

Les Savanturiers

En mission avec les scientifiques du CEA

n°11

1,2,3... Soleil !

Notre galaxie, la Voie lactée, est composée de plus de cent milliards d'étoiles. Parmi celles-ci, plus d'un milliard ressemblent au Soleil. Notre étoile n'est donc pas extraordinaire, mais la Terre lui doit la vie.



© CEA



© CEA



© Helioviewer.org

Sommaire :



Comprendre :
Le Soleil
Pages 2-3



Satellites et simulation
numérique
Pages 4-5



2015 :
l'Odyssée de la Lumière
Page 8

Le Soleil avec son spectre d'oscillations acoustiques, en blanc, mesuré par SoHO.

© CEA

Comprendre : le Soleil

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, à tout de même 150 millions de km !

La lumière est la principale source d'information pour l'astronomie et l'astrophysique. Les observations de son spectre visible et de certaines ondes radio depuis le sol, et celles dans les domaines ultraviolets et X depuis l'espace ont permis de distinguer et d'étudier les différentes couches du Soleil.

Fiche identité du Soleil

Age : 4,5 milliards d'années
 Taille : 696 000 km de rayon
 Température : 15 millions °C au cœur, 6 000 °C en surface
 Composition : **plasma** (gaz ionisé, principalement hydrogène 74 % et hélium 24 %) en rotation sur lui-même

Zone convective

- de 495 000 à 696 000 km
- 3 % de la masse
- Transport convectif de l'énergie, par déplacements macroscopiques de la matière

Zone radiative

- de 0 à 495 000 km
- 50 % (cœur) + 47 % de la masse
- Transport de l'énergie par radiation
- Collisions **photons**-matière qui les ralentissent et dégradent leur énergie
- Diffusion des photons en plusieurs dizaines de milliers d'années

Cœur du Soleil

- de 0 à 210 000 km
- 50 % de la masse
- Lieu de réactions de **fusion** nucléaire

Photosphère

C'est la couche visible lorsque l'on observe le Soleil sans filtre, d'où son nom (*photos* = lumière et *sphaira* = boule, en grec). Son épaisseur est de 500 km. On peut y voir des taches solaires (de plusieurs dizaines de milliers de km) et des granules (de 1 000 km environ) dues au phénomène de convection.

Chromosphère

Partie basse de l'atmosphère solaire (2 000 à 3 000 km d'épaisseur) où la température voisine les 10 000 °C. On y observe des zones actives au-dessus des taches et des **filaments**.

Couronne

C'est l'atmosphère la plus extérieure du Soleil, visible à l'œil nu lors des éclipses et par les détecteurs X et UV des satellites. Malgré la faible densité de matière (10^{-8} particules/cm³ dans la couronne, 10^{-10} dans la chromosphère, 10^{-17} dans la photosphère), il y règne encore une température de l'ordre du million de degrés. La couronne se prolonge dans le milieu interplanétaire sous forme de vent solaire, qui circule avec une vitesse de 400 à 800 km/s !

Fiche identité de la Terre

Âge : 4,5 milliards d'années
 Taille : 6 370 km de rayon
 La plus massive des 4 planètes telluriques du système solaire. La Terre est protégée des tempêtes du Soleil par son propre champ magnétique, engendré par les mouvements. Il agit comme un bouclier en déviant les particules du vent solaire ; certaines parviennent pourtant jusqu'à l'atmosphère, dont elles excitent les molécules, créant ainsi les aurores boréales et australes.

Éruptions solaires



Les éruptions solaires sont les événements les plus violents de tout le système solaire. Elles se déclenchent à la surface de l'étoile et émettent rayonnements (depuis les ondes radio jusqu'aux rayons X) et particules. Elles s'accompagnent souvent d'une éjection de masse coronale, au cours de laquelle une bulle de plasma magnétisé de quelques milliards de tonnes est expulsée à des vitesses de plusieurs millions de km/h. L'énergie libérée correspond à un million de fois l'énergie électrique annuelle mondiale. Les perturbations engendrées touchent les satellites, les systèmes de communication et GPS, les systèmes électriques au sol... Ces éruptions suivent aussi un cycle de 11 ans. Lorsque le Soleil est peu actif, il y en a moins d'une par jour, pour 3 ou 4 lors des périodes d'activité maximale. Il y en a donc plusieurs milliers au cours d'un cycle. Vont-elles ou non impacter la Terre ? C'est la question centrale de la météorologie spatiale.

© Antoine Levesque

Une centrale de production d'énergie

Comme dans toutes les étoiles, la pression et la chaleur qui règnent au cœur du Soleil permettent des réactions de fusion des atomes d'hydrogène en hélium, en libérant de l'énergie thermique. Celle-ci est d'abord transportée vers la surface par le rayonnement dans la zone dite radiative, puis par des mouvements turbulents dans la zone dite convective. Il lui faut environ 100 000 ans pour parcourir la distance cœur-surface.

Effet dynamo

Tout fluide conducteur turbulent, en rotation sur lui-même, crée un champ

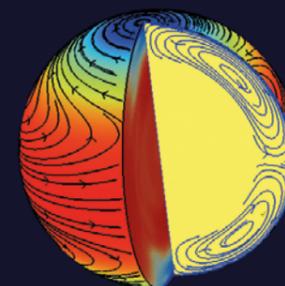
magnétique : c'est l'effet dynamo fluide. Le Soleil n'échappe pas à cette règle. Les intenses cisaillements qui ont lieu à l'interface entre les zones radiative et convective engendrent des structures magnétiques allongées (tubes) qui, comme des bulles, flottent et remontent à la surface, perçant celle-ci et créant des taches sombres, appelées taches solaires.

Champ magnétique

L'activité se déploie dans l'atmosphère sous forme d'arches dont les pieds sont ces taches. Ces arches peuvent

devenir instables et éjecter dans l'espace interplanétaire des bouffées de particules et de champs magnétiques. L'activité magnétique globale, succession d'émergences de flux, taches magnétiques et éruptions solaires, suit un cycle de 11 ans en moyenne ; en fait, d'après les observations répertoriées depuis 1610, elle varie entre 8 et 14 ans. Les astrophysiciens comptent ces cycles depuis 1760 ; Le Soleil est entré dans son 24^e depuis 2009.

Rotation différentielle solaire dans la zone convective.



© CEA

En savoir +

- Découvrez la série des animations « Terre et univers » dont « Pourquoi les étoiles brillent-elles ? » et « De la Terre au Soleil » www.cea.fr/jeunes/mediatheque/animations-flash/terre-et-univers/
- À lire, les livrets pédagogiques n° 11 « L'Astrophysique nucléaire » et n° 13 « Le Soleil » sur www.cea.fr

Lexique :

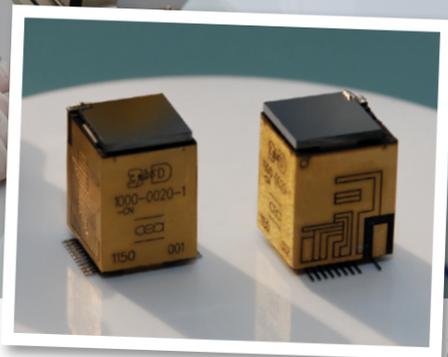
- Filament :** Éjection de plasma dense, aussi appelé protubérance.
- Fusion :** Réaction où deux noyaux atomiques légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd, en dégageant d'énormes quantités d'énergie.
- Photon :** Particule de lumière.
- Plasma :** Le plasma est le 4^e état de la matière, c'est un fluide très chaud et chargé électriquement. Le feu ou le gaz dans un tube néon est un plasma.

Observation directe par satellites et simulation numérique

Ces deux disciplines sont complémentaires pour comprendre le fonctionnement du Soleil. Deux laboratoires du Service d'astrophysique du CEA travaillent de concert pour mener à bien cette mission.



Les détecteurs Caliste sont testés avant leur montage sur le satellite.



Des satellites dédiés

Depuis toujours, les étoiles sont observées depuis la Terre. Mais comme l'atmosphère filtre certains rayonnements, il faut avoir recours à des satellites comme CoRoT, Kepler... pour sonder l'espace dans toutes les longueurs d'ondes. Certains ont été conçus spécifiquement pour étudier le Soleil.

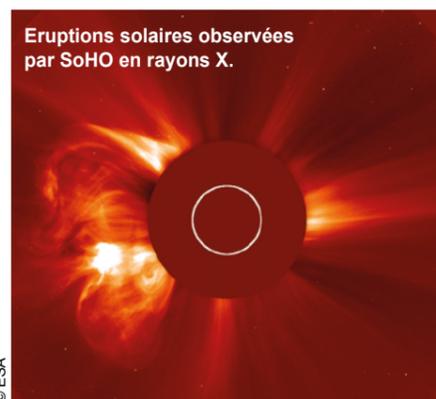
SoHO depuis 1995

SoHO est un satellite placé en orbite à 1,5 million de km de la Terre, soit à 148,5 millions de km du Soleil. Lancé en 1995, sa mission devait nominalement durer 2 ans mais, en 2015, il continue de fournir des données aux chercheurs ! Sur ses 12 instruments d'observation, 3 sont dédiés à la sismologie et les autres à tous les phénomènes de l'atmosphère solaire : vents, émissions de particules, éruptions...

Solar Orbiter en 2018

La relève sera assurée par Solar Orbiter. Lancé en 2018, ce nouveau satellite de l'ESA s'approchera au plus près du Soleil, en orbite à moins de 45 millions de km (plus proche que Mercure !) et sortira du plan de l'écliptique Soleil-Terre. Conçu pour étudier son atmosphère avec une haute résolution spa-

tiale et mieux connaître le rôle du magnétisme, il fournira images et données sur les régions polaires et la face de l'astre non-visible depuis la Terre. La mission, prévue pour durer 3 ans, permettra de suivre l'activité magnétique du Soleil et ses éruptions, qui affectent l'atmosphère terrestre, et peut-être son climat. Parmi la dizaine d'instruments embarqués, le spectromètre **STIX** est un instrument suisse équipé de nouveaux détecteurs de rayons X, baptisés Caliste-SO, développés par des équipes françaises. Avec une précision inégalée, ces détecteurs produiront des images spectroscopiques du plasma chauffé à des dizaines de millions de degrés et des électrons accélérés à des vitesses proches de celle de la lumière pendant les éruptions.



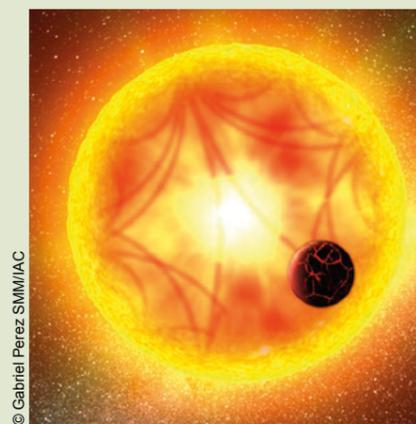
Eruptions solaires observées par SoHO en rayons X.

Héliosismologie

Il y a deux façons de découvrir ce qu'il se passe dans le Soleil. Soit détecter les **neutrinos**, ces particules très nombreuses créées en son cœur lors des réactions thermonucléaires, mais qui, très furtives, interagissent très peu avec la matière. Soit observer toutes les perturbations que les ondes acoustiques et de gravité portent sur le spectre de sa lumière ; c'est ce que l'on appelle l'héliosismologie.

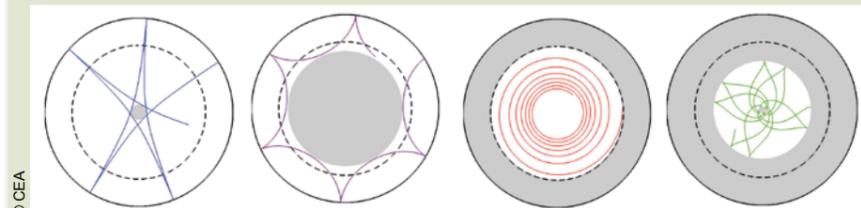
Grâce à cette discipline, la compréhension de l'intérieur du Soleil a connu un essor considérable depuis les années 1970. Elle étudie la surface du Soleil, animée par les mouvements turbulents qui agitent la zone convective. Ceux-ci engendrent des ondes acoustiques qui se propagent dans l'étoile. Les ondes de gravité sont émises en bas de la zone convective et ne se propagent que dans la zone radiative. Elles ne produisent qu'un très faible signal en surface.

Puisque le vide règne entre le Soleil et la Terre, les chercheurs ne peuvent pas les écouter directement. Ils enregistrent les mouvements de dilatation et de compression de surface, selon un cycle de 5 min, et les retraduisent en ondes.



© Gabriel Perez SMM/AC

Chacune de ces millions de pulsations doit être étudiée individuellement. Cela permet de déterminer la vitesse du son et donc la densité et la température du milieu traversé, couche par couche. L'aventure de la sismologie stellaire va continuer avec le lancement de la mission PLATO de l'ESA, prévu dans 10 ans, qui étudiera selon cette méthode des centaines de milliers d'étoiles de la Voie lactée.

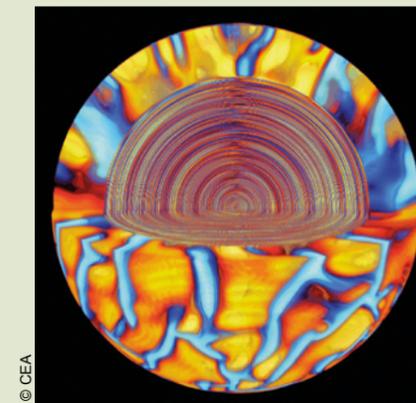


A gauche, deux exemples d'ondes acoustiques ; à droite, deux de gravité. Les pointillés délimitent les zones radiative et convective.

Simulation numérique

Le Soleil tourne sur lui-même en 28 jours en moyenne, mais plus vite en surface à l'équateur (24 jours) qu'aux pôles (34 jours). Pour essayer de reproduire ce comportement et tenter de comprendre ce qui se passe à l'intérieur, les modèles théoriques prennent en compte les mouvements internes et le champ magnétique pour mettre en équations le Soleil dans ses 3 dimensions. Opération très complexe qui nécessite de « découper » l'étoile en un milliard de petits cubes et de déterminer la température, la densité et la vitesse des gaz pour chacun d'eux.

Des résultats spectaculaires ont été obtenus, qui démontrent notamment les différences de comportement : la zone radiative, où se déroulent les réactions de fusion, tourne comme un corps solide tandis que les couches externes ont des vitesses différentes selon leur distance à l'équateur. Ces différences génèrent un effet dynamo à l'origine du champ magnétique du Soleil. Les modèles décrivent aussi les ondes de gravité, difficilement détec-

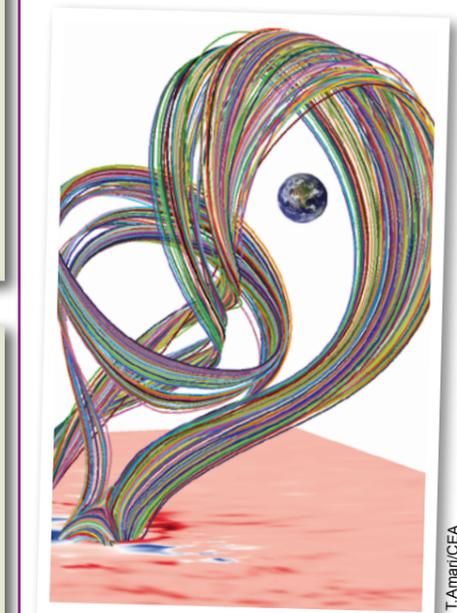


© CEA

Zoom

Prévoir les éruptions solaires

A l'aide de données du satellite japonais Hinode, les chercheurs ont suivi l'évolution du champ magnétique solaire dans une zone éruptive active en décembre 2006 et ont calculé l'évolution de l'environnement magnétique dans la couronne. Ils ont mis en évidence l'apparition d'une **corde** émergeant du Soleil, qui se forme peu à peu en gagnant en énergie. Celle-ci est associée à l'apparition d'une tache. Une seconde série de calculs montre que cette corde est à l'origine de l'éruption, et même indispensable à celle-ci ! En se basant sur des données magnétiques accumulées en temps réel et des modèles numériques adaptés, il sera possible de prévoir la météorologie dans l'espace et de se prémunir sur Terre des conséquences des tempêtes solaires.



© T.Amarici/CEA

Lexique :

Corde : Ligne de forces magnétiques torsadées.

Neutrino : Particule élémentaire, de masse très faible, du modèle standard.

SoHO : Solar and Heliospheric Observatory, satellite de l'European Space Agency (ESA).

STIX : Spectrometer Telescope for Imaging X-rays.



© M. Klotz/CEA

« La recherche fait le lien entre observation, modélisation et prédictions. »

Sacha Brun

Astrophysicien, directeur de recherche, chef du laboratoire Dynamique des étoiles et leur environnement

Les Savanturiers : Quelle est la thématique de recherche du laboratoire ?

Sacha Brun : Nous cherchons à comprendre comment fonctionnent les étoiles et comment elles interagissent avec les planètes, les disques de matière, le gaz interstellaire. D'un point de vue théorique, à partir d'équations de physique des fluides ou, en les associant à des observations, en construisant des modèles de l'atmosphère et de l'intérieur des astres, les découpant en des milliers de petits cubes. Personnellement, je suis expert en dynamique des fluides et en modélisation.

Pourquoi le Soleil est-il votre étoile fétiche ?

De par mes origines méditerranéennes, j'ai une relation privilégiée avec cette étoile. J'ai commencé ma thèse au moment du lancement du satellite SoHO, ce

qui m'a conforté dans cette orientation. De plus, en physique solaire, les chercheurs ne sont jamais isolés et les études se font au niveau international. Par exemple, nous travaillons en collaboration avec d'autres laboratoires sur les thèmes « Comment expliquer le cycle magnétique de 11 ans du Soleil et quelles sont ses répercussions sur Terre ? » et « Comment vit-on autour d'une étoile active ? ». Il y a donc un aspect sociétal direct à nos recherches. Enfin, le Soleil est notre **pièce de Rosette** pour mieux comprendre les autres étoiles.

Avez-vous eu des résultats marquants récemment ?

Deux d'entre eux ont eu un impact international. Le premier c'est la modélisation 3D des ondes à l'intérieur des étoiles ; une première ! Nous avons aussi déterminé, avec une équipe américaine de l'Université du Colorado, un modèle d'étoile jeune ayant un cycle magnétique de 7 ans. Nous atteignons une maturité dans nos simulations numériques qui reflètent parfaitement la réalité et peuvent même guider les observations. Pour cela, nous poussons nos collègues à augmenter les performances de leurs détecteurs :

rapidité, précision... Ces va-et-vient entre observations, modélisations, prédictions, développements sont enrichissants !

Pensez-vous avoir des surprises lors de la mission Solar Orbiter ?

Il est difficile de faire des prédictions. Mais, du fait de l'inclinaison de la Terre, nous ne pouvons pas bien étudier les pôles du Soleil. Comme Solar Orbiter passera de nombreuses fois près de ces zones, nous espérons pouvoir observer et comprendre le renversement du champ magnétique à ces endroits.

Pouvez-vous nous parler de votre rôle de directeur de thèse ?

Il faut savoir guider les étudiants, leur donner le goût et les capacités d'explorer de nouvelles frontières. Ils doivent mener à bien leur thèse et acquérir de l'autonomie.

Formation :

- Bac S
- DEA Astrophysique spatiale
- Thèse
- Post-doc aux Etats Unis à l'Université du Colorado
- Habilitation à diriger des thèses



© M. Klotz/CEA

« Ces 3 années de thèse me permettent de commencer ma vie de chercheuse. »

Constance Emeriau

En 1^{re} année de thèse

Que signifie « être thésarde » ?

Constance Emeriau : C'est mon premier emploi après un master, un CDD de 3 ans où je suis rémunérée. Je travaille à plein temps sur un sujet de recherche, guidée et encadrée par un directeur de thèse. Pendant cette période, on doit rédiger un rapport (de 200 à 300 pages environ), suivi d'une soutenance, avant d'être officiellement nommé chercheur.

Quel est votre sujet de thèse ?

J'étudie les champs magnétiques et les plasmas solaires et ceux nécessaires à la fusion sur Terre. Par conséquent, mon année est divisée en deux : 9 mois au service d'astrophysique de Saclay pour étudier le Soleil et 3 mois à Cadarache pour étudier le plasma dans le **tokamak** Tore Supra. Je travaille sur la structure interne du Soleil. J'effectue des calculs pour le sonder du cœur vers

la surface. Son cœur ressemble à un oignon, avec plusieurs couches. Son enveloppe est agitée de mouvements de matière, cela fait comme une dynamo. J'essaie de comprendre comment interagissent ces deux champs magnétiques générés. En début de thèse, on travaille sur la bibliographie, il faut lire les articles fondateurs et les plus récents sur son sujet d'étude. J'ai commencé très vite à travailler sur des modèles numériques et j'établis ma bibliographie en parallèle.

Pourquoi l'avez-vous choisi ?

J'ai toujours été passionnée par l'astrophysique. Après le Bac, je me suis orientée vers ce domaine, puis j'ai étudié le plasma pendant mon master. Les expériences en astrophysique sont compliquées, il y a beaucoup d'observations. Je travaille particulièrement sur des simulations, de grands codes numériques qui tournent sur les ordinateurs massivement parallèles du très grand centre de calcul du CEA.

Travaillez-vous seule ?

Au service d'astrophysique de Saclay, je suis dans une équipe de 15 personnes ;

certaines font de la théorie et de la simulation et d'autres des observations. Je suis en relation avec des personnes qui font de l'expérimentation, c'est important de connaître les instruments qui font les mesures et les expériences qui vont être menées. Nous avons une réunion mensuelle où chacun expose l'avancée de son étude.

Est-ce que cela vous plaît ?

C'est motivant de trouver des réponses à des questions, je souhaite vraiment être chercheuse. Ces 3 années de thèse me permettent de commencer ma vie de chercheuse, de constituer un réseau, de m'insérer professionnellement dans le monde de la recherche. Il me serait possible d'être chercheur-enseignant, mais ce n'est pas mon choix.

Formation :

- Bac S
- Classes préparatoires
- ENSTA : licence Physique expérimentale, théorique et modélisation, master Modélisation et simulation
- Licence d'informatique



© M. Klotz/CEA

« C'est la première fois que nos détecteurs iront aussi près du Soleil ! »

Olivier Limousin

Ingénieur chercheur, chef du Laboratoire spectro-imageurs spatiaux

Les Savanturiers : Sur quel projet travaillez-vous ?

Olivier Limousin : Avec le **CNES** et quelques partenaires, nous travaillons sur une gamme de capteurs, nommés Caliste. Ce sont des détecteurs en **CdTe**, très performants, qui interceptent des rayonnements X, de quelques **keV** à plusieurs centaines de keV. Ils déterminent l'énergie de chaque photon et en font des images. Ils seront embarqués à bord de Solar Orbiter, un satellite de l'ESA, dont le lancement est prévu en 2018. Comme ces détecteurs sont placés au cœur d'un instrument, ils doivent être prêts en premier. 100 détecteurs doivent être fabriqués pour les 32 modèles du vol orbital, nous espérons les avoir tous terminés d'ici fin 2015.

Comment procédez-vous ?

Nous mettons au point les composants, les prototypes et procédés. Nous rédigeons la documentation associée. Puis les détecteurs sont fabriqués par l'industriel 3DPlus. Nous effectuons le contrôle de fabrication et de qualité, il faut que tout soit conforme au cahier des charges parfaitement testé et fiable.

Qu'attendez-vous de Caliste ?

Le capteur doit remplir sa mission scientifique, suivant les performances demandées par le chef de la mission :

Formation :

- Bac S
- Ecole d'ingénieurs INSA de Lyon, en Génie physique des matériaux
- DEA Matériaux pour l'électronique
- Thèse au CEA/IRFU en Instrumentation spatiale



Vue d'artiste du satellite Solar Orbiter.

© ESA

En savoir +

● Découvrez le webdocumentaire sur www.odysseedelalumiere.fr



● À lire, le livret pédagogique n° 16 « La simulation numérique » www.cea.fr/jeunes/themes/physique-chimie/la-simulation-numerique/qu-est-ce-que-la-simulation-numerique



Lexique :

ANR : Agence nationale de la recherche, qui finance des projets de recherche publique.

CdTe : Tellure de cadmium, matériau cristallin semi-conducteur.

CNES : Centre national d'études spatiales.

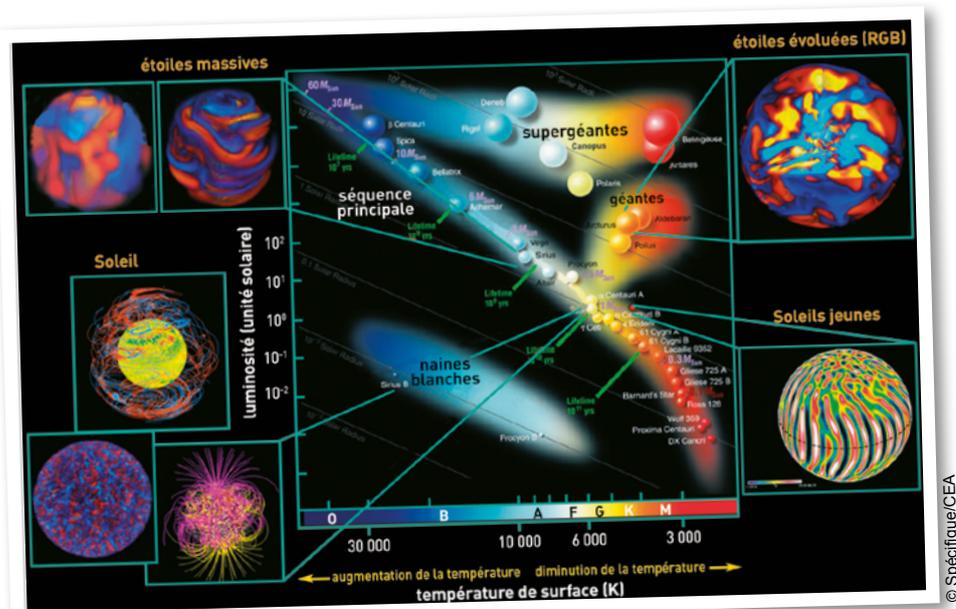
eV : Électron-volt, unité de mesure d'énergie. Sa valeur est celle de l'énergie cinétique acquise par un électron accéléré depuis le repos par une différence de potentiel d'un volt. $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ joule}$.

G : Initiale de « gravitationnel », c'est une unité d'accélération correspondant approximativement à l'effet de la pesanteur à la surface de la Terre.

Pierre de Rosette : Fragment de stèle gravée de l'Égypte antique portant trois versions d'un même texte (hiéroglyphes égyptiennes, égyptien démotique et alphabet grec) qui a permis le déchiffrement des hiéroglyphes.

Tokamak : Enceinte torique (en forme de couronne) où le confinement magnétique permet de contrôler un plasma.

Le Soleil, une étoile parmi d'autres



◀ Né il y a 4,5 milliards d'années, il reste au Soleil autant d'années à vivre, jusqu'à sa fin programmée en naine blanche.

Une collision probable avec la galaxie d'Andromède

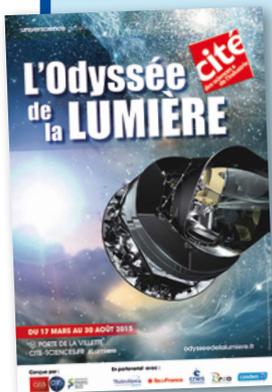
Grâce à la simulation numérique, les astrophysiciens prévoient la collision de la Voie lactée, dans laquelle se trouve le système solaire, et de la galaxie d'Andromède dans 2 à 3 milliards d'années. Dans un premier temps, les deux galaxies se rencontreront et les effets de marée gravitationnelle leur arracheront de la matière pour former de gigantesques structures appelées « queues de marée ». Plus tard, elles fusionneront pour former un ensemble plus vaste de forme ellipsoïdale. Il est possible que le Soleil et son cortège de planètes soient catapultés hors du disque galactique et que les trajectoires des étoiles se distribueront de façon aléatoire.

Le diagramme de Hertzsprung-Russell, du nom des astronomes qui l'ont établi il y a un peu plus de 100 ans, est un graphe dans lequel est indiquée la luminosité d'un ensemble d'étoiles en fonction de leur température effective.

Ces paramètres permettent de classer les étoiles en un petit nombre de familles : celles de la séquence principale, les naines blanches, les géantes bleues, les géantes rouges (froides et lumineuses) et les supergéantes.

Ce diagramme permet aussi de visualiser l'évolution stellaire : les étoiles de la séquence principale sont celles à l'intérieur desquelles l'hydrogène seul est consommé par des réactions nucléaires. Dans les géantes rouges, l'hydrogène a été consommé au centre de l'étoile, qui s'effondre. Les naines blanches correspondent à l'un des stades ultime de l'évolution stellaire pour certaines étoiles. Le Soleil fait partie de la séquence principale ; il est à la moitié de sa vie.

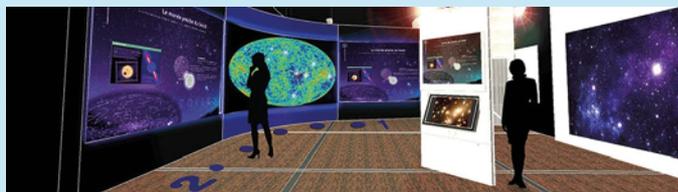
2015 : l'Odysée de la Lumière



2015 a été choisi par l'UNESCO « Année de la lumière et de ses applications ». En astrophysique, la lumière est le messager principal de l'information sur l'univers. À cette occasion deux astrophysiciens du CEA, Roland Lehoucq et Jean-Marc Bonnet-Bidaud, proposent une exposition à la Cité des sciences et de l'industrie à Paris, du 17 mars au 30 août. Celle-ci se déroule en deux voyages : l'une des lumières vient du fin fond du cosmos, il s'agit de la lumière primordiale. L'autre lumière est émise par le Soleil. Les deux photons Max et Soho se sont donné rendez-vous à la Tour Eiffel. Vont-ils se rejoindre ?

Vous pourrez embarquer pour ce long voyage à travers un webdocumentaire sur le site internet :

www.odysseedelalumiere.fr



Sites :

CEA : www.cea.fr
 CEA jeunes : www.cea.fr/jeunes
 CEA Service d'astrophysique : irfu.cea.fr/Sap
 ESA : www.esa.int

Retrouvez les Savanturiers en version web : www.cea.fr/le_cea/publications/les_savanturiers/



Éditeur : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, RCS Paris B 775 685 019
 Conseiller scientifique : Sacha Brun
 Ont participé à ce numéro : Jean-Jacques Aly, Constance Emeriau, Rafaël Garcia, Sophie Kerhoas-Cavata, Florence Klotz, Lucia Le Clech, Olivier Limousin, Tinan Montessuy.
 Infographies : Antoine Levesque
 Création, réalisation et impression : NPO* - www.nepasoublier.fr - Mars 2015
 ISSN 2271-6262

Nous remercions Fabienne Chauvière d'avoir accepté que nous empruntions le titre de son émission.