

# ***A Hell of a Phase Curve: Mapping the Atmosphere and Surface of the lava world K2-141b***

**Lisa Đặng (elle/she)**

Boursière Banting à l'Université de Montréal

*Sebastian Zieba, Giang Nguyen, Christiaan Van Buchem, Mantas Zilinskas, Nicolas Cowan  
Yamila Miguel, Laura Kreidberg, Roxana Lupu, Mark Hammond, Neil Lewis, Raymond Pierrehumbert*

Rencontre de CRAQ 2024  
Auberge du Lac à l'eau claire  
Mercredi, 8 mai 2024

Institut Trottier  
de recherche sur  
les exoplanètes

Trottier Institute  
for Research  
on Exoplanets



Université  de Montréal **et du monde.**

 Bourses postdoctorales  
**Banting**  
Postdoctoral Fellowships

# *Une saerée courbe de phase d'enfer: Cartographier l'atmosphère et la surface de la planète de lave K2-141b*

**Lisa Đặng (elle/she)**

Boursière Banting à l'Université de Montréal

*Sebastian Zieba, Giang Nguyen, Christiaan Van Buchem, Mantas Zilinskas, Nicolas Cowan  
Yamila Miguel, Laura Kreidberg, Roxana Lupu, Mark Hammond, Neil Lewis, Raymond Pierrehumbert*

Rencontre de CRAQ 2024  
Auberge du Lac à l'eau claire  
Mercredi, 8 mai 2024

Institut Trottier  
de recherche sur  
les exoplanètes

Trottier Institute  
for Research  
on Exoplanets

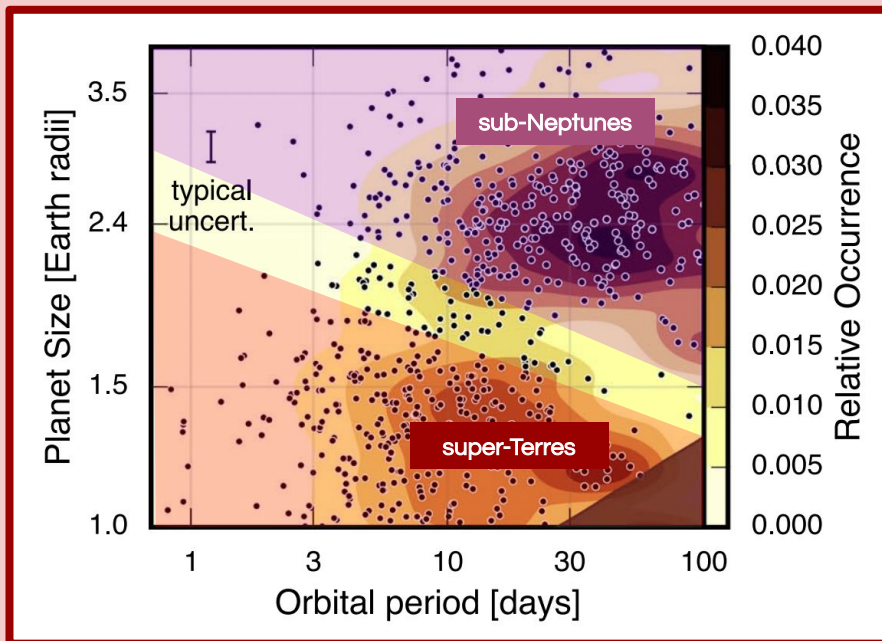


Université   
de Montréal **et du monde.**

 Bourses postdoctorales  
**Banting**  
Postdoctoral Fellowships

# Planètes avec Période Orbitale Ultra-Courte (USP)

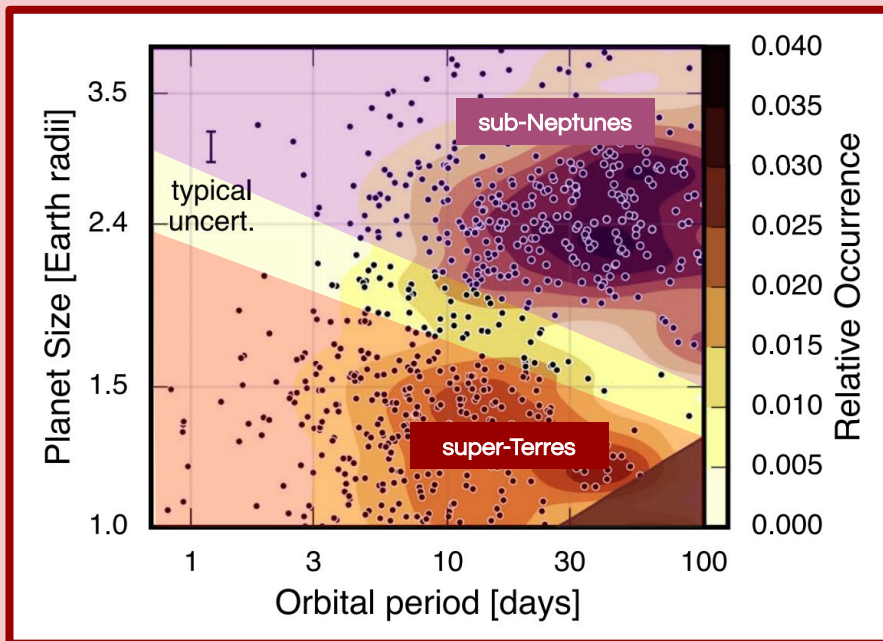
Fulton & Petigura + 2018



e.g. Batalha+2013, Fulton & Petigura +2018,  
Ho & Van Eylen+2023

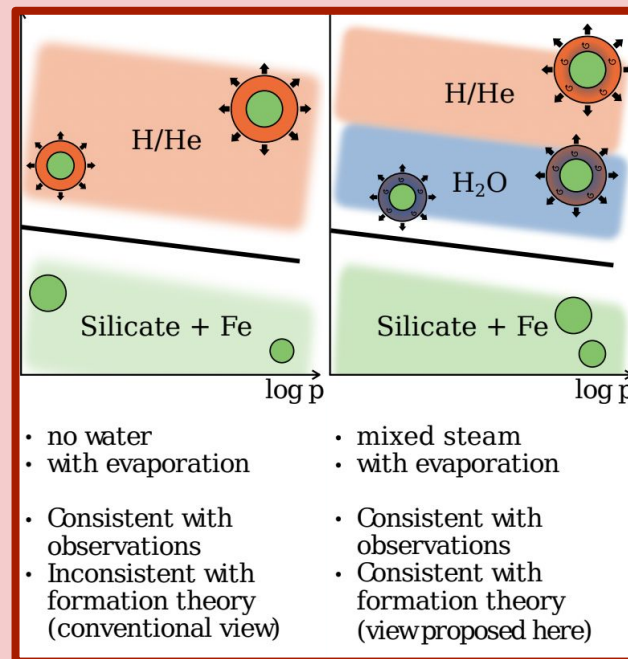
# Planètes avec Période Orbitale Ultra-Courte (USP)

Fulton & Petigura + 2018



e.g. Batalha+2013, Fulton & Petigura +2018,  
Ho & Van Eylen+2023

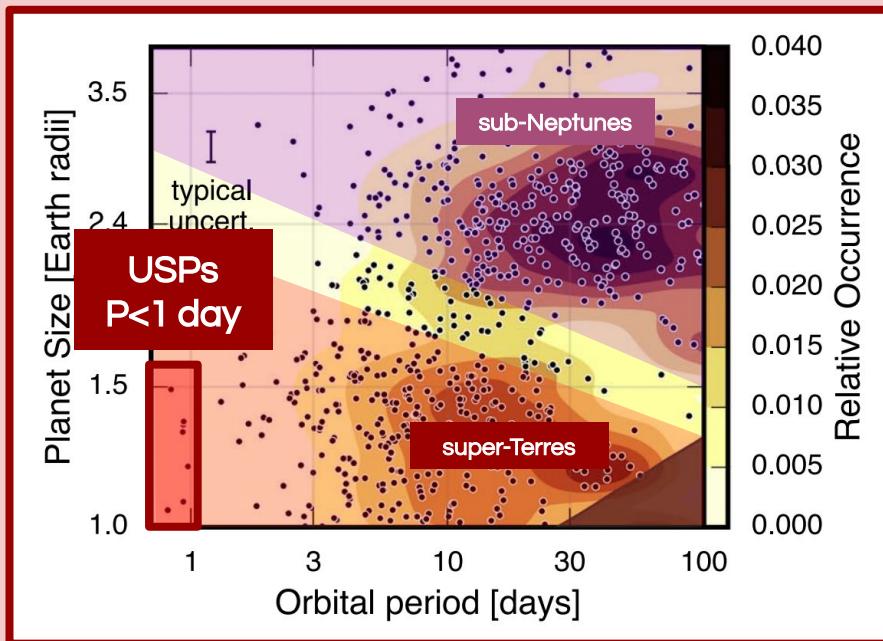
From Burn + 2024



E.g. Lopez & Fortney+2013, Owen & Wu+2013,  
Gupta & Schlichting+2019

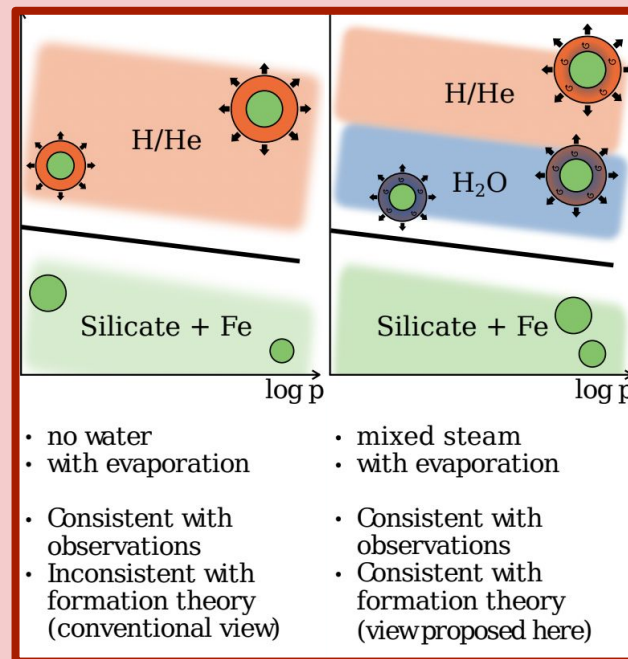
# Planètes avec Période Orbitale Ultra-Courte (USP)

Fulton & Petigura + 2018



e.g. Batalha+2013, Fulton & Petigura +2018,  
Ho & Van Eylen+2023

From Burn + 2024



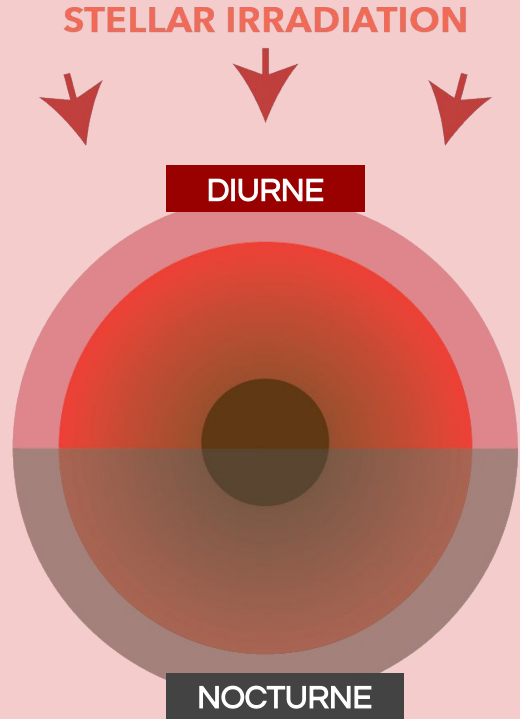
E.g. Lopez & Fortney+2013, Owen & Wu+2013,  
Gupta & Schlichting+2019

# **Le caractère 3D des planètes à courte période orbitale**

# Le caractère 3D des planètes à courte période orbitale



**Rotation Synchrone**  
Côté **diurne** and nocturne  
permanent



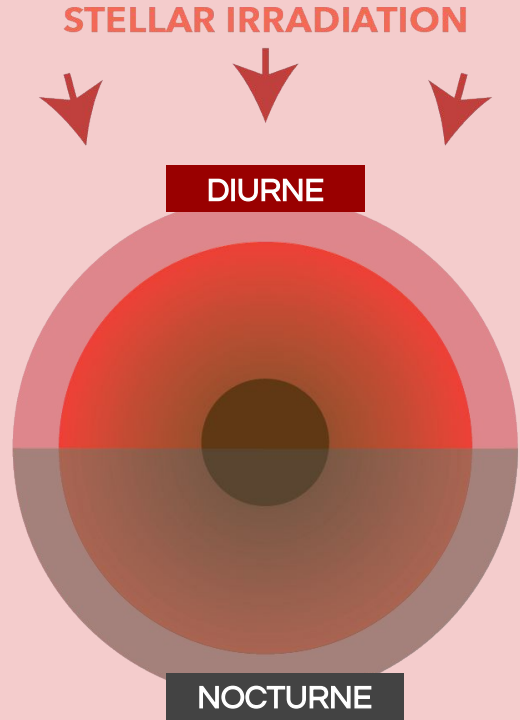
# Le caractère 3D des planètes à courte période orbitale



**Rotation Synchrone**  
Côté **diurne** and nocturne  
permanent



**Côté Diurne Brûlant**  
Radiation stellaire  
intense  $T > 1500K$





# Le caractère 3D des planètes à courte période orbitale



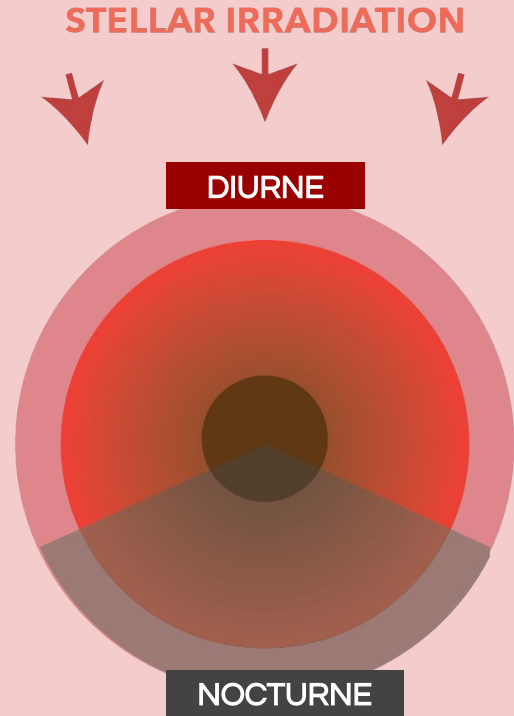
**Rotation Sychrone**  
Côté **diurne** and nocturne  
permanent



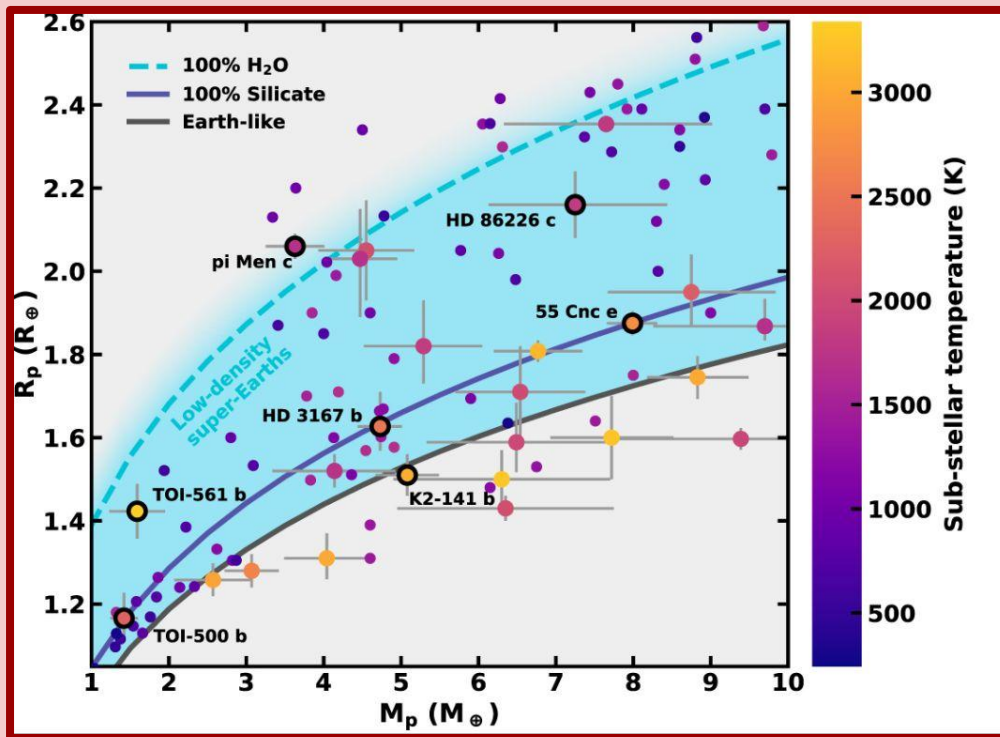
**Côté Diurne Brûlant**  
Radiation stellaire  
intense  $T > 1500K$



**Illumination  $> 90^\circ$**   
Hémisphère bonnet  
nocturne frisquet



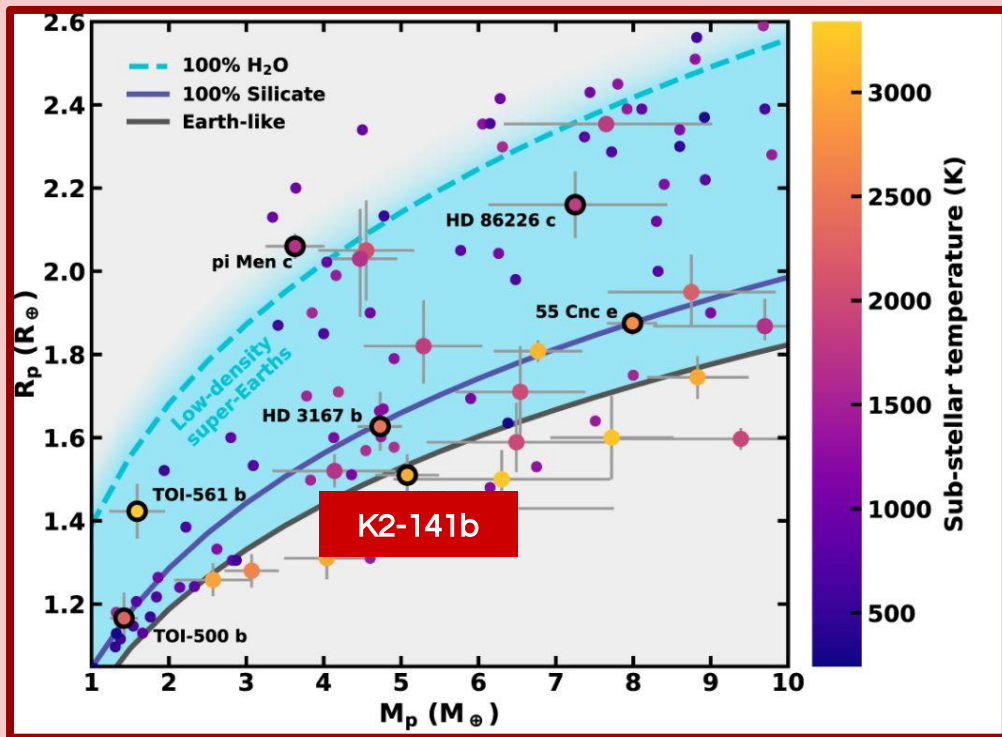
# Planètes de lave (2000-3000K)



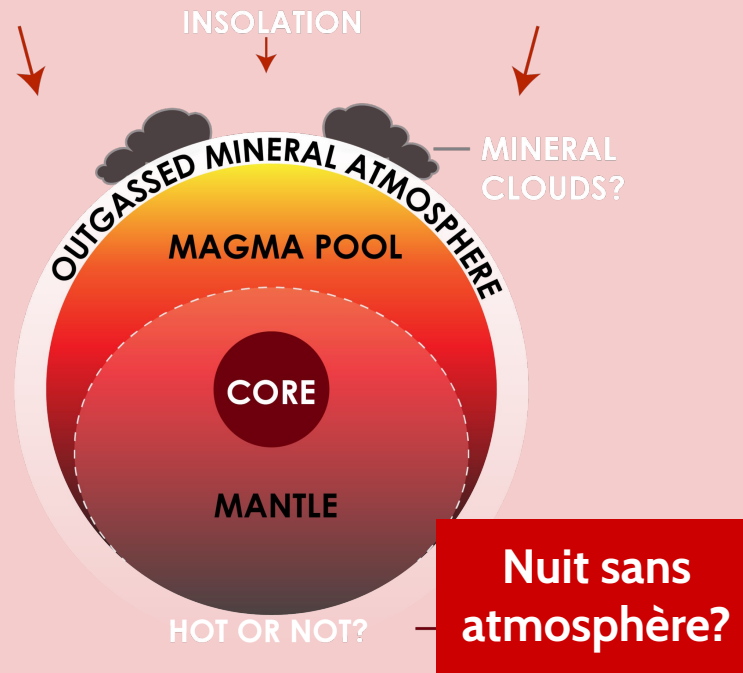
Piette, Gao, Brugman, et al. 2023

e.g. Kite+2016, Chao+2021, Boukaré+2022

# Planètes de lave (2000-3000K)

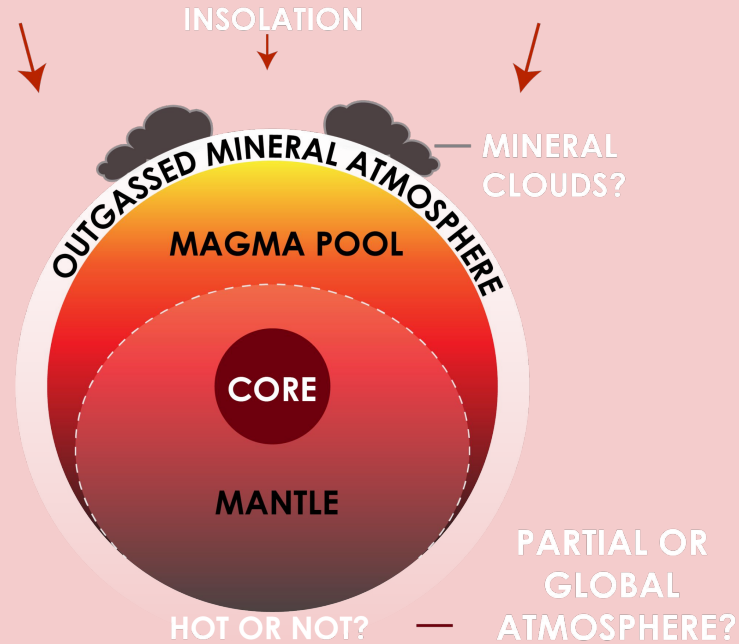


Piette, Gao, Brugman, et al. 2023



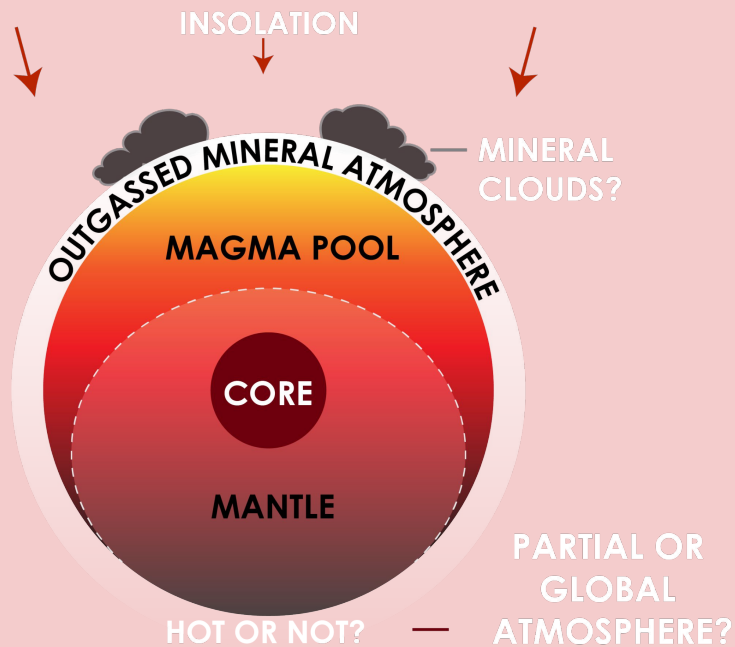
e.g. Kite+2016, Chao+2021, Boukaré+2022

# Démystifier la nature des planètes de lave avec K2-141b?



# Démystifier la nature des planètes de lave avec K2-141b?

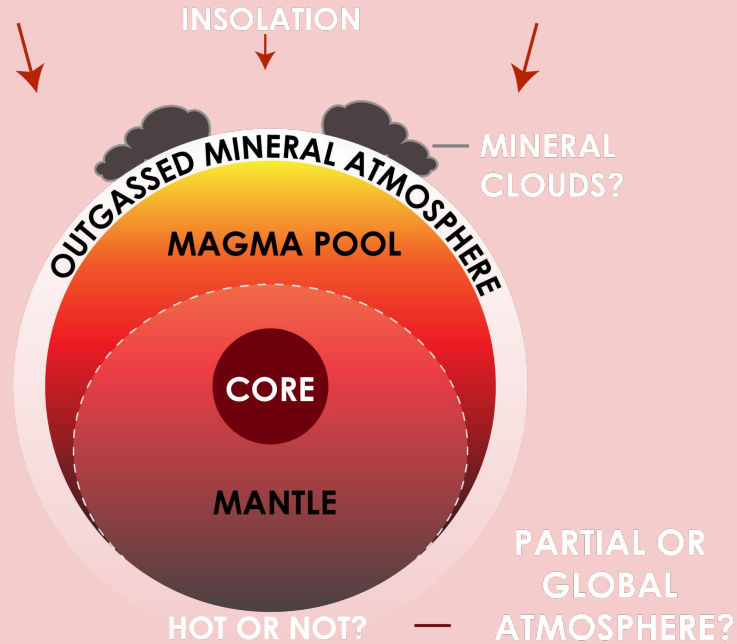
Ont-elles une atmosphère globale ou une atmosphère partielle?



# Démystifier la nature des planètes de lave avec K2-141b?

Ont-elles une atmosphère globale ou une atmosphère partielle?

Ont-elles un océan de lave profond ou un bassin de lave superficiel?

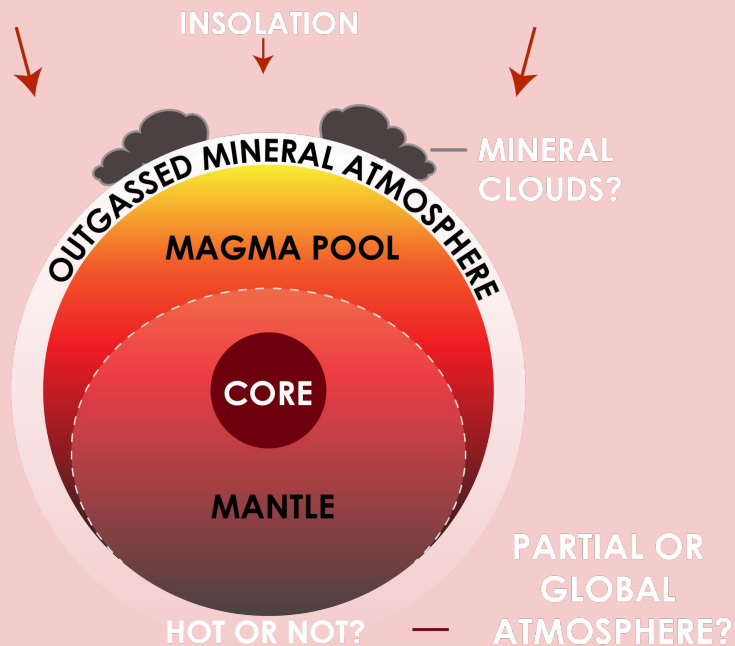


# Démystifier la nature des planètes de lave avec K2-141b?

Ont-elles une atmosphère globale ou une atmosphère partielle?

Ont-elles un océan de lave profond ou un bassin de lave superficiel?

Quelle est la composition de leur atmosphère?

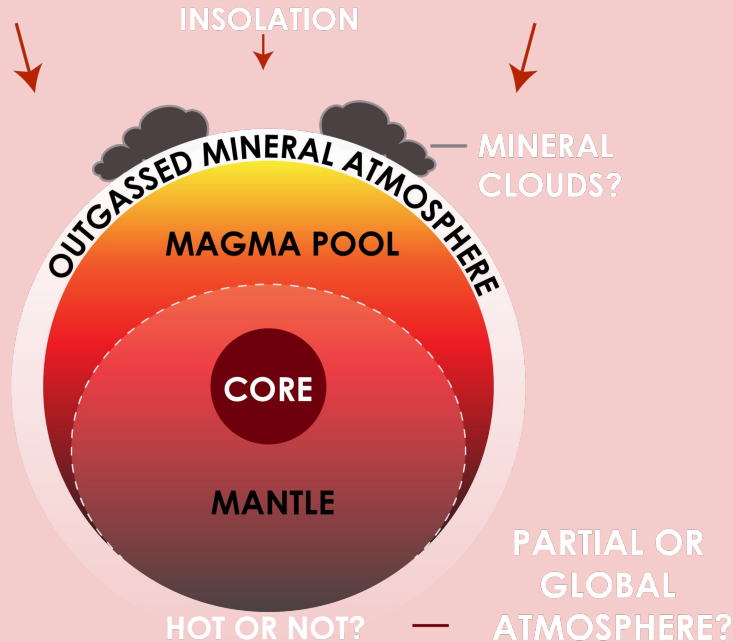


# Démystifier la nature des planètes de lave avec K2-141b?

Ont-elles une atmosphère globale ou une atmosphère partielle?

Ont-elles un océan de lave profond ou un bassin de lave superficiel?

Quelle est la composition de leur atmosphère?



## Planète

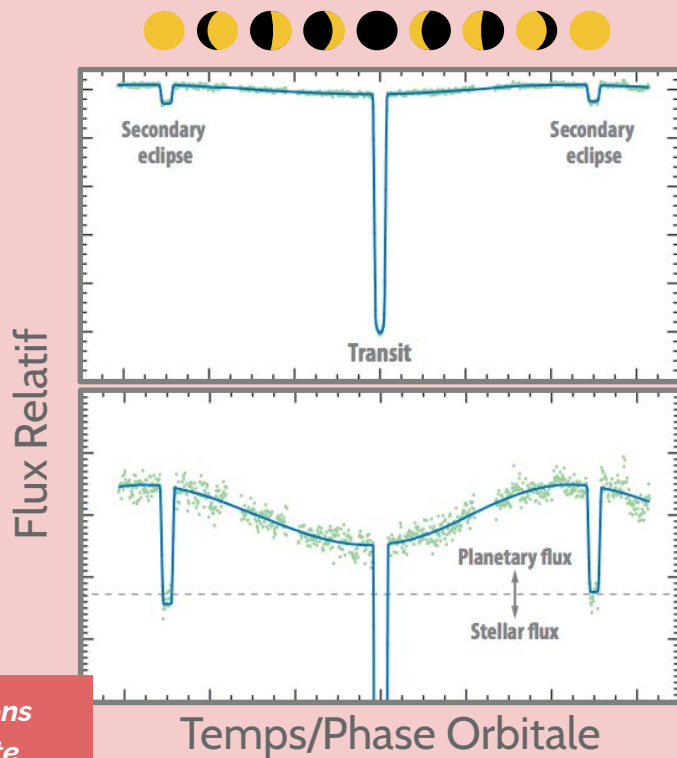
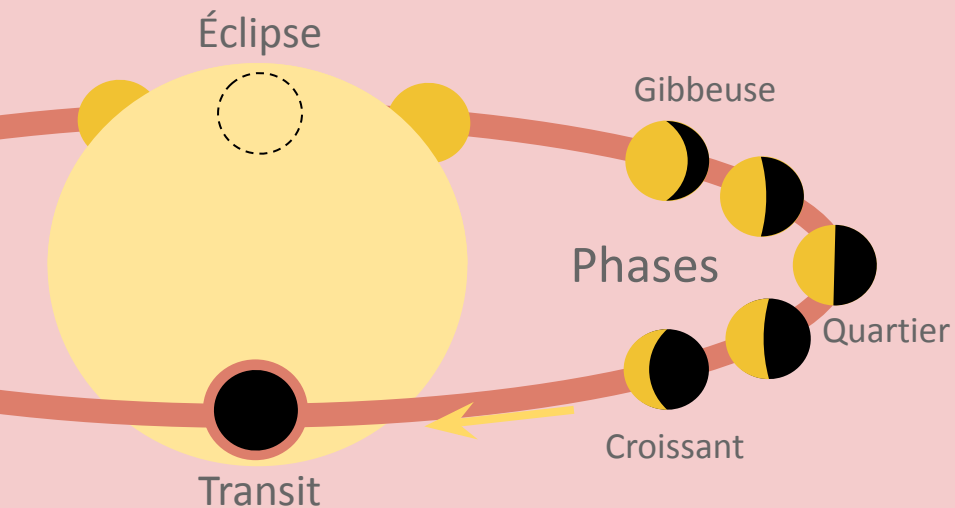
$$R_p = 1.51 R_{\text{Terre}}$$
$$M_p = 5.08 M_{\text{Terre}}$$
$$\rho_p = 8.2 \text{ g/cm}^3$$
$$P_{\text{orb}} = 6.7 \text{ heures}$$
$$a/R_{\text{étoile}} = 2.2$$

## Étoile

$$\text{Type} = \text{K7 V}$$
$$R_{\text{étoile}} = 0.681 R_{\text{sol}}$$
$$M_{\text{étoile}} = 0.708 M_{\text{sol}}$$
$$T_{\text{étoile}} = 4570 \text{ K}$$
$$P_{\text{rot}} = 15.17 \text{ jours}$$



# Courbe de phase des planètes à courte période orbitale

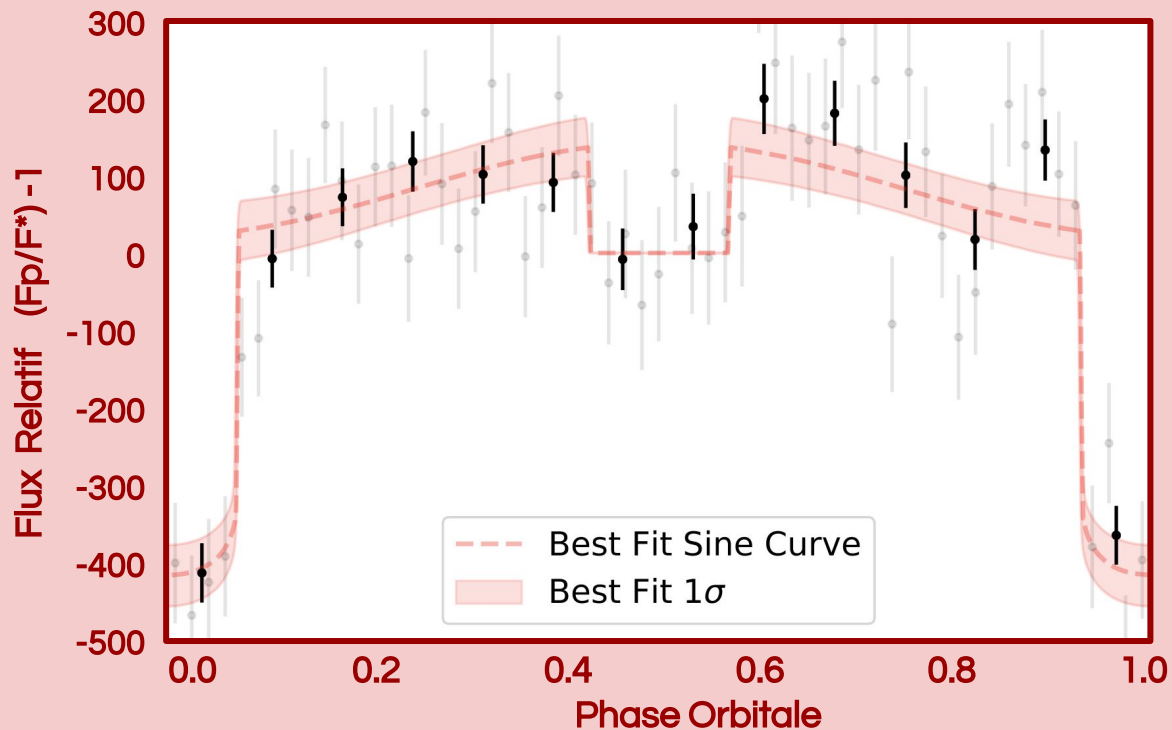


Knutson et al. (2012)

*Les courbes de phases sont riches en informations car nous pouvons voir l'atmosphère de la planète dans son ensemble plutôt que seulement son côté jour ou le terminator de l'atmosphère*

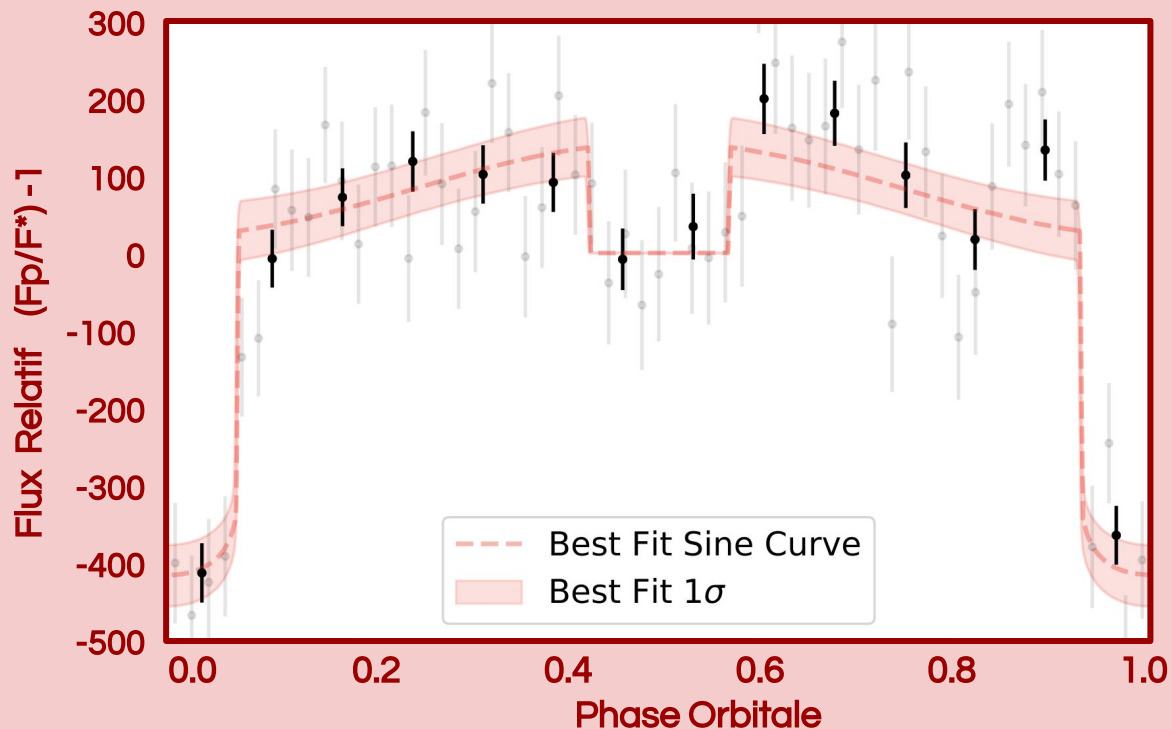
# Pas d'atmosphère épaisse sur K2-141b

Zieba, Zilinskas, Kreidberg, Nguyen et al. 2022



# Pas d'atmosphère épaisse sur K2-141b

Zieba, Zilinskas, Kreidberg, Nguyen et al. 2022



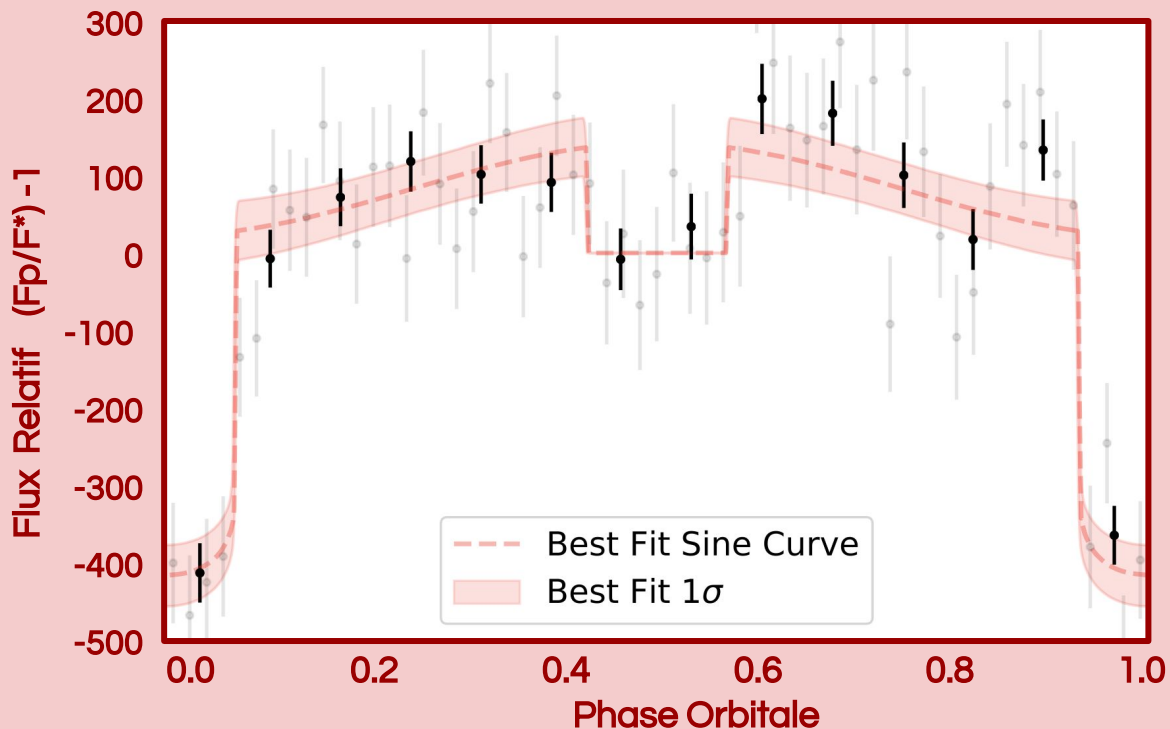
Amplitude large

Pas de déphasage important

$T_{\text{noct}} < 1712 \text{ K at } 2\sigma$

# Pas d'atmosphère épaisse sur K2-141b

Zieba, Zilinskas, Kreidberg, Nguyen et al. 2022



Amplitude large

Pas de déphasage important

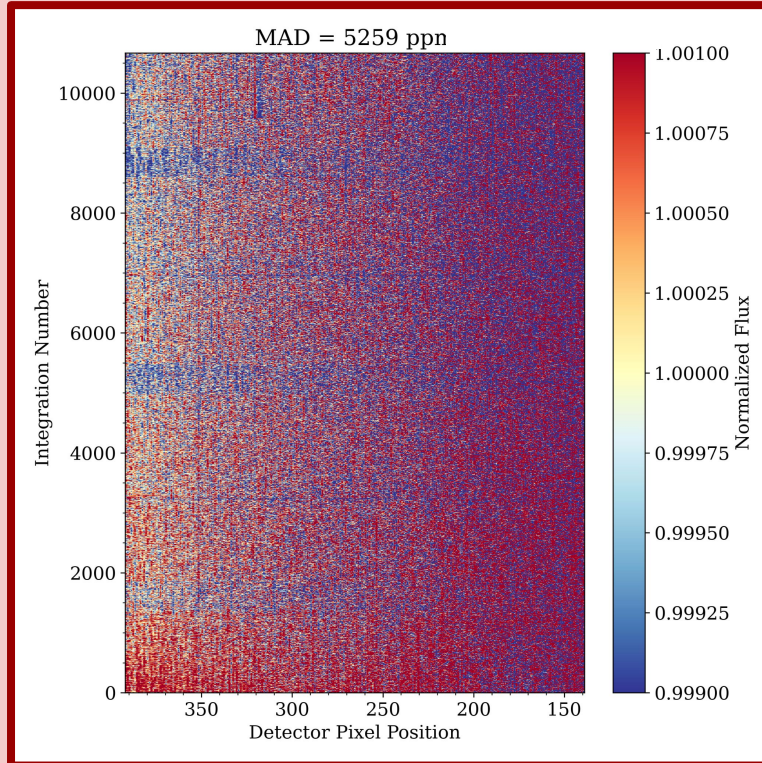
$T_{\text{noct}} < 1712 \text{ K at } 2\sigma$

Contrainte nocturne  
suffisamment large  
pour permettre une  
surface fondue

Boukaré et al  
(en cours de révision)

# La courbe de phase d'enfer de K2-141b avec MIRI LRS

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)



JWST GO 2347  
PI Dang

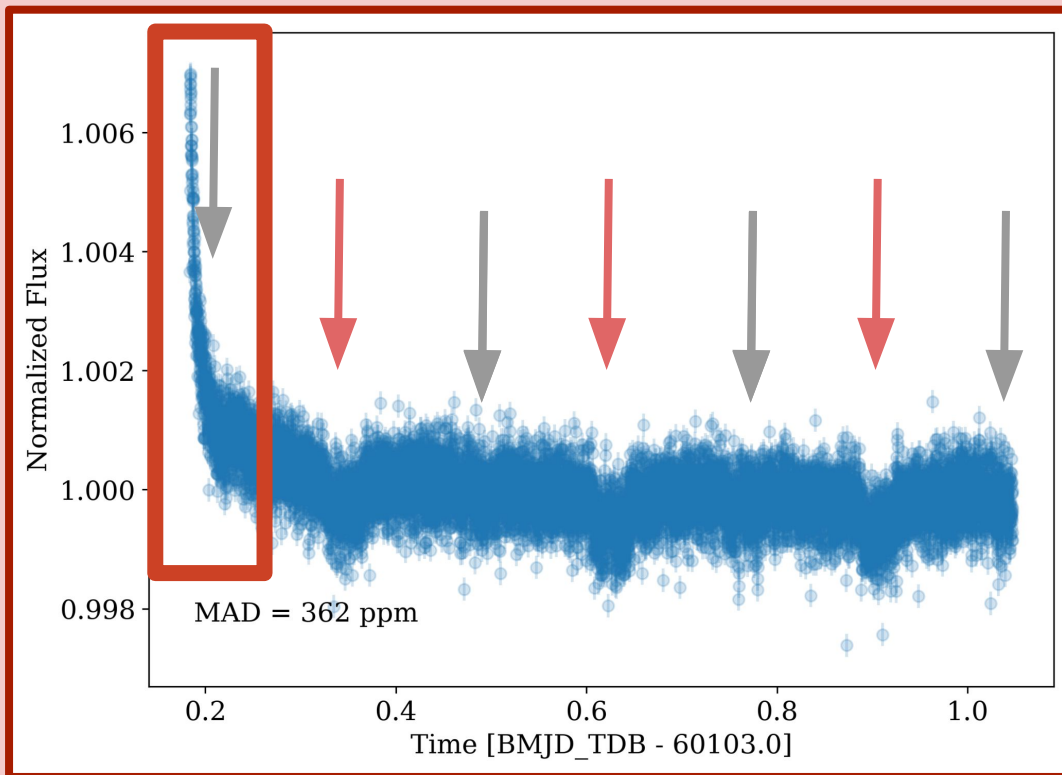
20 heures d'observations en  
continue avec  
MIRI LRS  
5-12 microns

3 transits  
3.5 éclipses

Bruit instrumental important  
au début des observations

# Une courbe de phase d'enfer!

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)



JWST GO 2347  
PI Dang

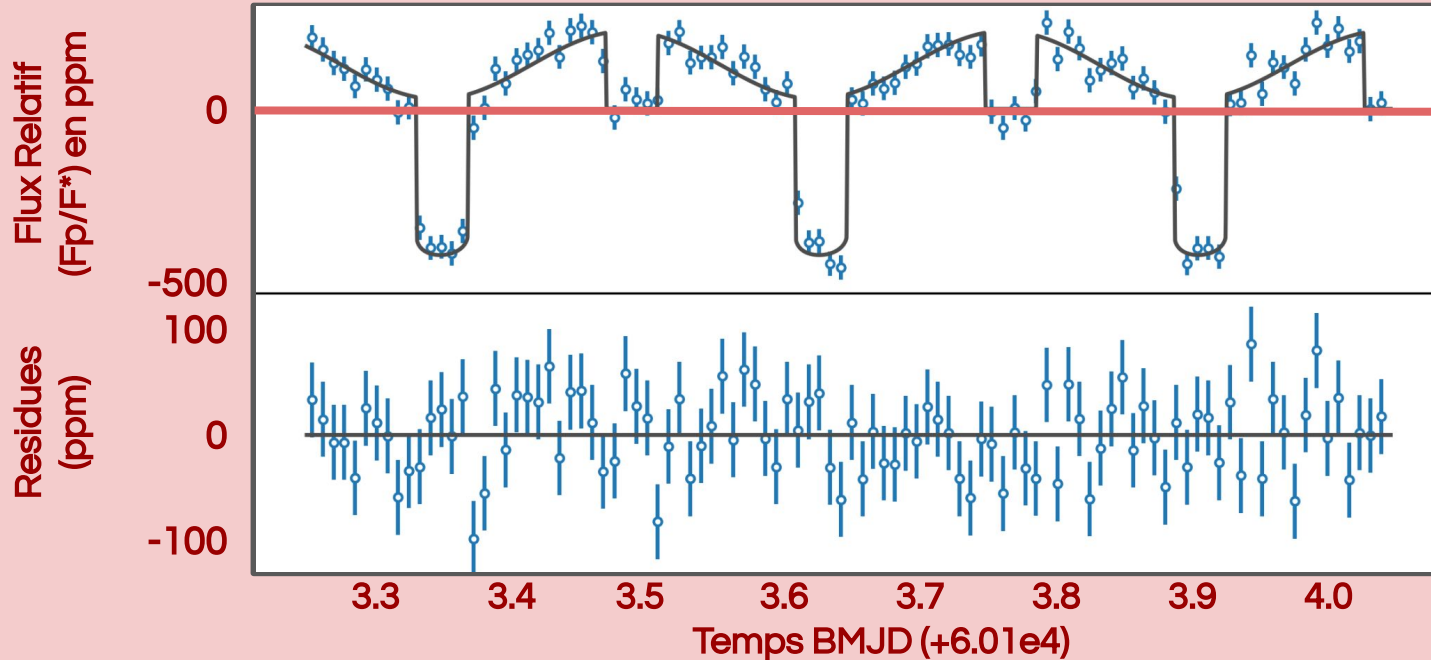
20 heures d'observations en  
continue avec  
MIRI LRS  
5-12 microns

3 transits  
3.5 éclipses

Bruit instrumental important  
au début des observations

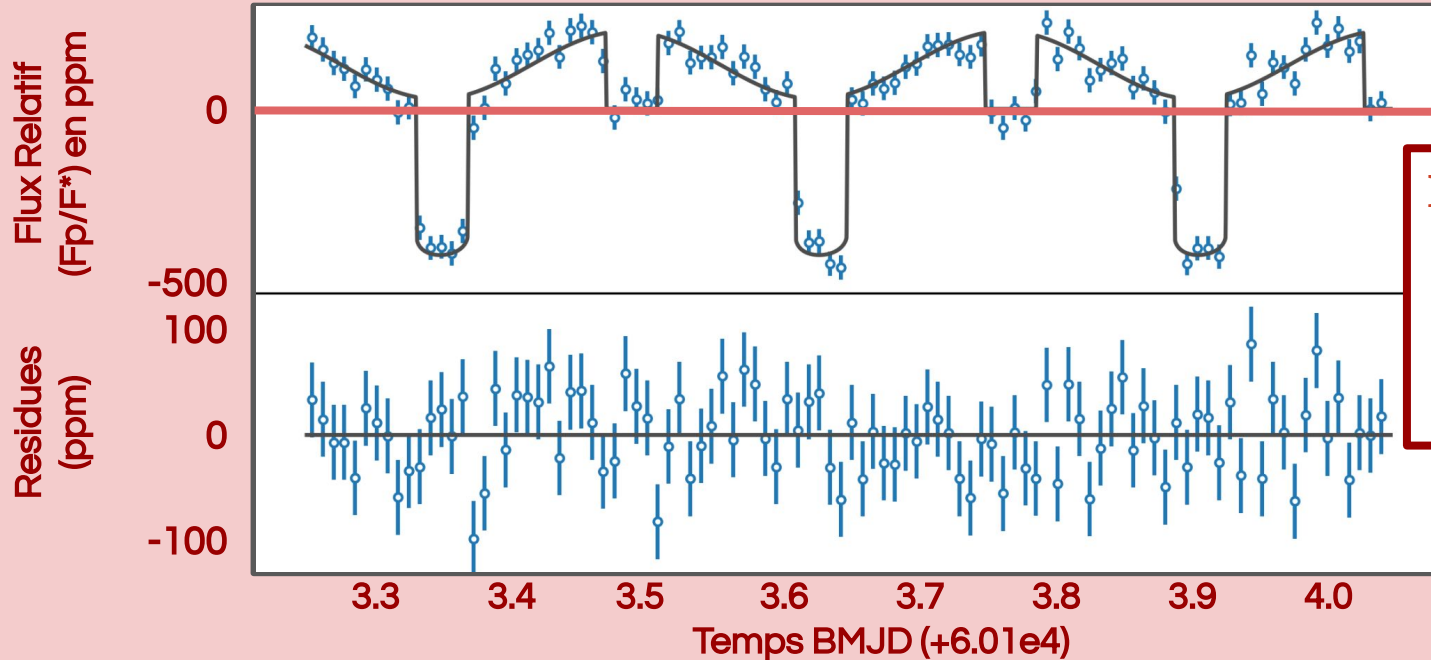
# Une courbe de phase d'enfer! (6-10 micron)

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)



# Une courbe de phase d'enfer! (6-10 micron)

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)



Large amplitude  
No Significant  
Offset  
  
Cold nightside





# Courbe de phase spectroscopique

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)

**Temperature diurne**

~2650 K

**Temperature nocturne**

~ 750 K

**Bond albedo [0,1]**

~ -0.2

**Efficacité de redistribution  
de chaleur [0,1]**

~ 0.01



# Courbe de phase spectroscopique

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)

Temperature diurne

~2650 K

Temperature nocturne

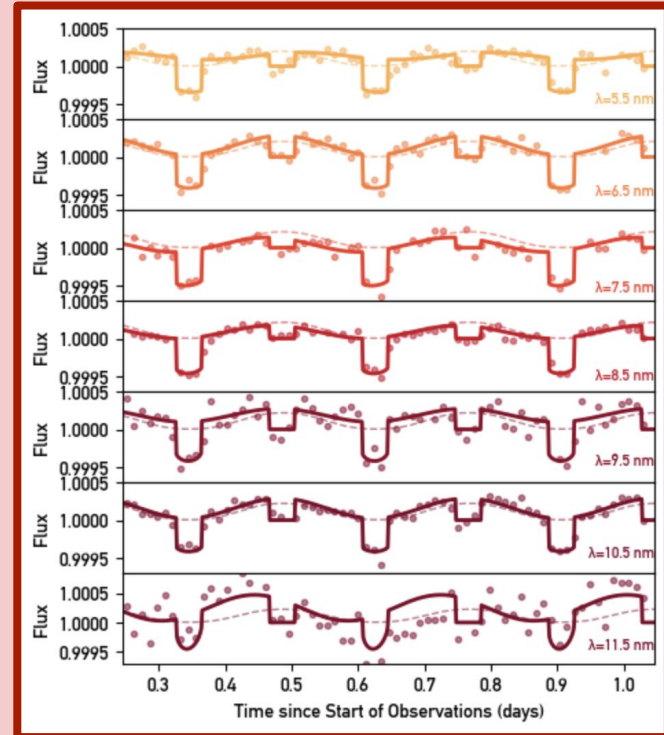
~ 750 K

Bond albedo [0,1]

~ -0.2

Efficacité de redistribution  
de chaleur [0,1]

~ 0.01



# Courbe de phase spectroscopique

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)

Temperature diurne

~2650 K

Temperature nocturne

~ 750 K

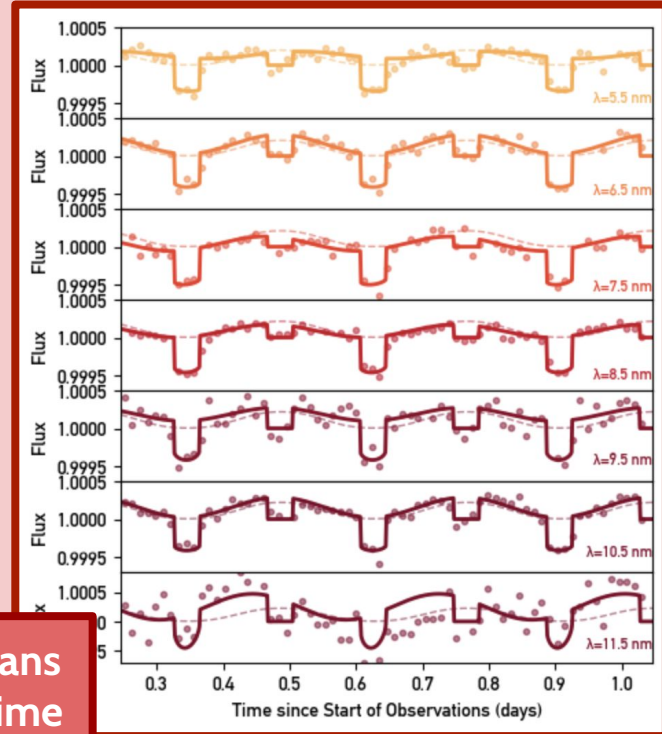
Bond albedo [0,1]

~ -0.2

Efficacité de redistribution  
de chaleur [0,1]

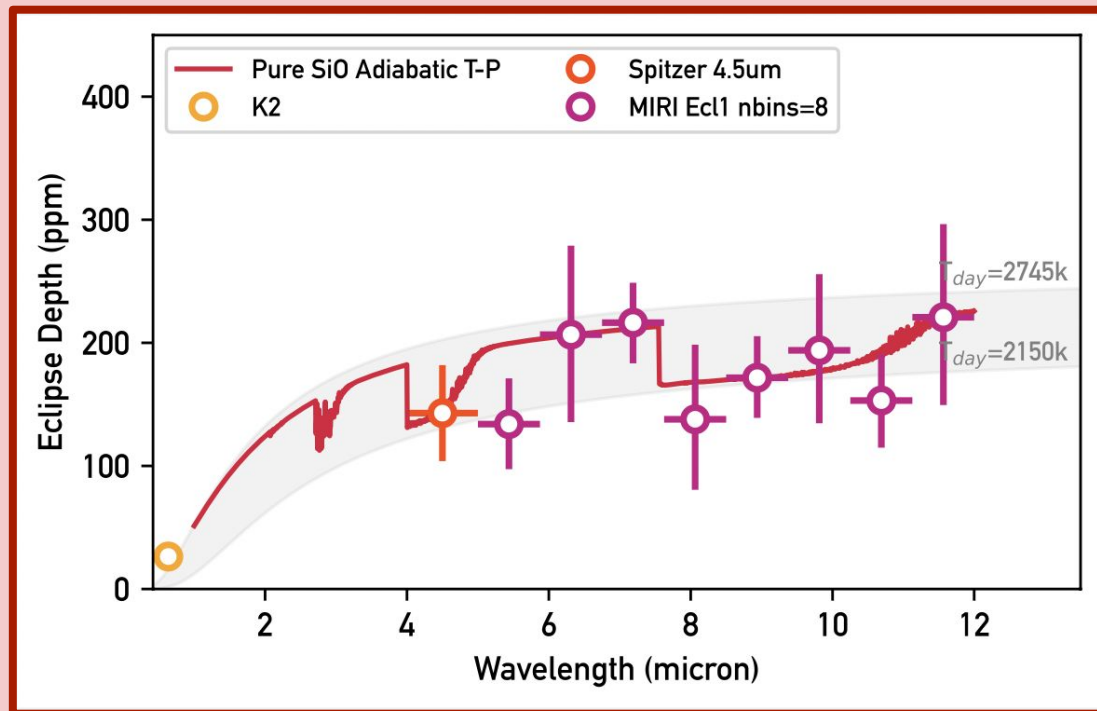
~ 0.01

Modèles de planète sans  
atmosphère sous-estime  
l'émission nocturne ?



# Spectre d'émission du côté diurne

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)

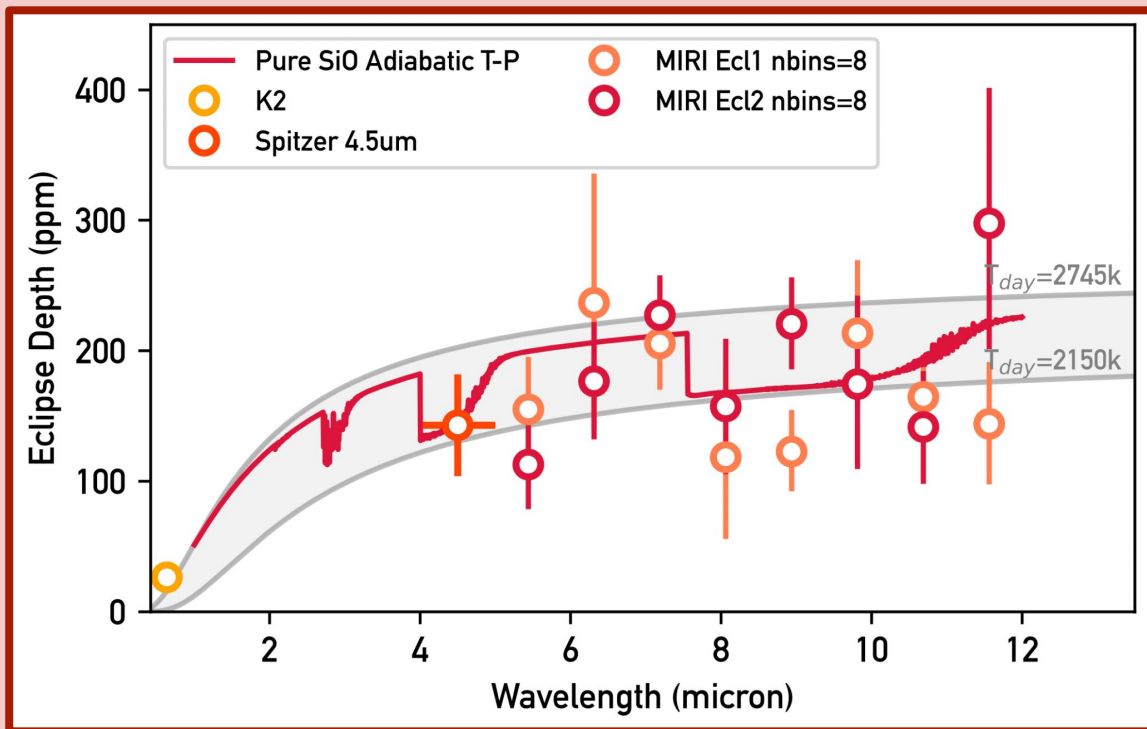


Consistent avec les  
éclipses de  
Spitzer & K2

Monoxide de Silicon  
(SiO)??

# Variabilité dans les spectres d'émission?

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)

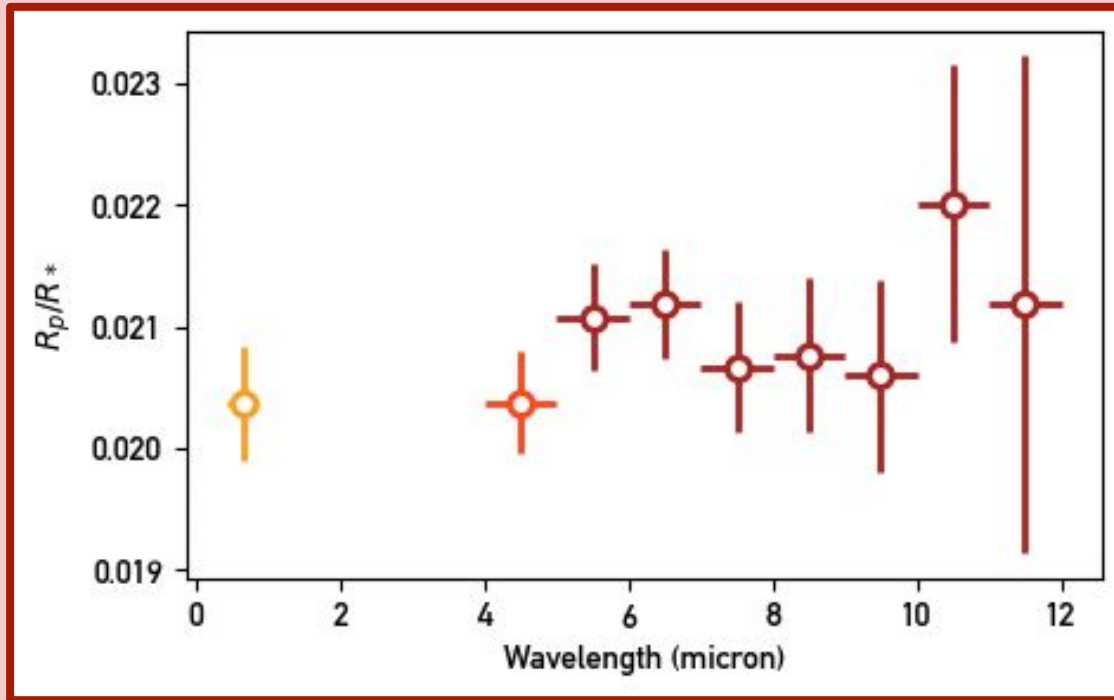


Pas de variabilité  
significative

À chacune des  
longueurs d'onde la  
profondeur des  
éclipses sont  
consistant à  $1\sigma$

# Spectre de Transmission de K2-141b

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (en prep)



**EST-CE PLAT?**

**À déterminer!**

# Conclusion



La plupart des Terres chaudes ont probablement perdu leur atmosphère, mais les planètes de lave les plus chaudes offrent une opportunité unique de sonder une atmosphère minérale dégazée.

Nous présentons la courbe de phase MIRI LRS du K2-141b

- grande amplitude de la courbe de phase
- pas de décalage de point chaud significatif
- Une émission nocturne ?
- Quelques caractéristiques dans le spectre d'émission diurne, peut-être SiO ?
- pas de variabilité significative de l'éclipse

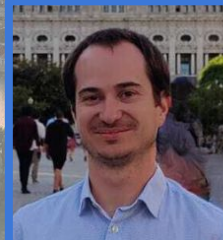
**GRAND MERCI À MES COLLABORATRICES ET COLLABORATEURS**

*Sebastian Zieba, Giang Nguyen, Christiaan Van Buchem, Mantas Zilinskas, Nicolas Cowan  
Yamila Miguel, Laura Kreidberg, Roxana Lupu, Mark Hammond, Neil Lewis, Raymond Pierrehumbert*

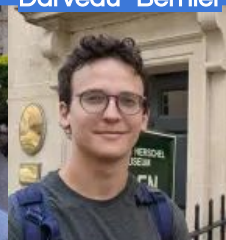
# Exoclines VII Summer 2025 in Montreal!



Romain Allart



Antoine  
Darveau- Bernier



Nathalie N-Q  
Ouellette



René Doyon



Institut Trottier  
de recherche sur  
les exoplanètes

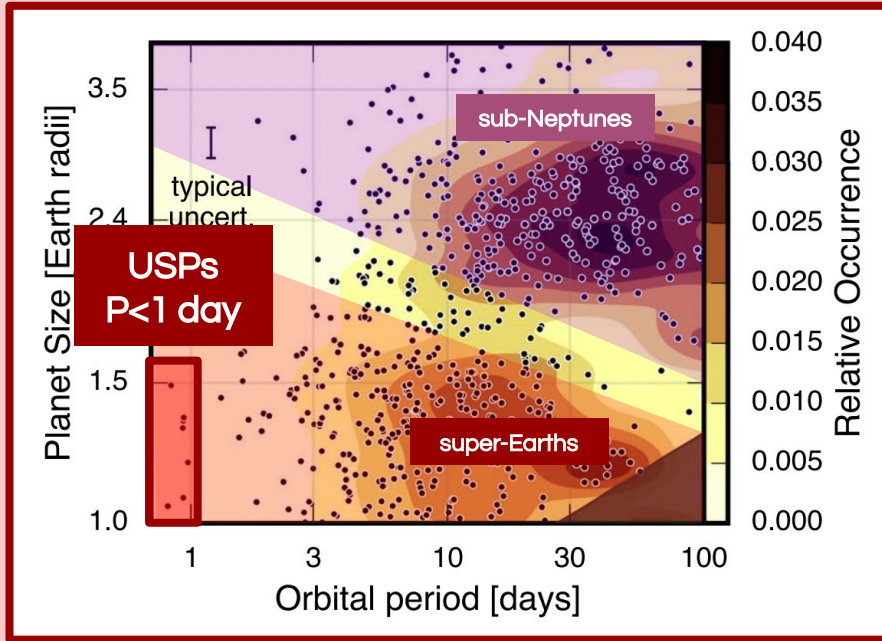
Trottier Institute  
for Research  
on Exoplanets

Université   
de Montréal et du monde.



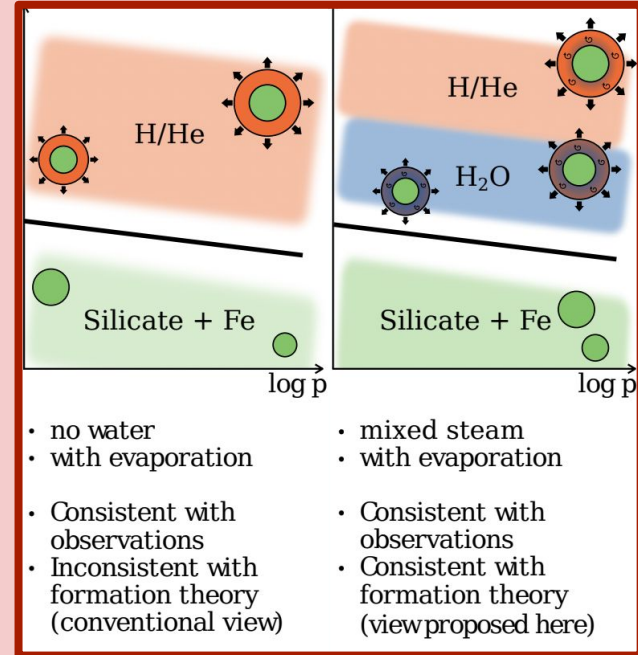
# Rocky Ultra-Short-Period (USP) Planets

From Fulton & Petigura + 2018



e.g. Batalha+2013, Fulton & Petigura +2018,  
Ho & Van Eylen+2023

From Burn + 2024



E.g. Lopez & Fortney+2013, Owen & Wu+2013,  
Gupta & Schlichting+2019

# 3D-ness of Short-Period Planets



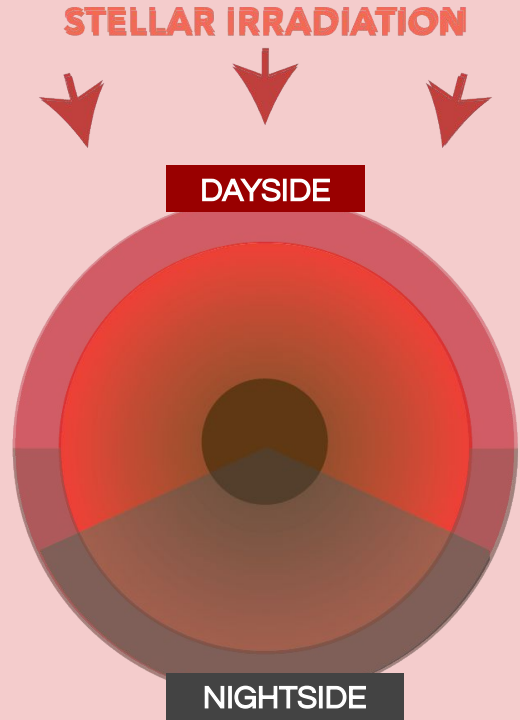
**Synchronously Rotating**  
Permanent  
**Dayside** and **Nightside**



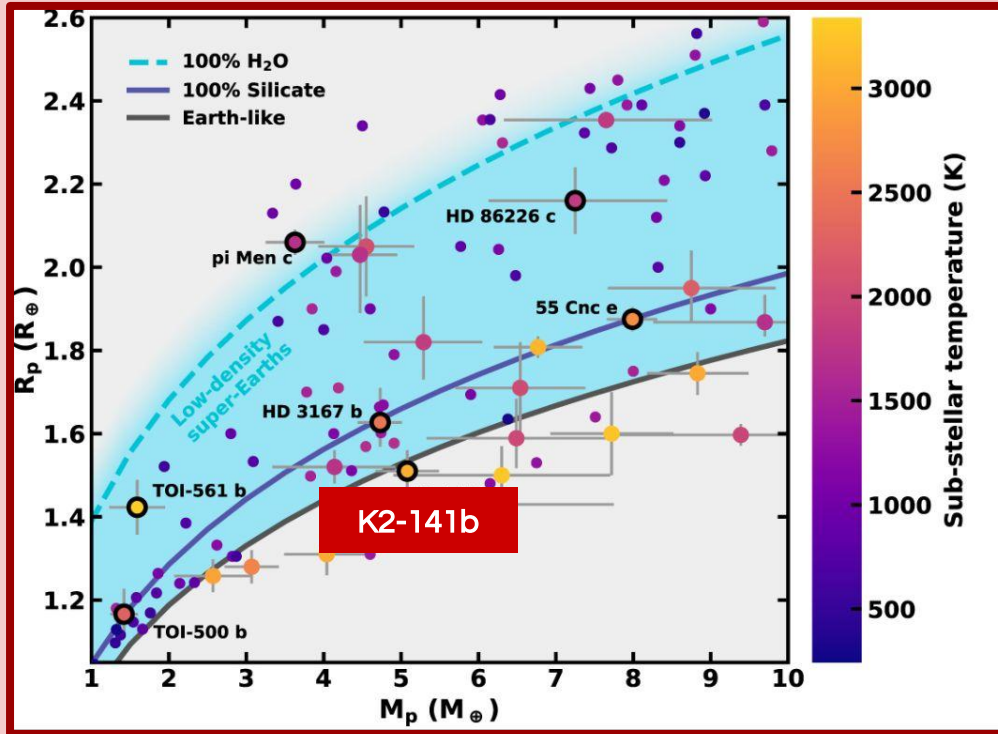
**Hot Daysides**  
Blasted with Stellar  
Irradiation  $T > 1500\text{K}$



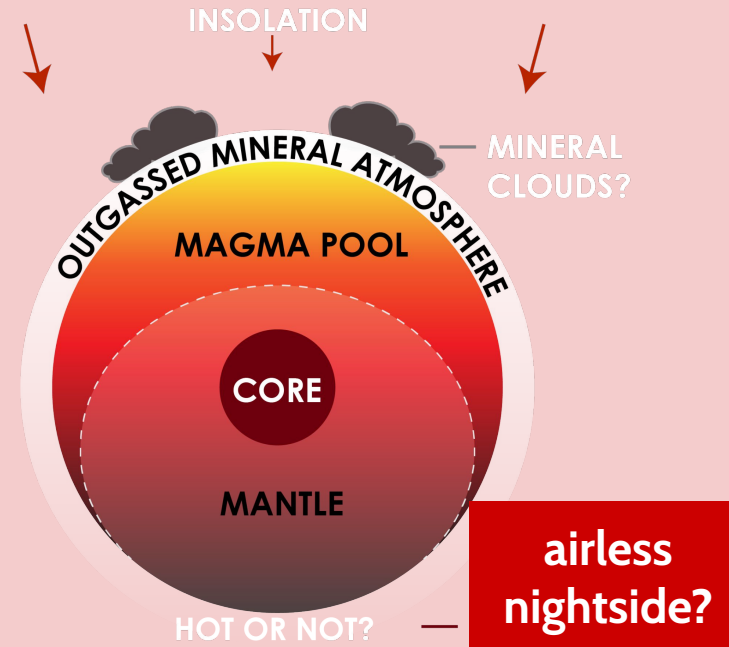
**Illuminated Beyond  $90^\circ$**   
Frigid Nightside  
**Hemisphere Cap**



# Lava Worlds (2000-3000K)



from Piette, Gao, Brugman, et al. 2023



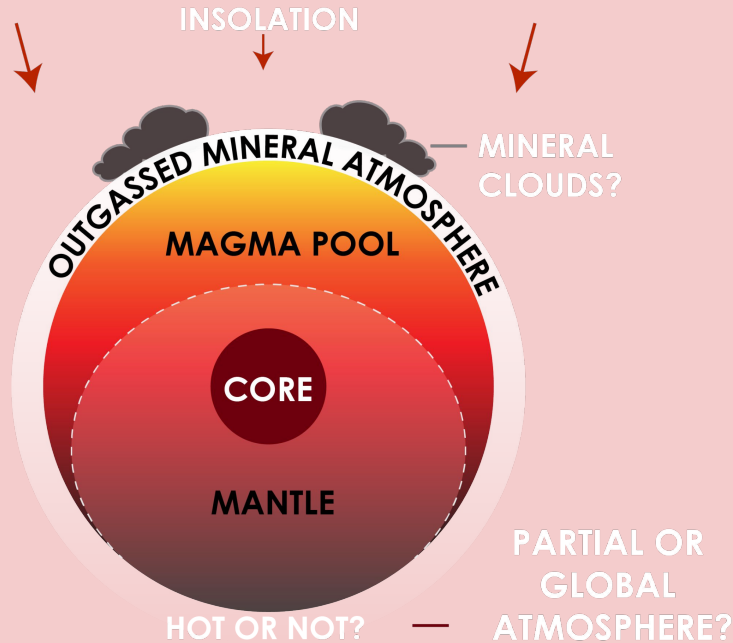
e.g. Kite+2016, Chao+2021, Boukaré+2022

# Answering Unknowns of Lava Planets with K2-141b?

Do they have a global atmosphere or partial atmosphere?

Do they have a shallow magma pool or deep magma ocean?

What's the composition of their atmosphere?



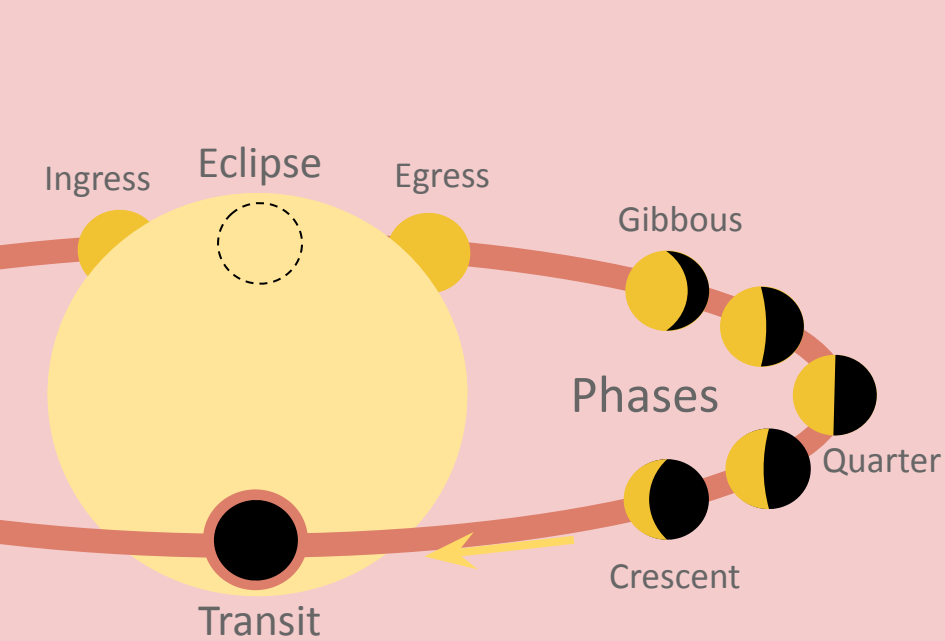
## Planet

$$\begin{aligned} R_p &= 1.51 R_{\text{earth}} \\ M_p &= 5.08 M_{\text{earth}} \\ \rho_p &= 8.2 \text{ g/cm}^3 \\ P_{\text{orb}} &= 6.7 \text{ hours} \\ a/R_{\text{star}} &= 2.2 \end{aligned}$$

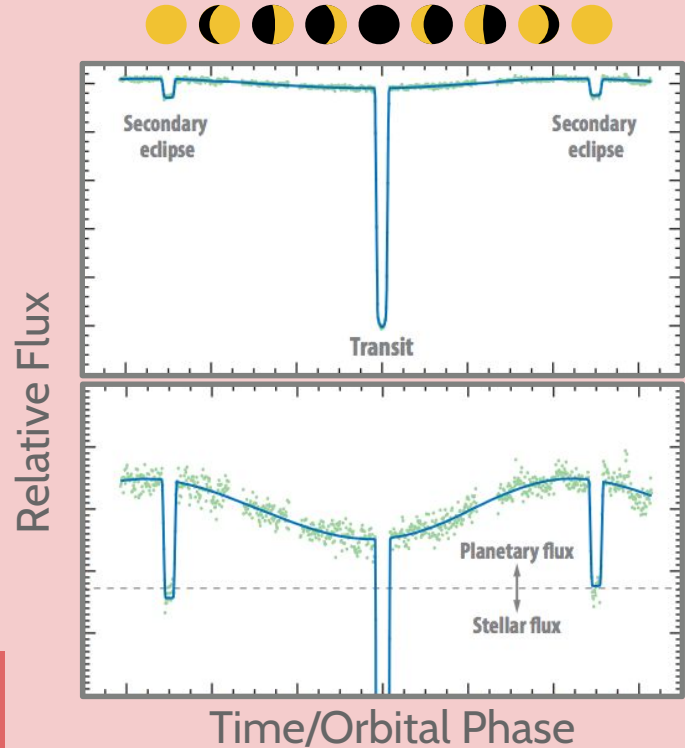
## Star

$$\begin{aligned} \text{Stellar Type} &= \text{K7 V} \\ R_{\text{star}} &= 0.681 R_{\text{sun}} \\ M_{\text{star}} &= 0.708 M_{\text{sun}} \\ T_{\text{star}} &= 4570 \text{ K} \\ P_{\text{rot}} &= 15.17 \text{ days} \end{aligned}$$

# Phase Curve of Close-in Exoplanets



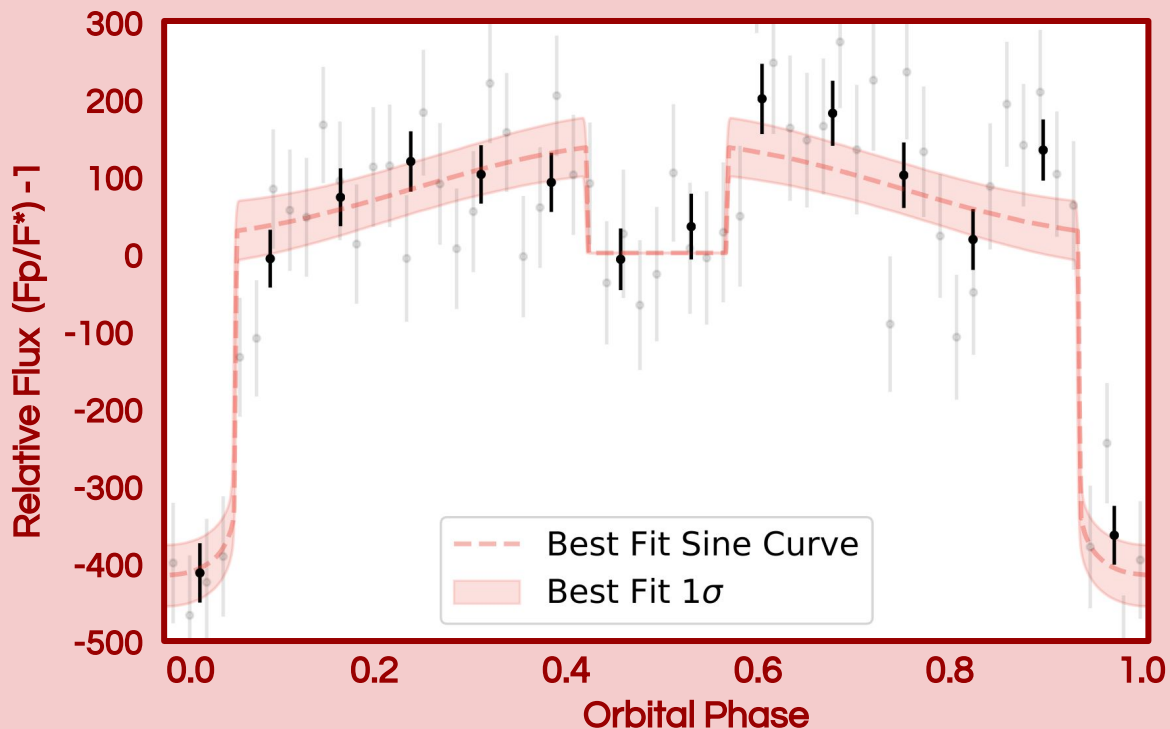
*Phase curves are rich in information as we get to see the planet's atmosphere as a whole as opposed to only its dayside or limb*



Knutson et al. (2012)

# No Thick Atmosphere on K2-141b

Zieba, Zilinskas, Kreidberg, Nguyen et al. 2022



Large Amplitude

No offset

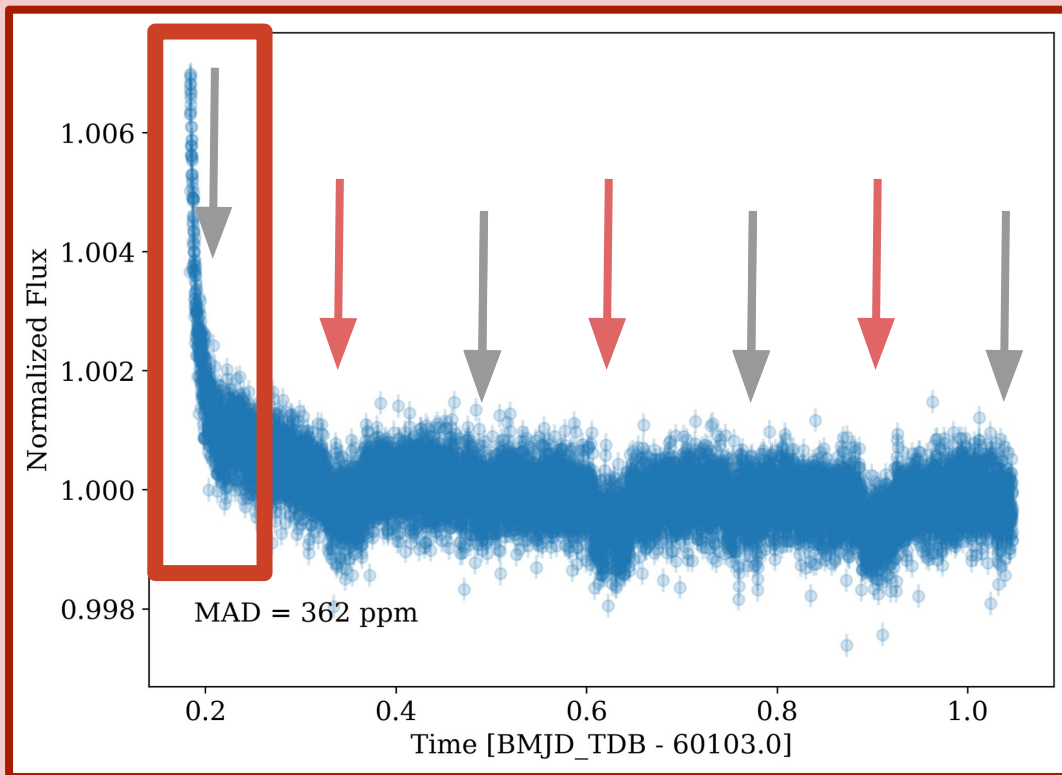
$T_{\text{night}} < 1712 \text{ K at } 2\sigma$

Nightside constraint  
sufficiently lax to allow  
for a mushy or  
molten surface

Boukaré et al (in review)

# A Hell of a Phase Curve!

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (in prep)



JWST GO 2347  
PI Dang

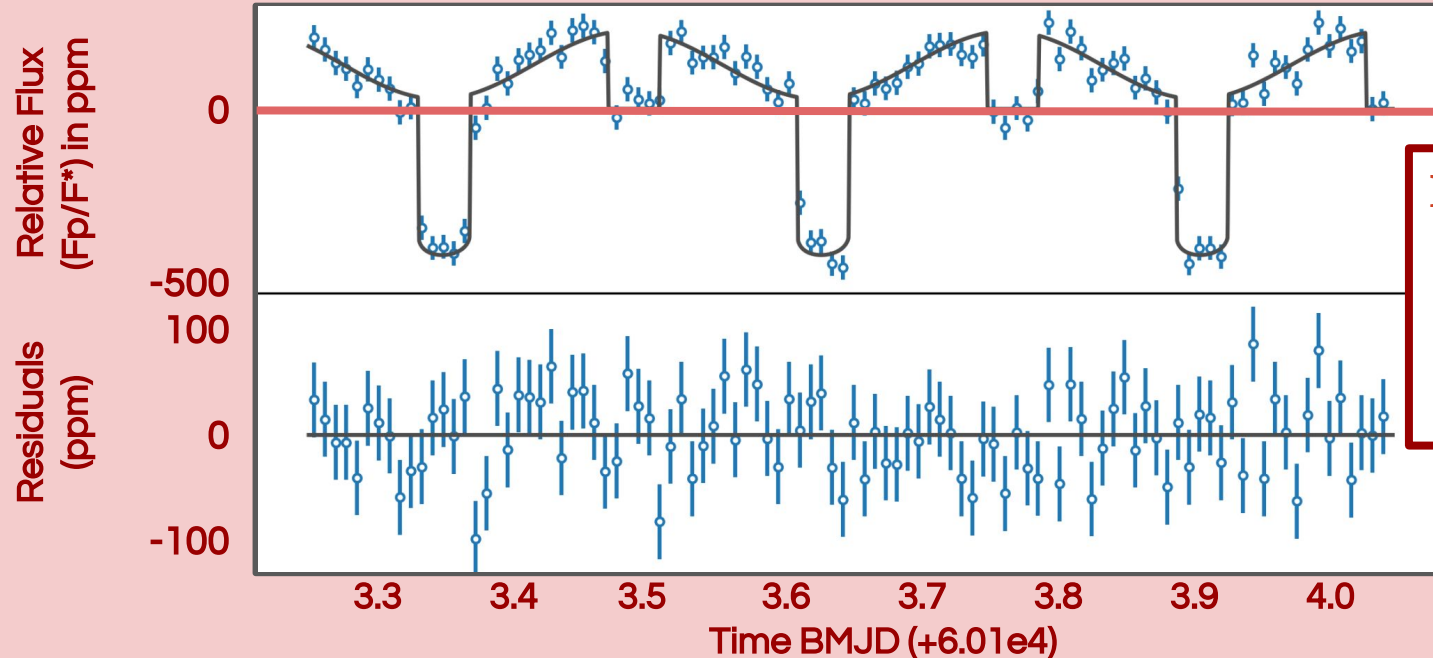
20 hours continuously  
with MIRI LRS  
5-12 microns

3 transits  
3.5 eclipses

Large systematics at  
the beginning of the  
observations

# A Hell of a Phase Curve! White Light Curve (6-10 micron)

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (in prep)



Large amplitude  
No Significant  
Offset

Cold nightside





# Spectroscopic Phase Curve

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (in prep)

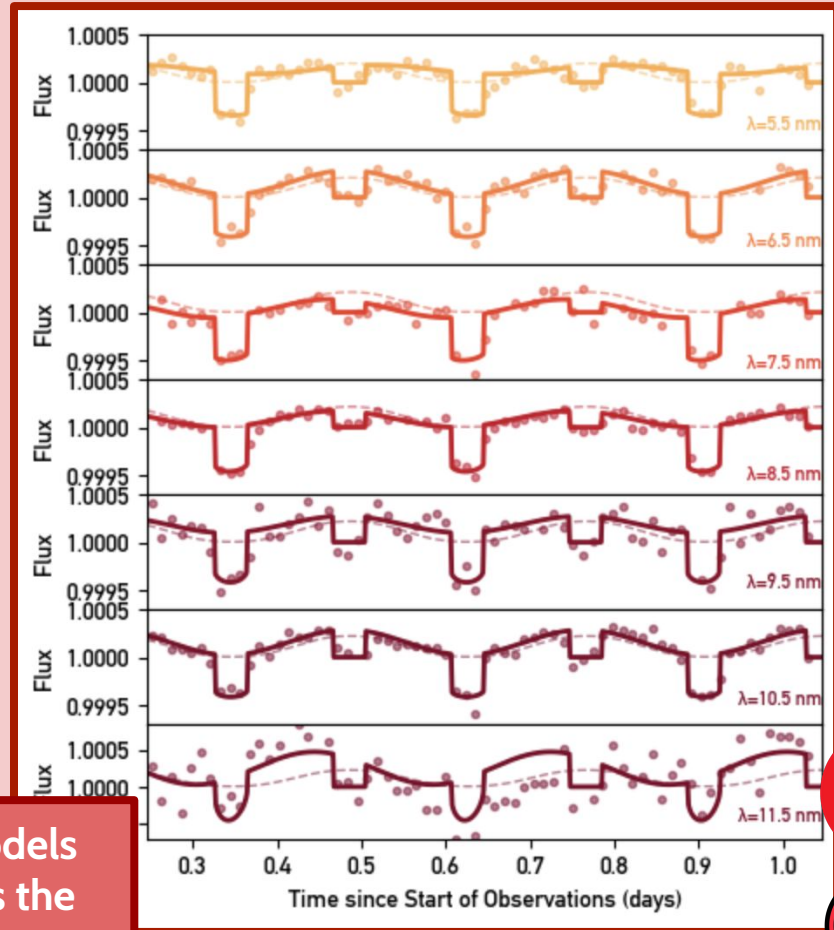
Dayside Temperature  
~2650 K

Nightside Temperature  
~ 750 K

Bond albedo  
~ -0.2

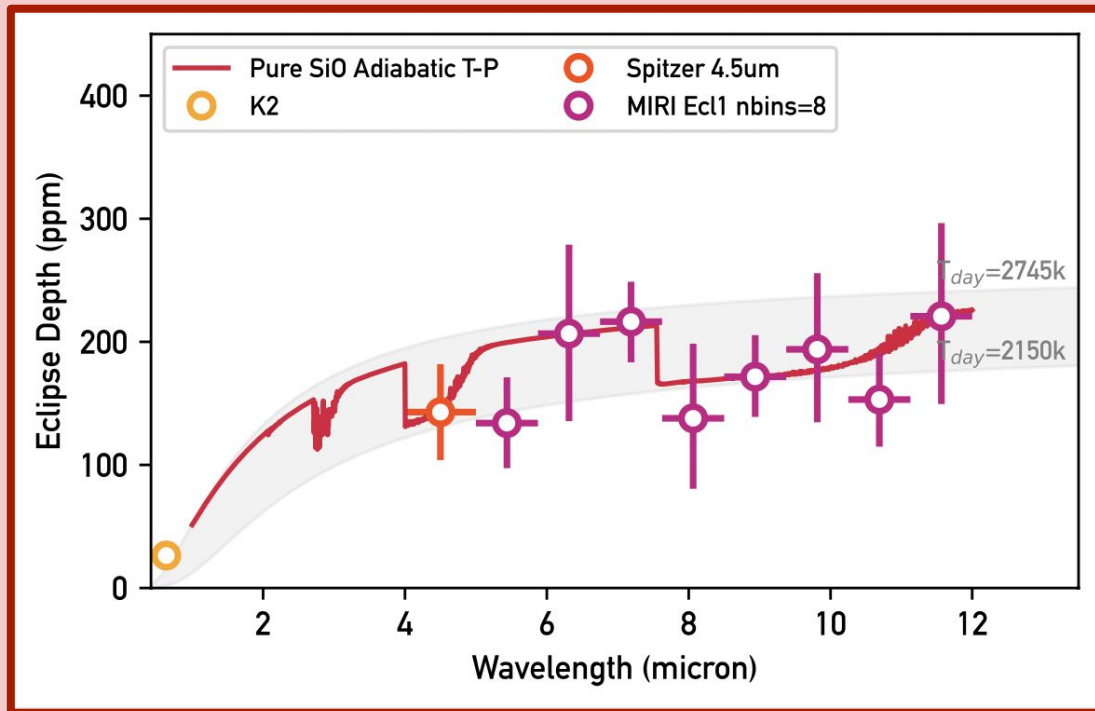
Poor Heat Recirculation  
~ 0.01

Bare Rock Models  
underpredicts the  
nightside emission?



# Dayside Emission Spectrum of K2-141b

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (in prep)

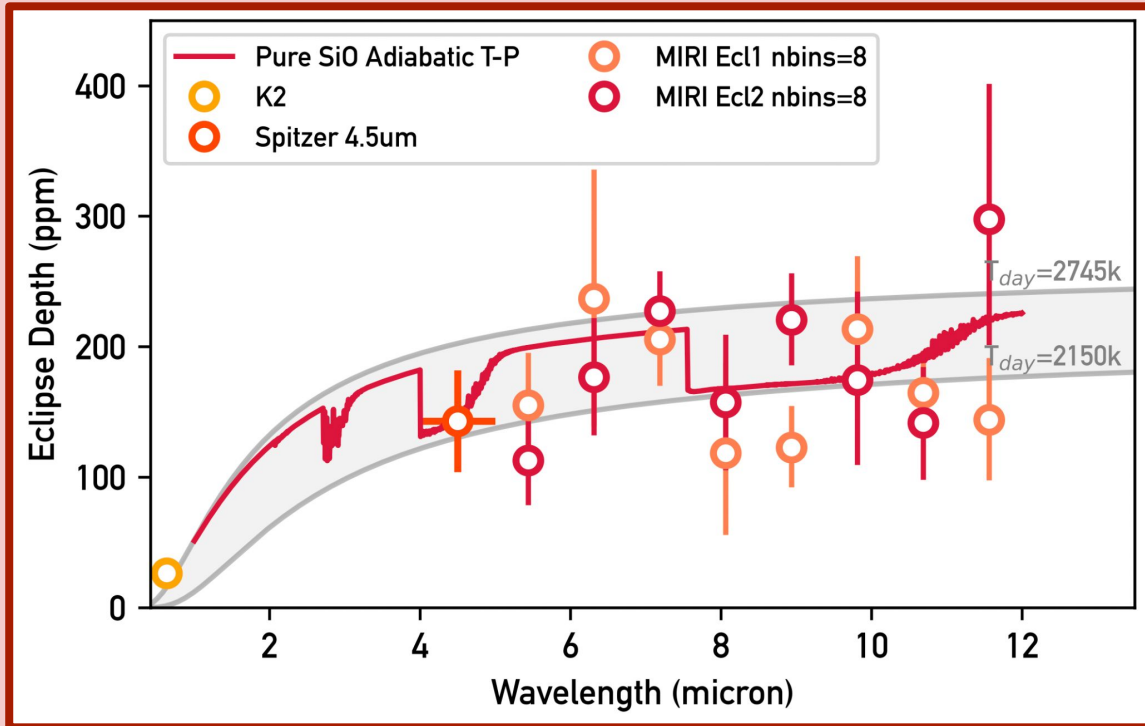


Consistent with  
Spitzer & K2 eclipses

SiO feature??

# Varying Dayside Emission Spectrum of K2-141b?

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (in prep)

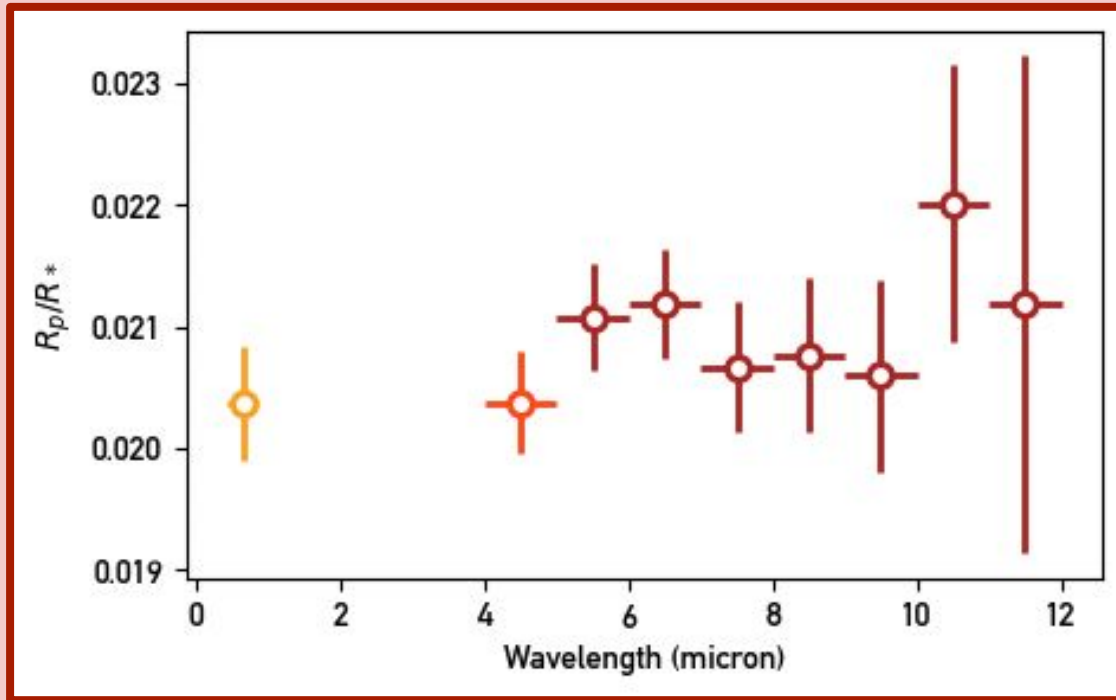


No significant variability

Most eclipse depths are consistent within  $1\sigma$

# Tentative Transmission Spectrum of K2-141b

Dang, Zieba, Nguyen, Van Buchem et al. (in prep)



IS IT FLAT?

Stay tuned!

# Conclusion



Most Hot Earths have likely lost their atmosphere, but the hottest lava planets offer a unique opportunity to probe an outgassed mineral atmosphere

We present the MIRI LRS phase curve of K2-141b

- large phase curve amplitude
- no significant hotspot offset
- Some nightside emission?
- Some features in the dayside emission spectrum, perhaps SiO?
- no significant eclipse variability

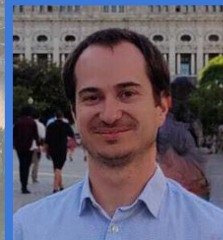
**HUGE THANK YOU TO MY COLLABORATORS**

*Sebastian Zieba, Giang Nguyen, Christiaan Van Buchem, Mantas Zilinskas, Nicolas Cowan  
Yamila Miguel, Laura Kreidberg, Roxana Lupu, Mark Hammond, Neil Lewis, Raymond Pierrehumbert*

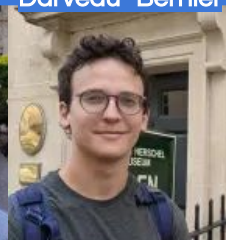
# Exoclines VII Summer 2025 in Montreal!



Romain Allart



Antoine  
Darveau- Bernier



Nathalie N-Q  
Ouellette



René Doyon



Institut Trottier  
de recherche sur  
les exoplanètes

Trottier Institute  
for Research  
on Exoplanets

Université   
de Montréal et du monde.