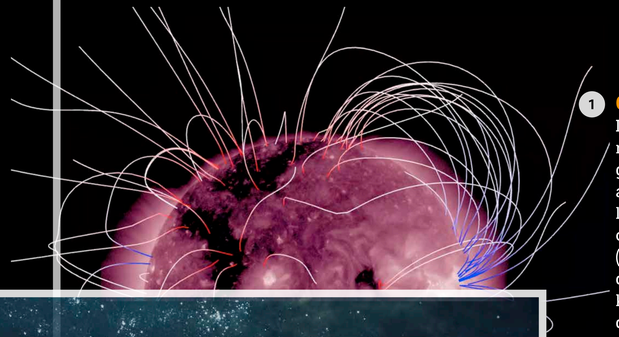
MÉTÉO SPATIALE

PRÉVOIR LES COLÈRES DU SOLEIL



Depuis plus de 4,5 milliards d'années, le Soleil réchauffe la Terre et permet à la vie de s'y développer. Il permet aussi la présence de gaz et d'eau sur de nombreuses planètes. Mais notre étoile agit aussi sur nos équipements électroniques. Ses rayonnements peuvent endommager nos systèmes de télécommunications ou d'alimentation électrique. La météo spatiale étudie l'activité du Soleil et tente d'anticiper ses éruptions afin de protéger les instruments électroniques à Terre ou ceux embarqués sur les satellites.

1 COLÈRES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Le Soleil émet des rayons en partie visibles (pour 40 %) mais aussi des rayons invisibles à nos yeux : rayons X, gamma, ultraviolets, infrarouges, ondes radio… Il expulse aussi des particules de matière chargées électriquement : le vent solaire. Parfois, le Soleil est agité de tempêtes qui créent des éruptions et des **éjections de matière coronale** (EMC). D'énormes quantités de matière chargée se déplacent alors à une vitesse folle, dépassant le million de km/h, le long des lignes du champ magnétique qui règne dans le milieu interplanétaire.

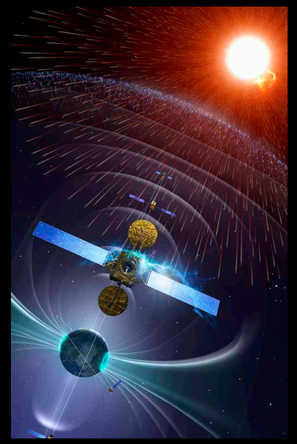
2 LE SOLEIL PERD LE NORD

L'activité du Soleil connaît des cycles d'environ **11 ans** liés à son magnétisme. Durant ce cycle, son activité électrique devient plus importante et son magnétisme augmente. Puis l'activité électrique décroît et son magnétisme faiblit. Et tous les 11 ans environ, les pôles magnétiques du Soleil s'inversent : le pôle Nord devient le pôle Sud, et inversement.

3 ATTENTION, PLUIE DE PARTICULES

La Terre est protégée du vent et des éruptions solaires par le **champ magnétique terrestre**. Lors de fortes éruptions, des particules solaires pénètrent l'atmosphère terrestre au voisinage des pôles. Le ciel se colore alors de vert, de bleu, de violet et de rouge. Ces phénomènes sont les **aurores boréales** (au pôle Nord) ou **aurores australes** (au pôle Sud).

1000 km/seconde
Une éruption solaire expulse dans l'espace des milliards de tonnes de matière solaire à plus de **1000 km par seconde** !

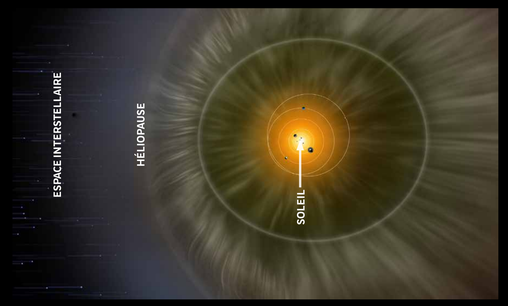


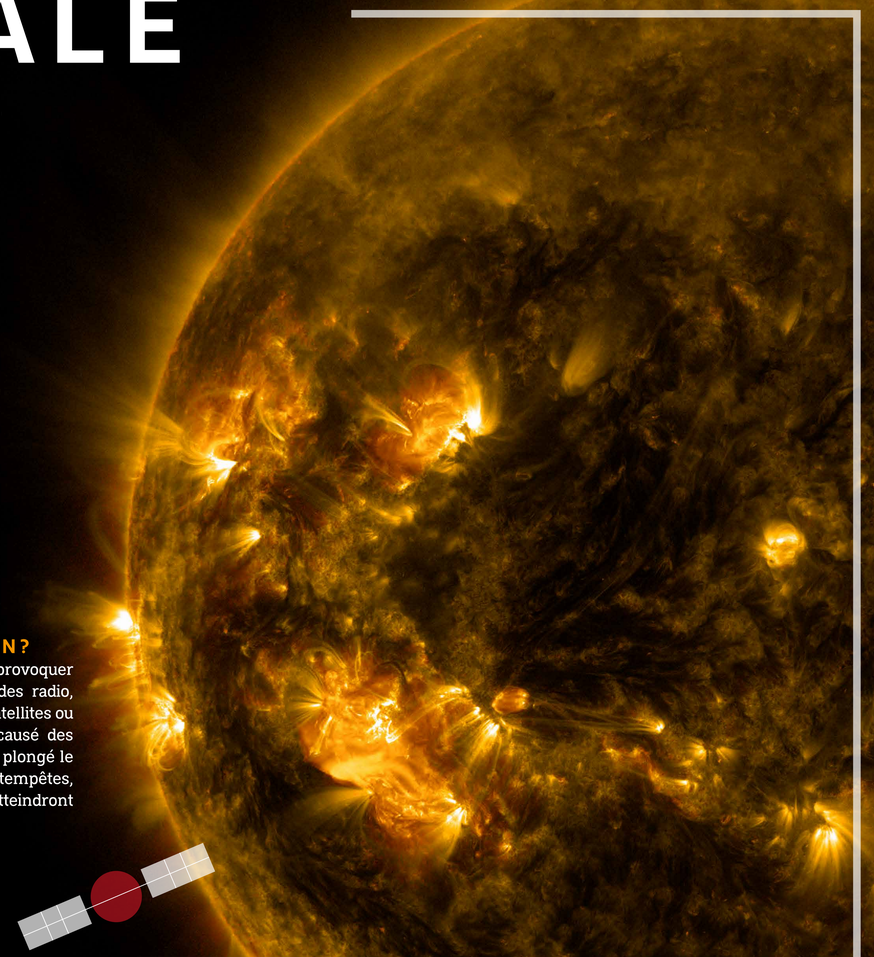
4 QUELLE MÉTÉO SPATIALE POUR DEMAIN ?

Lorsque le vent solaire atteint la Terre, il peut provoquer des surtensions électriques, perturber les ondes radio, endommager les systèmes électroniques des satellites ou des avions… Des tempêtes solaires ont déjà causé des pannes de satellites, modifié leur trajectoire, ou plongé le Québec dans le noir. On ne sait pas prédire ces tempêtes, mais on peut les détecter et calculer si elles atteindront la Terre. C'est l'objet de la **météo spatiale**.

ZONE D'INFLUENCE

Le vent solaire s'étend sur tout le Système solaire, formant une grosse bulle, appelée **héliosphère**. Toute cette zone est sous l'influence des rayonnements du Soleil et de ses particules chargées. L'héliosphère s'étend jusqu'à l'héliopause, là où le vent solaire rencontre les vents interstellaires.





PRINCIPALES MISSIONS

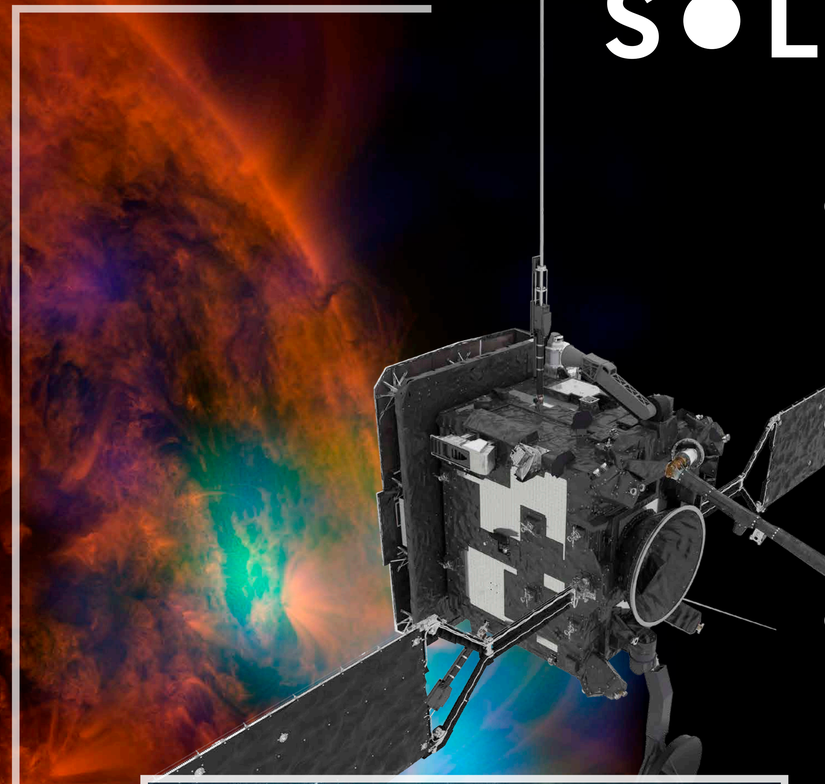
- **Ulysses** (NASA/ESA, 1990-2009), en étudiant le Soleil sous différents angles, a complété la cartographie du champ magnétique du Soleil, de l'héliosphère et du vent solaire.
- **STEREO** (NASA, 2006) : 2 satellites jumeaux observent les éjections de masse coronale.
- **SDO** (NASA, 2010) étudie l'origine des variations de l'activité du Soleil.
- **SoHO** (NASA, 1995) et **SDO** (NASA, 2010) étudient l'activité du Soleil et ses variations.
- **Parker Solar Probe** (NASA, 2018) et **Solar Orbiter** (ESA/NASA, 2020) sont les premiers engins à s'approcher au plus près du Soleil pour sonder son activité.

cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

© NASA/GSFC/SDO/JHUAPL/Aldo Planetarium/ESA-P.Carril

S●LAR ●RBITER

FACE AU SOLEIL



La sonde Solar Orbiter est chargée d'une mission d'envergure : étudier comment le Soleil crée et influence l'héliosphère. Cette immense bulle formée par le vent solaire (les particules de matière éjectées par le Soleil), englobe l'ensemble du Système solaire et influence tous les corps qui l'habitent. Solar Orbiter recherche l'origine du vent solaire et du champ magnétique solaire, étudie leur variabilité et en observe les effets sur l'héliosphère. La sonde doit réaliser des images haute définition au plus près du Soleil, y compris de ses pôles. Une première !

© NASA/JPL-Caltech/GSFC/SDO/ESA-ATG Medialab/ODK

1 VUE IMPRENABLE POUR IMAGES INÉDITES

Solar Orbiter orbite autour du Soleil et doit s'en approcher jusqu'à **42 millions de km** (0,28 ua), soit presque le quart de la distance Terre–Soleil. La sonde sera alors plus proche du Soleil que la planète Mercure et prendra des images de la surface du Soleil à **une résolution spatiale inégalée**.
Solar Orbiter augmente progressivement l'inclinaison de son orbite jusqu'à 33° par rapport à l'équateur du Soleil, ce qui lui permet d'**imager les pôles**, habituellement inobservables.

2 DANSER AVEC LE SOLEIL

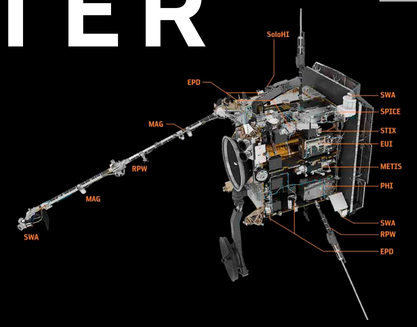
Durant quelques jours consécutifs, la sonde orbite à une vitesse proche de la vitesse de rotation du Soleil sur son axe. Les deux corps sont en quasi **co-rotation**. La sonde est alors comme suspendue au-dessus du Soleil. Elle reste **face à une même zone** de l'atmosphère solaire et peut étudier l'évolution des phénomènes qui agitent cette partie : taches solaires, éruptions, tempêtes…

3 DOUBLE VISION

La sonde déploie une combinaison inédite de 10 instruments mêlant **mesures in situ** et **télédétection**, pour des observations complémentaires. 4 instruments effectuent des mesures de leur environnement direct et les 6 autres observent à distance. L'intérêt est de confronter par exemple l'analyse du plasma dans la couronne et les observation de la région depuis laquelle il est émis.

4 500 °C AU SOLEIL

La sonde et ses instruments sont protégés par des **boucliers thermiques** capable de résister à une température supérieure à 500 °C.
Certains instruments, ainsi que les panneaux solaires, disposent de mécanismes permettant de réduire ou d'occulter le flux solaire.



INSTRUMENTS

Solar Orbiter est équipée de 10 instruments, dont 6 à participation du CNES et de laboratoires français.

MESURES IN-SITU
- **RPW** – Analyseur d'ondes radio et plasmiques (CNES, LESIA/Observatoire de Paris)
- **SWA** – Analyseur de vent solaire (UCL/MSSL, UK)
- **MAG** – Magnétomètre (ICSTM, UK)
- **EPD** – Détecteur de particules énergétiques (Université Alcalá, Espagne)

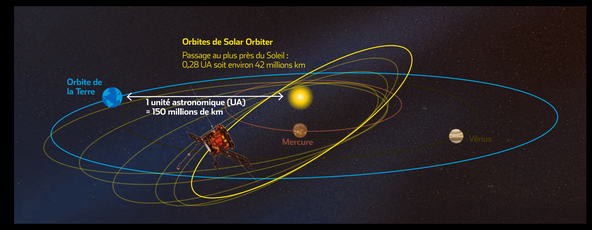
TÉLÉDÉTECTION
- **STIX** – Spectromètre/télescope dans le rayonnement X (FHNW, Suisse)
- **EUI** – Imageur dans l'ultraviolet extrême (CSL, Belgique)
- **PHI** – Imageur polarimétrique et héliosismique (MPS, Allemagne)
- **SPICE** – Imageur spectral de l'environnement coronal (ESA, IAS pour les opérations)
- **METIS** – Coronographe (INAF, Italie)
- **SoloHi** – Imageur héliosphérique (NRL, USA)

DURÉE DE LA MISSION
10,5 ans

TAILLE
2,5 m x 3,1 m x 2,7 m
18 m de long une fois les panneaux déployés

MASSE
1,8 tonnes
dont 209 kg pour les instruments scientifiques

1,8 ans
Lancée en février 2020, Solar Orbiter met **20 mois** pour atteindre son orbite finale autour du Soleil en novembre 2021.



esa European Space Agency Agence spatiale européenne

NASA

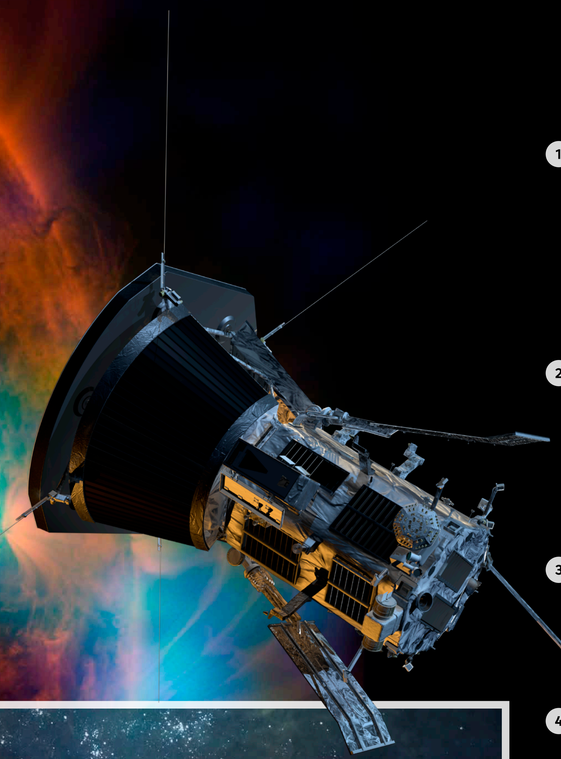
MISSION INTERNATIONALE

Solar Orbiter est une mission européenne à forte participation NASA. La mission a été conçue en parallèle et en complément de celle du satellite américain Parker Solar Probe, en orbite autour du Soleil depuis novembre 2018.

cnes CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

PARKER S●LAR PR●BE

FRÔLER LE SOLEIL



La sonde américaine Parker Solar Probe approche le Soleil comme jamais.
Sa mission : explorer l'atmosphère du Soleil, la couronne solaire, pour nous aider à percer certains mystères. Pourquoi la couronne est-elle 300 fois plus chaude que la surface du Soleil ? Comment le plasma de la couronne est-il accéléré puis éjecté à des vitesses folles à travers le Système solaire, sous forme de vent solaire ?
La météo spatiale tente de répondre à ces questions afin d'anticiper l'activité du Soleil. Car durant ses colères, les particules éjectées, chargées électriquement, peuvent frapper la Terre, paralyser les installations électriques, les systèmes de communication, et nuire à l'organisme humain.

© NASA/JPL-Caltech/GSFC/SDO /Johns Hopkins APL

1 TOUCHER NOTRE ÉTOILE

La sonde Parker Solar Probe est la première mission à **pénétrer l'atmosphère d'une étoile**. Elle est programmée pour effectuer 24 passages au plus près du Soleil, puis pour s'approcher à **6,2 millions de kilomètres** dans sa phase finale.
Lors de ses passages au plus près du Soleil, la sonde filera à une vitesse de 700 000 km/h. De quoi effectuer le trajet Paris-Lille en une seconde !

2 COUP DE CHAUD

Parker Solar Probe mesure l'accélération et le chauffage du vent solaire in situ, à l'intérieur de la couronne solaire ou règnent des températures extrêmes. La grande majorité de ses instruments est protégée par un **bouclier thermique** révolutionnaire, capable de supporter une température de **1 370 °C à l'extérieur** et de préserver une température de **29 °C à l'intérieur**.

3 MISSIONS JUMELLES

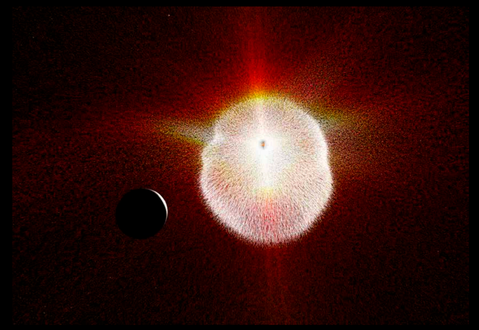
La mission Parker Solar Probe a été conçue en complémentarité avec la mission européenne Solar Orbiter. Cette dernière prend des images du Soleil et de ses pôles à une résolution inégalée et permet de déterminer la composition et l'abondance des ions lourds dans le vent solaire.

4 OBSERVER LES SURSAUTS DU SOLEIL

Le Soleil est agité de nombreux phénomènes étranges. Parfois, au lieu d'être projeté dans l'espace, le plasma forme des « boucles » qui se replient vers la surface. Quand ces boucles « cassent », elles donnent lieu à des **éjections de masse coronale** (EMC). D'énormes quantités de particules sont relâchées dans l'espace. Ces comportements pourraient être liés au fonctionnement du champ magnétique du Soleil.

SON NOM DANS LE SOLEIL

La sonde porte le nom d'**Eugène Parker**, le physicien américain qui a théorisé l'existence du vent solaire en 1958.

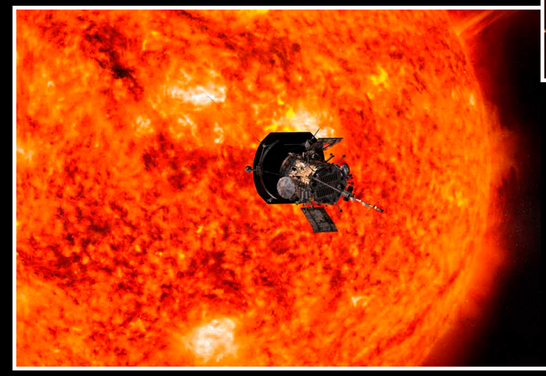


INSTRUMENTS

Parker Solar Probe est équipée de 4 instruments dont 3 de mesures in situ.
- **FIELDS** : suite d'instruments pour l'étude de l'intensité et de la distribution du champ magnétique. Son magnétomètre, seul instrument européen, est fourni par la France.
- **SWEAP** : analyse les particules du vent solaire.
- **ISIS** : mesure énergétique des particules.
- **WISPR** : seul instrument d'observation à distance, ce coronographe image la couronne solaire avant que la sonde ne s'en approche pour réaliser les mesures in situ.

6,2 millions de km

En 2025, la sonde passera à **6,2 millions de km** du Soleil, une distance jamais approchée.



DURÉE DU TRAJET TERRE-ORBITE SOLAIRE

3 mois

Lancée en août 2018, Parker Solar Probe a rejoint son orbite finale autour du Soleil en novembre 2018.

DURÉE DE LA MISSION

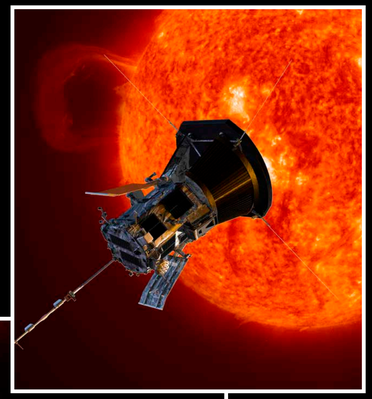
7 ans

TAILLE

3 m x 1 m

MASSE

635 kg



cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

JUICE

EXPLORER LES LUNES GLACÉES DE JUPITER

1 PLANÈTE MODÈLE

Jupiter est représentative des planètes géantes gazeuses de notre Système solaire ou en orbite autour d'autres étoiles ailleurs dans la Galaxie. Connaître sa structure, la façon dont la planète et ses lunes se sont formées, comment elles ont évolué et interagissent nous aidera à mieux comprendre l'**origine** et l'**évolution** de notre Système solaire, et des **systèmes planétaires** en général.

2 DES MONDES HABITABLES ?

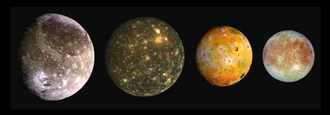
Sous la surface gelée des plus gros satellites de Jupiter, **Ganymède**, **Callisto** et **Europe**, se cachent des océans d'eau liquide. JUICE va les explorer pour déterminer si ces lunes présentent des **conditions d'habitabilité**, c'est-à-dire la présence d'eau, d'énergie, de certains éléments chimiques, de pression et de températures permettant une forme de vie.

3 PLONGER DANS GANYMÈDE

Ganymède est la **cible principale de JUICE**. Plus grosse que Mercure, elle est la plus grosse des lunes du Système solaire et la seule à posséder un champ magnétique. Elle contient probablement **plus d'eau que toute celle présente sur Terre**. JUICE va caractériser cet océan, cartographier Ganymède et étudier sa magnétosphère.

4 SONDE XXL

JUICE est une **sonde XXL**. Elle est réalisée en France sous maîtrise d'œuvre d'Airbus Defence & Space. Sa fabrication mobilise **80 entreprises** en Europe. L'engin doit résister aux radiations intenses autour de Jupiter, **communiquer** avec la Terre jusqu'à près d'un milliard de kilomètres et capter **l'énergie du Soleil**. Or, près de Jupiter, celle-ci ne représente que 4 % du rayonnement solaire reçu au niveau de la Terre. En conséquence, cet engin de **5,4 tonnes** au lancement déploie des panneaux solaires de près de **100 m²** !



INSTRUMENTS

JUICE embarque 10 instruments scientifiques.
La France, via le CNES, participe à 6 instruments.

- **MAJIS** – Spectromètre imageur pour caractériser la surface des lunes de Jupiter (IAS-LESIA, **France**/ participation IAPS, Italie et ROB, Belgique)
- **PEP** – Capteurs de particules (SNSB, Suède/participation de l'IRAP, **France**)
- **RIME** – Sondeur radar (ASI, Italie/participation de l'IPAG, **France**)
- **RPWI** – Mesures de plasma et de champs électromagnétiques (SNSB, Suède/participation LPP-IRAP-LESIA, **France**)
- **SWI** – Radio télescope à détection hétérodyne pour l'étude de l'atmosphère (Max Planck Institut, Allemagne/participation du LERMA, **France**)
- **UVS** – Spectromètre UV (NASA, USA et participation LATMOS, **France**)
- **JANUS** – Caméra optique (ASI, Italie)
- **J-MAG** – Magnétomètre (UKSA, Royaume-Uni)
- **GALA** – Laser altimètre pour l'étude de la morphologie et de la topographie des lunes (DLR, Allemagne)
- **3GM** – Radiomètres (ASI, Italie)

7,6 ans

JUICE va voyager **7,6 ans** avant d'atteindre son orbite nominale autour de Jupiter.

DURÉE DU TRAJET

7,6 ans

Le lancement est pévu en 2022, arrivée en 2030 !

DURÉE DE LA MISSION

3,5 ans

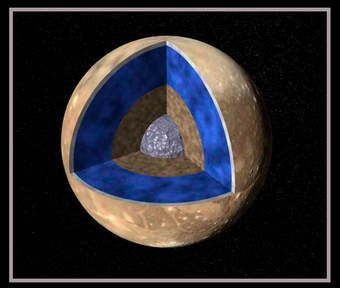
TAILLE

4 m x 2 m x 2 m

28 mètres d'envergure panneaux dépliés.

MASSE

5,4 tonnes

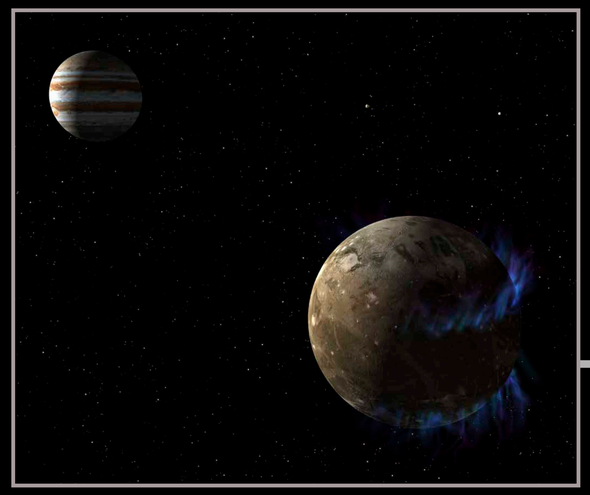


JUICE est une mission phare de l'ESA et le premier satellite européen envoyé si loin dans le Système solaire.
Son objectif : étudier Jupiter et 3 de ses lunes, en particulier Ganymède qui abrite un immense océan glacé.
En étudiant les conditions d'habitabilité dans le système jovien, la sonde doit recueillir de nouvelles données sur la formation du Système solaire, la naissance des planètes et l'émergence de la vie.

esa
European Space Agency
Agence spatiale européenne

AVEC L'AIDE DES TELLURIQUES

Pour rejoindre Jupiter, la sonde recourt à des manœuvres d'**assistance gravitationnelle** : elle effectue plusieurs survols de Vénus, de Mars et de la Terre, dont elle utilise la force d'attraction pour se réorienter et augmenter sa vitesse.



cnes
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

NASA/JPL/ESA/G.Bacon (STScI)/DLR/Airbus DS