

# 10A001 - ASTRONOMIE GÉNÉRALE

La Terre, une planète vivante dans le cosmos

4. Habitabilité

7 octobre 2025



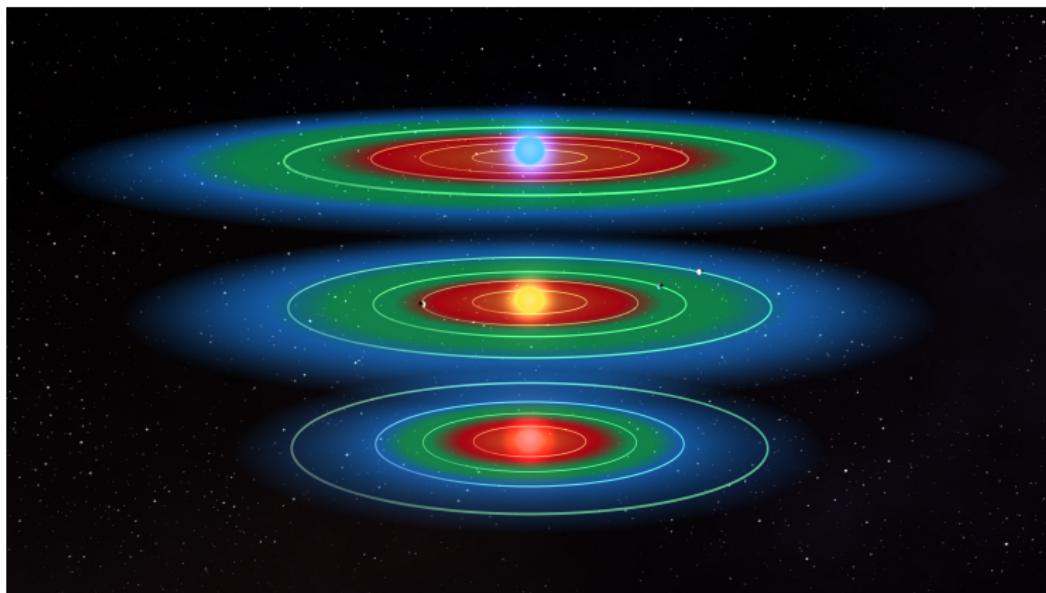
Sylvia Ekström  
Département d'Astronomie  
Université de Genève



## Définition au premier ordre

Habitabilité : mesure de la capacité d'un corps astronomique à développer et accueillir la vie. ([Wikipédia](#))

Au premier ordre : possibilité d'avoir de l'eau liquide



Dépend de l'astre central

Dans le cas du Système solaire : 0.95 – 1.15 AU ([Kasting+ 1993](#))



### 4. Habitabilité

[Définition\(s\)](#)

[Situation de la Terre](#)

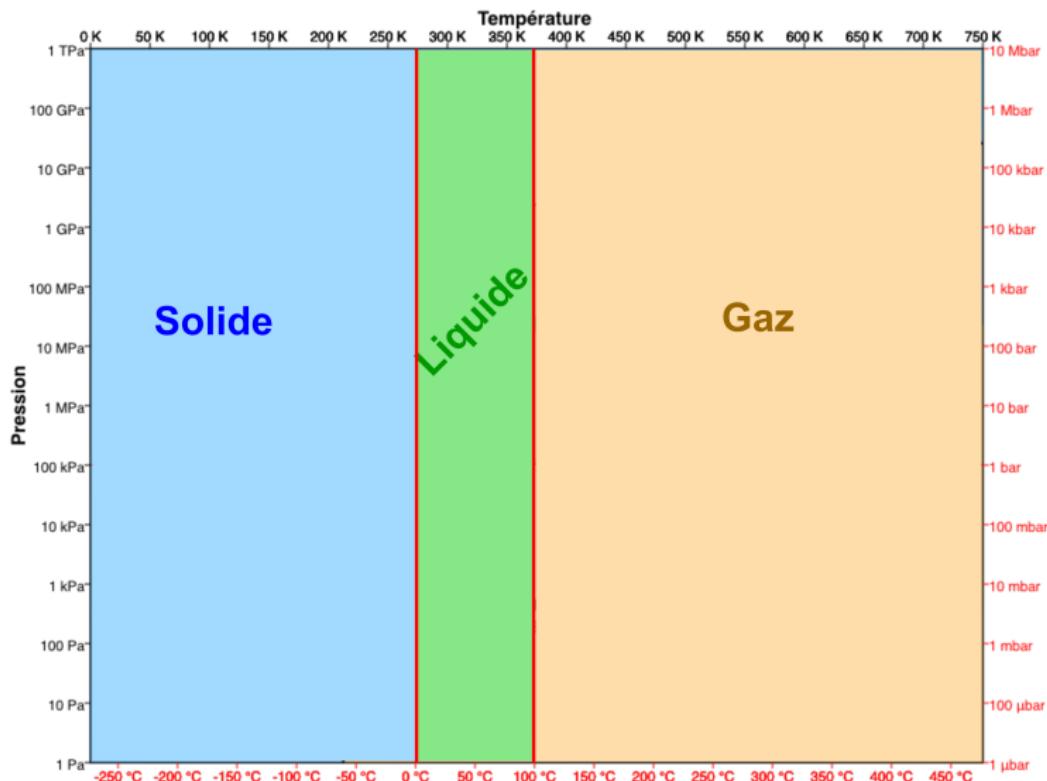
[Sources d'énergie](#)

[Ailleurs dans le Système solaire ?](#)

[Références](#)

# L'eau liquide

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 4. Habitabilité

- Définition(s)
- Situation de la Terre
- Sources d'énergie
- Ailleurs dans le Système solaire ?
- Références

# L'eau liquide



## 4. Habitabilité

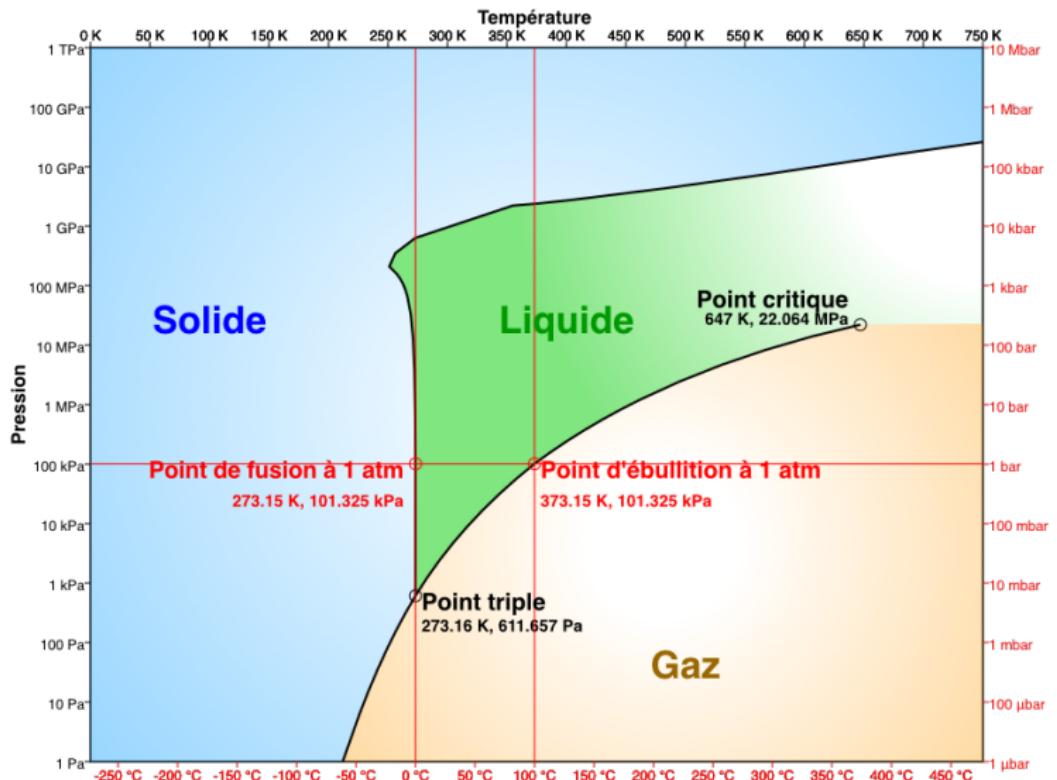
Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références



Nécessité d'une certaine pression au sol

→ atmosphère planétaire

Présence d'eau ou possibilité de vie ?



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

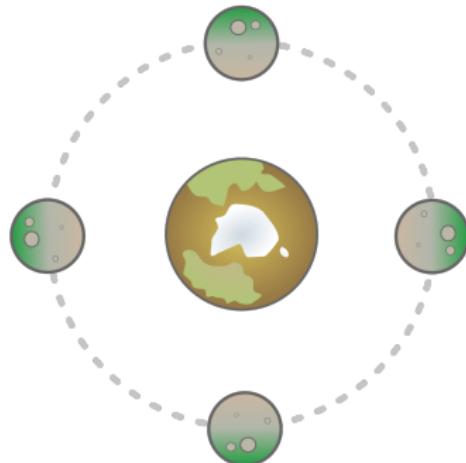
Ailleurs dans le  
Système solaire ?

Références

Petites étoiles :

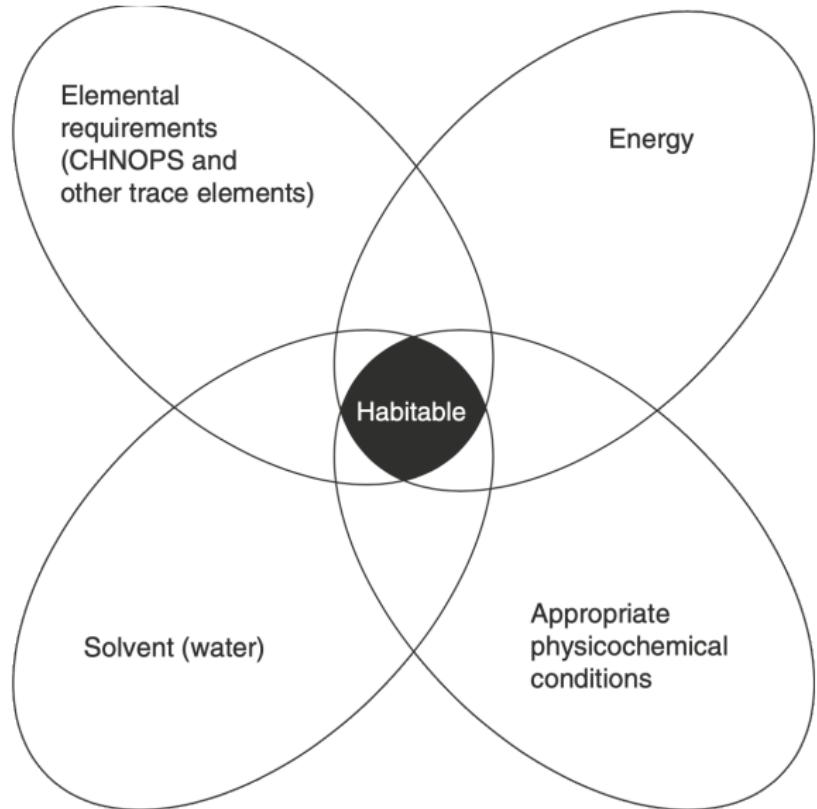
zone habitable proche

→ rapide synchronisation de la  
rotation de la planète



## Définition plus subtile

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



Cockell+ 2016



### 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

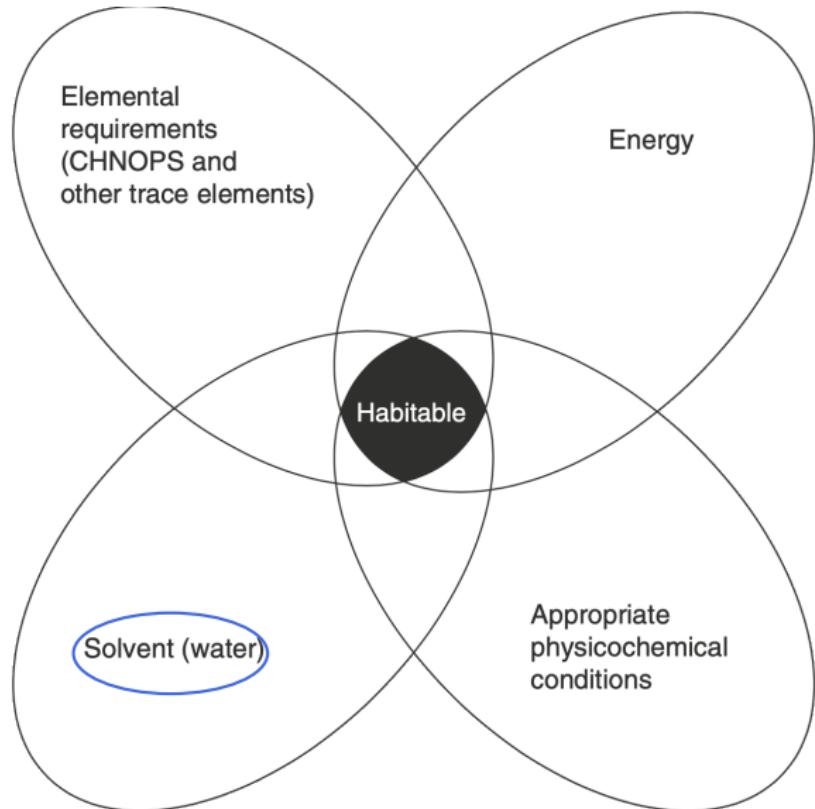
Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

## Définition plus subtile

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



Cockell+ 2016



### 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

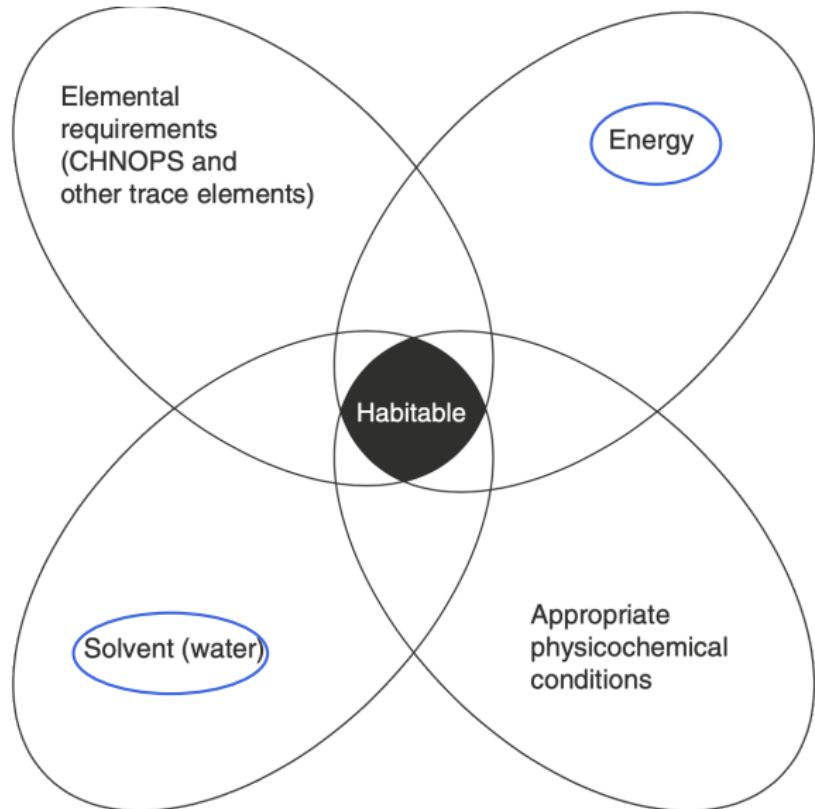
Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

## Définition plus subtile

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



Cockell+ 2016



### 4. Habitabilité

Définition(s)

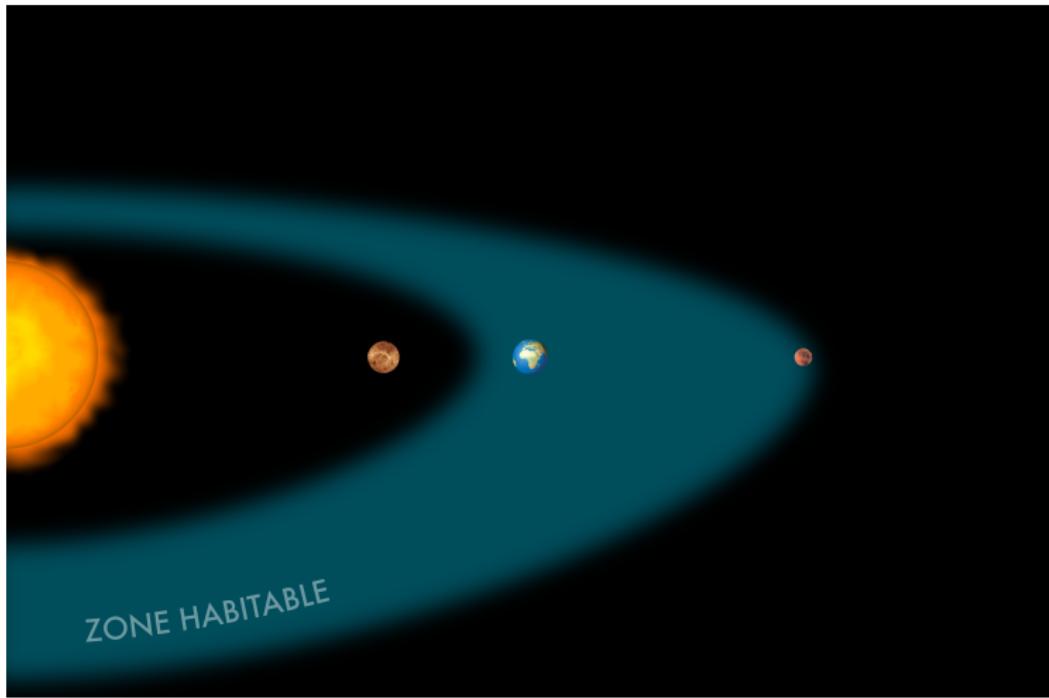
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

# La situation de la Terre



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

# Boucles d'Or

On évoque souvent Boucles d'Or et les trois ours

Vénus est trop chaude, Mars trop froide, la Terre juste bien !



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

# La température d'équilibre de la Terre

La Terre, une planète vivante dans le cosmos

Rayonnement solaire :  $L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$

Surface collectrice :  $\pi R_{\oplus}^2$  (projection de la sphère)

À la distance  $D$  (Terre-Soleil), le rayonnement absorbé est :

$$(1 - A) 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4 \left( \frac{R_{\oplus}}{2D} \right)^2$$

Surface émettrice :  $4\pi R_{\oplus}^2$  (toute la sphère)

Equilibre quand la radiation émise par la Terre est égale à la radiation reçue du Soleil :

$$4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4 = (1 - A) 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4 \left( \frac{R_{\oplus}}{2D} \right)^2$$

Température à l'équilibre :

$$T_{\oplus}^4 = (1 - A) T_{\odot}^4 \left( \frac{R_{\odot}}{2D} \right)^2 \rightarrow T_{\oplus} = 255 \text{ K} = -18^{\circ}\text{C}$$

En réalité, gaz à effet de serre ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , ...) récupèrent 78% de l'énergie réémise en IR

$$\rightarrow T_{\oplus} = +15^{\circ}\text{C}$$



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

## Boucles d'Or (le retour)



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



### 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

Vénus : assez massive pour avoir une atmosphère  
bord chaud  
→ effet de serre incontrôlable

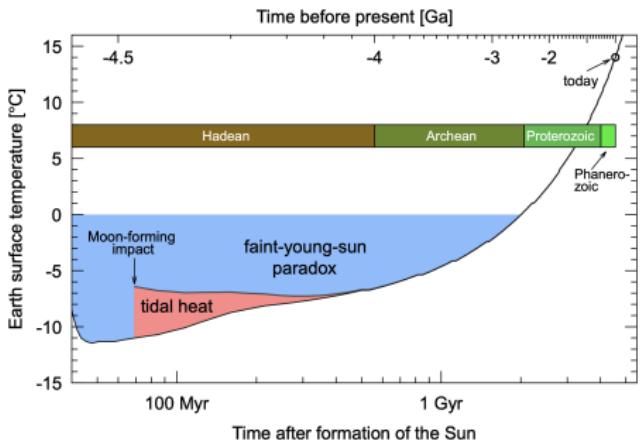
Mars : trop petite pour avoir gardé une atmosphère  
bord froid  
→ désert glacé

# L'évolution de la température sur Terre

Luminosité solaire  
augmente

au début : diminution du  
CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère  
→ rapide diminution de  
la  $T_{\text{sol}}$

puis : compensation  
équilibrée,  $T_{\text{sol}}$  évolue  
peu



après 2 Ga : luminosité solaire augmente →  $T_{\text{sol}}$  augmente

spoiler alert pour le cours 11 : la zone habitable se déplace au  
fil du temps !

$T_{\text{sol}} < 0$  pendant les deux premiers Ga → snowball Earth ?



## 4. Habitabilité

Définition(s)

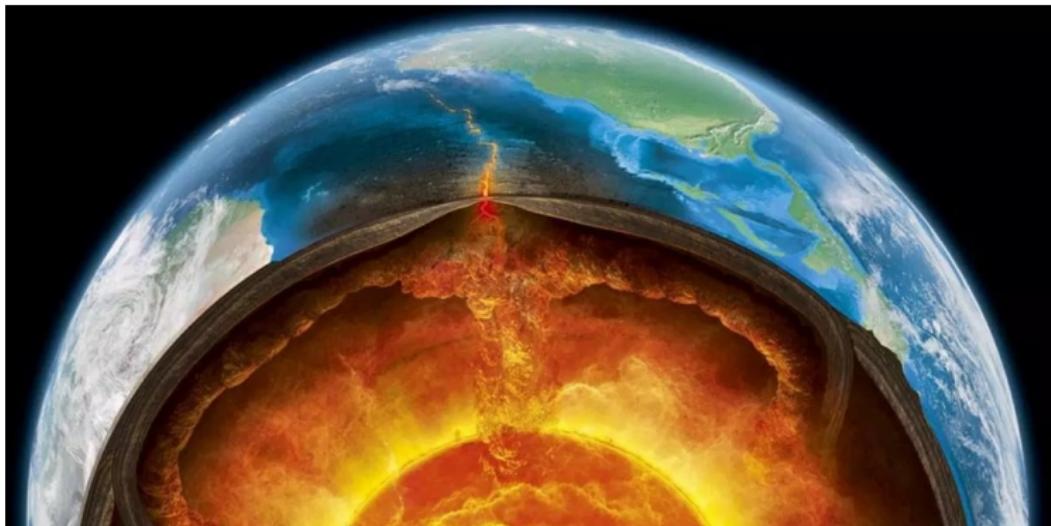
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le  
Système solaire ?

Références

# D'autres sources d'énergie ?



chaleur  
interne :  
~ 47 TW

*Davies & Davies 2009*

- 10 TW (20%) résidu de chaleur d'accrétion, chaleur latente de cristallisation du noyau
- 38 TW (80%) radioactivité ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) *Kumaran & Ludhova 2020*
- 0.3 TW (0.6%) marées terrestres



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le  
Système solaire ?

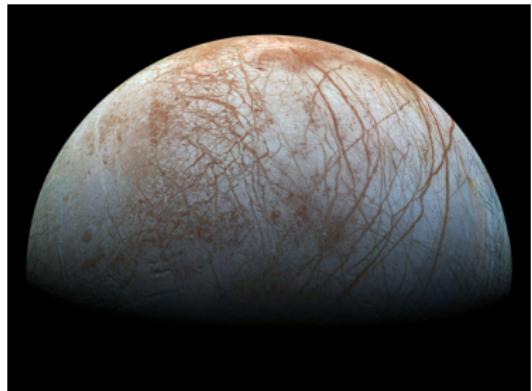
Références

# Les marées

Les marées pourraient-elles pallier à une trop grande distance ?

Io est malaxée par Jupiter  
Elle émet 100 TW dont  $\sim 50\%$  provient des marées

*Veenstra+ 2025*



Europe aussi subit de fortes marées

chauffage différentiel  $\rightarrow$   
mouvement de l'océan

*Lemasquerier+ 2023*



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

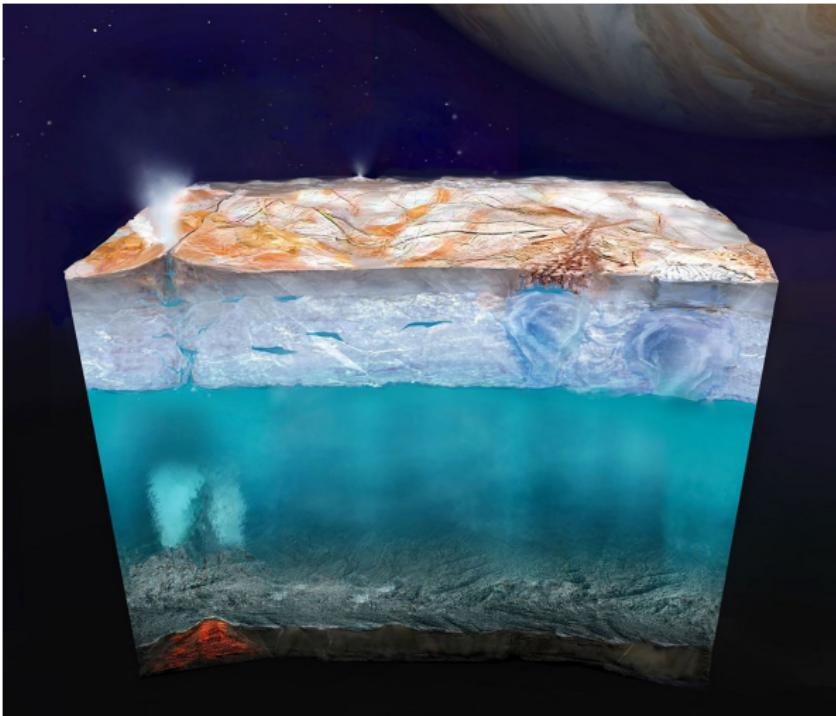
Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

# Sous la glace d'Europe

La Terre, une planète  
vivante dans le  
cosmos



L'océan sous la glace d'Europe



## 4. Habitabilité

Définition(s)

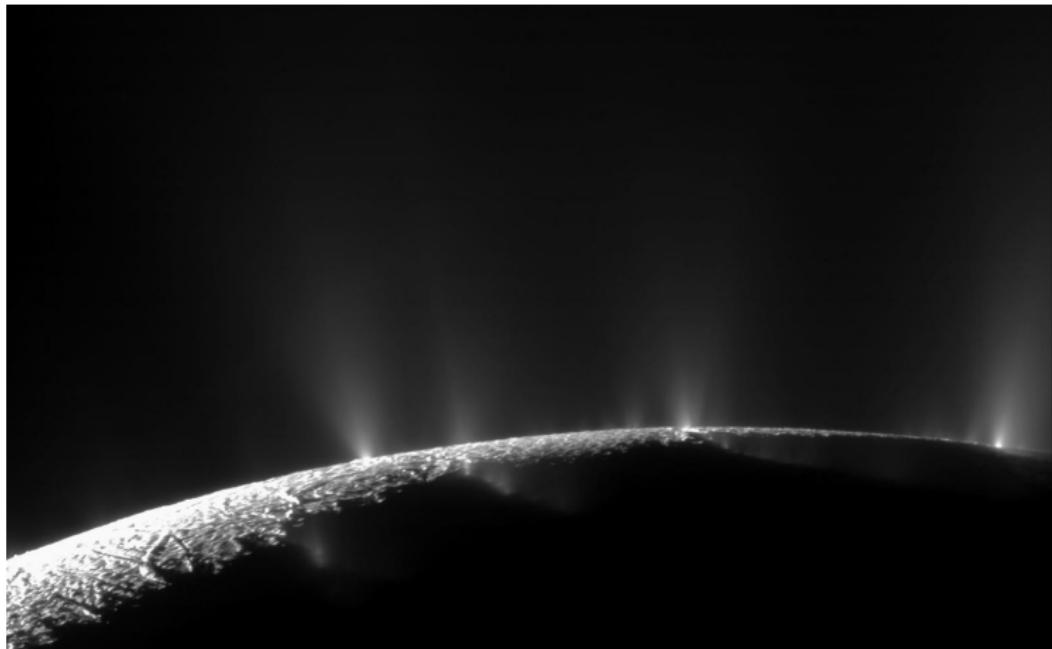
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le  
Système solaire ?

Références

# Sous la glace d'Encelade



Encelade et ses geysers

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 4. Habitabilité

Définition(s)

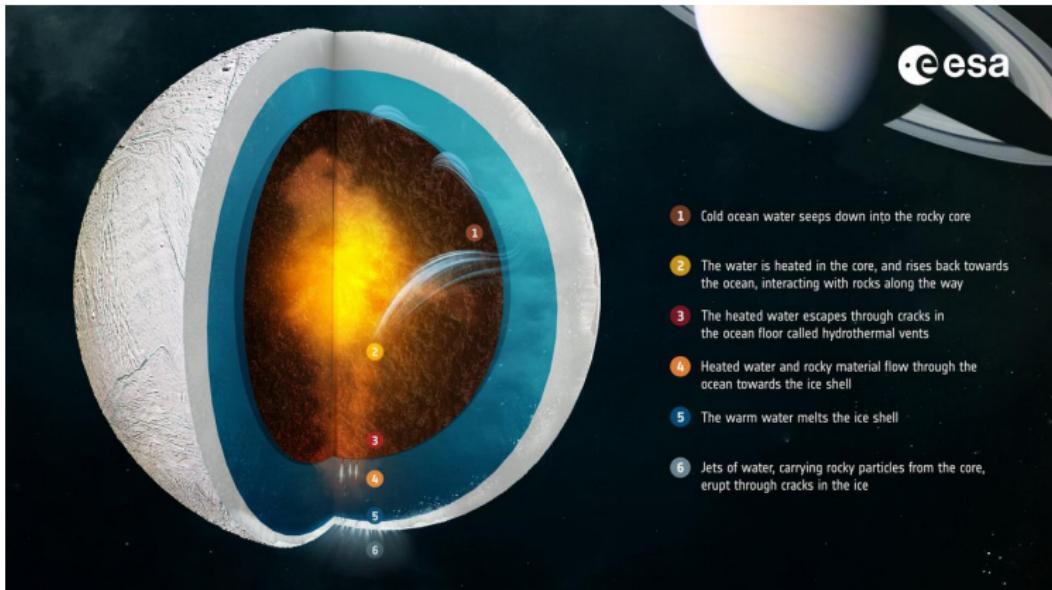
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

# Sous la glace d'Encelade



Molécules organiques complexes ([Khawaja+ 2019; Khawaja+ 2025](#))

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

# L'eau liquide ailleurs dans le Système solaire ?

Sur Titan, un lac de méthane et des galets de glace d'eau



Méthane liquide en-dessous de -160°C

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



## 4. Habitabilité

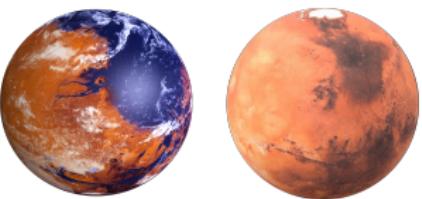
Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

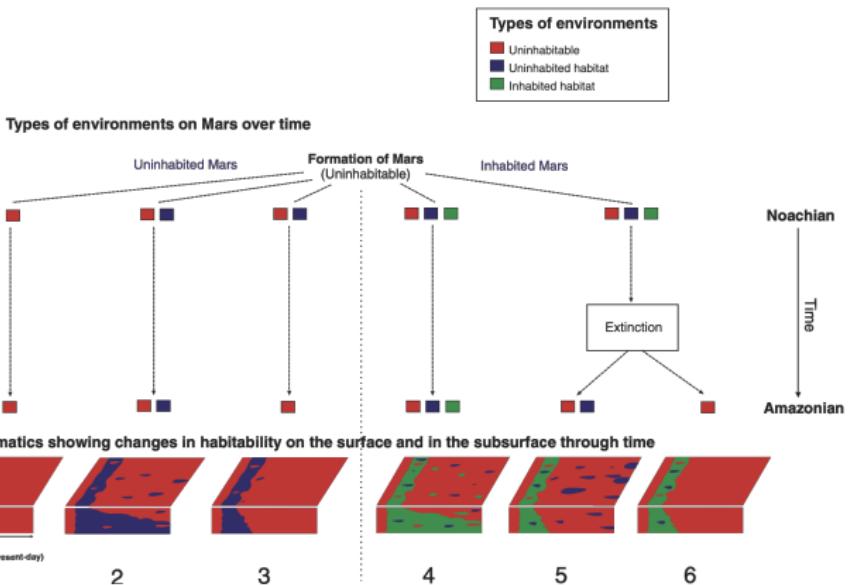
Ailleurs dans le Système solaire ?

Références



Cockell+ 2016

- Définition(s)
- Situation de la Terre
- Sources d'énergie
- Ailleurs dans le Système solaire ?
- Références



## Références I

- Cockell, Bush, Bryce et al. 2016, *Astrobiology*, 16, 89 (ADS)
- Davies & Davies 2009, *Solid Earth Discussions*, 1, 1 (ADS)
- Guinan, Engle, & Durbin 2016, *ApJ*, 821, 81 (ADS)
- Kasting, Whitmire, & Reynolds 1993, *Icarus*, 101, 108 (ADS)
- Khawaja, Postberg, Hillier et al. 2019, *MNRAS*, 489, 5231 (ADS)
- Khawaja, Postberg, O'Sullivan et al. 2025, *Nat. Astron.*
- Kumaran & Ludhova 2020, *Nuclear Physics News*, 30, 17 (ADS)
- Lemasquerier, Bierson, & Soderlund 2023, *AGU Advances*, 4, e2023AV000994 (ADS)
- Veenstra, Rovira-Navarro, Steinke, Davies, & van der Wal 2025, *Nature Communications*, 16, 6798 (ADS)