

Vue d'artiste de la sonde spatiale JUICE en orbite autour de Ganymède
© Spacecraft: ESA/ATG medialab; Jupiter: NASA/ESA/J. Nichols (University of Leicester); Ganymède: NASA/JPL; Io: NASA/JPL/University of Arizona; Callisto and Europa: NASA/JPL/DLR

La mission JUICE

À la découverte des lunes de glace de Jupiter

Marie Yseboodt, Rose-Marie Baland, Özgür Karatekin et Tim Van Hoolst

14 avril 2023, 9h14 heure locale de Kourou. Quatre, trois, deux, un, top ! Au bord de l'océan Pacifique, la fusée Ariane 5 décolle du Centre spatial guyanais avec à son bord une précieuse cargaison : la sonde spatiale JUICE, acronyme pour Jupiter Icy Moons Explorer, de l'Agence spatiale européenne. JUICE commence un long voyage à destination de Jupiter et de ses lunes de glace.

Pour en arriver là, de nombreux défis ont dû être surmontés depuis la sélection de la mission en 2012. Onze années auront été nécessaires pour développer et construire la sonde et ses instruments, à la pointe de la technologie. La préparation et l'assemblage ont dû être gérés en période de pandémie, et en dernière minute, le décollage a été reporté de 24 h pour cause de météo.

Des mondes fascinants

Ces aléas en valent la peine. JUICE sera la première sonde spatiale en orbite autour d'une autre lune que la nôtre : Ganymède,

la plus grande lune de Jupiter et du Système solaire. Avec ses 2634 km de rayon (soit environ 40% du rayon terrestre), elle est en fait plus grosse que la planète Mercure.

En 1610, Galilée pointa sa lunette vers Jupiter et découvrit quatre lunes effectuant un ballet régulier autour de la géante gazeuse. Elles sont nommées d'après quelques conquêtes amoureuses de Zeus/Jupiter : Io, Europe, Ganymède et Callisto. On les appelle également les satellites Galiléens en hommage à leur découvreur. Elles orbitent avec une période qui varie entre 1,8 jours pour Io et 16,7 jours pour Callisto.

lo étant extrêmement proche de Jupiter, elle subit d'importantes forces de marées, responsables du volcanisme soutenu observé à sa surface. Malgré un intérêt scientifique certain, JUICE ne s'en approchera pas, pour ne pas subir les radiations intenses générées par le champ magnétique de Jupiter. A peine deux passages rapprochés de la deuxième lune, Europe, sont prévus par la sonde JUICE, afin de limiter le temps passé dans cette zone dangereuse pour tout équipement électronique.

Europe, Ganymède et Callisto sont des lunes de glace. Leur surface froide est composée d'eau gelée. Cependant, un océan d'eau liquide se cache à quelques dizaines ou centaines de kilomètres sous la glace. La sonde américaine Galileo (1995-2003) a fourni des preuves indirectes de la présence d'un océan global d'eau salée à l'intérieur d'Europe, de Ganymède, et peut-être de Callisto, principalement grâce à des mesures du champ magnétique près des lunes. Les observations de JUICE permettront de confirmer la présence de ces couches liquides, et surtout d'en déterminer les caractéristiques : épaisseur, composition, salinité, viscosité, etc.

Pour Europe, les modèles d'intérieur prédisent une couche liquide en contact direct avec les roches du manteau, permettant aux minéraux d'être absorbés dans l'eau. En plus de fournir les minéraux, le manteau rocheux est également une source d'énergie. Si les sources de minéraux et d'énergie sont pérennes, cet océan pourrait constituer un environnement propice à l'émergence de la vie. Le pronostic est moins favorable pour Ganymède, dont l'océan serait pris en sandwich entre deux couches de glace. La sonde JUICE scrutera ces mondes de glace pour comprendre leur structure interne et déterminer leur habitabilité mais n'est pas équipée d'instruments permettant de rechercher la vie.

Europe présente très peu de cratères d'impact. Cela indique que sa surface très jeune date d'environ 100 millions d'années seulement. Par contre, la surface présente de nombreuses caractéristiques tectoniques probablement causées par les grandes marées générées par les interactions gravitationnelles avec Jupiter. Le télescope spatial Hubble a détecté des geysers de vapeur d'eau qui s'échappent dans l'espace.

La surface de Ganymède est globalement plus ancienne (quelques milliards d'années). Elle présente un mélange de bassins d'im-

pacts anciens et de cratères plus récents, avec des paysages dominés par des processus tectoniques. Elle possède un champ magnétique propre, probablement généré par son noyau métallique liquide, comme la Terre et Mercure.

Callisto est une 'vieille peau', avec la surface la plus cratérisée de tous les objets du Système solaire. Cette surface très ancienne témoigne de l'époque de la formation du système jovien. D'une taille similaire à Mercure, elle est cependant trois fois moins dense. Son intérieur profond n'est peut-être pas différencié en un noyau de fer et un manteau rocheux, comme les deux autres lunes, mais plutôt composé d'un mélange de glace, de roches et de fer.

Une trajectoire complexe

Envoyer une sonde de 2,4 tonnes vers Jupiter tout en limitant la quantité d'ergol embarqué n'est pas une mince affaire. La trajectoire de JUICE prévoit quelques manœuvres d'assistance gravitationnelle pour économiser du carburant. Trois survols de la Terre sont au programme, le premier en août 2024 sera la toute première assistance gravitationnelle Terre-Lune. Après un survol de Vénus en 2025 et les deux autres survols de la Terre, la sonde arrivera dans le système jovien en juillet 2031.

Dans un premier temps, de 2031 à 2034, JUICE orbitera autour de Jupiter, effectuant trente-cinq survols rapprochés d'Europe, Ganymède et Callisto. La sonde sera finalement mise en orbite autour de Ganymède en décembre 2034. La phase orbitale durera plusieurs mois. La plupart des mesures seront effectuées à 5000 km et 500 km d'altitude. La durée exacte de la phase orbitale dépendra de la quantité restante de carburant. La mission s'achèvera par un impact à la surface de Ganymède.

La sonde et ses instruments

L'entreprise industrielle française Airbus a été choisie pour le développement et la construction de la sonde. Le système de propulsion comprend deux réservoirs principaux d'ergols en titane, un moteur-fusée principal et 20 petits propulseurs. Le système de télécommunications fonctionne en bande X et Ka et utilise une antenne fixe grand gain de 2,54 mètres de diamètre, ainsi qu'une antenne à gain moyen orientable.

Décollage de la sonde JUICE à bord d'une fusée Ariane à Kourou. © ESA - S. Corvaja



La lune Ganymède photographiée par la sonde américaine Galileo. © NASA/JPL



LES INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES DE JUICE

Juice transportera dix instruments parmi les plus sophistiqués jamais embarqués vers le système solaire externe, dans les domaines de télédétection, géophysique et in situ. Neuf des instruments sont dirigés par des partenaires européens et un par la NASA. Juice comprend également une expérience d'interférométrie appelé PRIDE, qui effectuera des mesures à l'aide de radiotélescopes sur Terre.

● Instruments in situ ● Instruments de télédétection ● Instruments géophysiques ● Expérience d'interférométrie



JUICE et ses instruments. © ESA, ESA (acknowledgement: work performed by mât G under contract to ESA), CC BY-SA 3.0 IGO

La conception de la sonde a été soumise à de nombreuses contraintes techniques. D'abord, les manœuvres et les survols programmés durant la phase scientifique nécessitent d'emporter une quantité importante de carburant. Ensuite, la sonde devra résister à des températures de 250°C lors de son survol de Vénus puis affronter -230°C loin du Soleil. Des mesures de protection doivent également être prévues contre l'environnement radiatif qui mettra les instruments à rude épreuve. Par ailleurs, à cause de l'éloignement de Jupiter par rapport au Soleil (cinq fois la distance Terre-Soleil), l'énergie solaire disponible est 25 fois moins importante que pour un engin en orbite terrestre. La sonde est équipée de panneaux solaires d'une surface de 85 mètres carrés, soit l'équivalent d'un appartement, qui pourront produire environ 800W d'énergie aux abords de Jupiter, soit la consommation d'un grille-pain. Enfin, le signal radio mettra entre 1 et 2 heures pour faire un aller-retour Jupiter-Terre, à la vitesse de la lumière. La sonde doit donc disposer d'une grande autonomie pour exécuter sa mission.

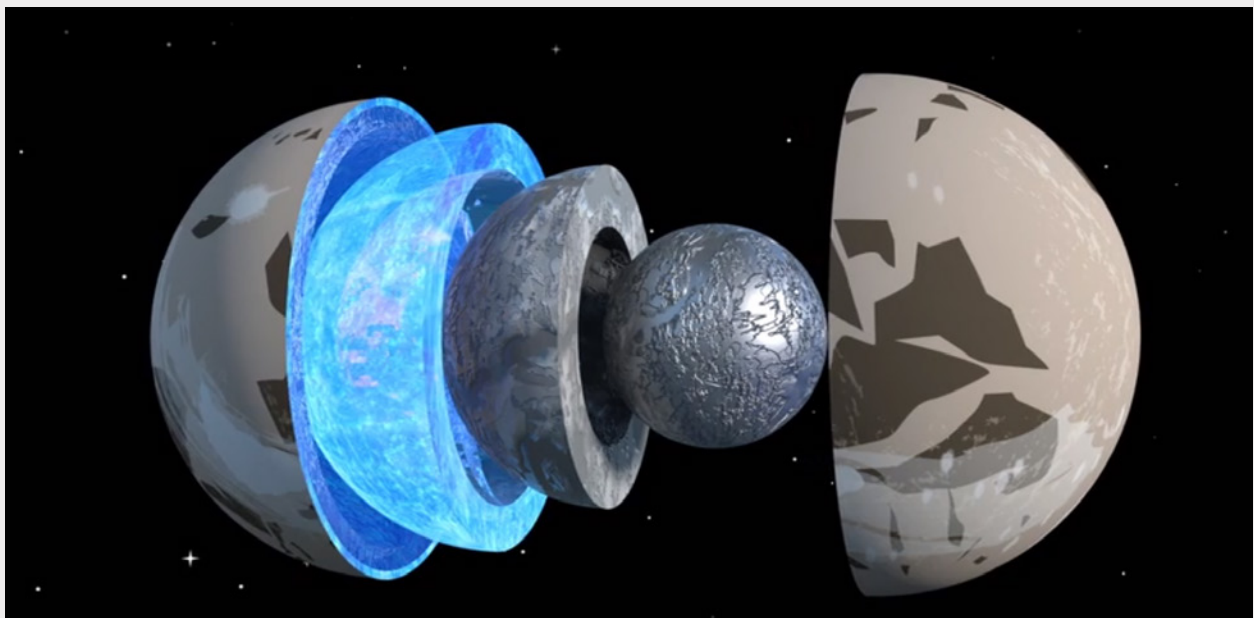
JUICE a embarqué 10 instruments développés par des laboratoires situés dans 16 pays européens, ainsi qu'aux États-Unis et au Japon,

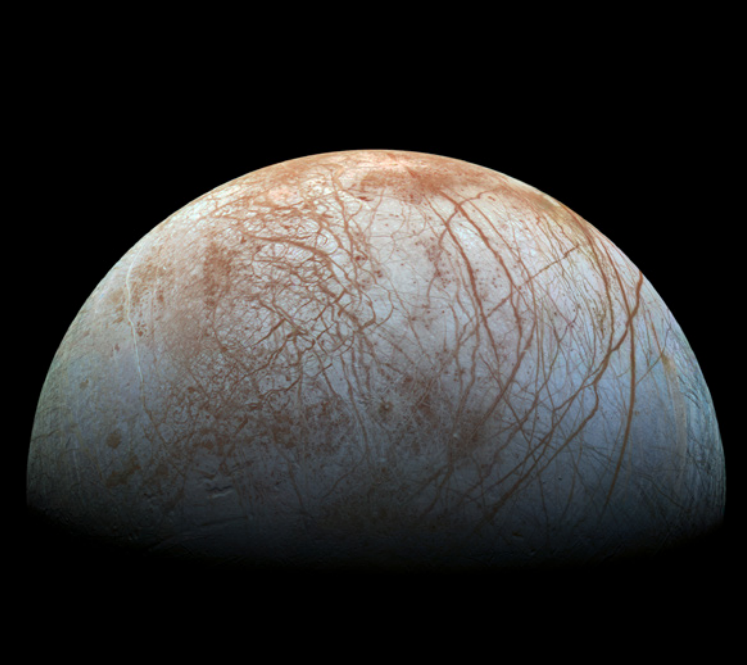
pour une charge utile totale de 285 kg. Il s'agit notamment d'une caméra et d'un altimètre laser pour déterminer les propriétés de la surface et réaliser une carte topographique des lunes, de spectromètres pour étudier la composition de leur sol gelé, d'un radar pour étudier les premiers kilomètres du sous-sol, d'une expérience radio permettant de comprendre la structure interne, d'un magnétomètre et d'instruments de mesure des champs et des particules pour déterminer les caractéristiques de l'environnement spatial, tout en contribuant également à l'étude de l'intérieur des lunes.

Le déploiement des antennes, des mâts et des sondes des instruments après le lancement a donné des sueurs froides aux ingénieurs de mission. La sonde était agencée de façon compacte sous la coiffe de la fusée et devait se déployer après le lancement. Les panneaux solaires ont d'abord été déployés, puis les ingénieurs ont procédé au dépliage, à l'allumage, au test et au calibrage des instruments. Il y a eu un accroc avec le radar RIME : l'antenne de 16 mètres de long ne s'est pas complètement déployée car une charnière était bloquée. Après des semaines d'intenses réflexions et d'essais, au cours desquelles les ingénieurs ont orienté la sonde pour réchauffer le dispositif de déploiement et l'ont secouée grâce

>>

L'intérieur de Ganymède du centre à la surface : noyau métallique, manteaux de roche et de glace, océan d'eau liquide, croûte de glace. © ESA/ATG Medialab (figure extraite du film www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2023/01/Inside_Ganymede)





La lune Europe photographiée par la sonde Galileo.
© NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

aux propulseurs, le mât a finalement été décoincé et l'antenne s'est totalement déployée après avoir retiré la goupille de la dernière charnière.

L'implication de l'Observatoire royal Belgique

À l'Observatoire royal de Belgique (ORB) à Uccle, plusieurs scientifiques sont impliqués depuis longtemps dans la préparation de la mission et de ses instruments. Ils préparent déjà l'analyse des futures données en développant les modèles théoriques nécessaires, notamment des modèles de rotation, de marées et de structure interne. Ils sont financés entre autres par le programme PRODEX de la Politique scientifique fédérale (Belspo).

Ces scientifiques sont plus particulièrement impliqués dans quatre des dix instruments de JUICE. Tim Van Hoolst est Co-Investigateur (Co-I) de l'instrument de radioscience 3GM (Gravity and Geophysics of Jupiter and the Galilean Moons) et du MAGNétomètre jovien J-MAG. Ces deux instruments seront utilisés afin de sonder l'intérieur des lunes. Le magnétomètre observera le champ magnétique induit généré par l'océan situé sous la surface, tandis que la radioscience mesurera le champ de gravité, la rotation et les marées des lunes.

Marie Yseboodt est Co-I de l'altimètre laser GALA (GANymede Laser Altimeter). L'altimètre mesurera les déformations de marée de Ganymède, qui se traduisent hebdomadairement par des mouvements verticaux de la surface de glace de plusieurs mètres. GALA déterminera aussi avec exactitude la topographie de Ganymède.

Les scientifiques analyseront les données de l'instrument MAJIS (Moons And Jupiter Imaging Spectrometer) pour déterminer les propriétés des glaces et minéraux présents à la surface des lunes de glace. MAJIS fournira un nouvel aperçu de l'état actuel ainsi que de l'activité passée de la surface et du sous-sol ainsi que de l'environnement spatial des lunes de Jupiter. La haute résolution spectrale et spatiale de l'instrument sera en effet un atout pour étudier l'atmosphère ténue des grandes lunes de glace, mais aussi les petites lunes et anneaux de Jupiter. Özgür Karatekin est Co-I de l'instrument, dont l'ORB a contribué à caractériser les détecteurs.



Préparation de JUICE en salle blanche dans les laboratoires de l'ESA aux Pays-Bas, en vue d'une phase de tests. © ESA-SJM Photography

L'Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB) est également impliqué dans l'instrument MAJIS, voir le numéro de Science Connection d'août 2021.

Tim Van Hoolst est également chef du groupe de travail JUICE concernant l'intérieur, le sous-sol et la géophysique des lunes de glace. Les différents instruments travailleront en synergie pour déterminer de façon précise les propriétés de l'intérieur des satellites de glace, apportant des réponses aux questions qui sont restées en suspens depuis la fin de la mission Galileo. Est-ce que ces trois lunes ont un océan sous leur surface ? Quelle est l'épaisseur de leur coquille de glace ? Celle de leur océan ? Quelle est leur composition ? Pourquoi Ganymède génère-t-elle son propre champ magnétique ?

JUICE ne sera pas seule dans son périple jovien. La sonde Europa Clipper de la NASA, dont le lancement est prévu en octobre 2024, arrivera à destination en avril 2030, un peu avant JUICE. Comme son nom l'indique, cette mission est dédiée particulièrement à Europe, qui sera survolée à de multiples reprises. Ces deux missions apporteront une vue complémentaire du système jovien.

Plus

- www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Juice
- Kit du lancement JUICE de l'ESA : https://esamultimedia.esa.int/docs/science/Juice-LaunchKit_FR.pdf
- Où est JUICE ? : <https://juicept.esac.esa.int/where/>
- <https://science.nasa.gov/jupiter/moons>

Les auteurs

Marie Yseboodt, Rose-Marie Baland, Özgür Karatekin et Tim Van Hoolst sont planétologues à l'Observatoire royal de Belgique.