

# *Les océans d'eau liquide à l'intérieur des satellites de glace*





Oui Europe, tu es très intéressante. Maintenant baisse d'un ton.



**Non-Planet of the Solar System to scale**  
 Dwarf Planets (Ceres & Pluto) – Moons of Planets and Dwarf Planets – Asteroids – Comets  
 Viewed as if the Sun were a 1000 km diameter yellow star, 1000 km away, 1000 km away, 1000 km away



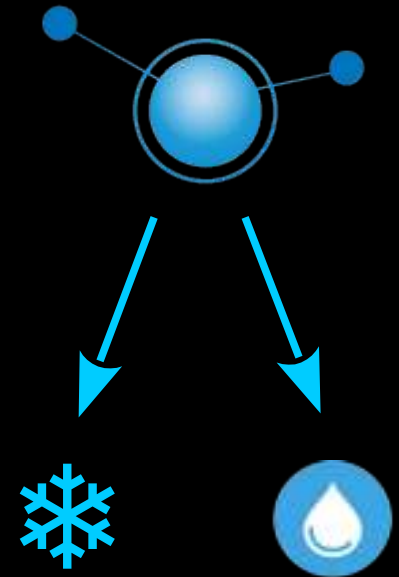
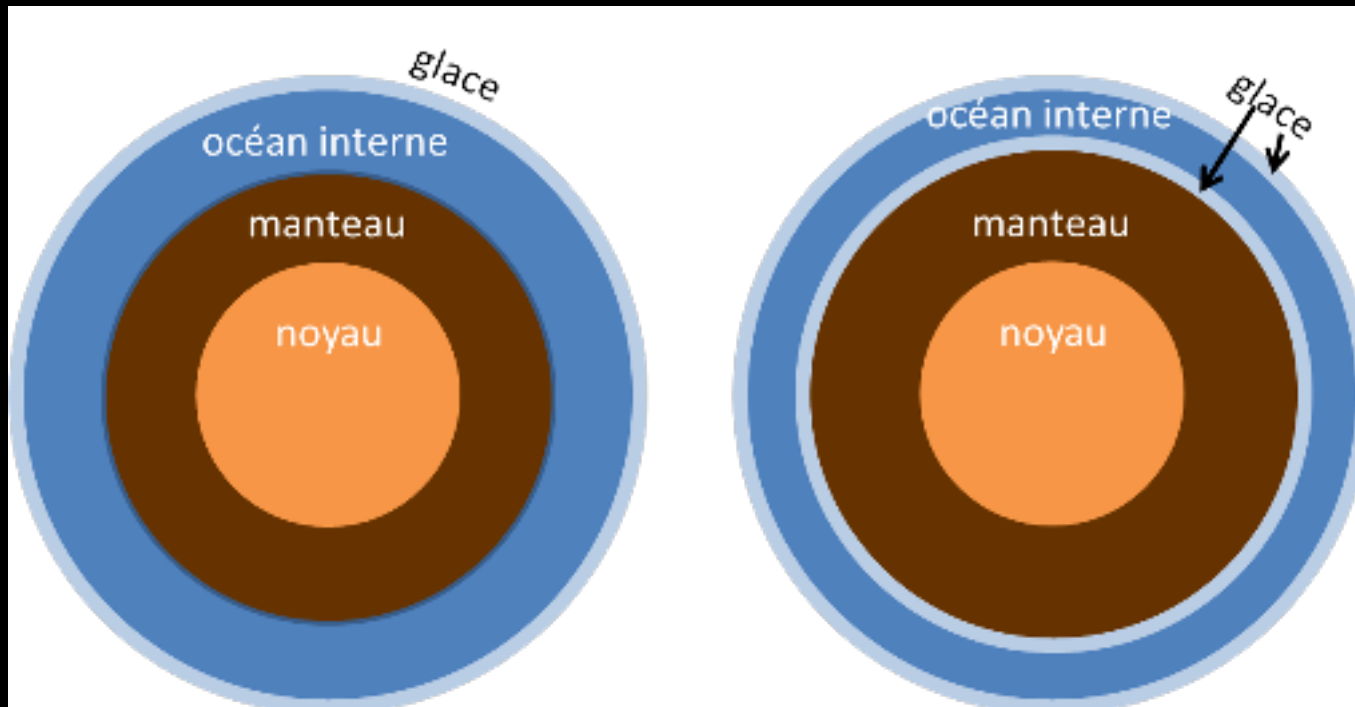
## Répartition :

Majorité des satellites de grande et moyenne taille du système solaire.  
(exceptions : la Lune, Io)

On les trouve surtout autour des planètes géantes, plus éloignées du Soleil.

## Composition / Structure :

- de la glace (en surface, parfois aussi en profondeur)
- des roches (manteau), des métaux (noyau),
- **et parfois (souvent ?) de l'eau liquide → océan global interne !**





## Découvertes

Satellites galiléens (autour de Jupiter)  
→ Galilée en 1610

Titan

→ Christian Huygens en 1655  
→ atmosphère détectée en 1974 par  
Gérard Kuiper (azote et méthane)



Encelade

→ William Herschel en 1789

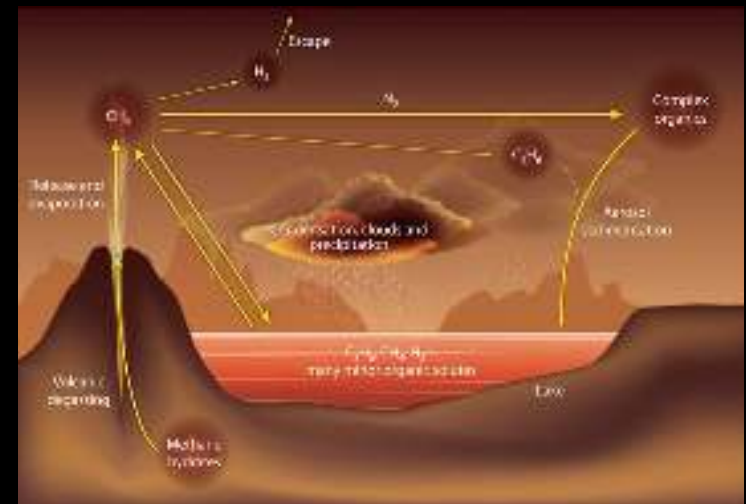


## Des océans ?

Depuis le début des années 1970, on soupçonne l'existence d'océans internes globaux sous la surface des satellites de glace.

Confirmé par les missions spatiales (ex : Galileo)

Épaisseur de la couche eau liquide + glace :  
80-170 km pour Europe  
710-1240 km pour Ganymède

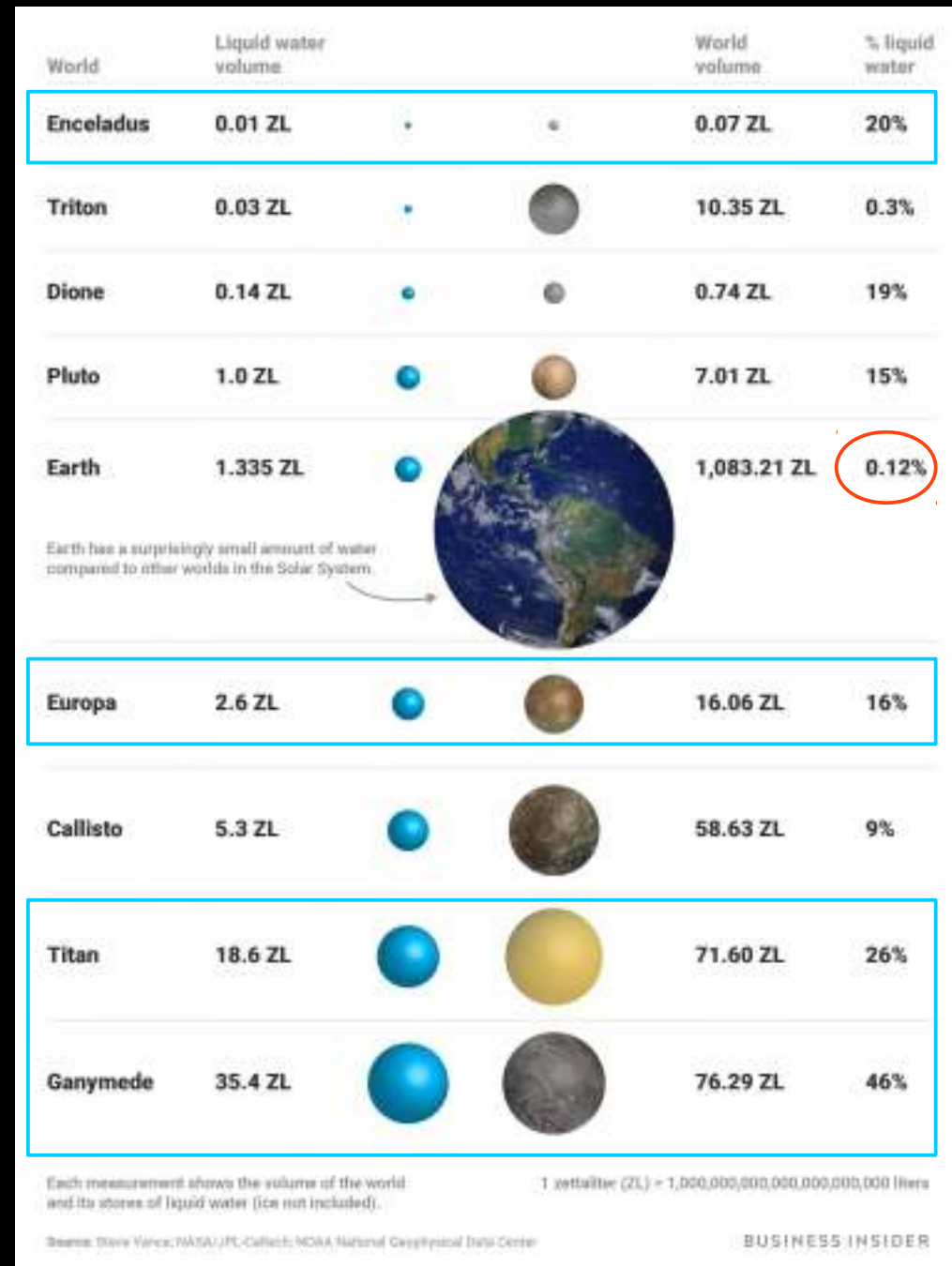


## Proportions d'eau liquide

- L'eau liquide représente à peine 0,12 % du volume de la Terre, et pourtant, on l'appelle la planète bleue.
- Pour Encelade, Europe, Ganymède et Titan, l'eau liquide représente de 16 à 46 % du volume total.

## Quantités d'eau liquide

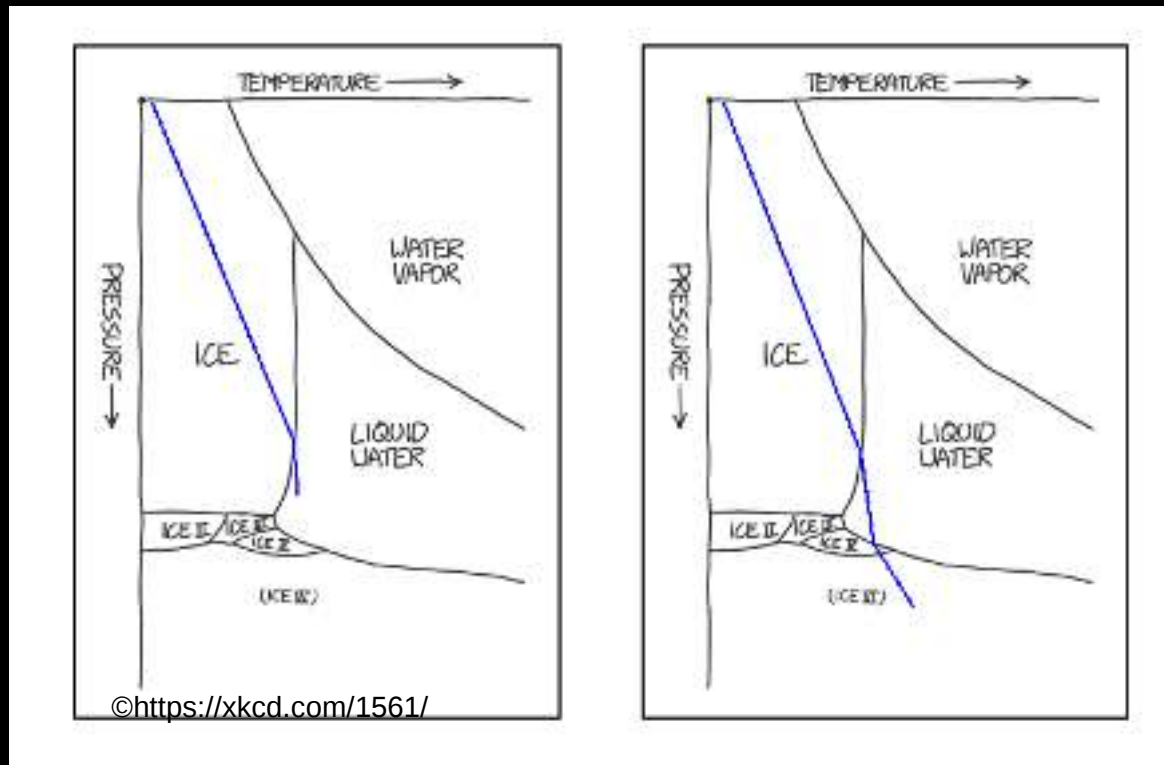
- Il y a plus d'eau liquide à l'intérieur d'Europe, Ganymède et Titan que sur Terre.
- Encelade est un très petit satellite, et donc la quantité d'eau est moindre que sur Terre.



1 ZL (zettalitre) =  $10^{21}$  litres = 1 milliards de  $\text{km}^3$

# De l'eau liquide : pourquoi ? comment ?

- La pression augmente avec la profondeur.
- La température également, puisque la chaleur est  
→ générée en profondeur (ex : déformations de marées)  
→ et éliminée en surface (-148°C à la surface d'Europe).
- Présence de sels qui facilitent la fonte de l'eau.

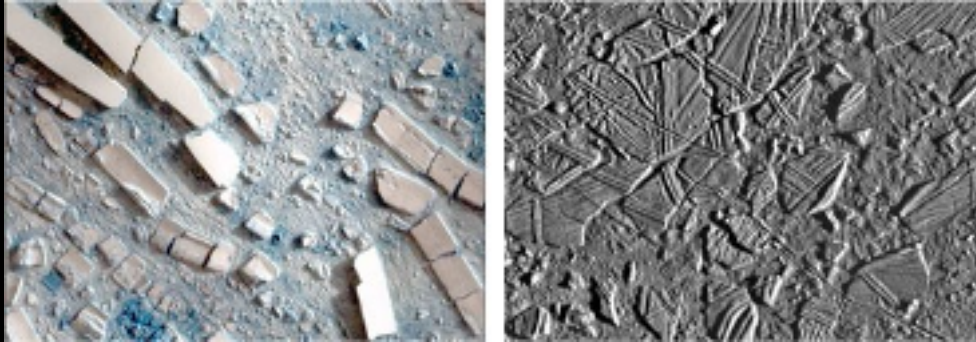


Petits satellites (Europa, Encelade)  
glace en surface et eau liquide en  
profondeur en contact avec la roche

Grands satellites (Ganymède, Titan)  
la pression en profondeur est si  
grande que l'eau redevient solide.

# Preuves de la présence des océans?

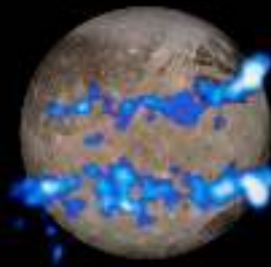
- **Observations de la surface** : « banquises » sur Europe



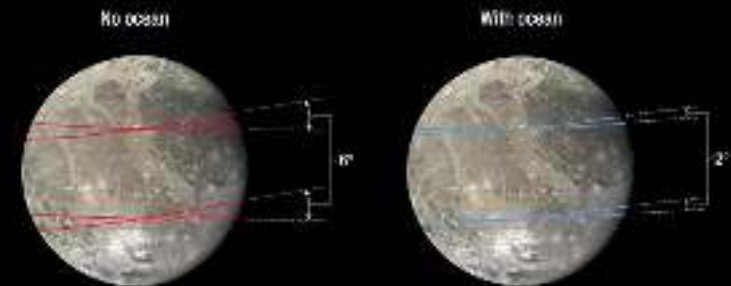
- **Champ magnétique induit** (Europe, Ganymède) : le champ magnétique de Jupiter induit un courant électrique dans les océans salés qui lui-même induit un champ magnétique.



- **Aurores boréales** (Ganymède) : les oscillations des aurores sont influencées par la présence de l'océan



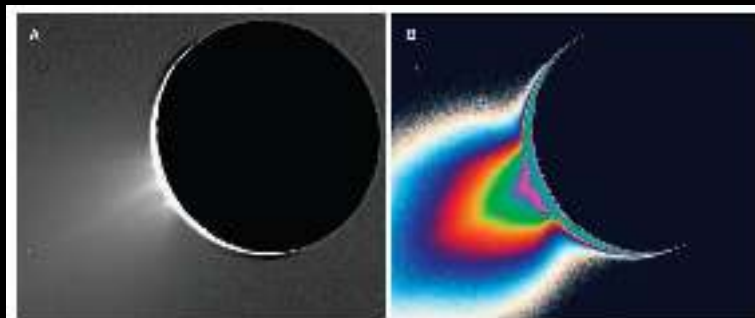
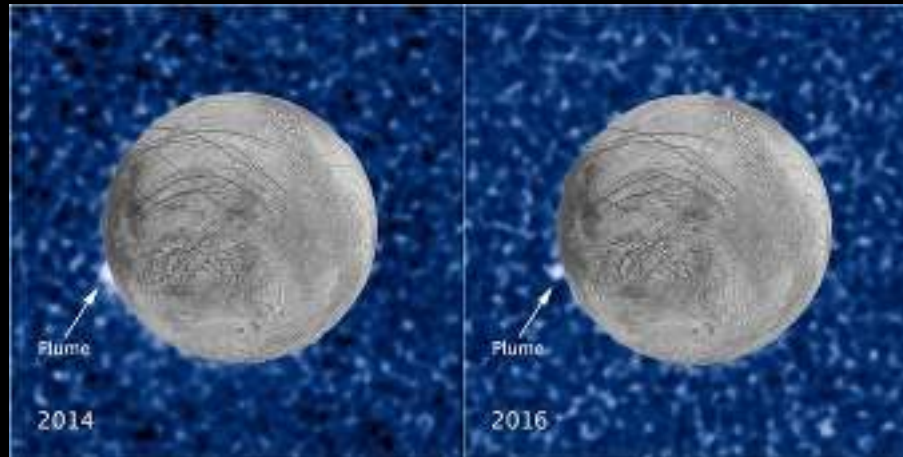
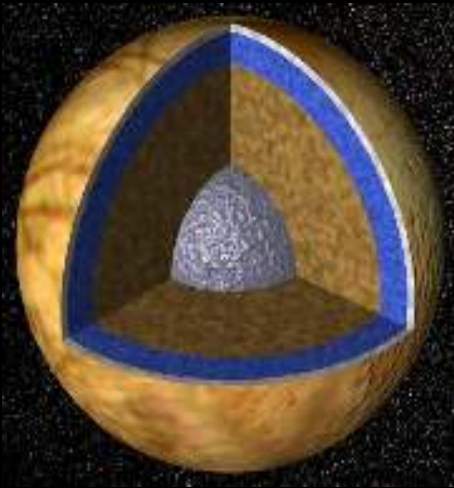
Ganymede Auroral Band Oscillation





# De l'eau liquide : preuves de leur présence ?

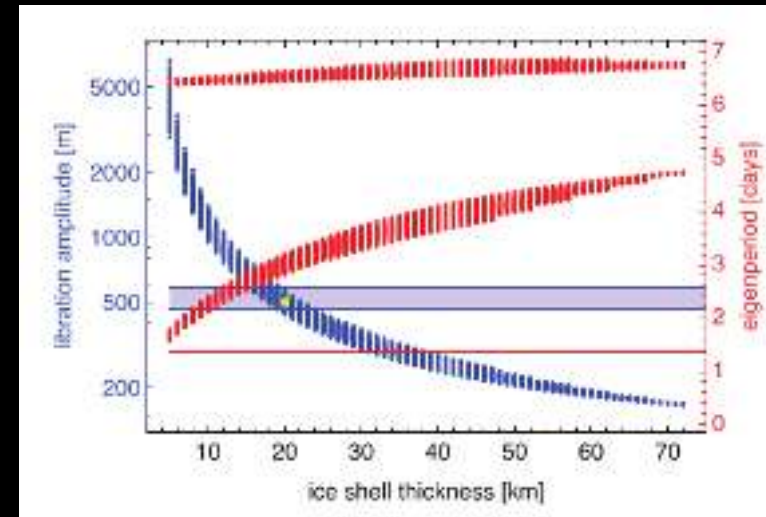
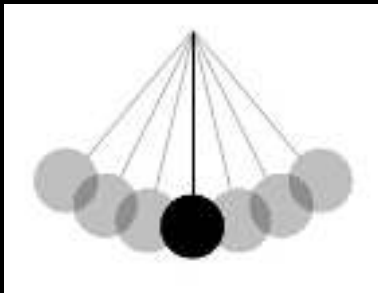
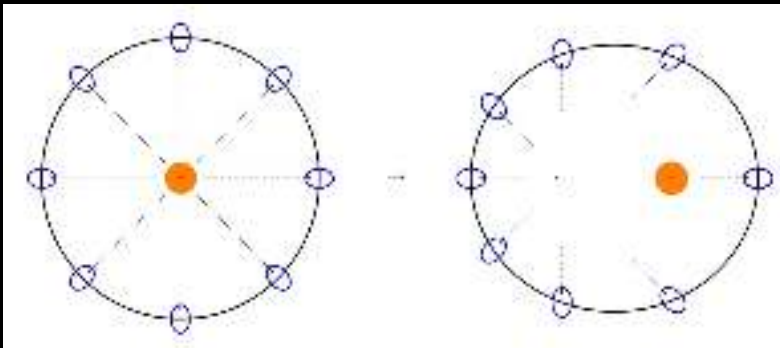
- **Geysers** (Europe, Encelade)



# De l'eau liquide : preuves de leur présence ?

- **Rotation** → **librations physiques** (Encelade)

On peut voir 59 % de la surface de la Lune (effets géométriques + effets physiques).



Van Hoolst et al. 2016

Grâce à la mesure de la « libration », on détermine l'épaisseur de la coquille de glace (~20 km).

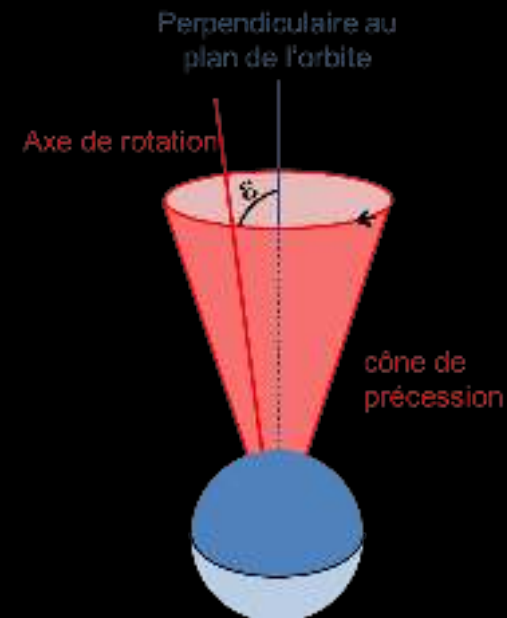
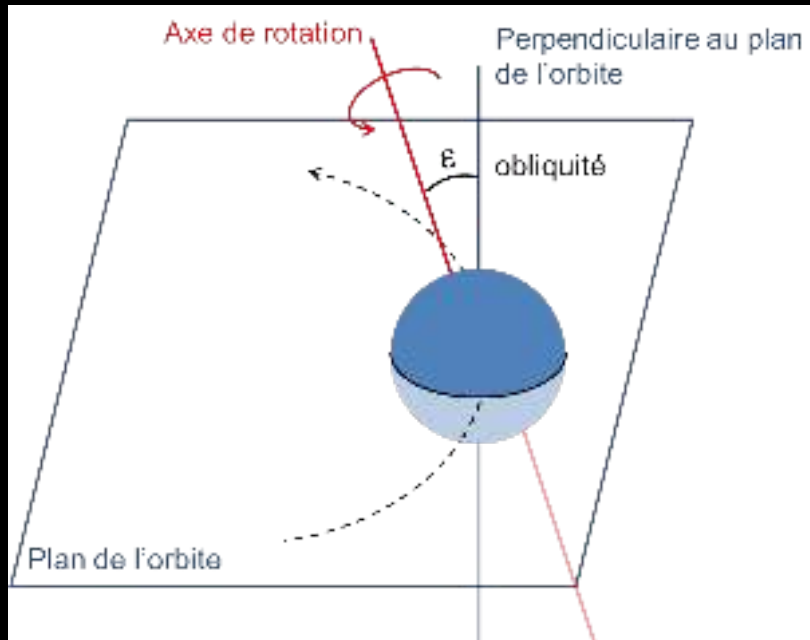
# De l'eau liquide : preuves de leur présence ?

- **Rotation** → **obliquité** (Titan)

L'obliquité est l'inclinaison (angle) entre l'axe de rotation et la perpendiculaire au plan de l'orbite.

Nous savons tous qu'elle est de  $23^{\circ}26'$  pour la Terre (et qu'elle est la cause des saisons)

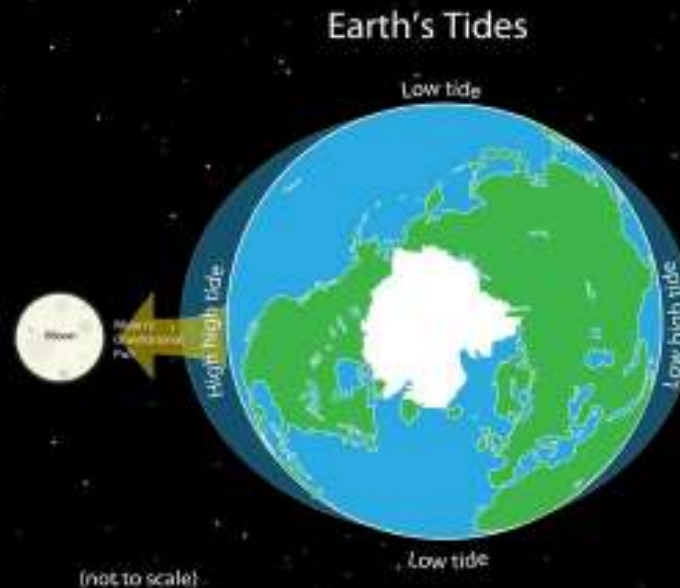
Elle est seulement  $0,32^{\circ}$  pour Titan ... mais elle serait de  $0,12^{\circ}$  si il n'y avait pas d'océan !



# De l'eau liquide : preuves de leur présence ?

- **Déformations de marée**, détectées dans le champ de gravité du corps (ex : Titan)

Nous connaissons tous le phénomène des marées océaniques sur Terre dues à la Lune et au Soleil. Mais il existe aussi des déformations de la partie solide de la Terre (~70cm) et de la Lune elle-même!



Les coquilles de glaces des satellites se déforment aussi sous l'influence de leur planète (ex : ~30 m pour Europe). Ces déformations sont plus importantes si il existe un océan liquide global sous la surface !



# Les futures missions

- Juice, ESA, sélectionnée

lancement en 2022

arrivée en 2030

3,5 ans de mission

survols de Europe et de Callisto

mise en orbite autour de Ganymède



- Europa clipper, NASA, à l'étude

lancement en 2022-2025 ?

plusieurs dizaines de survols d'Europe

- Titan Saturn System Mission (TSSM), ESA+NASA, en attente

orbiteur + montgolfière + atterrisseur (en fait, un module pour flotter sur les lacs !)

