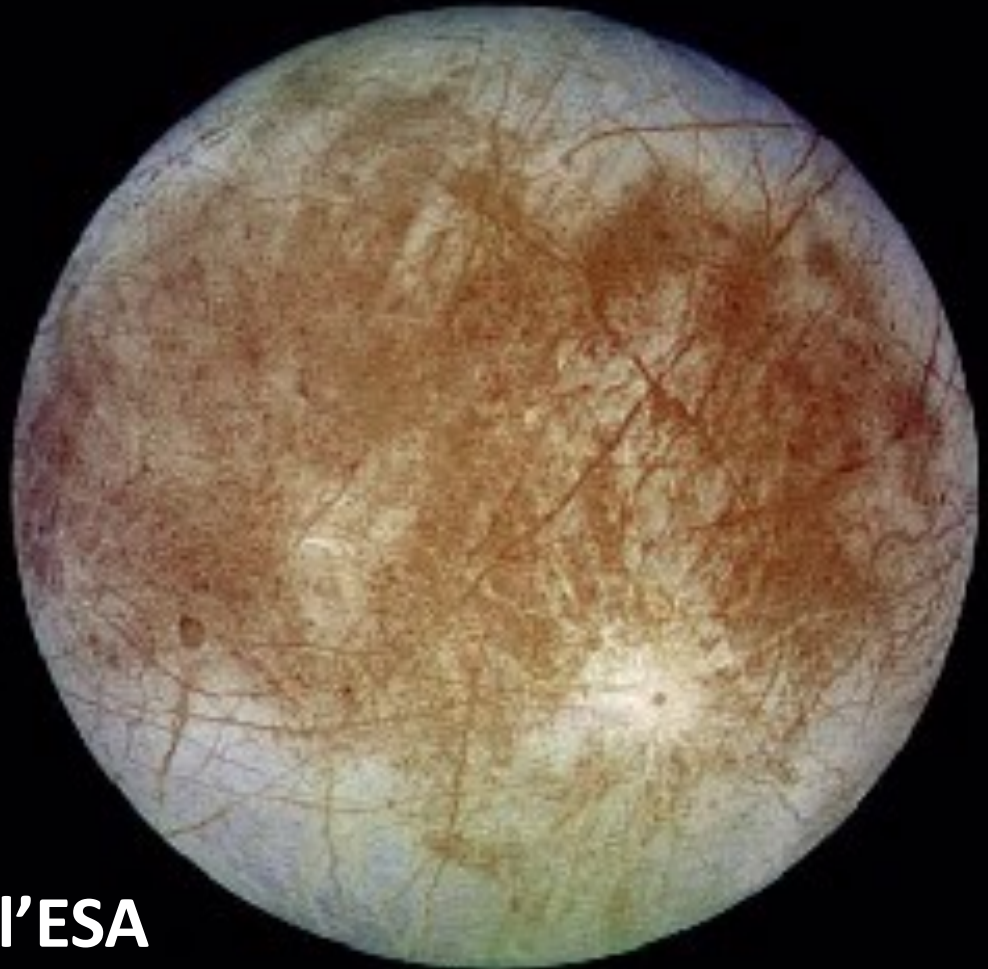


# L'Histoire de la Mission Européenne JUICE

ou

« Comment l'Europe pourrait faire une exploration autonome des lunes glacées de Jupiter »



David Southwood  
Imperial College, Londres, RU  
**Ancien directeur de la science  
et l'exploration automatique de l'ESA**

« Comment l'Europe pourrait faire une exploration autonome des lunes glacées de Jupiter »



1972

On commence il y a 50 ans...



DDW  
DAVIS  
1993

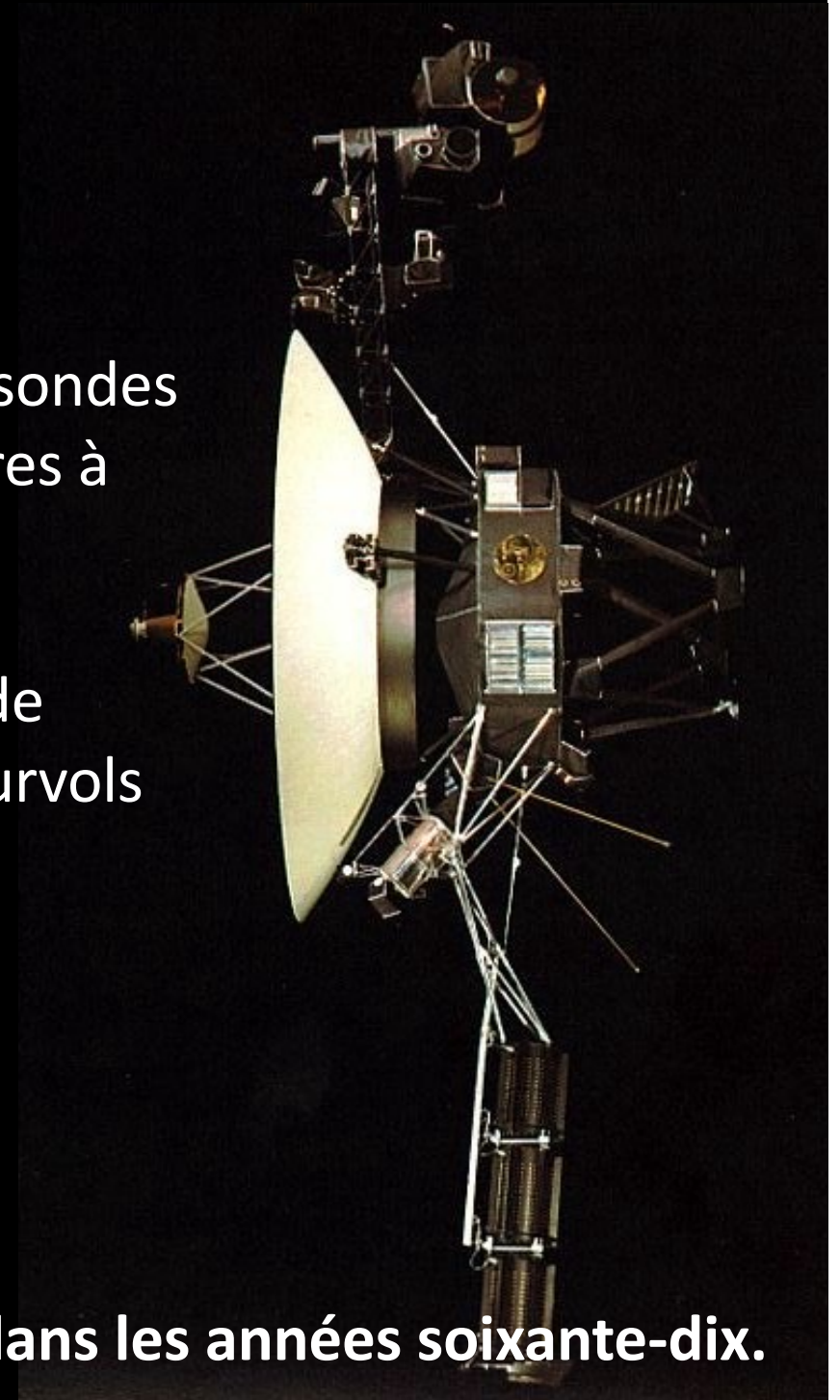
# 1972

Pioneer 10/11 lancées en 1972 sont des sondes spatiales jumelles qui ont été les premières à traverser la ceinture d'astéroïdes.

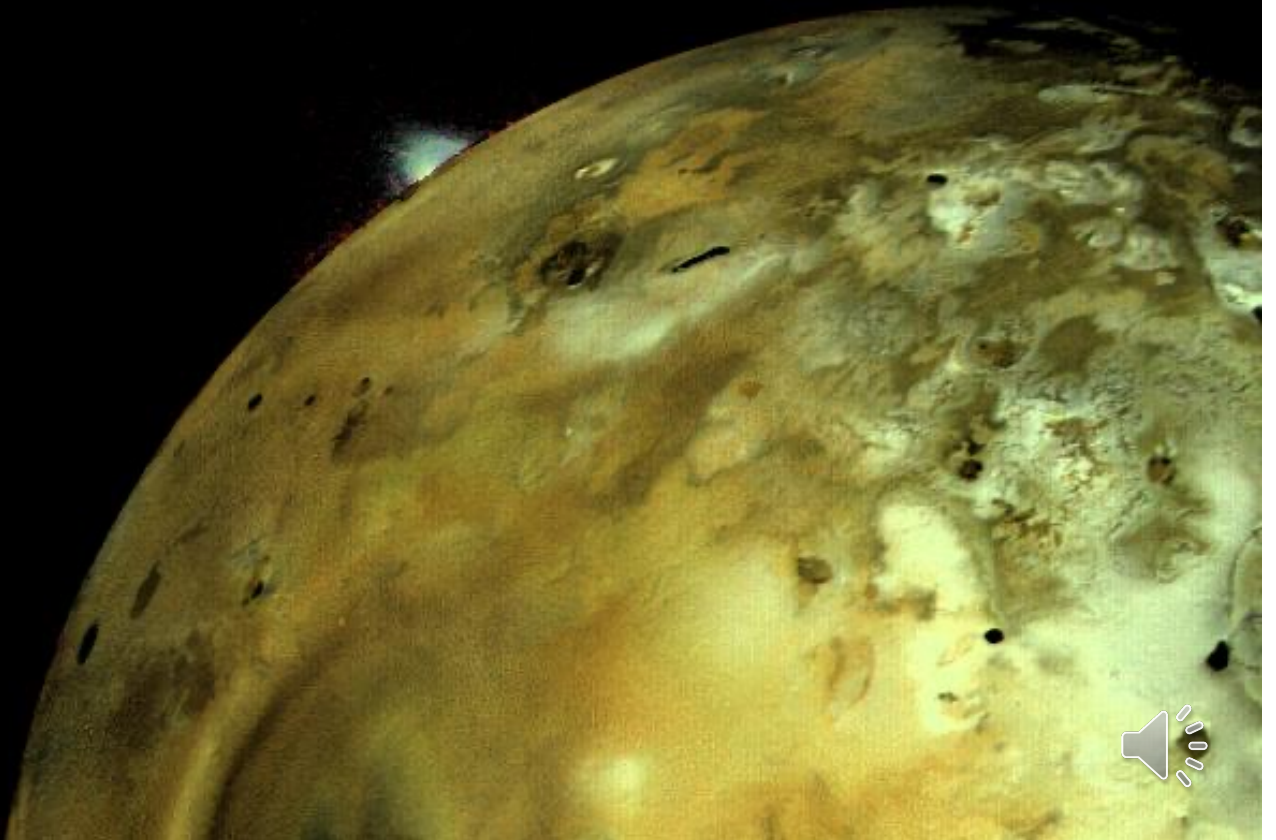
Ils avaient pour mission reconnaissance de système solaire externe, en particulier, survols des planètes Jupiter et Saturn.

## Les planètes externes

- étaient des territoires américains dans les années soixante-dix.



Les Pioneers étaient suivis par les sondes Voyager 1/2 lancés en 1977. Les images étaient magnifiques...



**~1980**

Jusqu'ici la politique dans la plupart de l'Europe était que l'environnement spatiale de la Terre et le Soleil était très important et l'astronomie spatiale, faite d'orbite terrestre aussi.

Toutefois, l'exploration planétaire coûtait chère:  
« trop chère pour l'Europe. »

**~1980**

De plus, avec la création de l'ESA en 1975, le budget scientifique européenne a été réduit beaucoup.

*Peut-être toutes les missions futures serait en collaboration avec les américains.*

On a commencé les programmes;

IUE (International Ultraviolet Explorer),

Hubble Space Telescope,

ISEE (International Sun-Earth Explorers),

**Ulysses** (International Solar Polar Mission)

dans un tel contexte.

**1983**

**R. M. Bonnet nommé directeur scientifique  
de l'ESA**





esa SP-1070

1984

En 1984, le plan « Horizon 2000 » a été publié.

Même avant que Giotto a fait le survol de Halley, la prospective avait changé pour l'exploration planétaire européenne.

Horizon 2000 a créé deux missions qui seraient critique pour le progrès de la science du système solaire en Europe.

*Space science  
Horizon 2000*



*Rationale importante pour Horizon 2000 :  
Les racines du progrès technologique se trouvent dans les  
défis fournis par la science.*

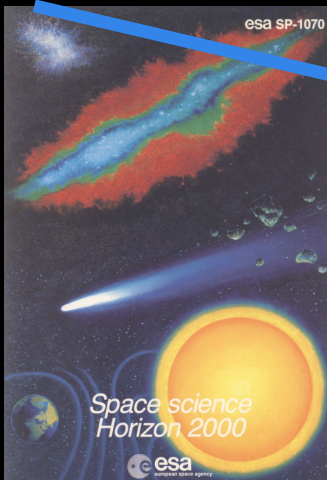
Qu'y a-t-il au-delà  
de la recherche scientifique ?

Science

→ Technologie

→ Demonstration

→ Capacité

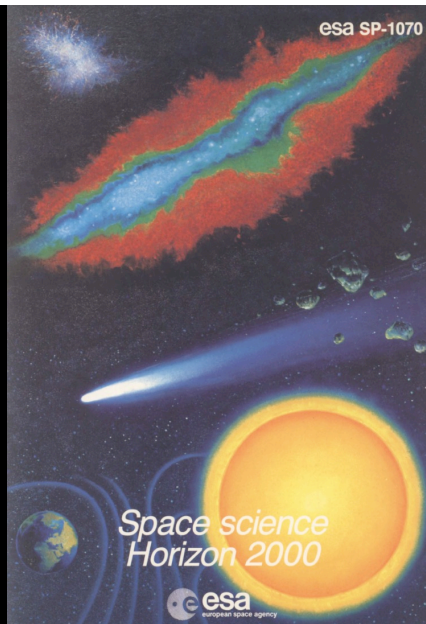


1986

## Giotto

La Première mission  
européenne au-delà  
de l'environnement  
terrestre.





# Huygens – Cassini

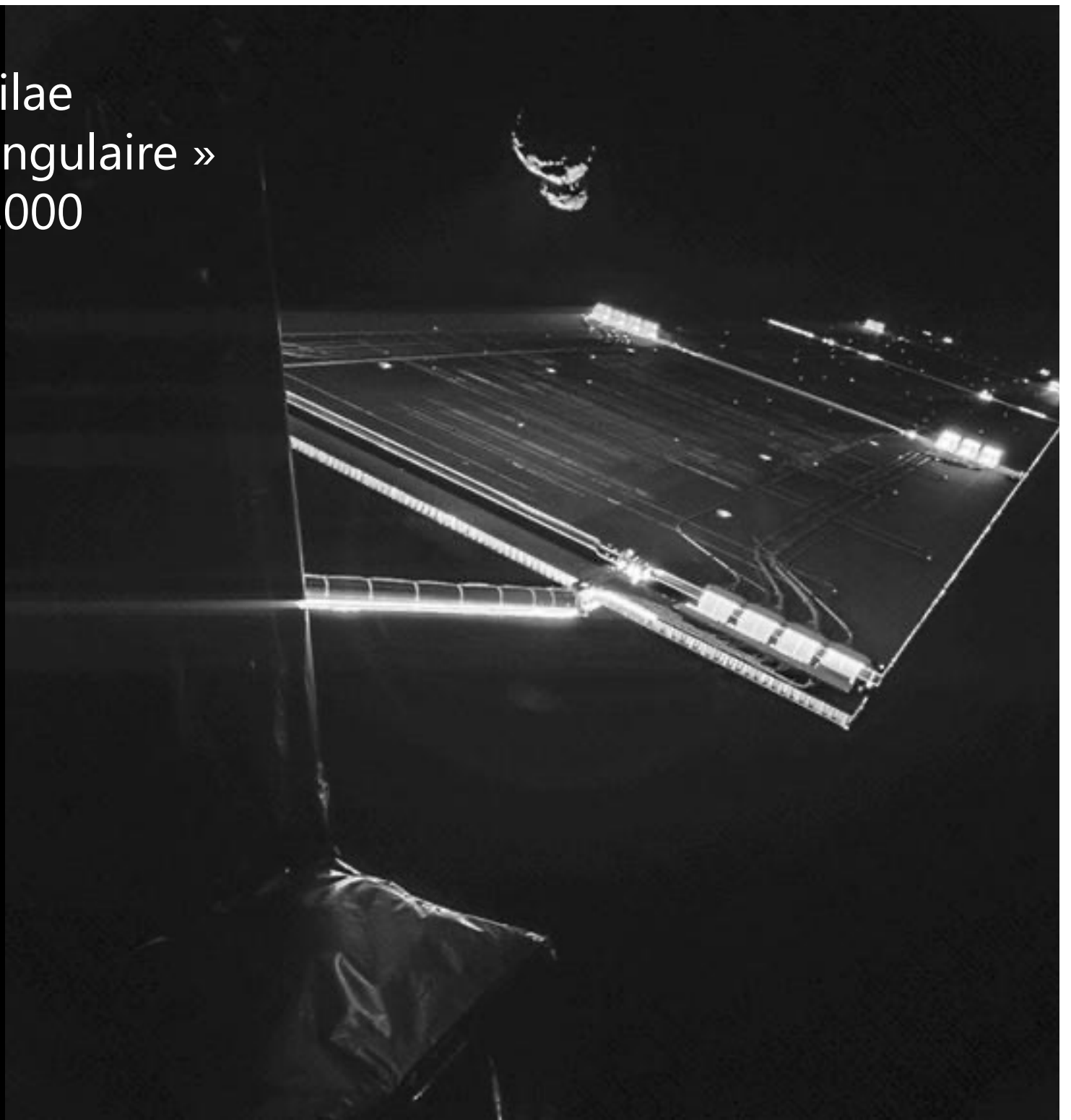
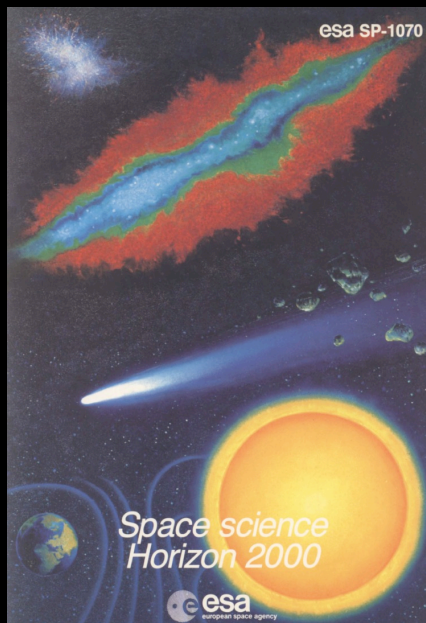
## Mission moyenne de l'Horizon 2000



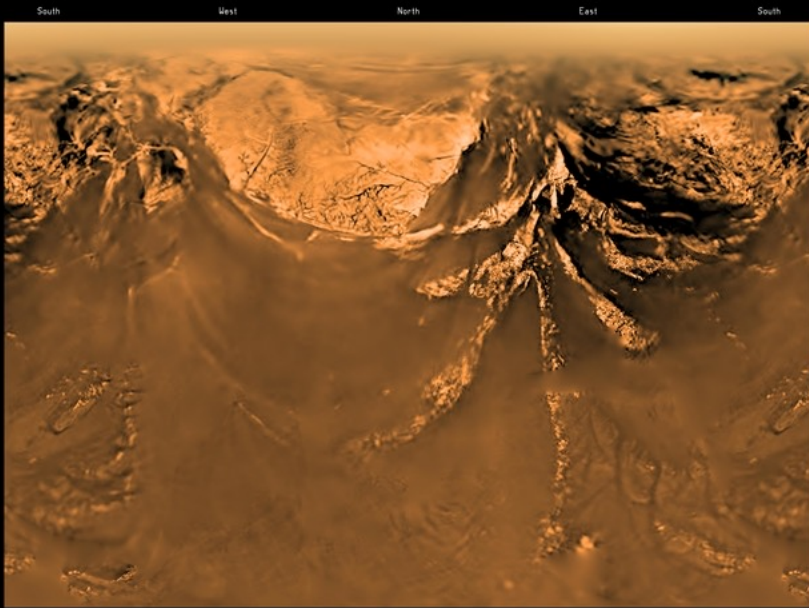
La sonde européenne  
Huygens:

Aujourd'hui, l'artefact debout le plus lointain  
de la civilisation humaine

# Rosetta/Philae Mission « Pierre angulaire » d'Horizon 2000



Aerial View of Titan Around the Huygens Landing Site from 10 km Altitude



Huygens a démontré que l'Europe pouvait entreprendre un grand objectif dans le système solaire externe - atterrir sur Titan

Rosetta a démontré que l'Europe pouvait entreprendre un tel grand objectif dans le système solaire externe – rendez-vous et orbiter autour d'une comète, livrer un lander et de le faire dans une manière autonome.



# 2000

## Le contexte du nouveau siècle



La mission Rosetta, lancée en 2004, a démontré que l'Europe peut choisir de lancer, de voler, de naviguer, d'exploiter et même d'atterrir une sonde spatiale dans le système solaire externe.

Les priorités de la science des planètes  
géantes a changé dans les années 90



~1995

LETTERS TO NATURE

## Discovery of Ganymede's magnetic field by the Galileo spacecraft

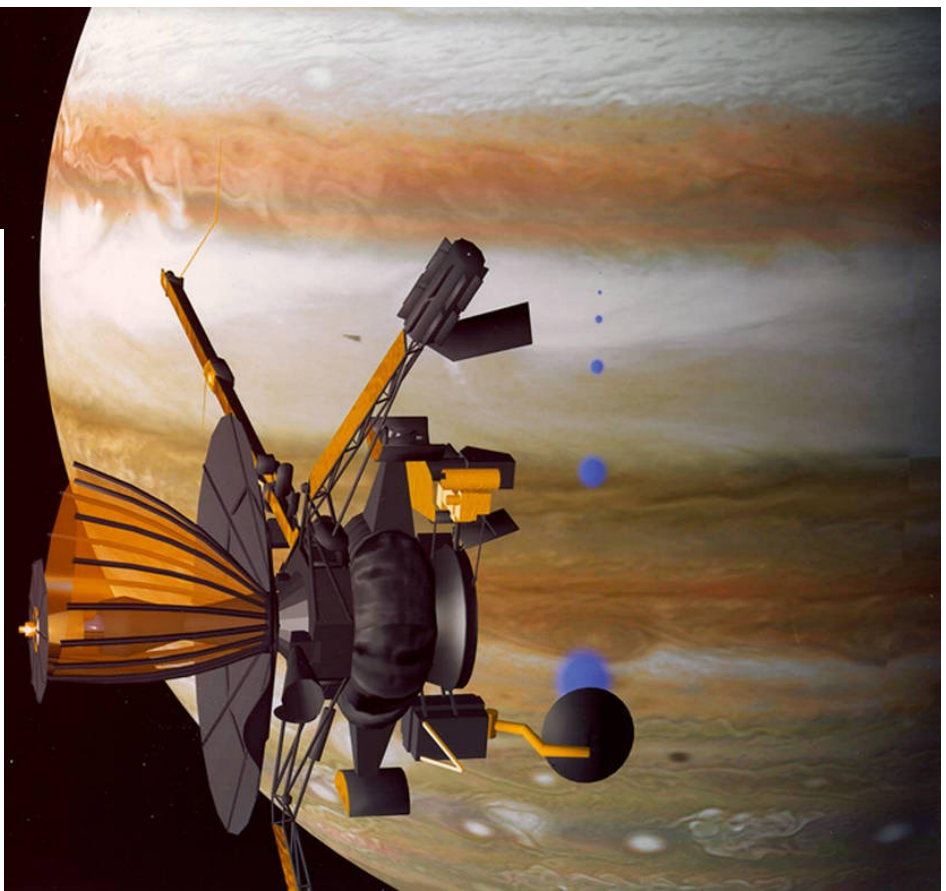
M. G. Kivelson\*†, K. K. Khurana\*, C. T. Russell\*†,  
R. J. Walker\*, J. Warrick\*, F. V. Coroniti‡,  
C. Polansky§, D. J. Southwood\*|| & G. Schubert\*†

\* Institute of Geophysics and Planetary Physics, † Department of Earth and Space Sciences, ‡ Department of Physics, University of California, Los Angeles, California 90095-1567, USA

§ Jet Propulsion Laboratory, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, California 91109, USA

|| Department of Physics, Imperial College of Science, Technology, and Medicine, London SW7 2BZ, UK

**THE Galileo spacecraft has now passed close to Jupiter's largest moon—Ganymede—on two occasions, the first at an altitude of 838 km, and the second at an altitude of just 264 km. Here we report the discovery during these encounters of an internal magnetic field associated with Ganymede (the only other solid bodies in the Solar System known to have magnetic fields are Mercury, Earth and probably Io<sup>1</sup>). The data are consistent with a Ganymede-centred magnetic dipole tilted by  $\sim 10^\circ$  relative to the spin axis, and an equatorial surface-field strength of  $\sim 750$  nT. The magnetic field is strong enough to carve out a magnetosphere with clearly defined boundaries within Jupiter's magnetosphere. Although the observations require an internal field, they do not indicate its source. But the existence of an internal magnetic field should in itself help constrain models of Ganymede's interior.**



*La grande découverte  
des mondes océaniques  
souterrains des lunes  
joviennes!*

L'effet négatif d'une illusion

**2003-2005**



En 2003, NASA a introduit le projet Prometheus («Prométhée») est un programme de NASA) pour développer une système de propulsion nucléaire pour les missions spatiales de longue durée.

**Le projet a été annulé en 2005.**

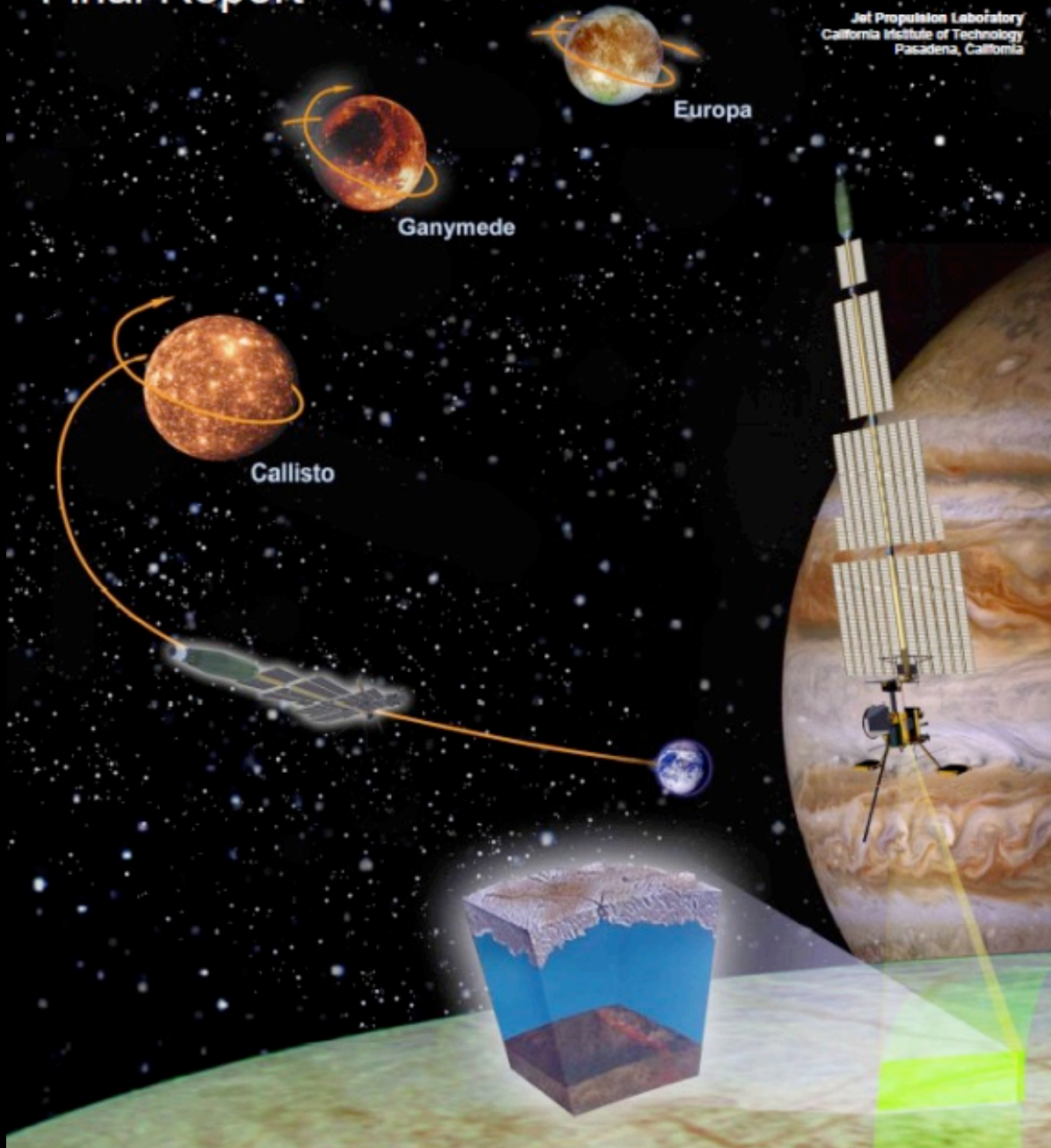
982-R120461  
October 1, 2005



# PROMETHEUS PROJECT

## Final Report

National Aeronautics and  
Space Administration  
Jet Propulsion Laboratory  
California Institute of Technology  
Pasadena, California





## « Vision Cosmique »

*Programme basé sur des thèmes scientifiques*

## Thèmes planétaires de la programme « Vision Cosmique »

- *Quelles sont les conditions de formation des planètes et d'émergence de la vie ?*
- *Comment fonctionne le système solaire ?*



## Thèmes particulières pour la mission « JUICE »

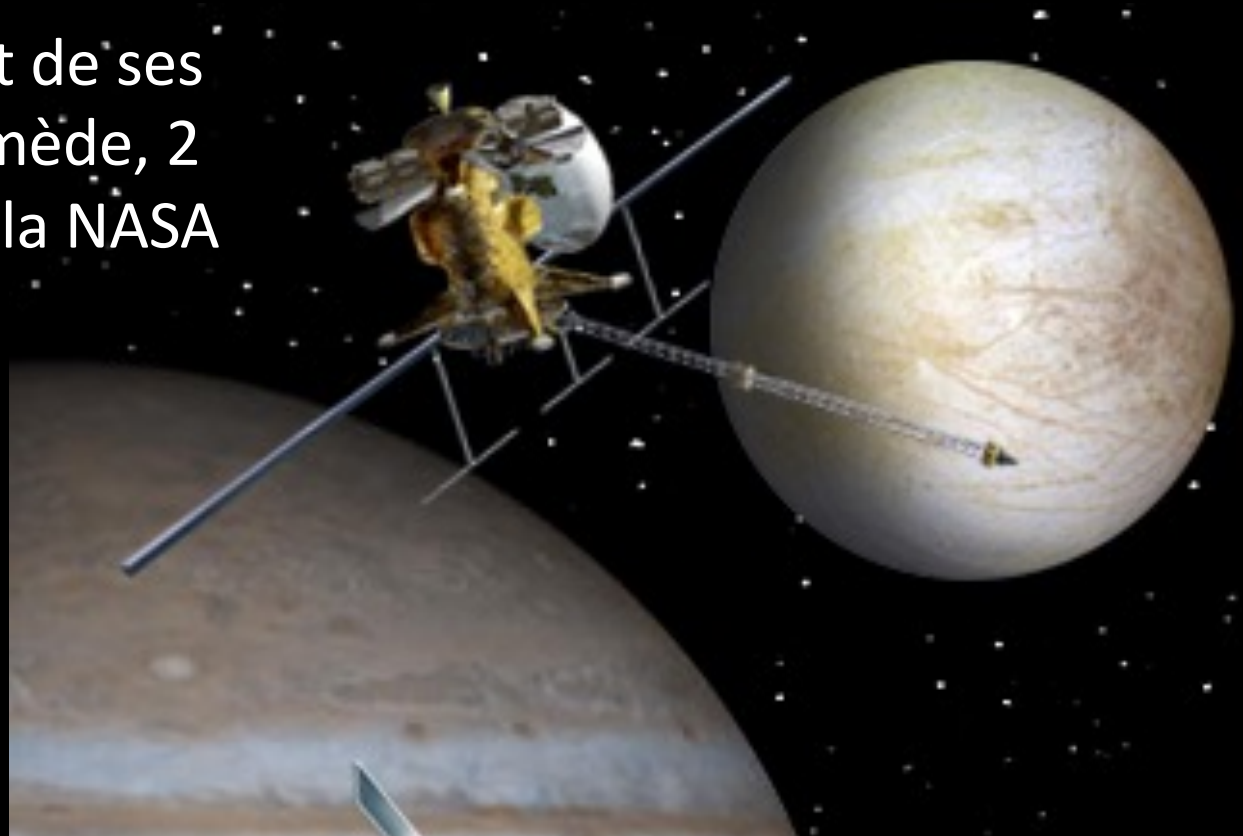
- Émergence de mondes habitables autour des géantes gazeuses
- Le système Jupiter comme archétype des géantes gazeuses

## Intérêts de la communauté scientifique

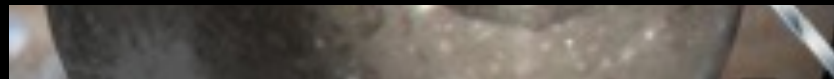
- Sciences de l'atmosphère
- Géologie et géophysique
- Physique des plasmas et de la magnétosphère
- Chimie Dynamique et évolution du système planétaire
- Origine du système solaire et des systèmes exoplanétaires
- Habitabilité dans le système solaire et au-delà

**Europa Jupiter System Mission – Laplace** - mission spatiale d'exploration de Jupiter et de ses satellites Europe et Ganymède, 2 orbiters proposés, un par la NASA et l'autre par l'ESA.

**2008**



*"This joint endeavour is a wonderful new exploration challenge and will be a landmark of 21st Century planetary science," said David Southwood, ESA Director of Science and Robotic Exploration. "What I am especially sure of is that the cooperation across the Atlantic that we have had so far and we see in the future, between America and Europe, NASA and ESA, and in our respective science communities is absolutely right. Let's get to work."*



# Europa Jupiter System Mission/ Laplace

« *une mission dont l'heure était venue* »

Développements ultérieurs:

Mission spatiale presque globale ?

L'agence spatiale russe a proposé

Un lander sur Europa

L'agence spatiale japonaise a proposé

Un sous-satellite  
magnetosphérique

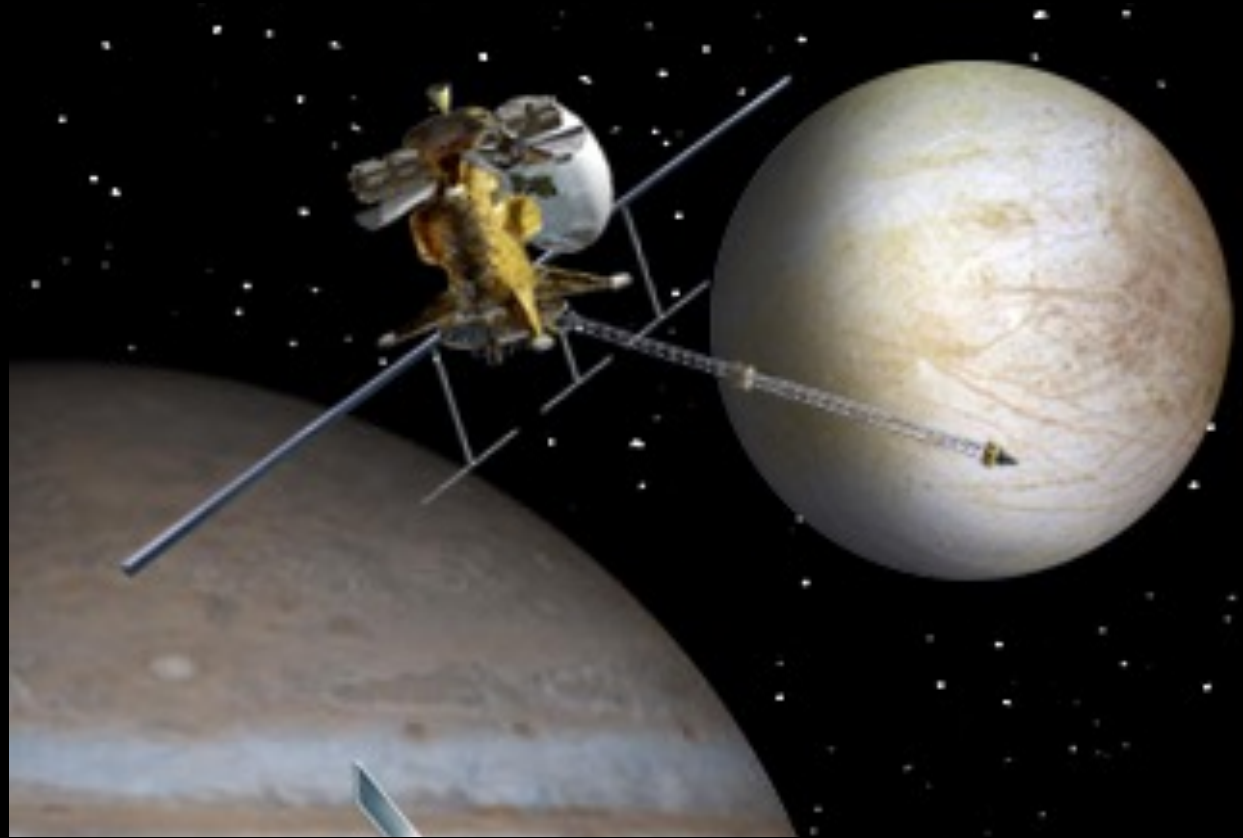
**Idées non suivies**

**Un impact trop important sur le  
calendrier, les engins spatiaux et les  
requis de lancement**





2011



Février 2011, Le budget de NASA proposé ne suffit pour aucune des 3 missions candidates de Cosmic Vision de l'ESA

- Fin de possibilité de coopération avec les américains

Quoi faire?

J'ai demandé une réévaluation de l'élément JGO d'EJSM.

Une décision peu appréciée par la communauté scientifique.

La communauté scientifique a répondu avec la mission JUICE, mission autonome européenne...

*Avec honte, aujourd'hui, j'avoue que je savais que les deux missions concurrentes ne pouvaient résoudre aussi efficacement l'absence des Américains.*



## La naissance de JUICE

### Conception

- Mission européenne vers le système jovien
- Scénario JGO/Laplace avec deux survols d'Europe et phase de forte inclinaison à Jupiter
- La charge utile du modèle basée sur JGO/Laplace
- Elle sera le premier orbiteur d'une lune glacée

Et qu'est-il arrivé à la NASA après 2011... ?

En omettant les faux départs, le résultat a été l'initiation de « Europa Clipper » en 2015

→ Jupiter orbiter avec de nombreux survols d'Europa.

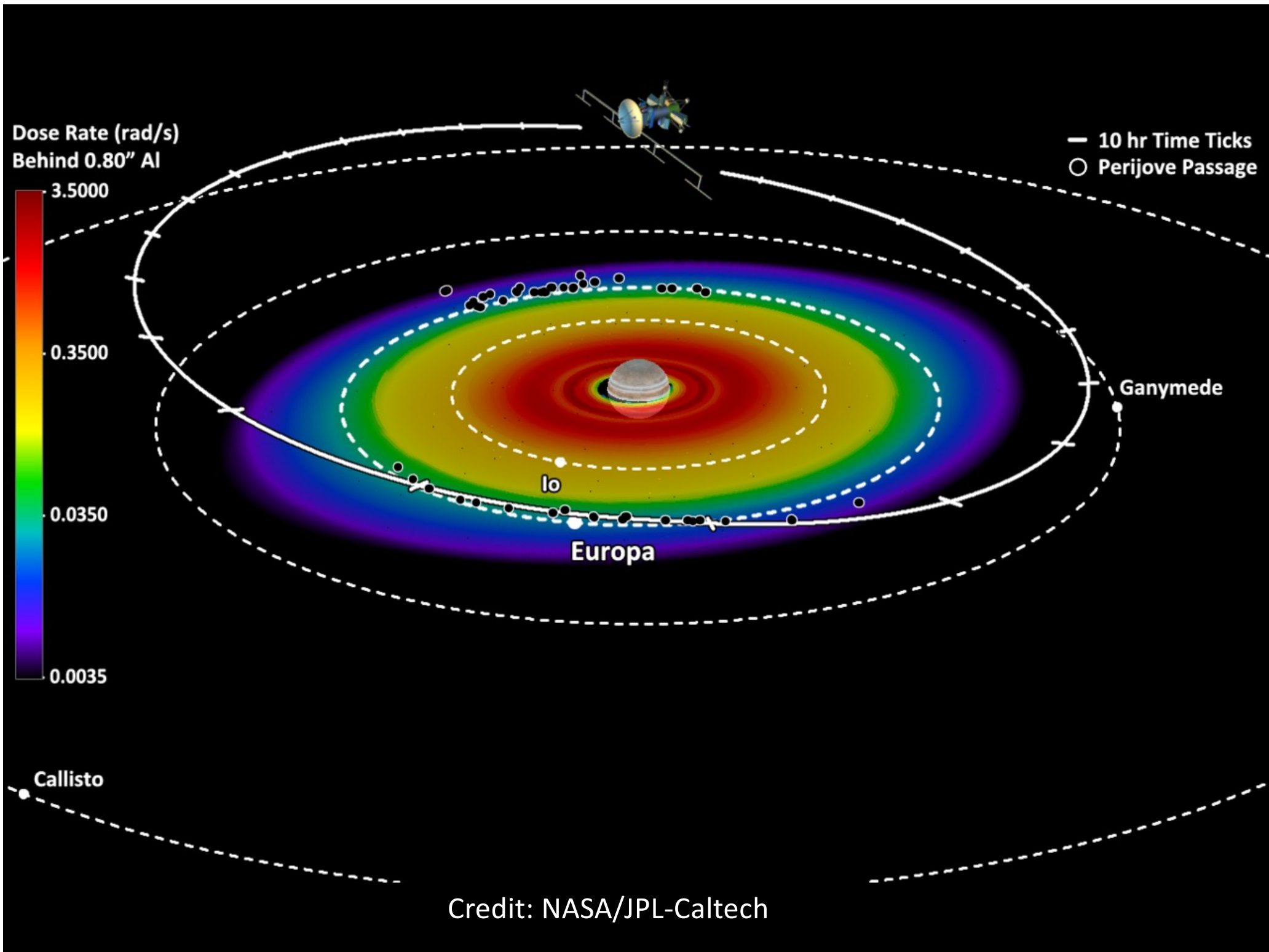
→ Lancement 2024, JOI 2030

*Idées analysées et rejetées :*

Europa Lander : problème, absence de l'atmosphère

Europa Orbiter : problème, environnement de rayonnement extrême

Credit: NASA/JPL-Caltech



Comment JUICE a pu développer de la science de Laplace/JGO

JUICE remplirait tous les objectifs prévus pour JGO ainsi que :

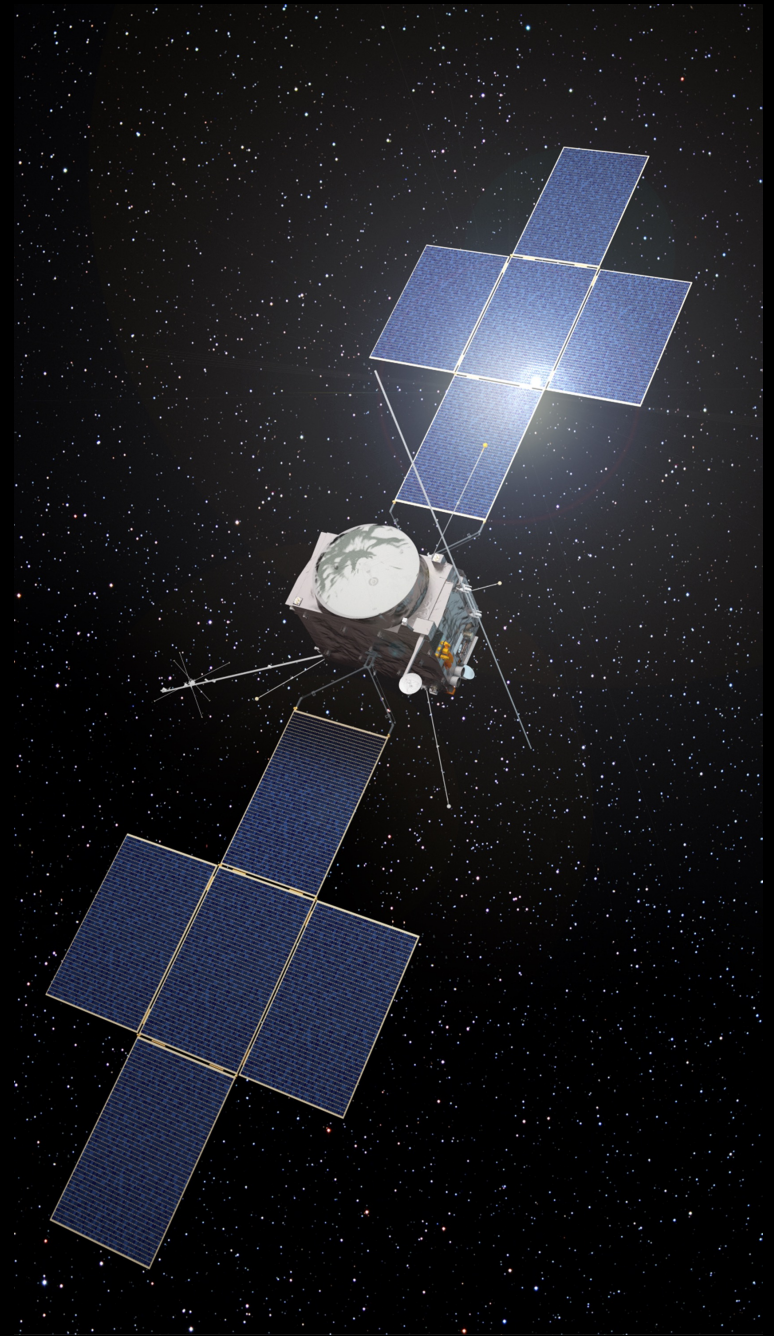
Ajouter deux survols d'Europa

Avoir une nouvelle phase Callisto modifiée pour permettre l'exploration des latitudes supérieures du système de Jupiter (avec des « gravity assists »)

Quels étaient les changements requis pour la conception du satellite ?

- Survols d'Europa
- Augmentation de l'exposition aux rayonnements compensée par une augmentation modérée de la masse de blindage de ( $\sim 50$  kg).
- Tolérance plus élevée des composants (jusqu'à 50 krad)
- $\Delta V$  supplémentaire mineur requis pour les options de mission supplémentaires
- Latitude de Jupiter plus élevée avec les aides à la gravité de Callisto
- Augmentation de la masse sèche réalisable grâce à une capacité de lancement plus élevée
- Transfert interplanétaire plus long (réduction de  $\Delta V$ )

- Masse sèche ~1900 kg,
- masse propulsive ~2900 kg
- $\Delta v$  requise : 2600 m/s
- Charge utile du modèle 104 kg, ~120 – 150 W
- Vaisseau stabilisé en 3 axes
- Alimentation : panneau solaire 60 – 70 m<sup>2</sup>, 640 – 700 W
- Antenne à gain élevé : > 3 m, fixée au corps, bandes X et Ka
- Retour de données > 1,4 Gb par passage de 8 h (une station au sol)





## Imageurs

Camera à angle étroite (NAC)	10 kg
Camera à angle grande (WAC)	4.5 kg

## Spectroscopie

Spectromètre imageur hyperspectral infrarouge visible	17 kg
Spectromètre imageur ultraviolet (UVIS)	6.5 kg
Instrument à ondes sous-mm (SWI)	9.7 kg

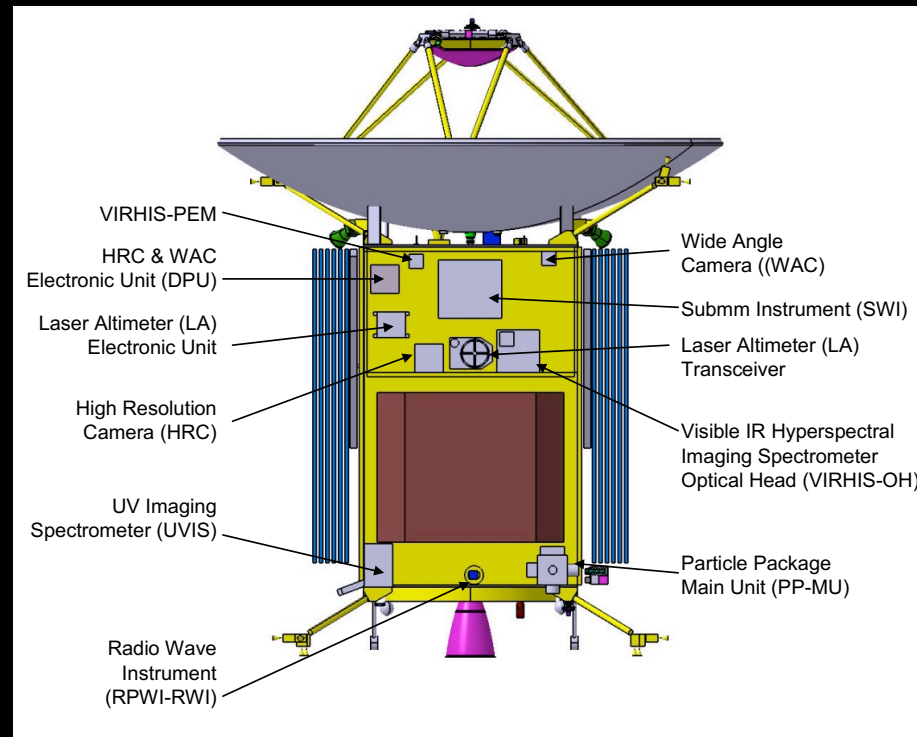
## Champs et Particules in-situ

Magnetomètre (MAG)	1.8 kg
Instr. Ondes radio et plasma (RPWI)	11.2 kg
PPI-INMS Instrument à particules et à plasma - Spectromètre de masse ionique neutre	18.2 kg

## Sondeurs et Radio

Altimètre laser (LA)	11 kg
Radar à pénétration de glace (IPR)	10 kg
Instrument science radio (JRST+USO)	4 kg

Masse totale: 104 kg



**Charge utile basé sur l'héritage européen de:**  
*BepiColombo, Juno, Mars Express, Double Star, Venus Express, Rosetta, Dawn, Cassini, etc...*

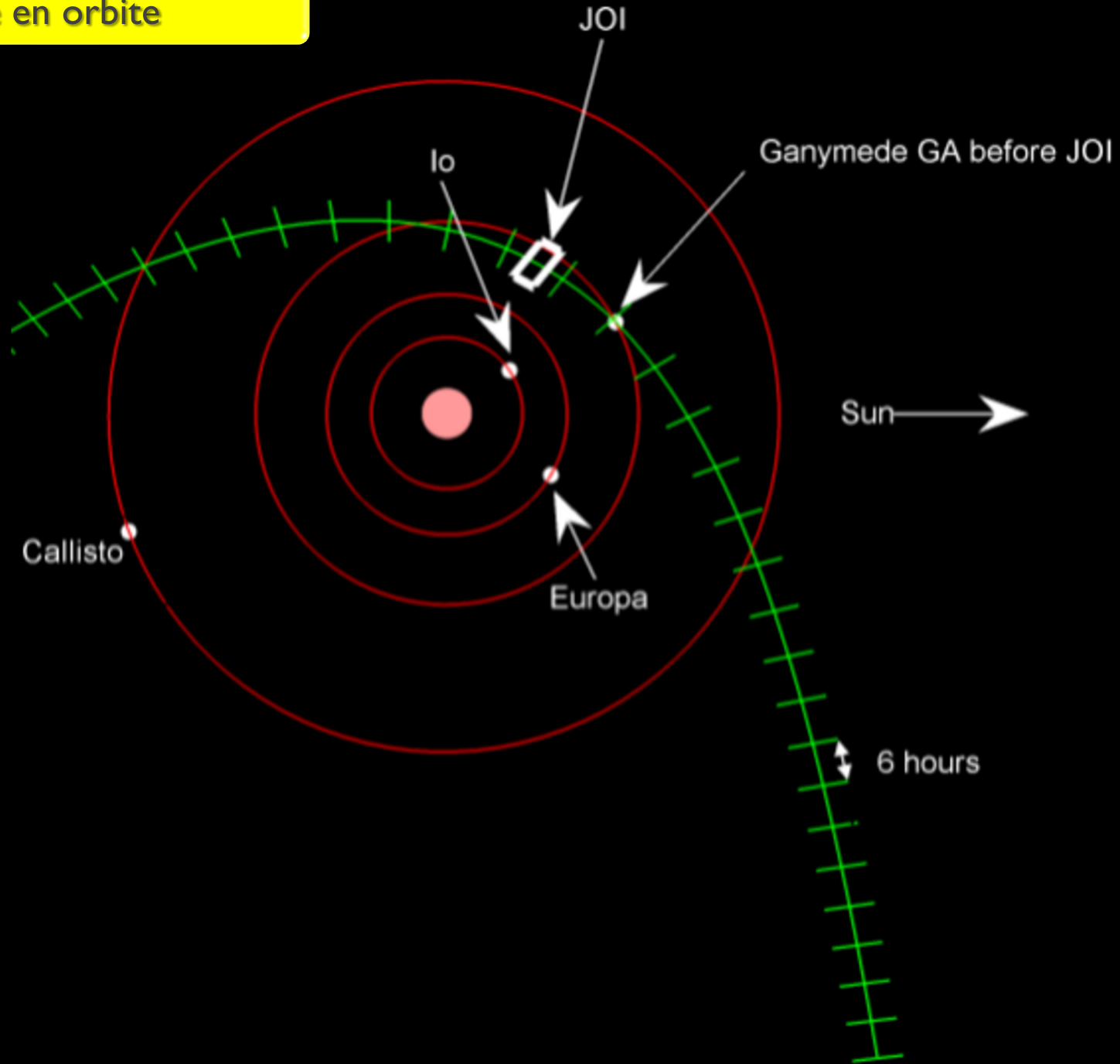
# JUICE – Launch Date and Key Parameters

- ❑ Launch opportunities in 2023:
  - Baseline launch slot → 5-25 April (day launch)
  - Back-up launch slot → 15-Aug to 4-Sep (night launch)
- ❑ Both launch slots allow start of nominal science (i.e. Jupiter Orbit Insertion) on 21 Jul-31, in line with that achievable with a September 2022 launch

Case	Baseline	Backup
Launch date	23/04/05	23/08/15
Launch V-infinity [km/s]	2.50	2.60
LEGA date	24/08/21	24/08/21
VGA date	25/08/31	25/08/31
EGA date	26/09/29	26/09/29
EGA date	29/01/18	29/01/18
Arrival date	31/07/21	31/07/21
Arrival V-infinity [km/s]	5.75	5.75
Arrival right ascension [deg]	190.9	190.9
Arrival declination [deg]	3.4	3.4
JOI [m/s]	893	893
Duration [year]	8.3	7.9

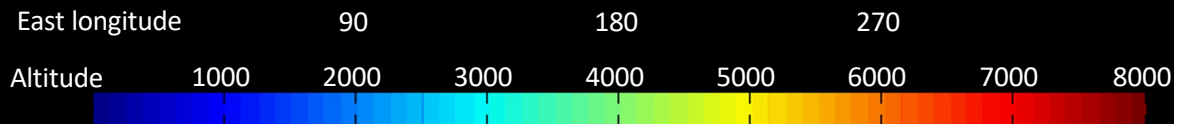
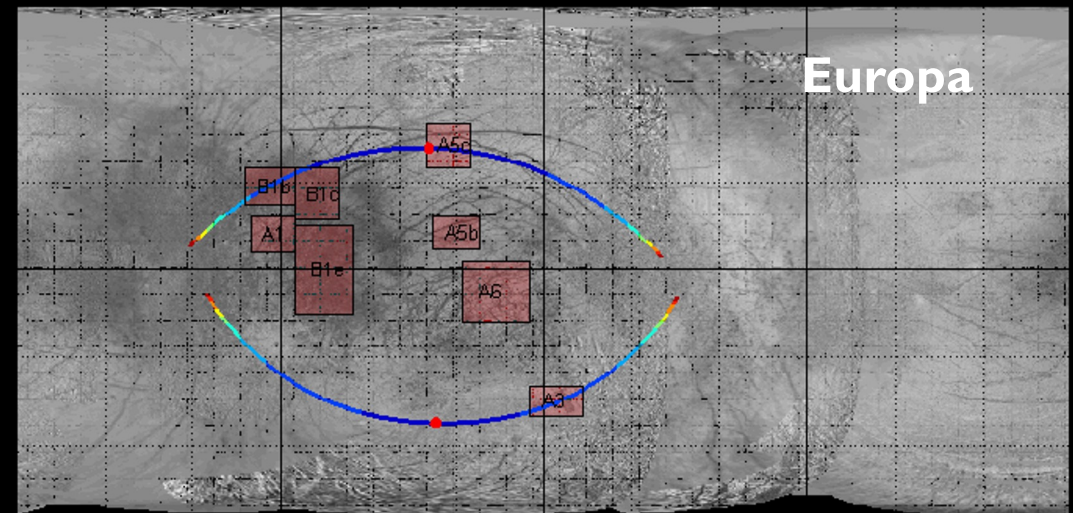
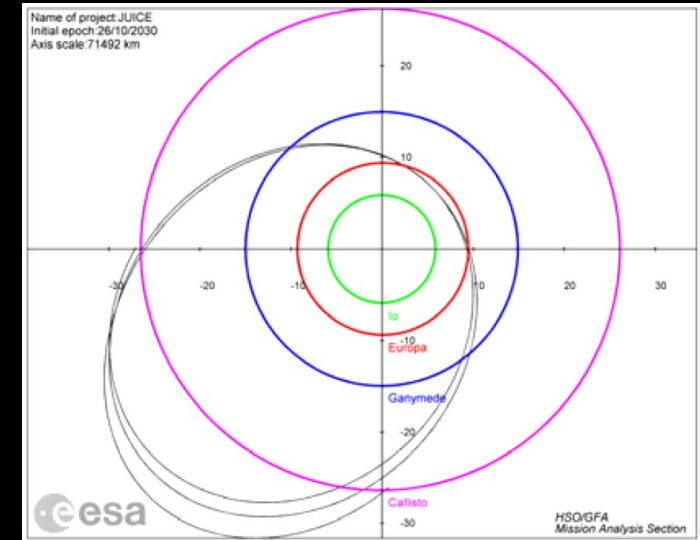
} Gravity Assist manoeuvres

## Mise en orbite

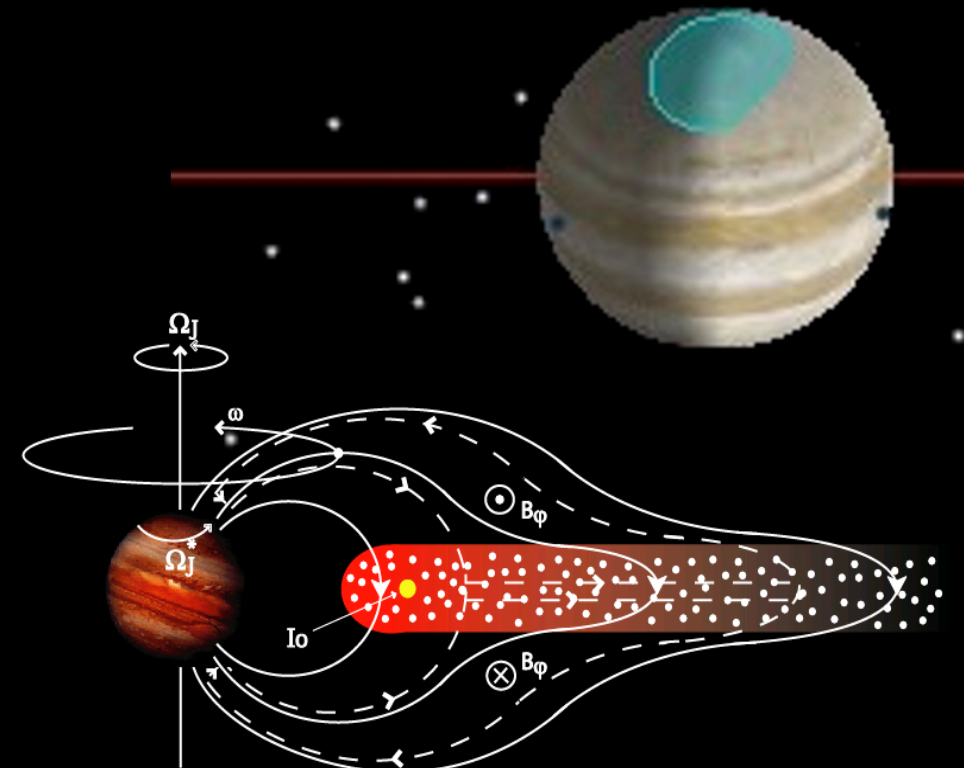
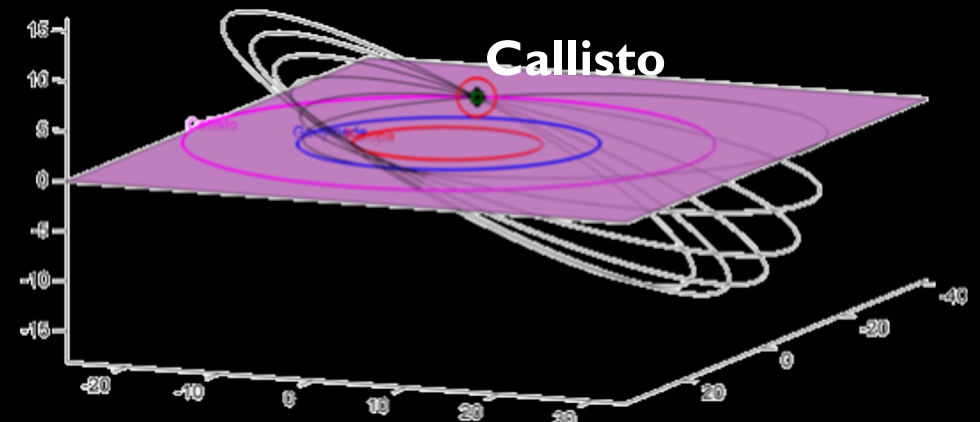


## Phases de Mission

Lancement	Avril 2023
Transfert interplanétaire (Terre-Vénus-Terre_Terre)	8 ans
Insertion dans l'orbite autour de Jupiter et réduction de l'apocentre à l'aide de la gravité de Ganymède	11 mois
2 survols d'Europa	36 jours



Lancement	Avril 2023
Trajectoire de transfert interplanétaire (Terre-Vénus-Terre_Terre)	8 ans
Insertion de l'orbite de Jupiter et réduction de l'apocentre avec l'aide de la gravité de Ganymède (« gravity assist »)	11 mois
2 Europa flybys	36 jours
Réduction du $v_{inf}$ (Ganymède, Callisto)	60 jours
Augmentation de l'inclinaison d'orbite avec 10 aides à la gravité Callisto	200 jours



Lancement	Avril 2023
Transfert interplanétaire (Terre-Vénus-Terre-Terre)	8 ans
JOI réduction d'apoapsis avec l'aide de la gravité de Ganymède	11 mois
2 survols d'Europa	36 jours
Reduction of $v_{inf}$ (Ganymede, Callisto)	60 jours
Augmentation d'inclinaison - 10 Callisto « gravity assists »	200 jours
Callisto à Ganymède	11 mois
Ganymède (polaire) 10,000x200 km & 5000 km 500 km circular 200 km circular	150 jours 102 jours 30 jours
Total mission at Jupiter	3 ans



## Ganymède

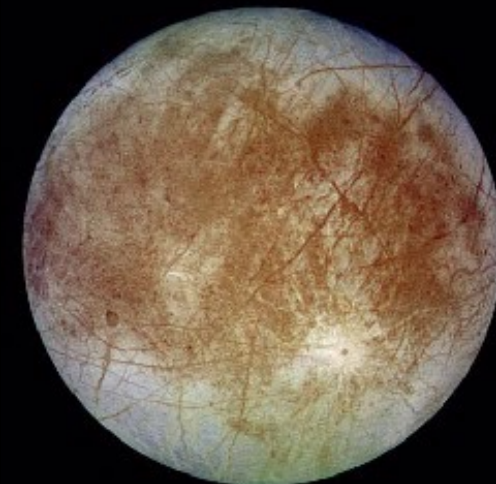
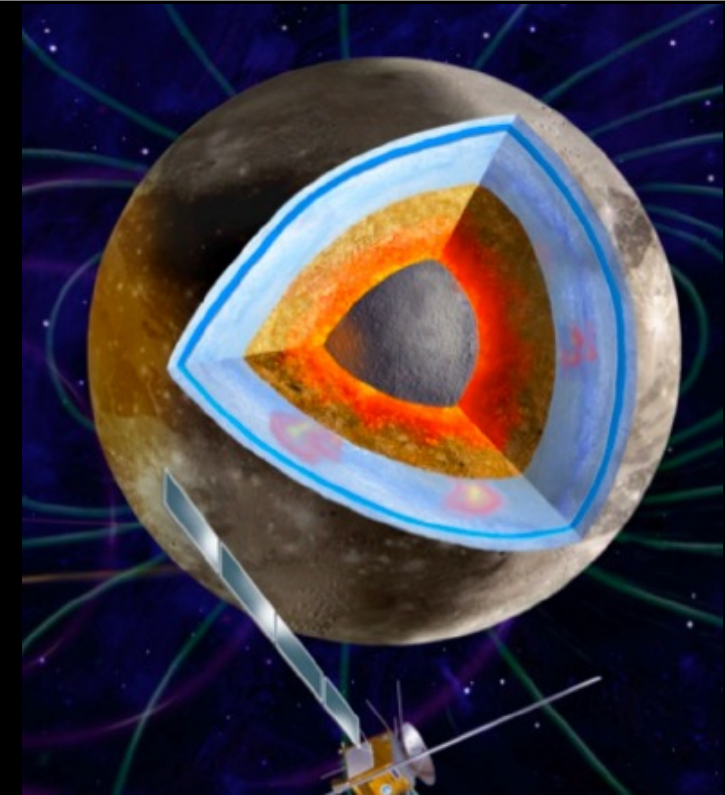
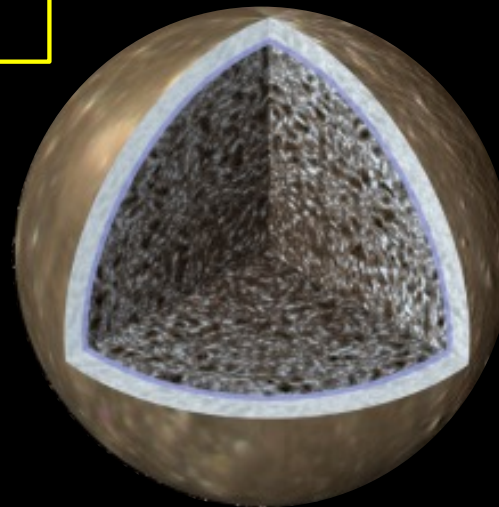
- Le plus grand satellite du système solaire
- Un océan profond
- Dynamo interne et champ magnétique induit – unique
- Morphologies de cratère les plus riches
- **Archétype des mondes aquatiques - Meilleur exemple d'environnement liquide emprisonné entre des couches de glace**

## Callisto

- Meilleur endroit pour étudier l'historique des impacts
- Différenciation – encore une énigme
- Seul exemple connu de monde non actif mais porteur d'océans
- Le témoin des premiers âges

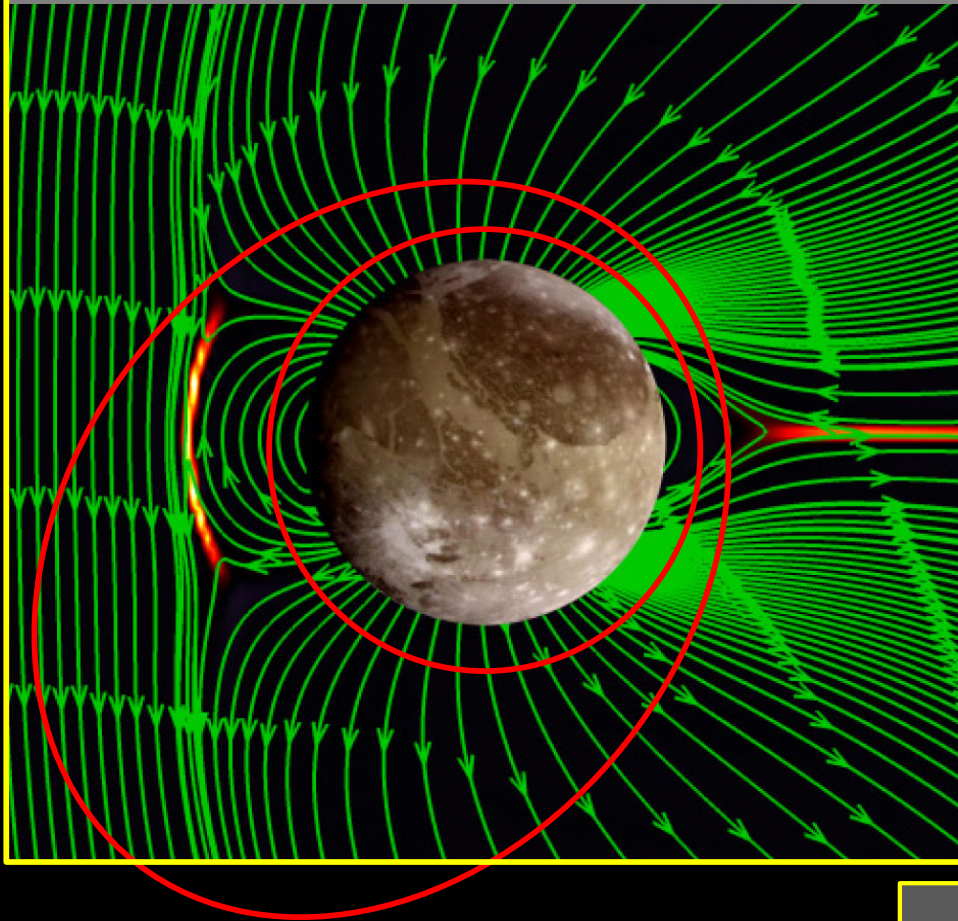
## Europe

- Un océan profond
- Un monde actif?
- Meilleur exemple de milieu liquide en contact avec des silicates

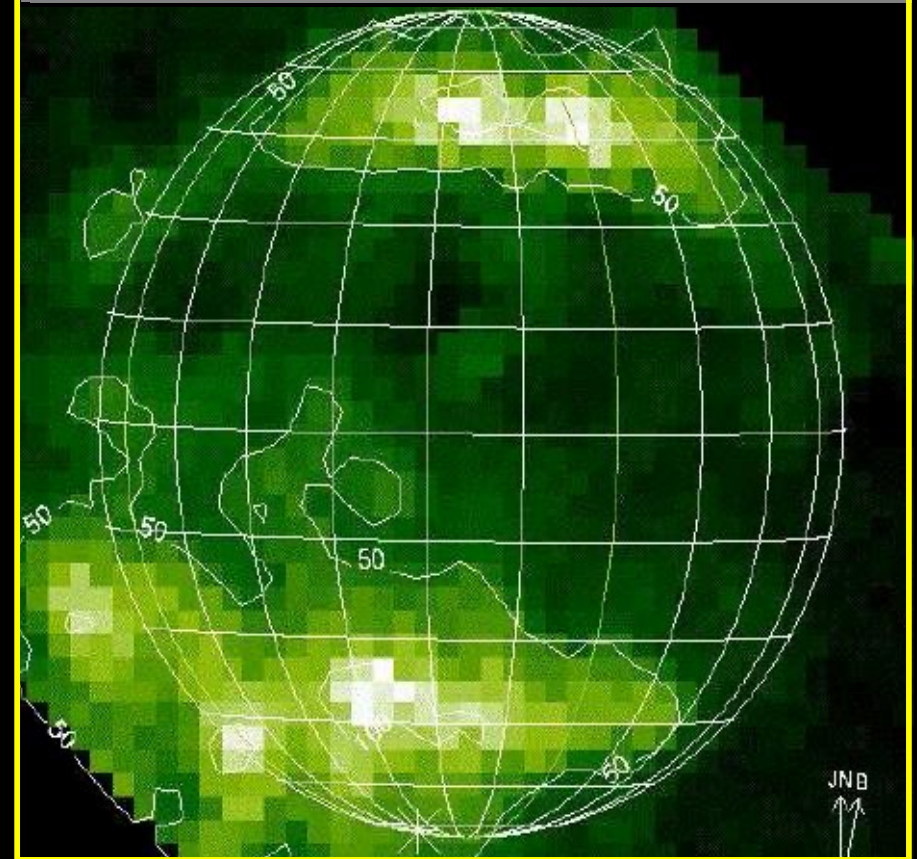


## Ganymède : l'environnement magnétique

La mini-magnetosphère



Interaction avec la magnetosphere jovienne

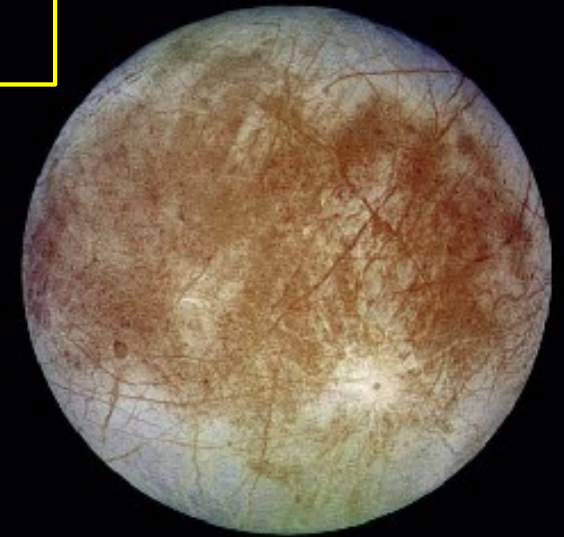
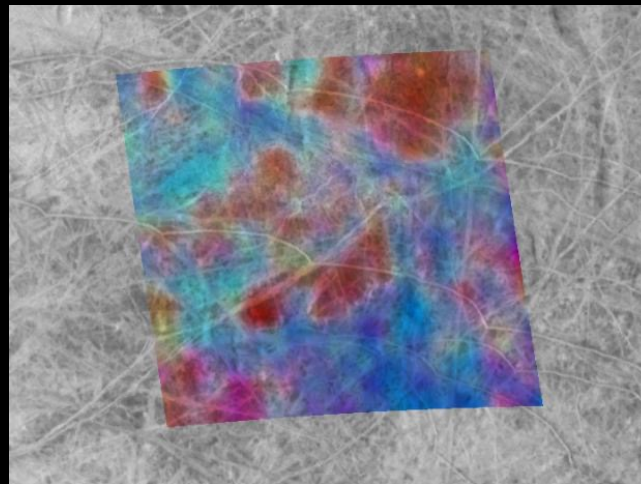
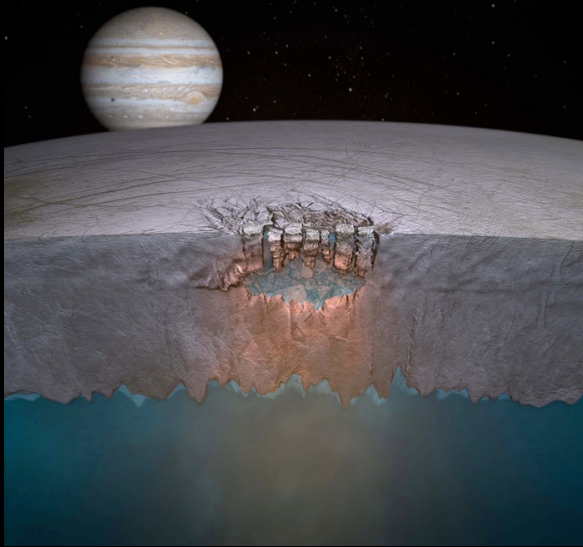


- Champs et Particules In-situ
- Imageurs
- Spectroscopie
- Radio



### JUICE nous dira:

- Si des réservoirs de liquide existent
- Si la salinité est comparable à nos océans
- Quelle est l'épaisseur de la croûte dans les régions du chaos
- Si la lune est toujours active
- Potentiellement où nous pourrions atterrir dans le futur



## Les premiers

- Premier orbiteur d'une lune de glace
- Première Mission autonome dirigée par l'Europe vers le système solaire externe
- Exploration souterraine de lunes glacées
- Possibilité de caractériser la classe des mondes aquatiques des corps planétaires
- Possibilité d'explorer complètement la combinaison unique de champs magnétiques de Ganymède
- Étude prolongée des latitudes moyennes-hautes de la magnétosphère de Jupiter
- Mesures directes de la circulation atmosphérique dans l'atmosphère moyenne de Jupiter

## La Chronologie

