

10A001 - ASTRONOMIE GÉNÉRALE

La Terre, une planète vivante dans le cosmos

4. Habitabilité

7 octobre 2025



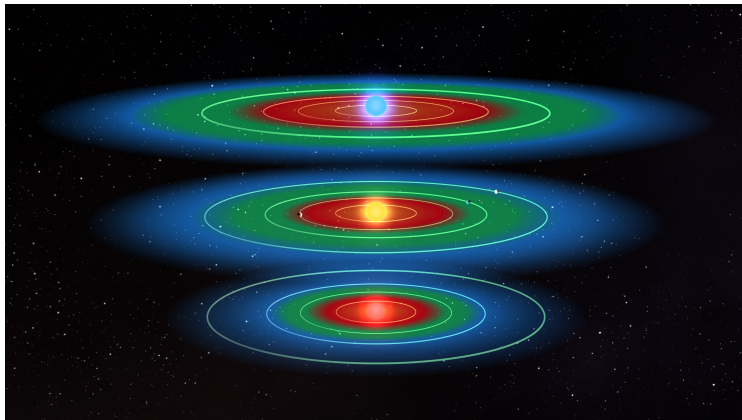
Sylvia Ekström
Département d'Astronomie
Université de Genève



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*)

La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

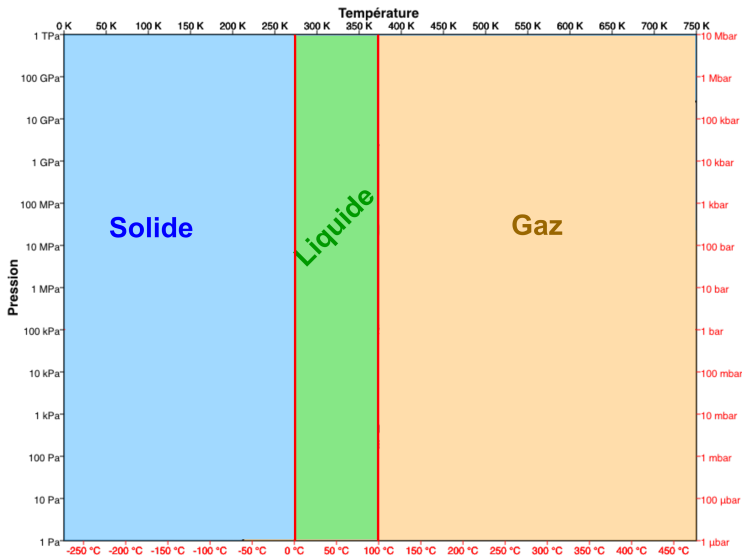
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

L'eau liquide



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

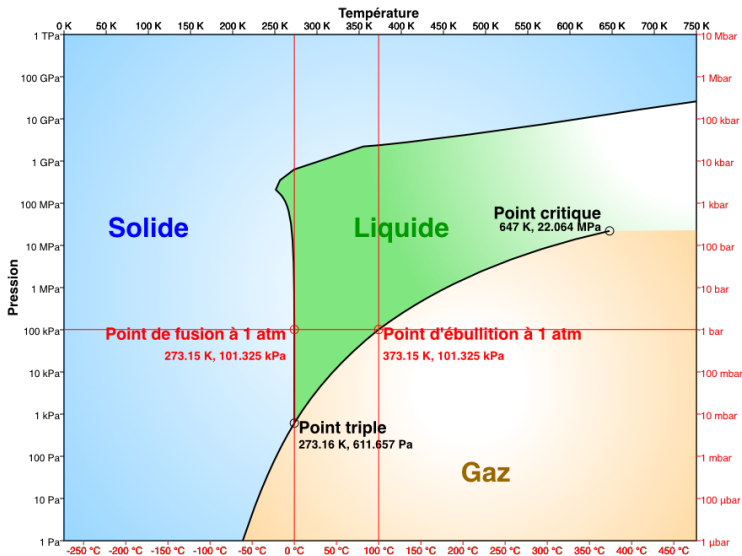
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

L'eau liquide



Nécessité d'une certaine pression au sol

→ atmosphère planétaire

La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

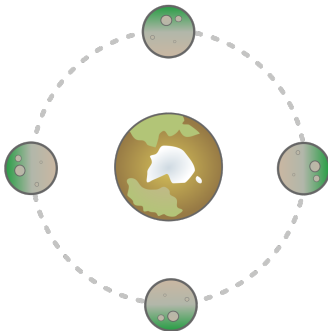
Références

De bons hôtes

Présence d'eau ou possibilité de vie ?

- ne pas vivre trop peu de temps (*Kasting+ 1993*)
→ maximum $1,5 M_{\odot}$ (temps de vie de $> 2 \text{ Ga}$)
- ne pas émettre trop de rayons X (*Guinan+ 2016*)
→ minimum $0,5 M_{\odot}$

Petites étoiles :
zone habitable proche
→ rapide synchronisation de la
rotation de la planète



4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

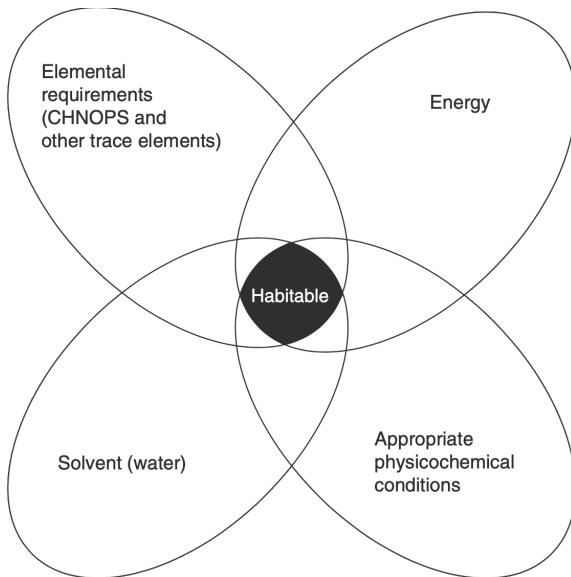
Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

Définition plus subtile

Cockell+ 2016



La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

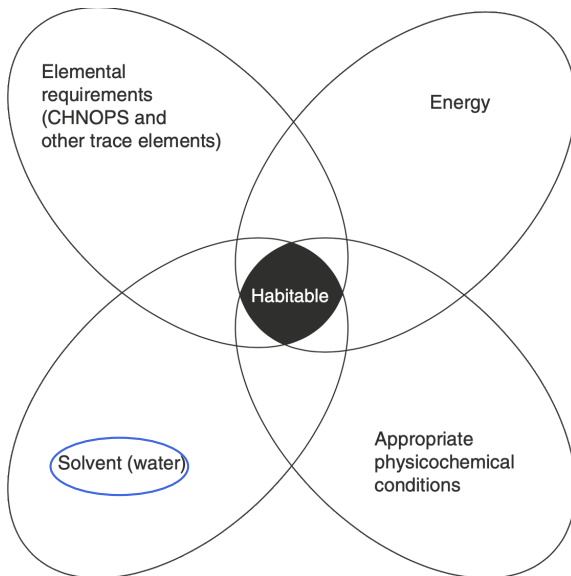
Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

Définition plus subtile

Cockell+ 2016



La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

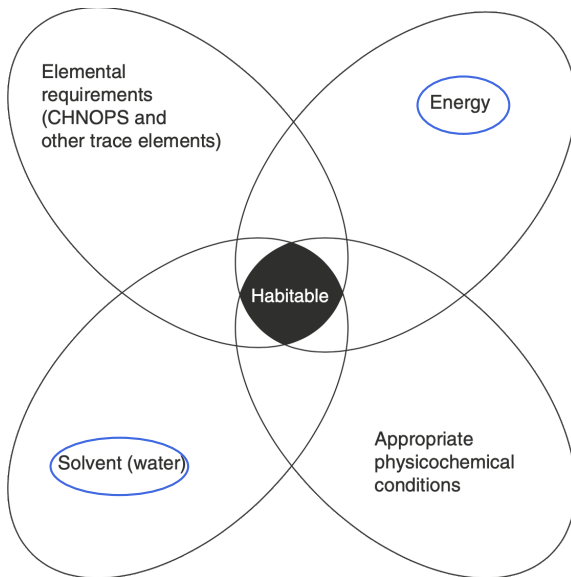
Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

Définition plus subtile

Cockell+ 2016



La Terre, une planète vivante dans le cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

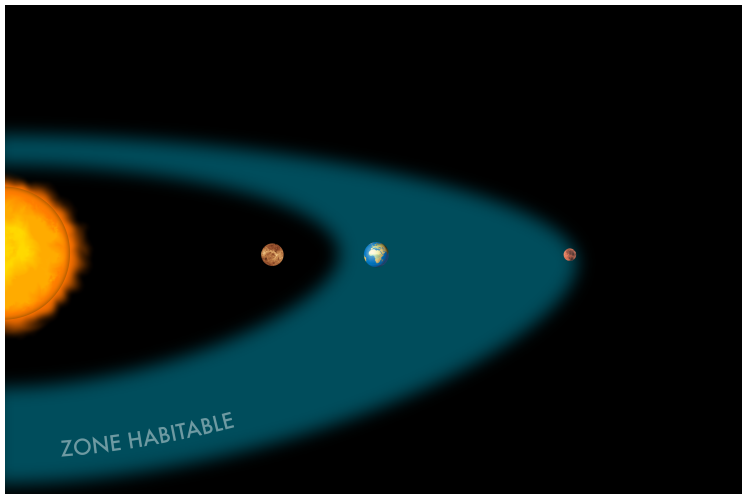
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

La situation de la Terre



La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

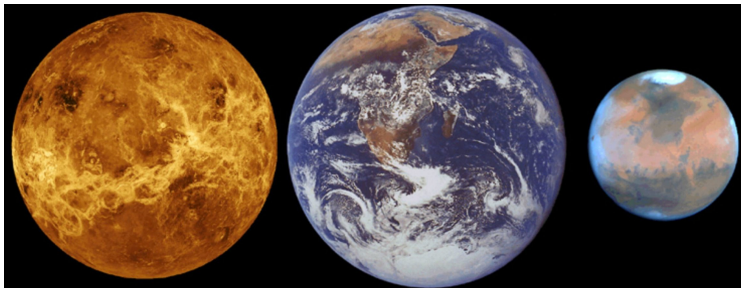
Ailleurs dans le
Système solaire ?

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

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

Surface collectrice : πR_{\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 (H_2O , CO_2 , O_3 , ...) récupèrent 78% de l'énergie réémise en IR

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



4. Habitabilité

Définition(s)

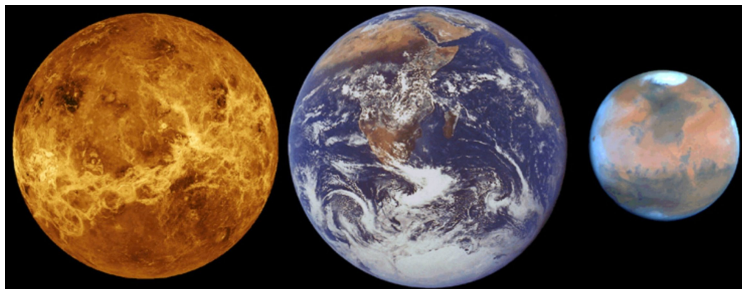
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

Boucles d'Or (le retour)



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

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'évolution de la température sur Terre

Luminosité solaire
augmente

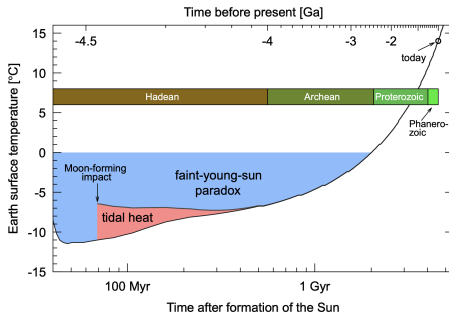
au début : diminution du
 CO_2 dans l'atmosphère
→ rapide diminution de
la T_{sol}

puis : compensation
équilibrée, T_{sol} évolue
peu

après 2 Ga : luminosité solaire augmente → T_{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 ?



La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

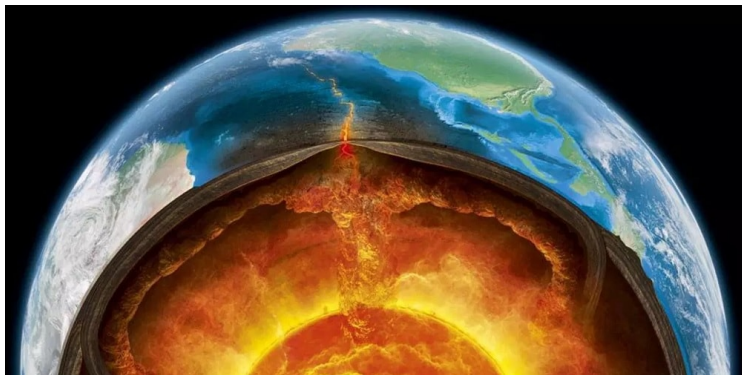
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

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}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K) *Kumaran & Ludhova 2020*
- 0.3 TW (0.6%) marées terrestres

La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

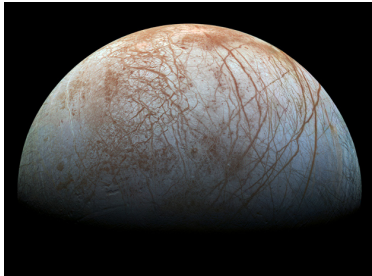
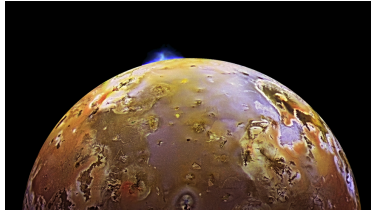
Références

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

La Terre, une planète vivante dans le cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

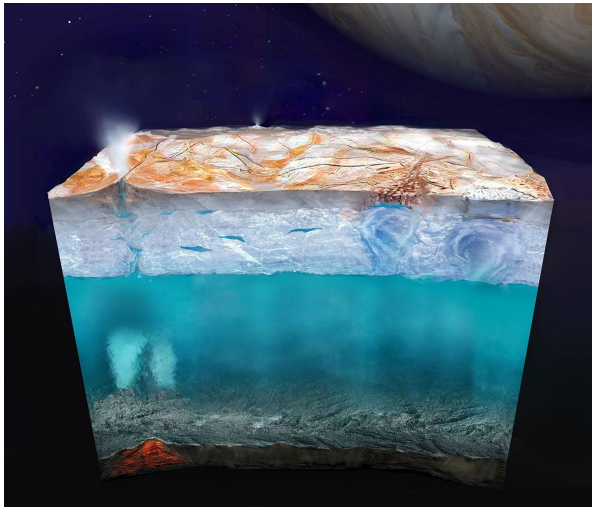
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

Sous la glace d'Europe



L'océan sous la glace d'Europe

La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

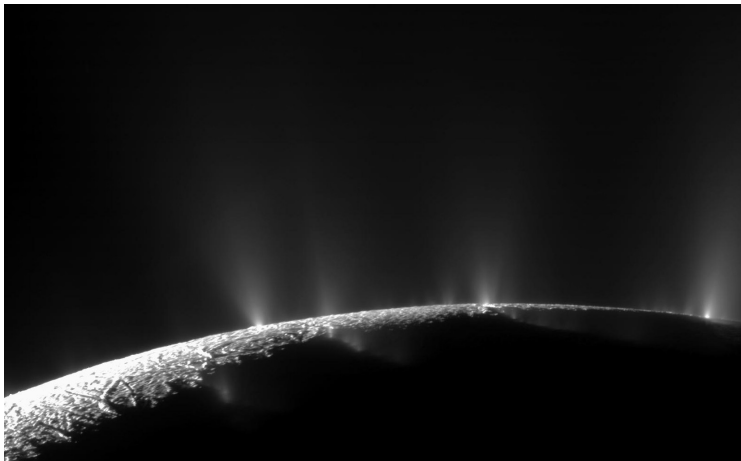
Situation de la Terre

Sources d'énergie

Ailleurs dans le
Système solaire ?

Références

Sous la glace d'Encelade



Encelade et ses geysers

La Terre, une planète
vivante dans le
cosmos



4. Habitabilité

Définition(s)

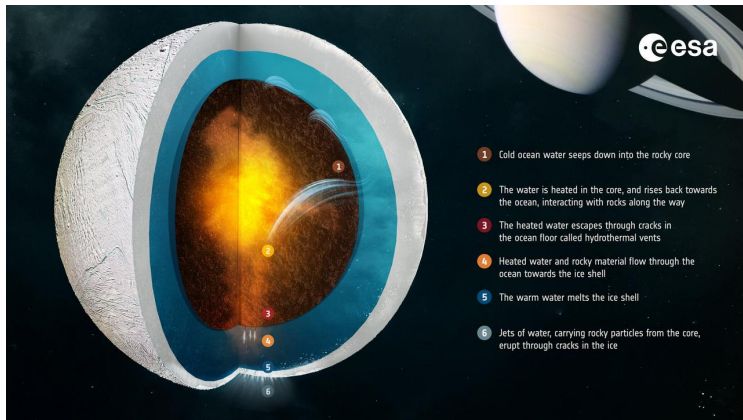
Situation de la Terre

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)

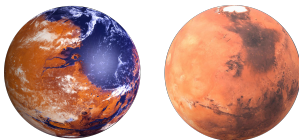
Situation de la Terre

Sources d'énergie

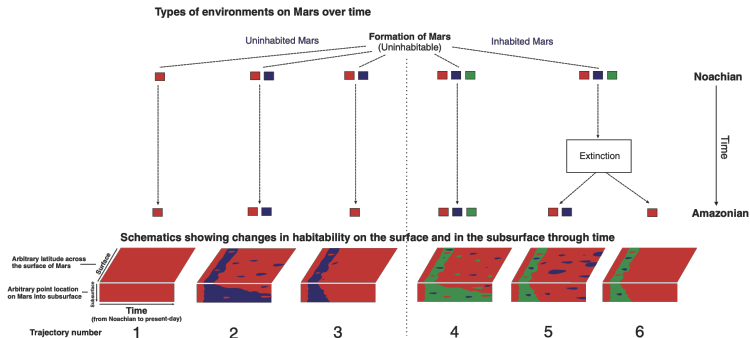
Ailleurs dans le Système solaire ?

Références

Le passé de Mars



Cockell+ 2016



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

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)*