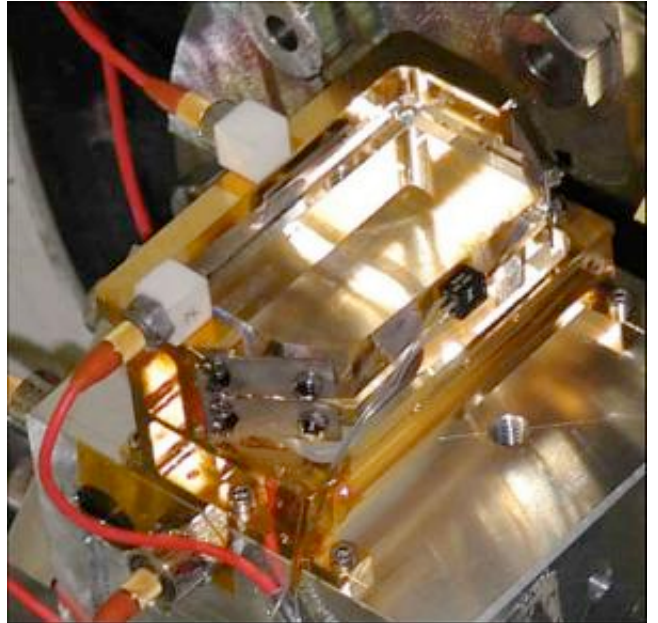
Exoplanètes

Les capteurs dédiés au programme exoplanètes :

La voie exoplanètes comprend en plus un bloc bi-prisme permettant de disperser spectralement la tache image des étoiles cibles, pour ensuite distinguer les variations internes de signal des étoiles des transits planétaires qui sont **achromatiques**.

- Ce sont des matrices CCD de 8 millions de pixels chacune (4096x2048).
- Un pixel est un carré de 13 microns de côté.

Les capteurs ont été choisis pour leur grande efficacité de détection des photons : elle est supérieure à 85% dans la couleur verte.



Credit : CNES

Observer-détecter-mesurer

Le satellite CoRoT sert deux programmes scientifiques pour lesquels il faut :

- Observer les oscillations d'une étoile
- Détecter les transits des petites planètes lointaines



Ces deux phénomènes nécessitent *les mêmes techniques d'observation*, qui sont les deux principales techniques utilisées actuellement pour détecter des oscillations stellaires et des transits planétaires :

- La technique **spectroscopique** permet de mesurer les variations de vitesse relative.

La technique « spectroscopique » peut être utilisée depuis le sol, mais ne permet de détecter les oscillations que d'un petit nombre d'étoiles et ne donne accès qu'aux planètes extra-solaires géantes.

- La technique **photométrique** permet de mesurer les variations de luminosité.

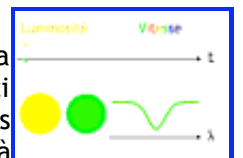
La technique photométrique permet de faire ces observations sur un grand nombre d'étoiles très variées. *C'est la technique employée par CoRoT.* Elle consiste à compter les photons émis par l'étoile et reçus par le télescope, mais elle implique d'observer depuis l'espace.

Les **transits** planétaires, comme les oscillations stellaires se manifestent par des variations de la luminosité de l'étoile ou bien par des variations de sa vitesse relative par rapport à la Terre qu'il faut mesurer avec une très grande précision.

Il faut aussi observer longtemps et continûment, donc s'affranchir des interruptions dues aux passages nuageux, à l'alternance jour/nuit et à la rotation de la Terre autour du Soleil. *C'est pourquoi il faut aller dans l'espace.*

Observez l'animation ci-contre :

L'étoile est animée d'une pulsation, son rayon varie (disque jaune) et les vitesses à sa surface sont alternativement dirigées vers nous (bleu) ou s'éloignent de nous (rouge). Ceci entraîne des variations périodiques de son éclat (trait jaune) et de la vitesse de ses couches superficielles, ou atmosphère (trait irisé). Cette vitesse est mesurée grâce à l'effet Doppler, par la variation de la longueur d'onde des raies spectrales émises par son atmosphère (en bas à droite).



Spectroscopie

Mesure de la vitesse radiale

La technique « spectroscopique » consiste à mesurer avec une grande précision la **vitesse radiale** de l'étoile par **effet Doppler** en l'observant avec un spectrographe et en mesurant les déplacements des raies spectrales dûs à cet effet.

Déplacement des raies dans le rouge ou dans le bleu selon que l'astre s'éloigne ou se rapproche de l'observateur.
Credit : Observatoire de Paris / UFE

Les oscillations stellaires sont détectables par cette méthode car elles engendrent des champs de vitesse à la surface des étoiles.

Le mouvement « reflex » de l'étoile dû à la révolution d'une planète est également détectable par effet Doppler.

Effet Doppler-Fizeau

Lorsque l'émetteur d'une onde se rapproche de l'observateur, la fréquence semble plus grande (l'onde est « tassée »), et lorsqu'il s'en éloigne, la fréquence semble plus faible (l'onde est « dilatée »).

- C'est pourquoi la sirène d'une ambulance paraît plus aiguë quand elle s'approche d'un observateur et plus grave lorsqu'elle s'éloigne de lui.
- C'est aussi pour cela que les voitures de course font : *"Niiiiiiiiiaaaaaaoooooooooum"* quand elles vous passent devant.
- L'effet Doppler s'applique également aux ondes lumineuses émises par un objet en mouvement. Si l'objet se rapproche de nous, les raies de son spectre sont légèrement décalées vers le violet. S'il s'éloigne, les raies sont alors décalées vers le rouge. C'est grâce à ce principe que l'on peut mesurer le mouvement relatif d'une étoile par rapport à l'observateur
- Dans le cas des étoiles de type solaire, les variations de vitesse radiale ne sont que de quelques dizaines de cm/s, très difficiles à détecter. Les observations en spectroscopie sont limitées à quelques étoiles très brillantes en rotation très lente.

Photométrie

La technique « photométrique » consiste à mesurer les légères variations d'éclat des étoiles.

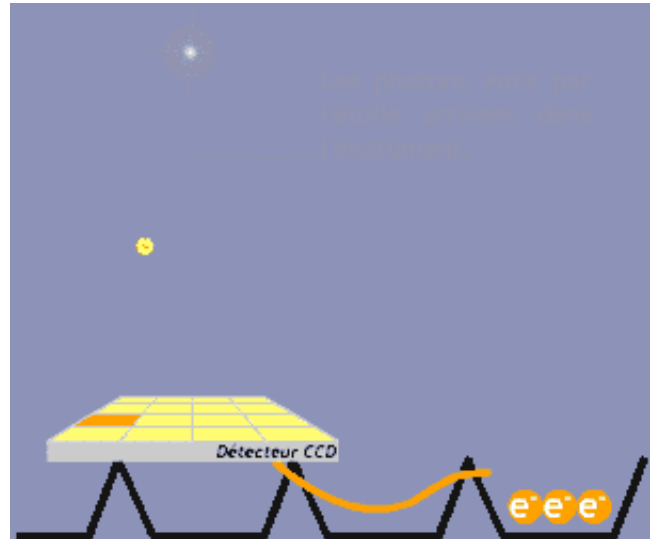
Turbulence atmosphérique

Elle se heurte aux problèmes de perturbation par l'atmosphère terrestre, en particulier la scintillation due à la turbulence atmosphérique .

Ces perturbations limitent la précision de la mesure photométrique au sol à quelques centièmes de %, et interdisent la détection des oscillations de type solaire, ainsi que la détection des planètes telluriques.

Il faut donc s'affranchir des perturbations de l'atmosphère terrestre, c'est pour cette raison qu'*il faut aller dans l'espace*.

La turbulence atmosphérique perturbe les faisceaux lumineux qui nous arrivent depuis les sources astronomiques et est responsable du phénomène de scintillation qui limite la précision des observations photométriques depuis le sol .



Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Compter les photons

Une source de rayonnement est un faisceau de très nombreuses particules appelées « photons ».

L'intensité de la source est directement reliée au nombre de photons qu'elle émet. Donc, pour mesurer l'intensité lumineuse en provenance de cette source, on peut compter les photons que l'on reçoit.

- Lorsque l'intensité de la source varie, le nombre de photons reçus, par exemple en une seconde, varie de la même façon.
- Pour compter les photons, on utilise un « détecteur », en général une plaque de silicium, qui absorbe les photons qu'il reçoit : les photons émettent alors des électrons que l'on sait isoler et compter.

Sites d'observations

Observer longtemps et en continu

La *continuité des observations sur de longs intervalles de temps* est absolument nécessaire.

- En sismologie, ceci permet d'éviter d'introduire dans le spectre d'oscillation des fréquences « parasites » dues aux interruptions (appelées lobes secondaires),
- Pour la recherche des transits planétaires, l'absence d'interruption dans les observations minimise le risque de « rater » les transits.

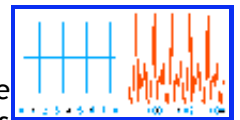
La rotation de la Terre sur elle-même et autour du Soleil, fait qu'une région du ciel n'est visible que de nuit et pendant quelques mois.

- Les sites polaires et les réseaux multi-sites constituent la seule alternative depuis le sol mais n'offrent que des durées limitées et discontinues.
- Une observation depuis l'espace est le seul moyen d'assurer une continuité suffisante pendant un temps suffisamment long.
- Jusqu'à maintenant ces oscillations ont été détectées dans une douzaine d'étoiles.
- Lorsque la durée des interruptions diminue, le spectre devient plus lisible, comme le montre l'animation ci-contre.
- *Les interruptions "troublent" ce spectre.*



Fréquences parasites

Lorsque la durée des observations est fragmentée et interrompue, par l'alternance jour/nuit par exemple, le spectre de Fourier d'un signal périodique ne contient pas que les raies associées aux oscillations correspondant à la période de ce signal.



Les sites polaires

Les sites polaires sont difficiles d'accès et ne permettent d'observer que les étoiles à très haute déclinaison et uniquement pendant la nuit polaire, soit environ 4 mois.

Le projet franco-italien CONCORDIA devrait permettre d'installer un télescope au Dôme C, d'ici 2008.

Réseaux multisites

Des réseaux multi-sites d'observatoires répartis en longitude autour du globe permettent en principe de suivre une étoile de déclinaison intermédiaire pendant 24 heures. Mais, la continuité des observations est sujette aux aléas météorologiques, et la durée maximale d'une observation continue en multi-sites n'excède pas 2 mois (en un lieu donné, une étoile se lève et se couche 2 heures plus tôt chaque mois).



Le réseau **GONG** observe le Soleil continûment depuis [6 sites répartis sur le globe](#).

Le réseau **STEPHI**, dédié à l'observation des étoiles variables δ scuti, comprend [trois sites au Mexique, aux îles Canaries et en Chine](#).

Objectifs scientifiques

CoRoT poursuit deux objectifs scientifiques principaux :

- "Voir" l'intérieur des étoiles en détectant et en étudiant leurs oscillations grâce aux méthodes de la [sismologie](#).
- Rechercher des planètes extra-solaires en détectant leur passage devant les étoiles autour desquelles elles gravitent.

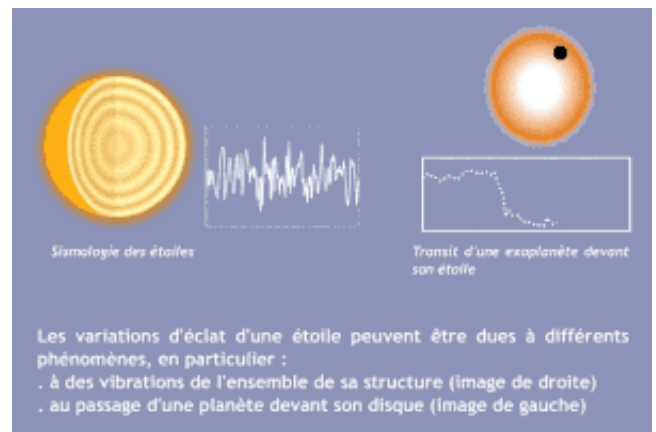
Pour cela il mesure avec une très grande précision les variations d'éclat d'étoiles sélectionnées, pendant de très longues périodes.

CoRoT va recueillir une exceptionnelle quantité de données de très haute précision sur les variations infimes de l'éclat de milliers d'étoiles au cours du temps. Outre ses deux objectifs principaux, il contribuera à comprendre de nombreux autres sujets. Il étudiera aussi une grande variété d'autres phénomènes qui se manifestent par des variations d'éclat des étoiles.

Par exemple :

- Connaître avec une très grande précision les caractéristiques des étoiles variables.
- Détecter un grand nombre de systèmes binaires et en faire la statistique
- Comprendre comment l'activité magnétique dépend du type de l'étoile
- Trouver des comètes autour d'autres étoiles
- Détecter des « objets de Kuiper » aux confins du système solaire ...

Oscillations d'une étoile



Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Programme CoRoT

La mission spatiale CoRoT a été conçue pour permettre d'observer des vibrations d'un grand nombre d'étoiles différentes dans des conditions uniques :

- Pendant des durées allant de 1 mois à 5 mois
- Avec une très bonne continuité (supérieure à 90%)
- Jusqu'à des niveaux d'amplitude très bas : des variations de l'ordre du millionième de l'intensité lumineuse pourront être observées dans une centaine d'étoiles ; des variations de l'ordre du dix-millième dans plusieurs milliers d'étoiles

CoRoT observera au moins une centaine d'étoiles brillantes, la moitié pendant 150 jours, le reste pendant 20 à 30 jours. Ces étoiles ont des propriétés variées comme l'illustre leur diagramme luminosité/température.

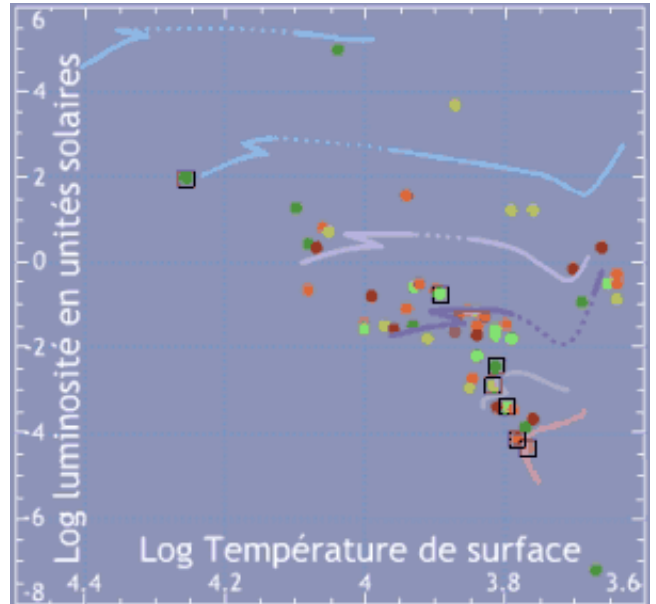


Diagramme luminosité/température (HR) des étoiles à observer par CoRoT pendant 150 jours. Chaque couleur correspond à une observation différente. Les étoiles les plus brillantes sont indiquées par un carré.

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

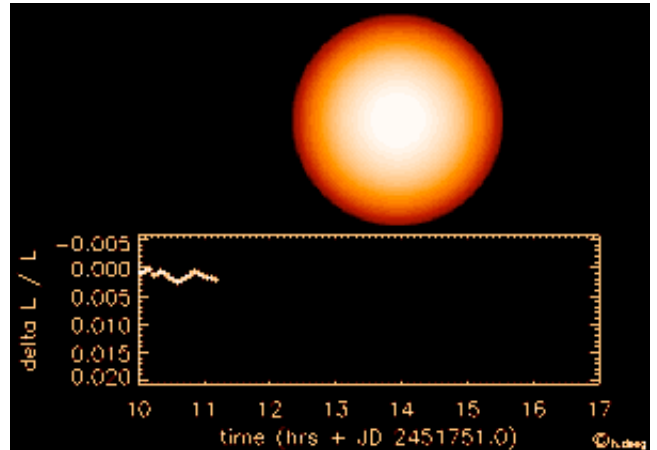
Planètes extra-solaires

Depuis maintenant presque 10 ans, on sait qu'il existe des planètes gravitant autour d'autres étoiles que le Soleil : on les appelle planètes extra-solaires ou exo-planètes. Les planètes découvertes à ce jour sont toutes de grosses planètes analogues à notre Jupiter, situées très près de leur étoile.

La première d'entre elles a été découverte en 1995 à l'Observatoire de Haute-Provence par une équipe franco-suisse dirigée par [Michel Mayor](#).

- Pourquoi les rechercher ?
- Comment les détecter ?

Grâce à CoRoT, qui détectera les [transits](#) des petites planètes, le premier pas sera fait. Il faudra ensuite attendre encore au moins 10 ans pour avoir de véritables images des planètes.



Transit d'une planète en orbite autour de l'étoile HD 209458, observation du 26 Juillet 2000, par Deeg et Garrido, au Télescope de 0.9m Sierra Nevada Observatory (IAA, Institut d'Astrophysique d'Andalousie, Granada).

Crédit : IAA / Hans Deeg

Les exoplanètes détectées

La première exoplanète a été découverte en 1995 à l'observatoire de Haute-Provence.

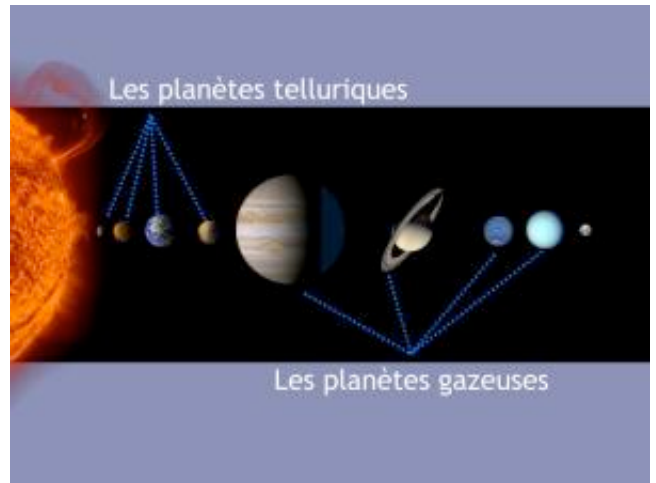
En 2004 on a trouvé plus de 120 planètes dans plus de 100 systèmes planétaires.

Ces systèmes sont tout à fait étonnants :

- Les planètes sont très massives (de la masse de Jupiter ou plus) et cependant elles sont 10 à 100 fois plus près de leur étoiles que Jupiter ne l'est du Soleil. Leurs périodes de révolution sont donc 3 à 1000 fois plus courtes et se mesurent en mois voire en jours.
- Certaines des orbites des planètes de ces systèmes sont des ellipses très allongées, alors que dans le système solaire ce sont des cercles.

Dans les années 90, un suivi systématique des variations de vitesse radiale d'étoiles brillantes analogues au Soleil, visant à découvrir des étoiles doubles, a révélé l'existence d'exo-planètes, objets de très petite masse en orbite autour d'une étoile.

C'est l'étoile 51 Pegasi qui a montré la première "exo-planète" en 1995, grâce à des observations faites à l'Observatoire de Haute-Provence, par une équipe franco-suisse dirigée par Michel Mayor.



Avec le satellite CoRoT on cherche à découvrir des planètes extra-solaires dont la taille est de l'ordre des planètes telluriques de notre système solaire

Crédit : NASA / ASM

Chercheurs d'exoplanètes

Depuis les temps les plus anciens (Epicure en 300 av. JC) se pose la question de l'existence "d'autres mondes" et de la possibilité de vie ailleurs que sur la Terre. Mais ce n'est que 23 siècles plus tard, avec l'accroissement de la sensibilité des instruments, que cette question a commencé à devenir un véritable champ de recherches.

Pourquoi chercher des exoplanètes :

- Pour savoir comment se forment les systèmes planétaires et avec quelle diversité
- Pour savoir si notre système solaire est unique dans le ciel
- Pour chercher de la vie autour d'autres étoiles ...



En 2002 un colloque réunissant les spécialistes de la recherche d'exoplanètes

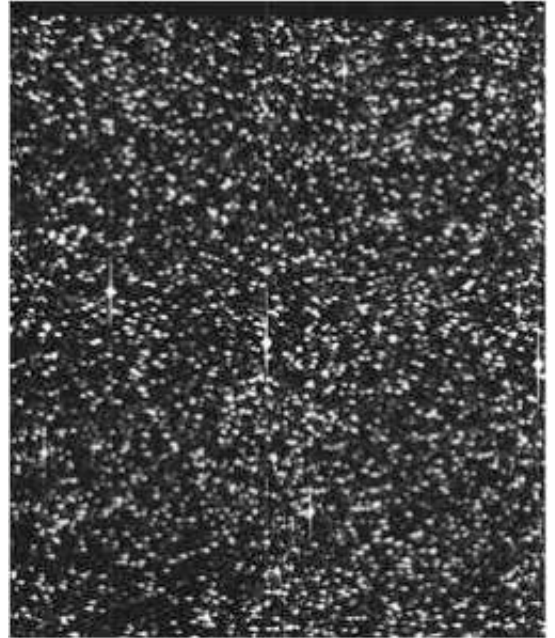
Credit : Observatoire de Paris / LESIA

Directions de pointage

CoRoT observera au moins 5 fois, pendant 150 jours, des régions du ciel dans lesquelles il sera possible de suivre 12000 étoiles candidates à la détection de planètes telluriques.

Les directions de pointage seront choisies de façon à pouvoir observer 6000 étoiles dans chaque détecteur "exo-planète", de magnitude comprise entre 12 et 15.5, de rayon le plus petit possible, et qui ne sont pas polluées par des étoiles voisines.

On espère ainsi détecter au cours de la mission quelques dizaines de planètes analogues à la Terre et plusieurs centaines voire un millier de planètes géantes.



Simulation d'une image d'une région du ciel, contenant toutes les étoiles de magnitude plus brillante que 20, telle qu'elle sera vue à travers l'instrument CoRoT, dans la voie exo-planète.

Crédit : Observatoire de Paris / UFE

La sismologie

Les dimensions, la forme, la structure interne d'un objet déterminent la manière dont il peut vibrer. Une assiette ne sonne pas de la même manière lorsqu'elle est fêlée ; un verre ne sonne pas de la même façon selon sa forme ou selon qu'il est plus ou moins rempli.

L'ensemble des "modes de vibration" d'un objet lui est spécifique et le caractérise. Les fréquences associées révèlent sa structure et constituent en quelque sorte sa carte d'identité.

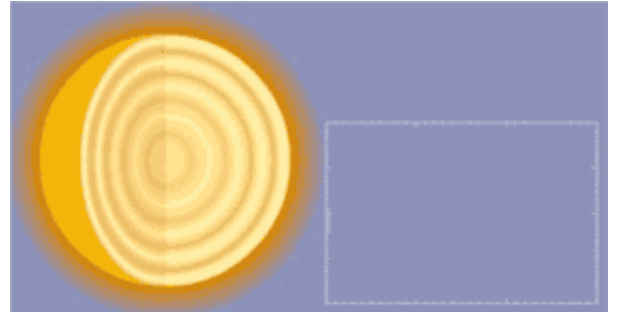
Détecter et mesurer ces vibrations nous renseigne sur l'objet, notamment sur son intérieur (inaccessible à l'observation directe dans le cas des étoiles) ainsi que sur ce qui provoque les vibrations.

La sismologie stellaire permet d'étudier l'intérieur des étoiles.

Les étoiles sont animées en permanence de mouvements périodiques, observés pour la première fois sur le Soleil il y a une vingtaine d'années. Ces vibrations sont en général très faibles et très difficiles à observer dans les étoiles lointaines.

Mais, analysées grâce aux techniques de la sismologie, elles nous permettent de « voir » l'intérieur de ces boules de gaz souvent bien différentes de notre Soleil, restées jusqu'ici impénétrables.

En observant ces oscillations dans des étoiles de masse, d'âge, d'origine différentes, nous pourrons reconstituer l'histoire de leur évolution et par là celle de l'Univers tout entier. C'est ce que la mission CoRoT permettra de réaliser pour la première fois.



Simulation schématique d'une oscillation d'une étoile. Le graphique représente les variations au cours du temps de la luminosité du Soleil, telles qu'elles ont été observées par l'expérience VIRGO à bord de la sonde SOHO. Ces variations sont très faibles, de quelques millièmes de la luminosité totale. La durée de l'enregistrement est de 300 secondes. Elles sont dues à la superposition de nombreux modes d'oscillation.

Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Observer les vibrations

Les modes de vibration des étoiles, ondes stationnaires parcourant la sphère gazeuse, ont des structures géométriques bien connues.

Les vibrations stellaires se traduisent en surface par des variations de rayon et de température qui entraînent des variations de la quantité de lumière émise par l'étoile et des mouvements périodiques de son enveloppe.

Certaines étoiles ont des variations de grande amplitude et sont connues depuis très longtemps par les astronomes, qui les appellent les « étoiles variables ». Mais le petit nombre de modes d'oscillations détecté ne permet pas d'y utiliser pleinement les techniques de sismologie.

Observer dans les étoiles lointaines des vibrations de très petite amplitude, telles que celles observées dans le Soleil, est une tâche difficile.

- Le signal que nous recevons des étoiles est très faible : 100 milliards de fois plus faible que celui du Soleil au mieux. Et nous ne voyons les étoiles que comme des points lumineux, sans possibilité de distinguer des détails à leur surface.
- Seules quelques étoiles brillantes et proches ont révélé leur secret. Ainsi, le spectre de Fourier de l'étoile Alpha du Centaure, observée pendant 10 nuits successives avec un télescope de 3m60 est analogue à celui du Soleil .

Planètes, étoiles ?

Une planète est un corps céleste, sphérique, constitué d'un coeur solide et éventuellement entouré d'une atmosphère.

Elle ne brille pas par elle-même, c'est ce qui la différencie des étoiles. Elle ne fait que refléter la lumière de l'étoile autour de laquelle elle est en orbite.

Mais comme elle est beaucoup plus petite, beaucoup moins massive et beaucoup moins lumineuse (un milliard de fois moins que l'étoile elle-même) cela la rend difficile à détecter.

Une planète est beaucoup plus petite qu'une étoile. Leurs diamètres sont approximativement :

- Etoile: 1.400.000 km
- Planète géante: 140.000 km
- Terre: 13.000 km

Une planète est beaucoup moins massive qu'une étoile. Leurs masses sont approximativement :

- Planète géante (ex. Jupiter): 1000 fois moins massive que le Soleil
- Terre: 300 fois moins massive que Jupiter soit 300.000 fois moins massive que le Soleil



Deux planètes de notre système solaire. L'une Mars, petite (diamètre : moitié de celui de la Terre) et rocheuse...

...l'autre Jupiter, géante (diamètre : dix fois celui de la Terre) et gazeuse.

Les deux types de planète de notre système solaire : planète tellurique, planète gazeuse

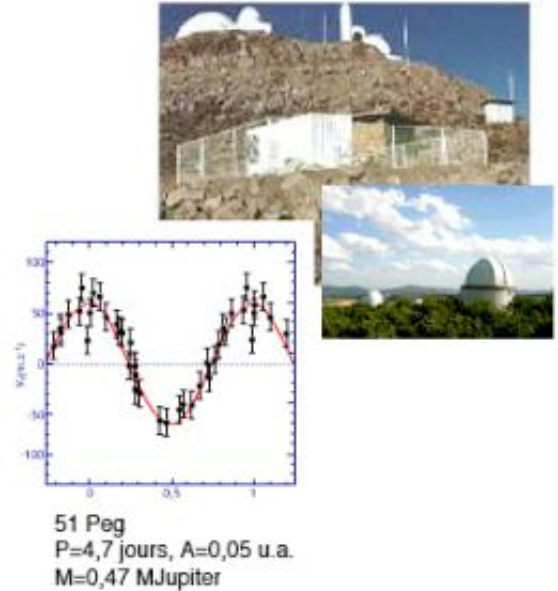
Credit : NASA et Observatoire de Paris / UFE

Etoile 51 Pegasi

Dans les années 90, un suivi systématique des variations de vitesse radiale d'étoiles brillantes analogues au Soleil, visant à découvrir des étoiles doubles, a révélé l'existence d'exo-planètes, objets de très petite masse en orbite autour d'une étoile.

C'est l'étoile 51 Pegasi qui a montré la première "exo-planète" en 1995, grâce à des observations faites à l'Observatoire de Haute-Provence, par une équipe franco-suisse dirigée par Michel Mayor.

En 2004 on a trouvé plus de 120 planètes dans plus de 100 systèmes planétaires. Avec le satellite CoRoT on cherche à découvrir des planètes extra-solaires dont la taille est de l'ordre des planètes telluriques de notre système solaire



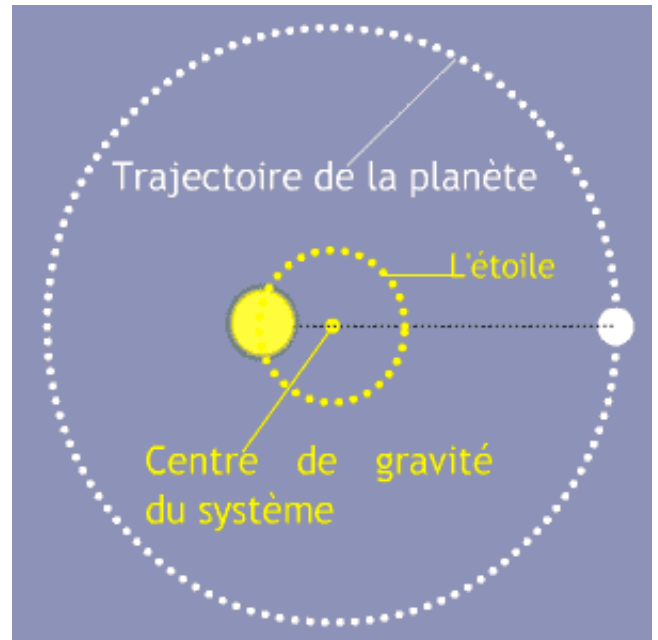
Variations de vitesse radiale de l'étoile 51 Peg, attestant d'un mouvement périodique attribué à une planète située à 0.05 unité astronomique, de période 4.7 jours et dont la masse est voisine de la moitié de celle de Jupiter. Observé à l'OHP.

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Détecter les exoplanètes

Au lieu de chercher à voir directement l'exoplanète, on essaie de mesurer les effets qu'elle induit sur son étoile :

- La perturbation sur le mouvement de l'étoile peut donner lieu à deux types de mesures :
 - la perturbation sur la vitesse relative de l'étoile par rapport à la Terre ; cet effet est mesuré par spectroscopie. C'est par cette méthode que la plupart des planètes connues actuellement ont été découvertes. Elle ne permet pas d'atteindre la précision nécessaire pour détecter des planètes comme la Terre.
 - les positions successives de l'étoile au cours du temps. Cette méthode est beaucoup plus difficile à mettre en oeuvre.
- La perturbation sur la luminosité de l'étoile ou "transit" : c'est la méthode employée par CoRoT



Crédit : Observatoire de Paris / UFE

L'étoile et sa planète forment un système dont le centre de gravité est très proche de l'étoile, voire à l'intérieur ; l'étoile et la planète tournent chacune autour du centre de gravité du système. L'étoile est animée un peu comme la tête d'un lanceur de marteau, d'un très léger mouvement périodique que l'on peut détecter soit en mesurant par spectroscopie les variations de sa vitesse par rapport à la Terre soit en mesurant très précisément sa position relativement à des étoiles proches.

Méthode des transits

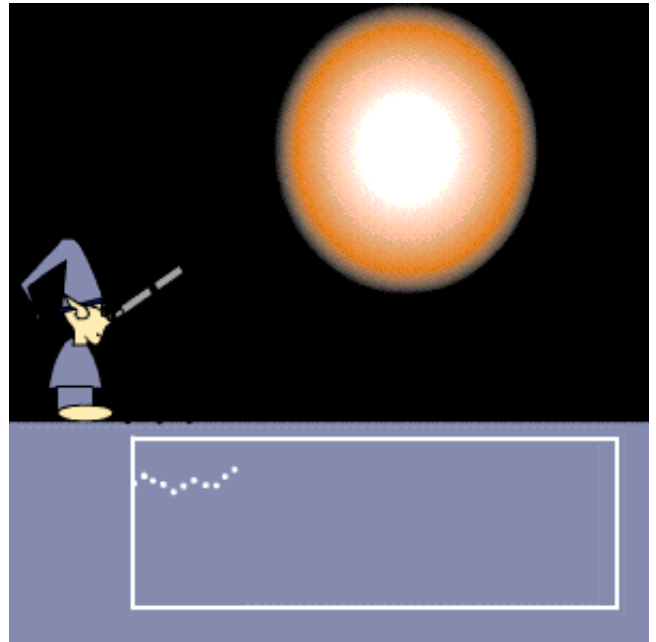
On appelle "transit" planétaire le passage d'une planète devant le disque de son étoile. Ce phénomène se produit pour un observateur, lorsque l'étoile, la planète et l'observateur sont alignés.

Ce phénomène est observé dans le système solaire : Mercure et Vénus sont récemment passées devant le Soleil.

L'occultation d'une partie du disque stellaire par la planète se traduit par une diminution temporaire de l'éclat de l'étoile. Pour détecter des planètes, on peut donc chercher à mesurer cette faible variation d'éclat.

Cette méthode, appelée la "méthode des transits", est actuellement la seule capable de détecter des planètes telluriques.

C'est celle qui est mise en oeuvre par CoRoT, comme détaillé dans cette appliquette : [Simulateur de transits](#).



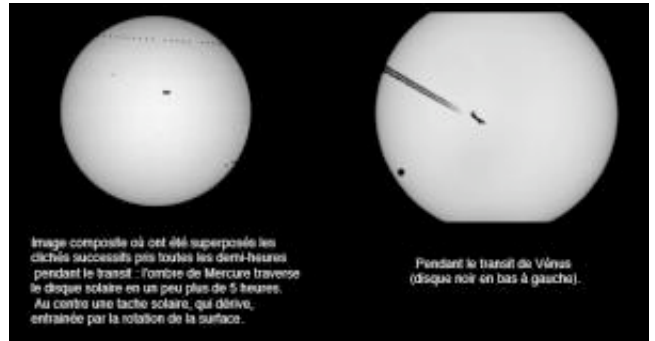
Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Les transits de Mercure et Vénus

Le phénomène du transit planétaire peut être observé depuis la Terre. En effet, parfois, les planètes du système solaire plus proches du Soleil que la Terre, Mercure et Vénus, croisent la direction Soleil-Terre. *Leur ombre est alors projetée sur le disque solaire.*

Ce fut le cas

- le 7 mai 2003 pour Mercure
- et le 8 Juin 2004 pour Vénus



Observations réalisées par le service de surveillance solaire de l'Observatoire.

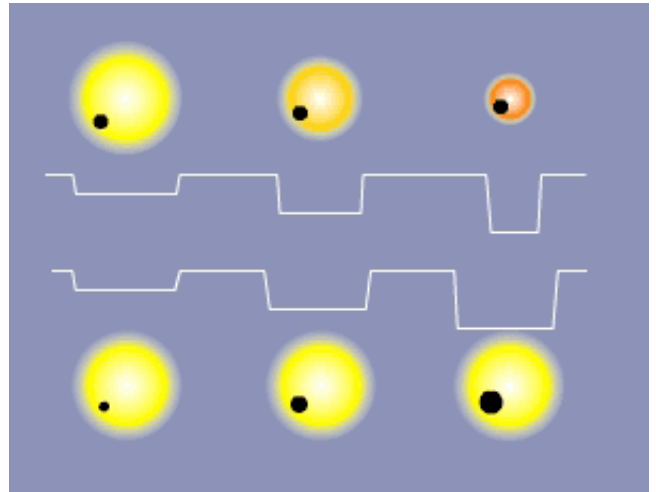
Credit : Observatoire de Paris - LESIA

Variation d'éclat

La "profondeur" du transit dépend de la taille de l'étoile et de celle de la planète. Plus l'étoile est grosse moins le transit est profond, plus la planète est grosse plus le transit est profond.

Pour La Terre devant le Soleil la profondeur du transit est 8 dix-millièmes, pour Jupiter il est de un centième.

Le transit est périodique et la période est celle de la révolution de la planète. La durée du transit dépend de la période de la planète c'est-à-dire de sa distance à l'étoile.



Variation d'éclat d'une planète due à un transit

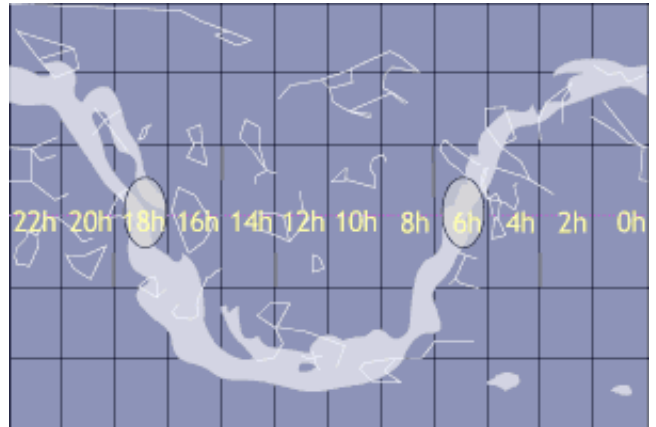
Crédit : Observatoire de Paris - UFE

Les yeux de CoRoT

CoRoT enregistrera simultanément sur ses quatre détecteurs les variations d'éclat de 10 étoiles brillantes (de **magnitudes** comprises entre 6 et 9.5) pour le programme de sismologie et 12 000 étoiles faibles (de magnitudes comprises entre 11 et 16) pour le programme exoplanètes.

Ces étoiles seront choisies de façon à réaliser au mieux les objectifs scientifiques de la mission en s'appuyant sur des observations depuis le sol. Mais le ciel observable par CoRoT est limité par les performances du satellite et par la nécessité d'observer dans l'ombre du Soleil.

Les qualités scientifiques des cibles et les contraintes techniques définissent les « Yeux de CoRoT » : deux cercles diamétralement opposés sur le ciel de 12 degrés de rayon, centrés à l'intersection du **plan galactique** et du plan équatorial. L'un, observable en hiver est situé près des constellations d'Orion et de Monoceros, l'autre observable en été près de celles de l'Aigle et de Scutum.



Ce que verra CoRoT sur une carte du ciel limitée aux régions équatoriales. Les régions claires délimitent la voie lactée.

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA / UFE

L'un, observable en hiver est situé près des constellations d'Orion et de Monoceros, l'autre observable en été près de celles de l'Aigle et de Scutum.

Les cibles

Les cibles du programme de [sismologie](#) sont brillantes et leur éclat est mesuré toutes les 30 secondes, avec une précision de un dix millième. La direction de pointage est choisie de façon à observer au moins une cible de sismologie très brillante (magnitude voisine de 6, visible à l'œil nu !), pour laquelle la précision sera si bonne qu'on pourra y détecter des oscillations aussi faibles que celles observées dans le Soleil. Les cibles du programme de recherche d'exo-planètes sont beaucoup moins lumineuses, donc nécessitent un temps de pose plus long (8 minutes) pour obtenir la précision nécessaire à la détection des transits.

Dans le schéma du plan focal vous pouvez voir : à gauche les deux détecteurs dédiés au programme de sismologie ; à droite les deux détecteurs dédiés au programme de recherche d'exo-planètes.

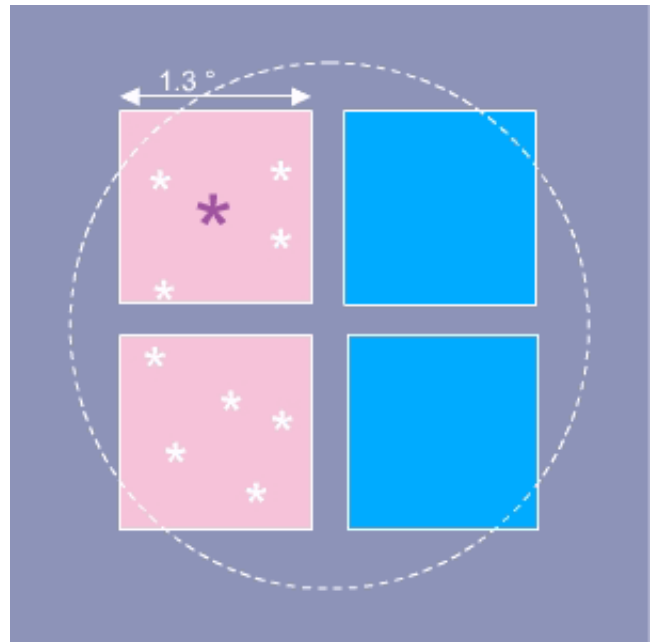


Schéma plan focal : programme sismologie à droite / programme exoplanète à gauche

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA / UFE

L'orbite

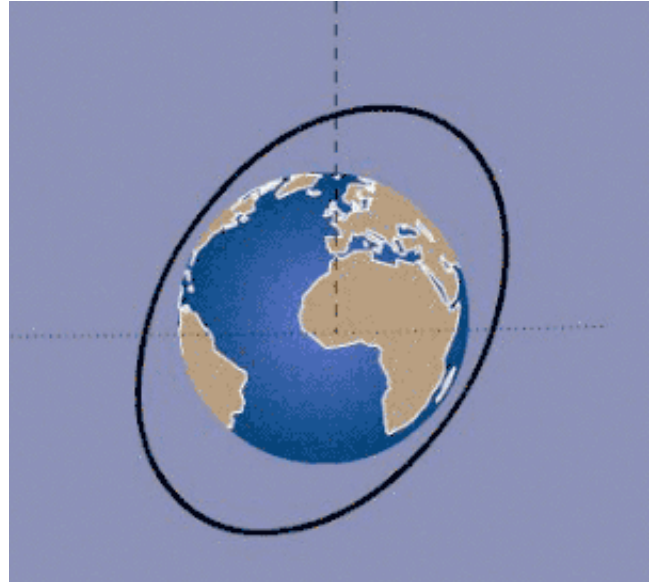
CoRoT fait partie du programme "petites missions" du CNES ; ce programme impose une orbite basse.

Pour pouvoir observer plusieurs mois sans interruptions la même direction du ciel, la seule possibilité est d'utiliser l'orbite polaire, dont le plan reste fixe par rapport aux étoiles.

L'altitude de l'orbite doit être comprise entre 800 et 900 km.

- Au dessus de cette altitude, les radiations solaires, surtout des **protons** très énergétiques, sont trop abondants et risquent d'endommager l'instrument.
- En dessous, la proximité de la Terre renforce les effets néfastes de la lumière solaire réfléchi par la Terre.

Le temps de visibilité des stations sol croissant avec l'altitude, le choix final est 896 km.



Orbite polaire, fixe par rapport aux étoiles

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA / UFE

Déroulement

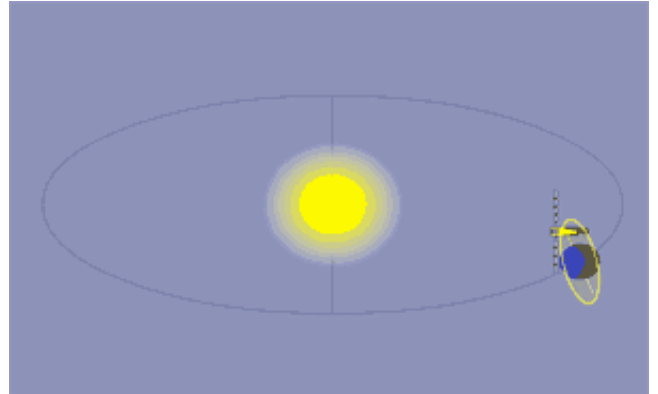
Les portions du ciel que l'on peut observer doivent être éloignées à la fois du Soleil, de la Terre et même de la Lune. La direction de visée ne doit jamais être occultée par la Terre :

- Il faut donc observer dans une direction très proche de la perpendiculaire au plan de l'orbite.

Pour que le satellite tourne toujours le dos au Soleil et puisque la Terre tourne autour du Soleil en un an, on tourne le satellite tous les six mois et on observe dans deux directions "opposées".

- *Ainsi on observe vers le centre galactique en été et vers l'anticentre en hiver.*

Pour conserver un rendement maximum les panneaux solaires doivent être réorientés en direction du soleil tous les 10 jours environ.



Manipulation du satellite, positionnement du satellite 2 fois par an, pour pouvoir observer, il doit "tourner le dos" au Soleil.

Credit : Observatoire de Paris / UFE

Travail de préparation



Sites d'observation

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

La sélection des étoiles à observer avec CoRoT nécessite un travail très minutieux de préparation, que ce soit pour le programme de sismologie pour lequel il s'agit de rassembler le maximum d'information sur quelques centaines d'étoiles ou pour la recherche d'exo-planètes pour laquelle il faut rassembler des données sur une centaine de milliers étoiles.

Ce travail de sélection a réclamé un vaste effort d'observation au sol des cibles potentielles de la mission.

Commencé début 1998, il se terminera fin 2005 ; il aura nécessité 350 à 400 nuits d'observations préparatoires.

Préparation du programme de sismologie

Pour le programme de sismologie il faut :

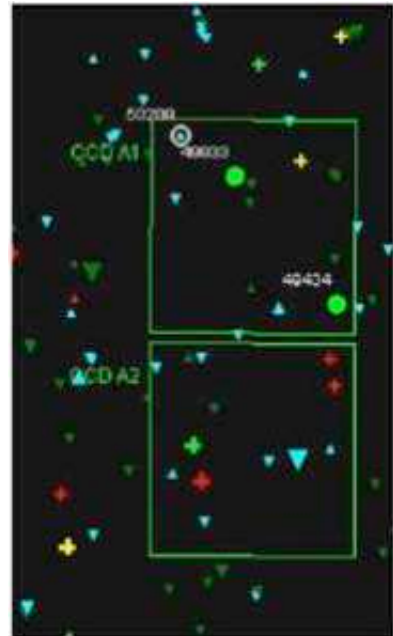
- Connaître de façon précise et sûre les températures effectives, luminosités, valeurs de la gravité de surface, vitesses de rotation, ainsi que les abondances en surface des éléments chimiques de toutes les étoiles cibles potentielles de la mission.
- Identifier les systèmes doubles et multiples
- -Relever toutes les particularités des étoiles à observer (par exemple un niveau élevé d'activité magnétique)
- Détecter la présence de sources proches des étoiles-cibles.

La connaissance de ces éléments nécessite un programme d'observation au sol qui comprend trois volets : [Photométrie](#), [Spectroscopie](#), [Imagerie](#) dont les résultats sont rassemblés dans une base de données.

Les [transits](#) sont plus faciles à détecter autour des étoiles naines.

Si la densité d'étoiles est trop faible le nombre de cibles possibles est trop faible. Si elle est trop élevée, les images des étoiles voisines se superposent et polluent l'observation.

Voici, ci-contre, une représentation des étoiles brillantes, cibles potentielles de CoRoT dans la région de l'étoile HD 49933, et d'une position possible des détecteurs. La couleur du symbole est liée à la température de surface de l'étoile et sa taille à son éclat. *Parmi ces étoiles CoRoT n'en observera que 5 par détecteur.*



Ce diagramme est utilisé pour déterminer les paramètres fondamentaux des étoiles ; chaque point étant une étoile potentielle de CoRoT, les rouges sont des étoiles « naines », les vertes sont des étoiles « géantes », moins propices à la recherche de planètes par la méthode des transits.

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Préparation du programme exoplanètes

Les étoiles observés dans le cadre du programme de détection d'exoplanètes se comptent par centaines de milliers. Pour optimiser le choix des cibles, il convient de connaître pour chacune d'elles : leur position céleste exacte, leur luminosité, et des caractéristiques fondamentales comme leur température de surface et leur rayon.

Les observations préparatoires des champs CoRoT consistent à obtenir des images en plusieurs couleurs, à partir desquelles les paramètres ci-dessus pourront être estimés. Il s'agit de :

- Repérer les étoiles de petite taille,
- Repérer les régions du ciel où la densité d'étoiles est acceptable.

Les observations sont effectuées à l'Observatoire de La Palma aux Canaries, sur le télescope de 2,5m « Isaac Newton ».

Les paramètres fondamentaux des étoiles observées (température effective, luminosité, gravité de surface, métallicité, vitesse de rotation, etc...) sont rassemblés dans la base de données de l'outil [COROTSKY](#) de préparation des programmes d'observation de CoRoT.



Observatoire du Roque de los Muchachos, aux Canaries : le télescope Isaac Newton. Il a un miroir de 2,54 m de diamètre, une focale f/3.29), donc un grand champ de 40' sans vignettage. Il a été installé aux Canaries en 1984.

Crédit : CNRS / IN2P3

Le maître d'œuvre

L'ensemble du programme européen CoRoT est placé sous la responsabilité du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) qui est maître d'œuvre.

La France finance environ 75% du programme, sous forme de contrats industriels et de mise à disposition de moyens et de personnels chercheurs, ingénieurs au CNES et dans les laboratoires. Le complément est pris en charge par des partenaires étrangers qui contribuent à parts sensiblement égales.

Le programme scientifique est mis au point par l'ensemble des scientifiques des pays participants, sous la responsabilité d'un Comité Scientifique présidé par la « responsable scientifique » qui est française.

Le développement de l'instrument est réalisé par une équipe mixte CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) / MEN (Ministère de l'Education Nationale).

Plus de 150 personnes travaillent à titre divers sur ce projet.

Beaucoup de monde



Crédit : Observatoire de Paris - LESIA

Les Industriels et le CNES Toulouse

De nombreux contrats industriels ont été signés

Parmi eux on peut citer : ALCATEL Space Industries (Cannes et Valence, France), SAGEM, SODERN (Limeil, France), SONACA (Charleroi, Belgique), VERHAERT (Anvers, Belgique), E2V (GB/France), ASTRIUM (Munich, Allemagne), GMV (Madrid, Espagne), SODITECH (Cannes, France), STEEL (France) , ARIANESPACE/STARSEM (ESA/Russie)

Opérations de câblage de la case à équipement posée sur son bâti dans les locaux de SONACA (Charleroi/ Belgique)

Structure mécanique du bloc focal réalisée par SODERN (Limeil/France)

Intégration de la structure de télescope en [salle blanche](#)

Le CNES de Toulouse

Le Centre Spatial de Toulouse a en charge la gestion globale de la mission. Il assure dans le cadre d'une équipe mixte CNES/Laboratoires, le développement de l'instrument et du segment sol. Il négocie et gère les contrats industriels principaux tels le lanceur et la plateforme.

C'est au CST (Centre Spatial de Toulouse) que travaillent les ingénieurs du CNES en charge du projet



Intégration du télescope chez Alcatel Space

Credit : CNES / ALCATEL

Partenaires étrangers

Chaque partenaire assure la fourniture d'un élément matériel de la mission et participe à l'ensemble des activités scientifiques :

- Le RSSD de l'ESA fournit le calculateur de bord
- Le programme scientifique de l'ESA finance la réalisation de la structure mécanique de la case à équipement et des moyens d'essais
- L'Autriche fournit le processeur BEX, associé au calculateur de bord
- L'Allemagne réalise le logiciel de vol
- La Belgique réalise le baffle, le couvercle et la structure de la case à équipement
- Le Brésil fournit une antenne de réception à Natal et contribue au Centre de Mission
- L'Espagne réalise les logiciels du Centre de Mission



Les partenaires dans le monde

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA / UFE

Les scientifiques

Les scientifiques des pays participants, experts dans les domaines concernés sont Co-Investigateurs. Ils ont la responsabilité de préparer les observations, c'est-à-dire de choisir les meilleures cibles, tout en respectant les contraintes dictées par l'instrument et le satellite.

Pour cela ils s'appuient sur:

- Des études théoriques de modélisation pour prédire au mieux les situations à observer, évaluer la capacité à diagnostiquer des processus physiques recherchés
- Les résultats du programme d'observation au sol.

Ils auront, pendant une année, un accès privilégié aux données pour les interpréter. Celles-ci seront ensuite mises à la disposition de tous sur le réseau internet.



Un sismologue et une chercheuse de planètes déterminent les régions les plus favorables du ciel à observer, au 6ème Comité Scientifique (Avril 2001)

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Les scientifiques se réunissent deux fois par an, lors de « semaines CoRoT ». La 4ème « semaine CoRoT » a eu lieu à Marseille en mai 2003.

Les laboratoires

Plusieurs laboratoires français sont fortement impliqués dans le développement de la mission. Plus de 30 ingénieurs y travaillent depuis 5 ans au moins.

- Le Laboratoire d'Etudes Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique (LESIA) de l'Observatoire de Paris est responsable de la définition et de la mise en œuvre du programme scientifique, de la caméra, de l'architecture électrique, du logiciel de vol, du bloc focal, de la chaîne de traitement des données.
- Le Laboratoire d'Astronomie de Marseille (LAM) est responsable du télescope, du suivi des performances et de la mise en œuvre du programme exoplanètes.
- L'Institut d'Astrophysique Spatiale (IAS à Orsay) est responsable de l'archivage des données et des calibrations de l'instrument.
- L'Observatoire de Midi-Pyrénées est en charge des outils de préparation des observations.
- L'Observatoire de la Côte d'Azur, les départements GEPI et LUTH de l'Observatoire de Paris), le Service d'Astrophysique (CEA/Saclay) participent à la préparation du programme et à l'interprétation des données.



Réalisation de la case à équipement à l'Observatoire de Paris

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Le CNRS / INSU (Institut National des Sciences de l'Univers) ainsi que le Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche soutiennent ces équipes.

En bref

Depuis très longtemps les « étoiles variables » ont attiré l'attention des astronomes. L'aventure se précise au cours des années 70.

Le soleil vibre

On découvre que le Soleil vibre et rechercher ces vibrations minuscules dans d'autres étoiles devient une obsession.

Une équipe française décide la première de proposer un projet spatial dès les années 80. Le programme scientifique sera la détection et l'étude de vibrations dans les étoiles. Première étape de cette recherche, l'équipe réalise un instrument simple et peu coûteux EVRIS, hélas cet instrument aura une fin tragique en 1996.

En 1993, le programme de petites missions du CNES permet de concevoir une deuxième étape avec une mission scientifique plus ambitieuse, l'instrument est déjà appelé CoRoT. En 1995 la découverte d'une exoplanète modifie la donne. Le nouveau CoRoT a la possibilité de rechercher des petites planètes.

Le projet CoRoT a suivi ensuite toutes les étapes obligées d'un projet spatial de 1997 à 2006, année du lancement du satellite.

D'autres missions se préparent. Dans un avenir plus lointain, des projets très ambitieux verront le jour.

Les logos



Le logo évolue avec le projet

Credit : CNES

Les étoiles variables

En 1969, Raymond Michard, astronome à l'Observatoire de Paris et Lloyd Evans observent le soleil pour étudier le phénomène des éruptions. Pendant leurs observations, ils détectent de curieux mouvements, qui semblent périodiques.

En 1970, ces observations sont confirmées par Leighton (USA).

- Une équipe franco-américaine organise une expédition d'observation du Soleil au pôle sud, dans le but d'étudier ce phénomène.
- La périodicité (3 à 5 minutes) des mouvements observés est confirmée. Très rapidement, on attribue ces mouvements périodiques à des oscillations du Soleil dans son ensemble.



La [sismologie](#) du Soleil est née.

Les autres étoiles vibrent-elles ?

1984 : un premier colloque, à l'Observatoire de Paris, rassemble une cinquantaine de chercheurs français et quelques collègues étrangers : les premiers contours d'un projet d'observation dans l'espace de la variabilité stellaire y sont dessinés.

Il faut :

- Concevoir un instrument qui supporte les contraintes de l'environnement spatial et qui s'affranchisse des contraintes jour/nuit,
- Trouver un "embarquement" et s'y adapter,
- Convaincre les comités de sélection,
- Prouver que l'on ne peut pas faire la même chose à partir du sol.



L'espace coûte très cher et la concurrence est rude : entre 1984-1989 plusieurs propositions sont présentées, sans succès, mais le travail acharné du LESIA et du Laboratoire d'Astronomie de Marseille va finalement être récompensé.

EVRIS

Le projet EVRIS, dédié à la sismologie et embarqué sur la sonde russe MARS 94/96, devait observer quelques étoiles très brillantes une vingtaine de jours chacune, pendant le voyage de la sonde vers Mars, qui devait durer 9 mois.



L'instrument est un petit télescope de 9 cm de diamètre, associé à un capteur stellaire servant à maintenir un pointage précis.

- Le détecteur est un **photomultiplicateur** Hamamatsu.
- L'ensemble est fixé sur la plateforme de pointage PAIS construite par les Russes, elle-même installée sous les panneaux solaires de la sonde.

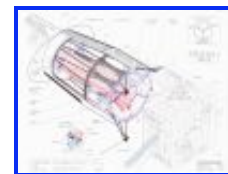
Après un lancement réussi par une fusée PROTON depuis le cosmodrome de Baïkonour (centre spatial situé au Kazakhstan), l'allumage des moteurs permettant d'atteindre la trajectoire interplanétaire n'a pas fonctionné correctement et la sonde et ses 46 expériences se sont écrasées sur la Terre, probablement dans les montagnes de Bolivie.....

Le premier CoRoT

Dans l'appel à idées du CNES de 1993 pour des missions scientifiques sur minisatellites, les sismologues voient l'opportunité de lancer rapidement un instrument de deuxième génération plus performant et plus ambitieux qu'EVRIS qu'ils pensaient voir voler dans très peu de temps.

Les progrès essentiels seraient :

- L'amélioration de la mesure grâce à un télescope plus grand, permettant de collecter plus de photons,
- L'allongement de la durée d'observation .



Le programme scientifique visait à détecter des oscillations analogues à celles du Soleil dans une bonne dizaine d'étoiles brillantes.

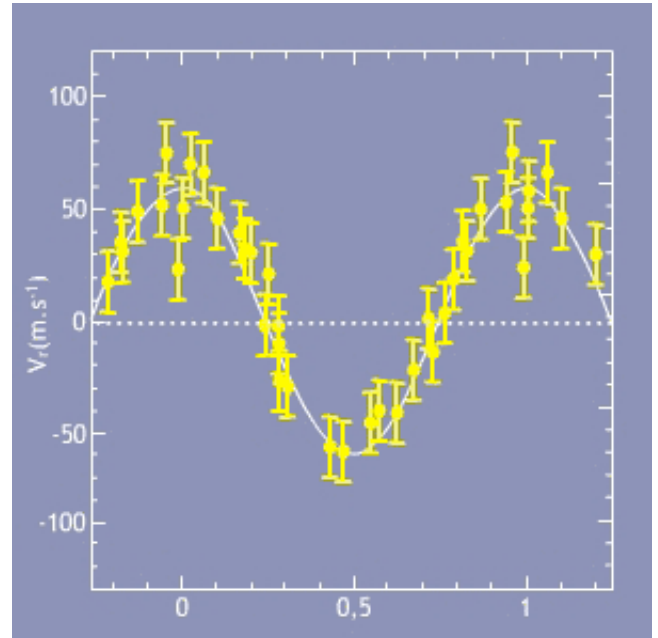
La première exoplanète

Dans les années 90, un suivi systématique des variations de vitesse radiale d'étoiles brillantes analogues au Soleil, visant à découvrir des étoiles doubles, a révélé l'existence d'exo-planètes, objets de très petite masse en orbite autour d'une étoile.

51 Pegasi

C'est l'étoile 51 Pegasi qui a montré la première "exo-planète" en 1995, grâce à des observations faites à l'Observatoire de Haute-Provence, par une équipe franco-suisse dirigée par Michel Mayor.

CoRoT, avec ses longues durées d'observation et sa très grande précision photométrique peut les détecter... Il est décidé d'inclure ce nouvel objectif à son programme, malgré la plus grande complexité et la plus grande difficulté de réalisation.



Variations de vitesse radiale de l'étoile 51 Peg, attestant d'un mouvement périodique attribué à une planète située à 0,05 unité astronomique, de période 4,7 jours et dont la masse est voisine de la moitié de celle de Jupiter.

Credit : CNES

Le nouveau CoRoT

Le programme du minisatellite **PROTEUS**, sur lequel CoRoT doit être installé, a pris du retard et pendant ce temps trois événements vont faire évoluer le projet :

- le désastre d'EVRIS, le 16 Octobre 1996, après un tour de Terre...
- une avancée technologique sur les détecteurs
- un évènement scientifique majeur : la découverte de la première planète extra-solaire en 1995 à l'Observatoire de Haute Provence.

Le programme scientifique du nouveau CoRoT est beaucoup plus ambitieux et le projet d'instrument évidemment très différent.

Les matrices "CCD" (Charge Coupled Device) sont maintenant spatialisables, elles permettent d'observer beaucoup d'étoiles à la fois, elles acceptent mieux les difficultés de l'environnement (lumière diffusée de la Terre) et sont de meilleure qualité (rendement, uniformité).



Après avoir montré sa faisabilité, avoir recherché avec succès des partenaires étrangers pour alléger le coût pour la France et obtenu une décision en 2000, la réalisation commence et se poursuit par l'assemblage des sous-systèmes, le tout malgré des aléas financiers et techniques.

Il s'agit de démontrer que dans le contexte proposé par le programme des petites missions du CNES, il est possible de réaliser une mission permettant d'atteindre les objectifs scientifiques fixés :



- Étude détaillée des oscillations d'un nombre important d'étoiles,
- Détection de planètes **telluriques**.

Pour cela il faut trouver une orbite, prouver que les perturbations auxquelles sera soumise la mission ne brouilleront pas le signal cherché. Puis il faut exposer les résultats des études pour convaincre les experts des groupes de revue.



Après quelques difficultés, l'examen est passé avec succès !

Réalisation de CoRoT

Décision

Octobre 2000 : le comité des programmes scientifiques du CNES sélectionne, enfin, CoRoT comme la 3ème mission de la filière PROTEUS, pour un lancement en 2004

Coût CNES : environ 60 milliards d'euros

- + 50 ingénieurs CNES/CNRS (5ans)
- + 150 à 200 scientifiques.

Le "leadership" français est préservé !

Mais il faut faire vite, rattraper le temps perdu à décider... De nouveaux partenaires européens et des partenaires brésiliens rejoignent le projet.



Réalisation

Les briques élémentaires de l'instrument ont été réalisées chez les industriels et dans les laboratoires. Après avoir été vérifiées, elles sont assemblées peu à peu et à chaque étape on procède à des tests de bon fonctionnement et de contrôle des performances.

Dans le même temps la plateforme est réalisée chez l'industriel ALCATEL Space à Cannes. Enfin, l'instrument et la plateforme seront réunis mi 2005.

Après de nombreuses vérifications le satellite complet sera livré fin 2005 à l'industriel qui assurera le lancement à l'été 2006.



Les autres satellites

Le lancement de CoRoT en 2006 lui donne au moins deux ans d'avance sur ses successeurs immédiats KEPLER et EDDINGTON. Les étapes suivantes sont très ambitieuses ; elle viseront à détecter et analyser les conditions d'apparition de la vie dans l'Univers.

Dans le diagramme, chaque trait indique la limite basse de la zone de détectabilité de chacun des moyens d'observation :

- en vert, la spectroscopie depuis le sol,
- en rose les limites pour CoRoT,
- en violet les limites pour Kepler et Eddington,
- en orange celles pour GAIA, mission d'astrométrie de l'ESA.

MOST, le microsatellite canadien développé par l'Université de Toronto, a été lancé en Juin 2004. De la taille d'une petite valise, il est dédié à l'observation des variations photométriques de quelques étoiles brillantes, qu'il peut suivre pendant un mois continûment.

Les premiers résultats confirment la grande qualité des observations depuis l'espace : précision, et continuité. Parions que l'interprétation scientifique, en cours actuellement, va être riche de surprises.

L'Agence Spatiale Européenne (ESA), qui participe à CoRoT a proposé un projet de deuxième génération EDDINGTON. Avec 3 télescopes de 60 cm chacun, il se propose de détecter des planètes de la taille de la Terre grâce à des observations très longues (3 ans) sur la même région du ciel. Le programme de sismologie permettra d'accéder à des étoiles plus faibles que celles observées par CoRoT, et aussi aux amas d'étoiles les plus proches comme les Pléiades ou les Hyades. Des difficultés financières retardent malheureusement la décision finale.

L'agence spatiale américaine, la NASA, développe le projet KEPLER, pour rechercher les petites planètes, avec comme objectif précis, la découverte de planètes analogues à la Terre, de la même taille et à la même distance de leur étoile que la Terre du Soleil.

C'est un télescope de 1,2m, observant une surface du ciel d'à peu près 100 degrés carrés. Il sera placé sur une trajectoire héliocentrique, suivant la Terre sur son orbite, ce qui devrait lui permettre d'observer la même région du ciel pendant plusieurs années.

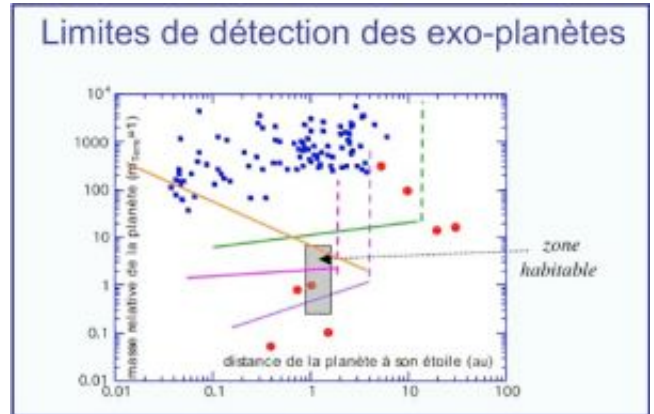


Diagramme masse/distance à l'étoile. Classement des exoplanètes dans un diagramme masse, distance à l'étoile : on voit (en bleu sur la figure) les exoplanètes déjà détectées, les planètes du système solaire (en rouge). La Terre est située dans la zone habitable (en gris).

Crédit : Observatoire de Paris / LUTH

Le lancement

Le lancement s'est effectué en décembre 2006. C'est une fusée Soyuz qui l'a installé en orbite depuis le cosmodrome de Baïkonour (Kazakhstan).

C'est au moins deux ans avant KEPLER, le projet concurrent de la NASA. Et quelques années d'avances sur le projet de deuxième génération proposé à l'Agence Spatiale Européenne, EDDINGTON, qui à son tour subit de fortes difficultés budgétaires.

Et après ...

Les étapes suivantes, plus ambitieuses et plus lointaines consisteront par exemple à analyser l'atmosphère des exo-planètes pour évaluer les possibilités de développement de la vie et ensuite en faire de vraies images.

Ce sont les objectifs des projets DARWIN de l'Agence Spatiale Européenne et TPF de la NASA, qui devraient voir le jour vers 2015 au plus tôt.

Spectres et signaux

L'analyse de **Fourier** permet de caractériser les fréquences d'un signal périodique, l'ensemble des fréquences est appelé le spectre du signal.

La découverte de cette décomposition spectrale remonte au XIXème siècle, Joseph Fourier découvrit une méthode mathématique d'analyse des phénomènes périodiques complexes, utilisée par les physiciens sous le nom de "décomposition en série de Fourier" ou "analyse spectrale". Joseph Fourier eut cette idée de décomposition en série trigonométrique pour résoudre l'équation de la chaleur : une fonction périodique réelle f , continue et de période T peut se décomposer en une somme pondérée de fonctions sinusoïdales simples.

Signal périodique

Un signal est dit périodique si son amplitude varie régulièrement dans le temps selon une période T constante :

$$x(t0+T) = x(t0)$$

Fréquence

Une des caractéristiques d'un son est la fréquence, elle est exprimée en Hertz (Hz) et est directement liée à la hauteur du son, elle représente l'inverse du temps :

$$f = \frac{1}{T}$$

Une fréquence faible correspond à un son grave, une fréquence élevée correspond à un son aigu.

Amplitude

Autre caractéristique importante d'un son, l'amplitude. Un son peut être fort ou doux, l'intensité perçue dépend, entre autre, de l'amplitude. L'amplitude correspond aux variations de pressions de l'onde.

Tout signal périodique peut se décomposer en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences et amplitudes stables (décomposition en séries de Fourier).



Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)

Credit : Observatoire de Paris

La méthode de Fourier

L'analyse temporelle d'un signal par la méthode de Fourier ou analyse spectrale permet de mettre en évidence les composantes principales d'un signal. Dans le monde musical, l'analyse spectrale permet de reconnaître des instruments différents : chaque instrument de musique possède une tonalité particulière.

On peut "voir" le son, qui n'est autre qu'un mouvement de matière. Les fréquences de résonance en particulier sont très caractéristiques. Une vibration (ou oscillation) de résonance se caractérise sur la corde par une succession de ventres et de noeuds de vibration, c-à-d. de points où les vibrations ont respectivement une élévation maximale ou nulle. Typiquement pour une corde de guitare, une vibration (ou oscillation) de résonance se caractérise sur la corde par une succession de ventres et de noeuds de vibration.

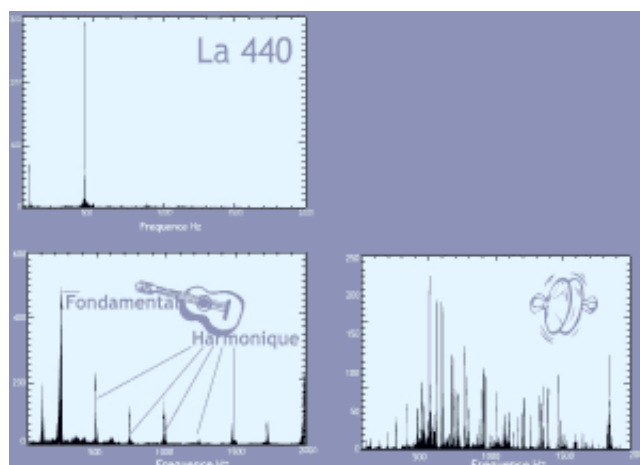
- Le son émis par un diapason (le LA 440Hz) correspond à un son **pur**.
- Celui de la guitare comporte quelques **harmoniques**.
- Le spectre d'une cymbale est beaucoup plus complexe.

Lorsqu'on étudie un signal, un son par exemple, le spectre nous permet de déterminer les caractéristiques du signal : fréquence et intensité.

Dans le cas du Soleil, des étoiles qui se trouvent à des millions de kilomètres comment voir l'intérieur de ces objets où la température dépasse le million de degrés ?

Il faut écouter, ne pas chercher uniquement à voir, et utiliser les ondes sonores

- La lumière permet d'explorer la surface de l'objet, elle ne pénètre pas beaucoup en profondeur,
- Le son donne des informations sur les couches plus profondes, il se propage par nature même au sein de l'objet.



Spectres de Fourier d'un La 440 pur, d'un son de guitare et d'un son de cymbale

Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Les vibrations du Soleil

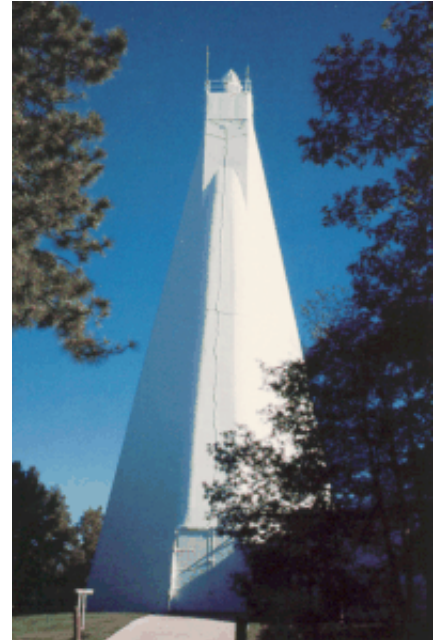
Les oscillations de la [photosphère](#) solaire ont été découvertes grâce aux fluctuations de la matière et aux déplacements des [raies spectrales](#) qui leur sont associés ([effet Doppler](#)).

Deux méthodes ont été utilisées :

- Noyes, Leighton et Simon (1962) ont effectué la soustraction de deux [spectrohéliogrammes](#) du Soleil entier, obtenus dans les ailes bleue et rouge d'une même raie spectrale.
- Evans et Michard (1962) ont mesuré des déplacements de raies sur des spectres d'une petite région du Soleil.

La seconde méthode avait l'avantage de mettre en évidence la propagation verticale des oscillations dans l'atmosphère du Soleil, par l'observation simultanée de raies formées à des hauteurs différentes.

C'est à l'Observatoire de [Sacramento Peak](#) en Arizona, que furent réalisées les premières observations et mesures des déplacements de raies spectrales dans le spectre du soleil.



Observatoire Solaire de Sacramento Peak
Crédit : NOAO/AURA/NSF

Identification des oscillations

En quelques années, les conditions de propagation ont pu être précisées grâce aux spectres de Fourier dans le temps et dans l'espace.

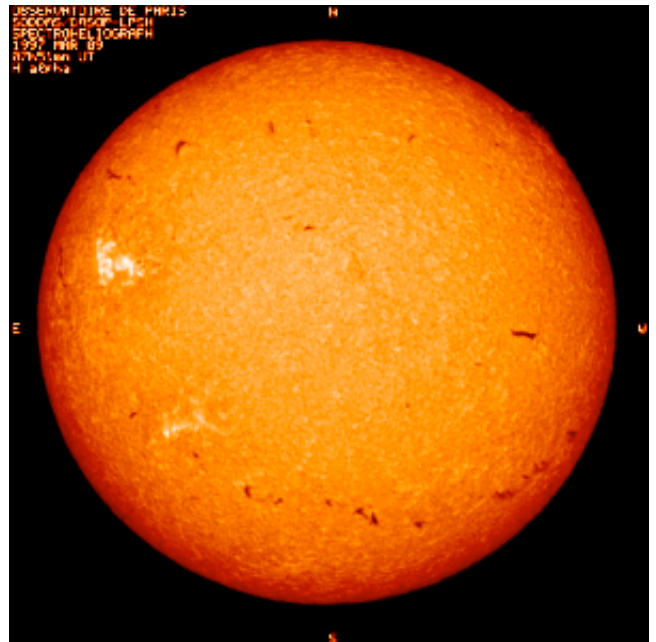
Il est apparu que les oscillations, d'une période voisine de 5 minutes étaient dues à des ondes de type acoustique modifiées par la gravité, se traduisant par des fluctuations de vitesse et de pression (modes p) .

Il en résulte des fluctuations de brillance en même temps que des fluctuations de vitesse. Ce n'est qu'après de longues séquences d'observations, la séparation des "modes" et la comparaison avec les modèles théoriques de la structure interne du Soleil, que la nature globale des oscillations a été mise en évidence par Deubner en 1975.

L'accord entre observations et modèle théorique, déjà fort convaincant en 1975, a été considérablement amélioré depuis.

Ce sont les irrégularités de la surface du Soleil, associées à des mouvements de matière qui sont à l'origine des oscillations observées dans le spectre.

le Soleil



H alpha 6563, Spectrohéliogramme du 9 mars 1997
([spectrohéliographe de Meudon](#))

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Le spectre du Soleil

Depuis plus de 20 ans, les scientifiques cherchent à observer le [Soleil](#) en continu : instruments au sol et dans l'espace ([satellite SOHO](#)) sont à l'écoute des vibrations du Soleil.

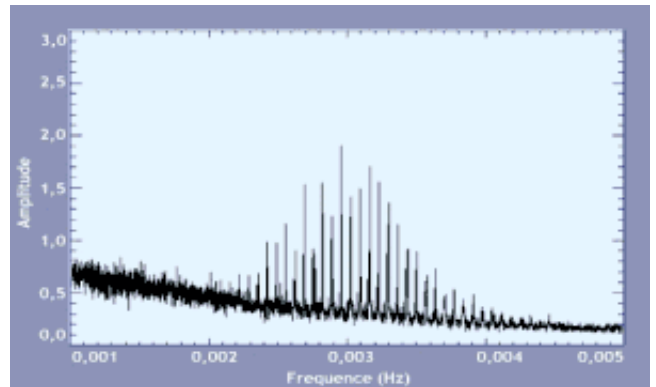
On a maintenant détecté des millions de modes avec des fréquences entre 2 et 5 milliHertz (périodes proches de 5 minutes), ces fréquences sont beaucoup plus basses que celles auxquelles notre oreille est sensible.

Les amplitudes de ces modes sont très faibles, de quelques millièmes en photométrie et de quelques dizaines de centimètres par seconde en spectroscopie.

Cet immense ensemble de données interprétées par la théorie de la [sismologie](#) nous a livré avec une très grande précision la structure interne actuelle du Soleil.

La sismologie est l'outil idéal pour "voir l'intérieur" des étoiles. Il s'agit de détecter et de mesurer les caractéristiques des modes propres d'oscillation des étoiles, et d'utiliser leurs propriétés pour comprendre la structure de leur intérieur, comme on le fait déjà depuis longtemps pour la Terre ou la Lune.

- La théorie est assez bien connue. Elle bénéficie des développements déjà anciens en Géophysique. Elle repose sur de la mécanique et de la thermodynamique en général classique, (sauf dans quelques cas).
- Elle permet en principe de retrouver la structure de l'objet en interprétant son spectre de fréquences, donc de sonder directement les détails de sa structure interne.
- En ce qui concerne les étoiles, c'est le seul moyen existant actuellement pour étudier ce qui se passe à l'intérieur.
- Lorsqu'on étudie l'intérieur du Soleil on fait de l'Héliosismologie, pour les étoiles on fait de l'Astérosismologie.



Spectre de Fourier des variations d'intensité du Soleil, observé par l'expérience VIRGO à bord du satellite SOHO, continûment pendant 600 jours.

Credit : Observatoire de Paris

Evolution des étoiles

Une étoile comme le Soleil passe une grande partie de sa vie à brûler son hydrogène en son centre. C'est ce qui se passe actuellement et qui a commencé il y a plus de 4 milliards d'années.

Dans encore quelques milliards d'années, le soleil va évoluer plus rapidement. Il aura épuisé l'hydrogène de son cœur. Son rayon va augmenter et sa température diminuer, jusqu'à exploser en laissant un cœur très dense, qui devrait former une étoile **naine blanche**

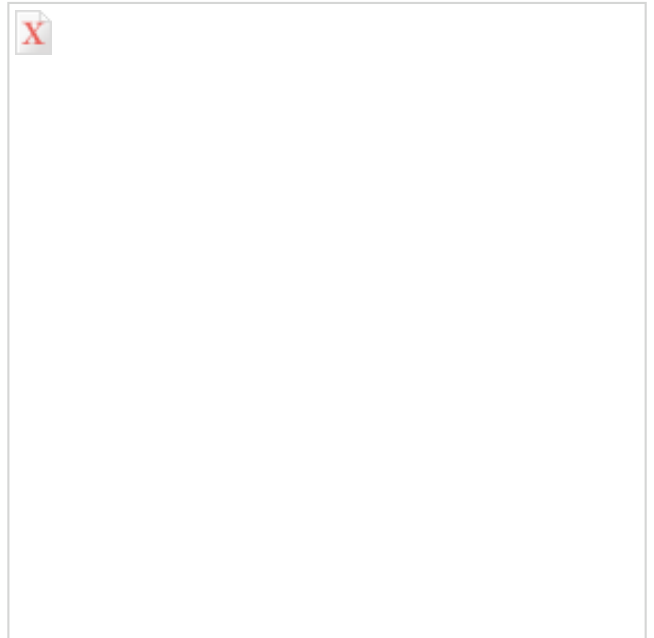
Au fur et à mesure que les réactions nucléaires transforment les différents atomes successivement, la structure de l'étoile change ; on dit que l'étoile évolue.

Suivant la masse de l'étoile, la fin de cette évolution peut être :

- Calme, l'étoile à court d'énergie se refroidit lentement
- Explosive, l'emballement de certaines réactions engendrent la destruction partielle ou totale de l'étoile (on observe alors les phénomènes de **novae**, ou **supernovae**).

Plus une étoile est massive, plus elle évolue rapidement.

- Une étoile comme le Soleil a une durée de vie de l'ordre de 10 milliards d'années avant d'être à court d'énergie
- Une étoile de 30 fois la masse du Soleil a une durée de vie de seulement quelques millions d'années, alors que les étoiles les moins massives connues (de l'ordre d'un dixième de la masse solaire) ont des durées de vies comparables à l'âge de l'Univers (environ 14 milliards d'années).



Cette évolution est schématisée sur l'animation, qui illustre ce parcours dans le diagramme luminosité/température (température de surface, luminosité totale)

Crédit : Observatoire de Paris / ASM

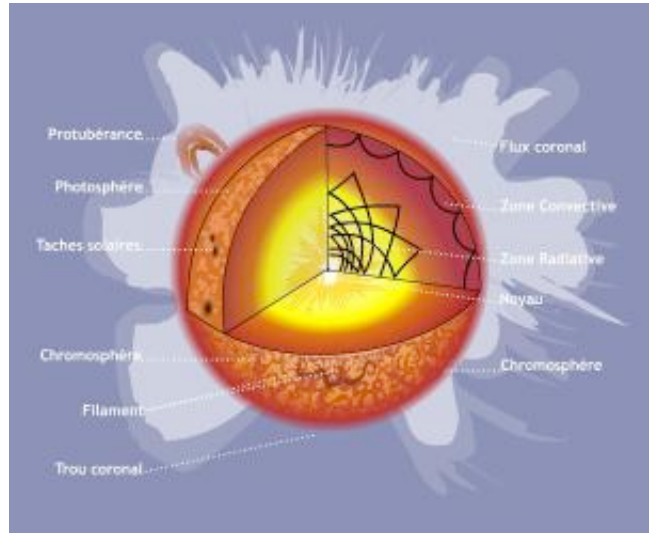
L'intérieur des étoiles

Les étoiles sont de gigantesques boules de gaz (principalement de l'hydrogène et de l'hélium).

Dans leurs entrailles règnent des conditions physiques de température, de pression, de densité très variées de la surface au centre et d'une étoile à l'autre.

On y rencontre des processus physiques divers appartenant à des branches variées de la physique (réactions nucléaires, interaction matière rayonnement, hydrodynamique,...). Les étoiles permettent d'étudier ces processus dans des conditions physiques inaccessibles en laboratoire.

Ces processus physiques dictent la structure des étoiles et leur évolution.



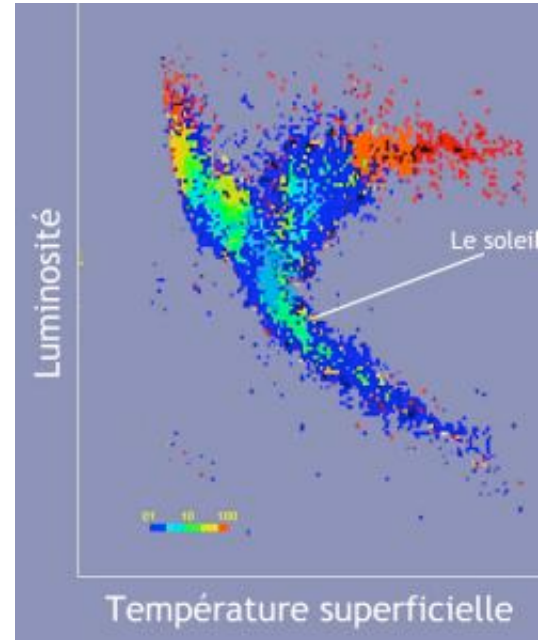
L'intérieur de notre étoile, le [Soleil](#)
Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Température, luminosité

Dans une étoile comme le Soleil, la température varie de 5500 °C environ en surface jusqu'à plus de 15 millions de °C au centre, la densité varie de moins d'un milliardième de gramme par centimètre cube en surface à approximativement 150 grammes par centimètre cube au centre.

Mais le Soleil est une étoile moyenne. Certaines étoiles sont beaucoup plus massives (jusqu'à 100 fois plus) ou moins massives (jusqu'à 10 fois moins). Certaines sont plus chaudes en surface (jusqu'à 25000 °C) ou plus froides (jusqu'à 2000 °C).

Dans certaines étoiles, la température centrale peut atteindre plusieurs centaines de millions de degrés, dans d'autres (**étoiles à neutrons**), la densité au centre pourrait atteindre un milliard de tonnes par centimètre cube.



La très grande variété des étoiles est illustrée dans ce diagramme. Chaque étoile y est représentée par un point dont l'abscisse est la température de sa surface et l'ordonnée sa luminosité (intensité totale du rayonnement émis par sa surface). Le code de couleur indique le nombre d'étoiles de la région, telles qu'elles ont été observées par le satellite [HIPPARCOS](#).

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Structure interne

Par le rayonnement qu'elles émettent, les étoiles perdent une énergie considérable ($4 \cdot 10^{26}$ watts pour le Soleil, soit la production de 400 milliards de centrales nucléaires de 1GW, et jusqu'à un million de fois cette valeur pour les étoiles les plus lumineuses).

La structure de l'étoile s'ajuste pour établir un équilibre entre cette énergie perdue à la surface et celle produite dans le cœur de l'étoile par les réactions de fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium dans un premier temps, puis généralement de l'hélium en éléments plus lourds (carbone, oxygène, ...), éventuellement ensuite du carbone en éléments encore plus lourds...

Cette structure est très variée. Elle dépend de l'âge, de la masse, et de la composition de l'étoile.

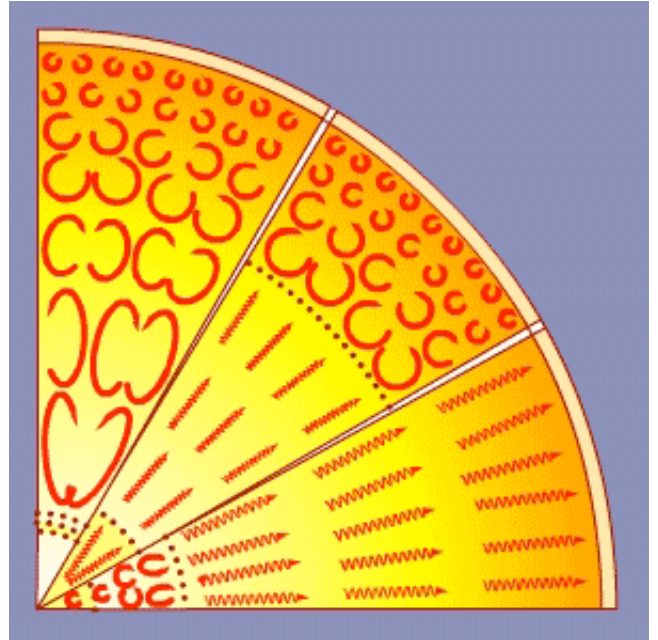


Schéma de structure de trois modèles d'étoiles : Une étoile comme le Soleil au centre, une étoile un peu plus massive en bas et une étoile très vieille. Les flèches ondulées indiquent des régions calmes, tandis que les tourbillons illustrent la présence de mouvements convectifs puissants
Credit : Observatoire de Paris / UFE

Et aussi ...

CoRoT va recueillir une exceptionnelle quantité de données de très haute précision sur les variations infimes de l'éclat de milliers d'étoiles au cours du temps. Outre ces deux objectifs principaux, il contribuera à comprendre de nombreux autres sujets.

Par exemple :

- Connaître avec une très grande précision les caractéristiques des **étoiles variables**.
- Détecter un grand nombre de **systèmes binaires** et en faire la statistique
- Comprendre comment l'activité magnétique dépend du type de l'étoile
- Trouver des comètes autour d'autres étoiles
- Détecter des « objets de Kuiper » aux confins du système solaire
-

Au moins 80 programmes nouveaux sont envisagés, impliquant plus de 200 chercheurs.

Etoiles variables

Dans le diagramme luminosité/température les zones hachurées représentent l'emplacement des étoiles variables. Plusieurs groupes d'étoiles sont déjà connus pour avoir des variabilités dans leur éclat.

Cependant les techniques habituelles de détections permettent de n'avoir qu'une idée approximative des variations.

Grâce à CoRoT, les propriétés de variabilités seront bien mieux mesurées. Nous aurons alors des informations extrêmement précieuses pour comprendre leurs causes. D'autre part, avec ces nouvelles mesures, de nouvelles catégories d'étoiles variables seront très probablement trouvées

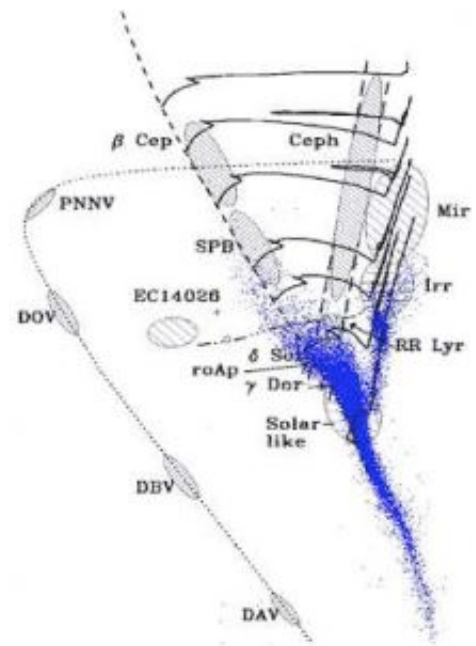


Diagramme luminosité/température des différentes classes d'étoiles variables connues

Crédit : Observatoire de Paris / LESIA

Activité magnétique

Tout comme le soleil, les étoiles froides sont le siège de phénomènes d'activité dus à la présence d'un champ magnétique généré dans l'intérieur des étoiles par effet dynamo grâce aux mouvements convectifs et à la rotation différentielle.

Même si nous connaissons bien le magnétisme solaire, dont une des manifestations est l'apparition de taches sombres à la surface, lieux d'émergence du champ magnétique, les détails du mécanisme responsable de ces phénomènes sont encore mal compris.

Le passage de taches sombres sur la ligne de visée lors de la rotation de l'étoile produit des variations de son éclat. CoRoT mesurera ces variations de brillance (leur amplitude et leur période) avec précision dans un grand nombre d'étoiles et permettra d'en faire la statistique.



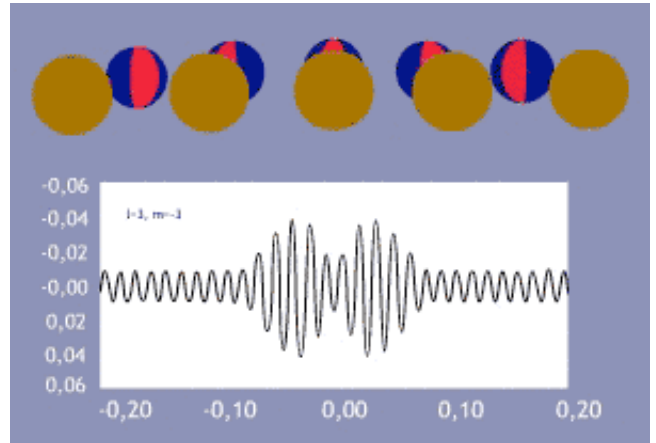
Une image en lumière blanche du soleil, prise à Meudon en Janvier 2004. On y distingue plusieurs groupes de taches
Credit : Observatoire de Paris / LESIA

Systemes binaires

Dans un systeme binaire à eclipse on voit passer successivement une des composantes du systeme devant l'autre. Ceci produit d'importantes variations de l'éclat du systeme global, phénomène analogue à celui du transit.

Si, de plus, une des étoiles pulse, les variations dues à la pulsation seront modulées lorsqu'elle est partiellement éclipsee.

Ces faibles variations de l'amplitude de la pulsation donneront des indications sur sa structure géométrique.



Modulation des pulsations des binaires à eclipse.

Crédit : Observatoire de Paris /LESIA

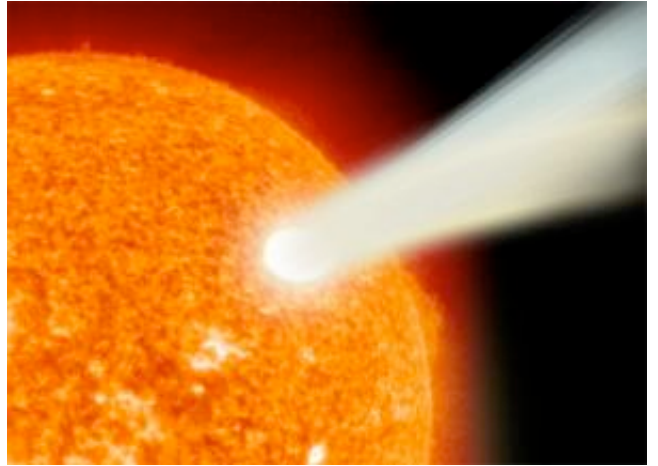
Comètes

Les comètes, bien connues dans le système solaire, existent aussi autour d'autres étoiles. Elles ont été détectées dans le disque qui entoure l'étoile β Pictoris.

Une comète qui passerait devant le disque de son étoile produirait une diminution de l'éclat apparent de l'étoile, une sorte de transit, comme pour les planètes, à condition que l'observateur soit bien placé.

A cause de la petite taille de la comète et de sa grande chevelure, le « transit » aurait une allure différente.

.CoRoT devrait pouvoir les détecter



Vue d'artiste représentant une comète passant devant son étoile.

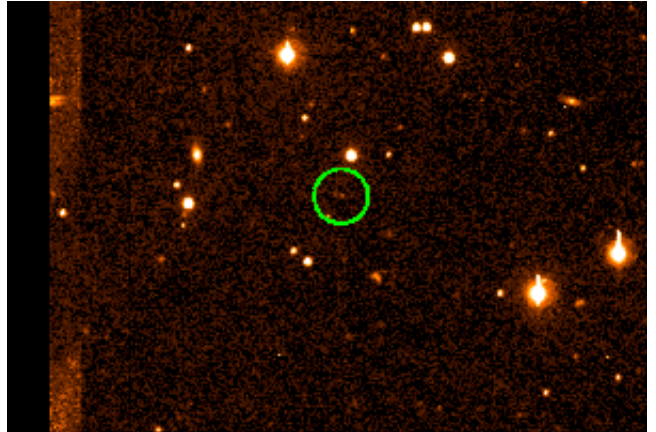
Crédit : Observatoire de Paris / UFE

Les objets de Kuiper

Le disque de Kuiper est un regroupement de comètes, astéroïdes et autres objets célestes situé au delà de Neptune. Il est si lointain (entre 35 et 100 UA du Soleil) que seuls les objets les plus proches et les plus gros sont détectables directement.

La présence d'objets de Kuiper très petits ou très lointains peut être détectée quand ils passent devant une étoile, en faisant varier son éclat apparent. Cette méthode, appelée méthode par "occultation stellaire", la seule qui permettra d'accéder à cette partie du disque de Kuiper, sera mise en œuvre avec le satellite CoRoT.

Des centaines d'objets ont déjà été découverts. Il existe très probablement des milliards d'objets répartis en un disque appelé nuage de Oort, qui s'étend peut-être jusqu'aux confins du système solaire.



Observation directe d'un gros objet de la ceinture de Kuiper : Sedna, au centre du cercle vert.

Credit : NASA / Caltech

Le nuage de Oort

Le nuage de Oort est une vaste zone du ciel située au-delà de la ceinture de Kuiper et qui contiendrait des milliards de comètes : ce nuage s'étend entre 20000 et 150000 UA environ.

Il pourrait contenir des milliards de noyaux de comètes et serait la source de la plupart des comètes qui entrent dans les régions centrales du système solaire intérieur (quelques comètes de courte période peuvent venir de la ceinture de Kuiper).



La ceinture de Kuiper au sein du nuage de Oort
Crédit : Observatoire de Paris / ASM