

# Grands moments, découvertes et premier bilan après plus de 1000 jours (Martien) de sismologie sur Mars

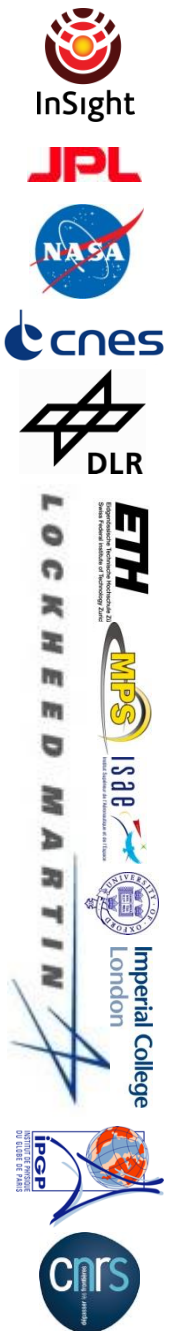
InSight



Philippe Lognonné  
Professeur à l'Université de Paris, Responsable scientifique de SEIS

IPGP – Université de Paris- CNRS-CNES

Et l'équipe InSight





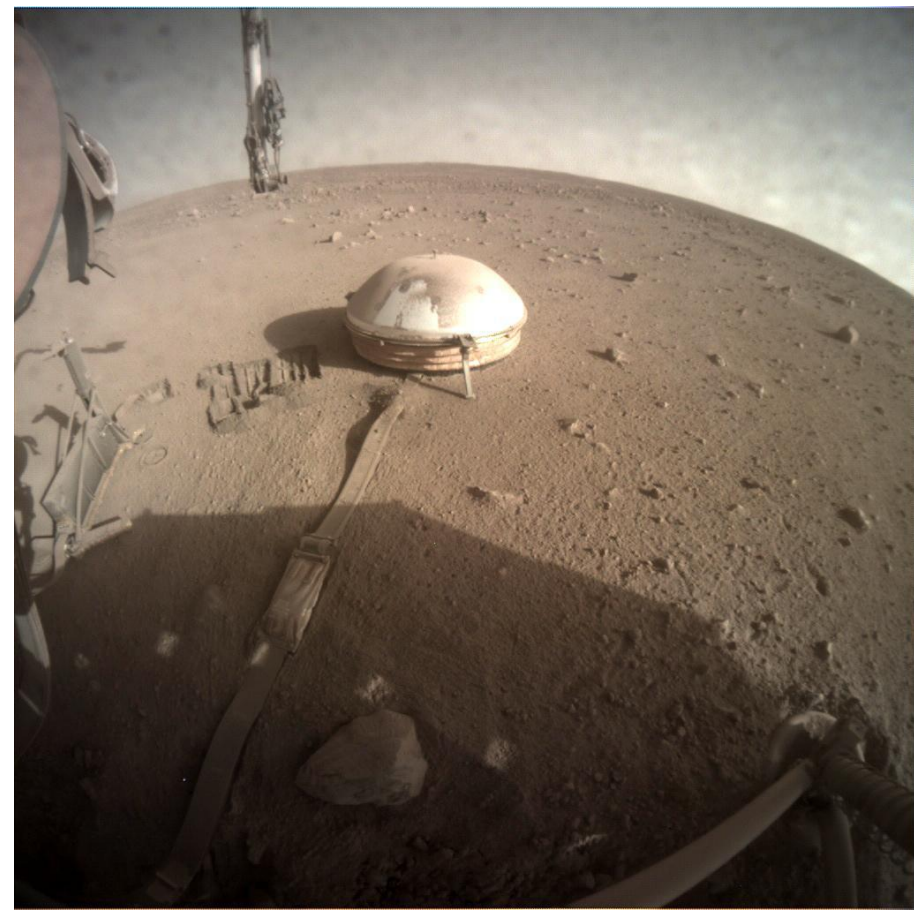
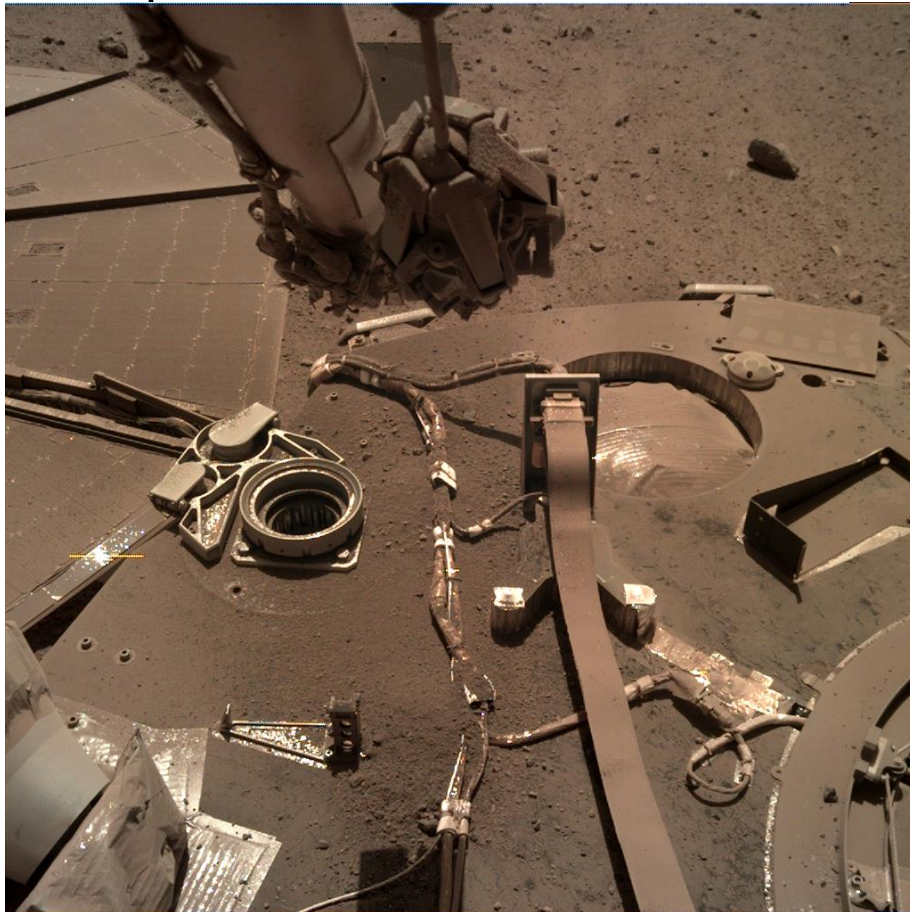




# Aujourd'hui sur Mars



- Le 18 septembre 2021 fut le Sol 1000 depuis l'atterrissage d'InSight le 26 Novembre 2018, soit environ 1.5 année Martienne
- Malgré l'accumulation de poussière sur les panneaux solaires et grâce au nettoyage de ces derniers, InSight et SEIS continuent de mesurer l'activité sismique de Mars.

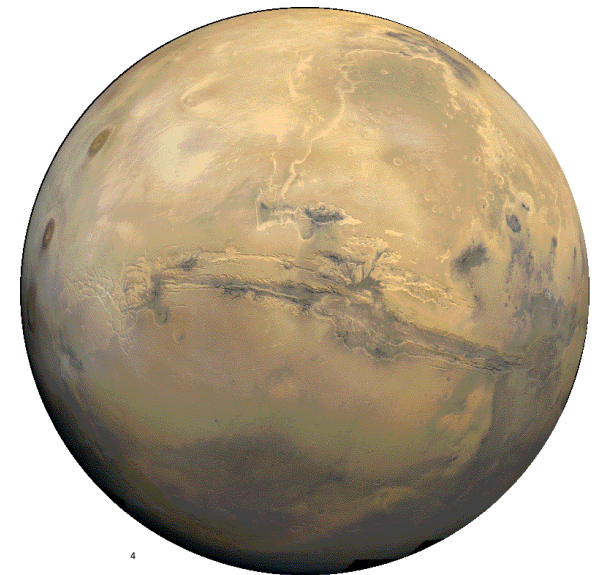
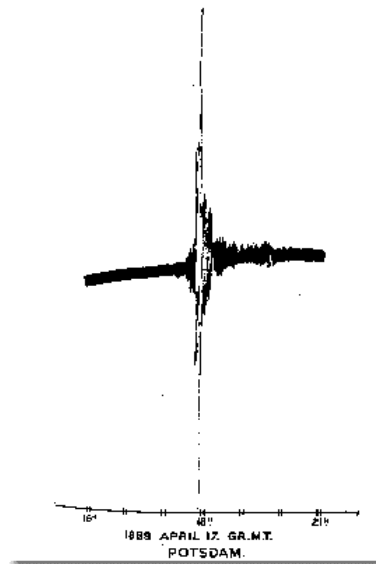
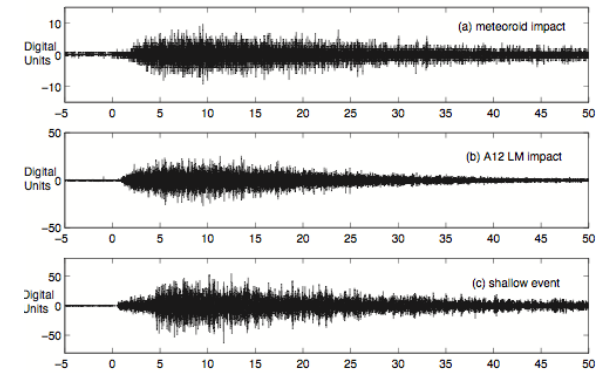




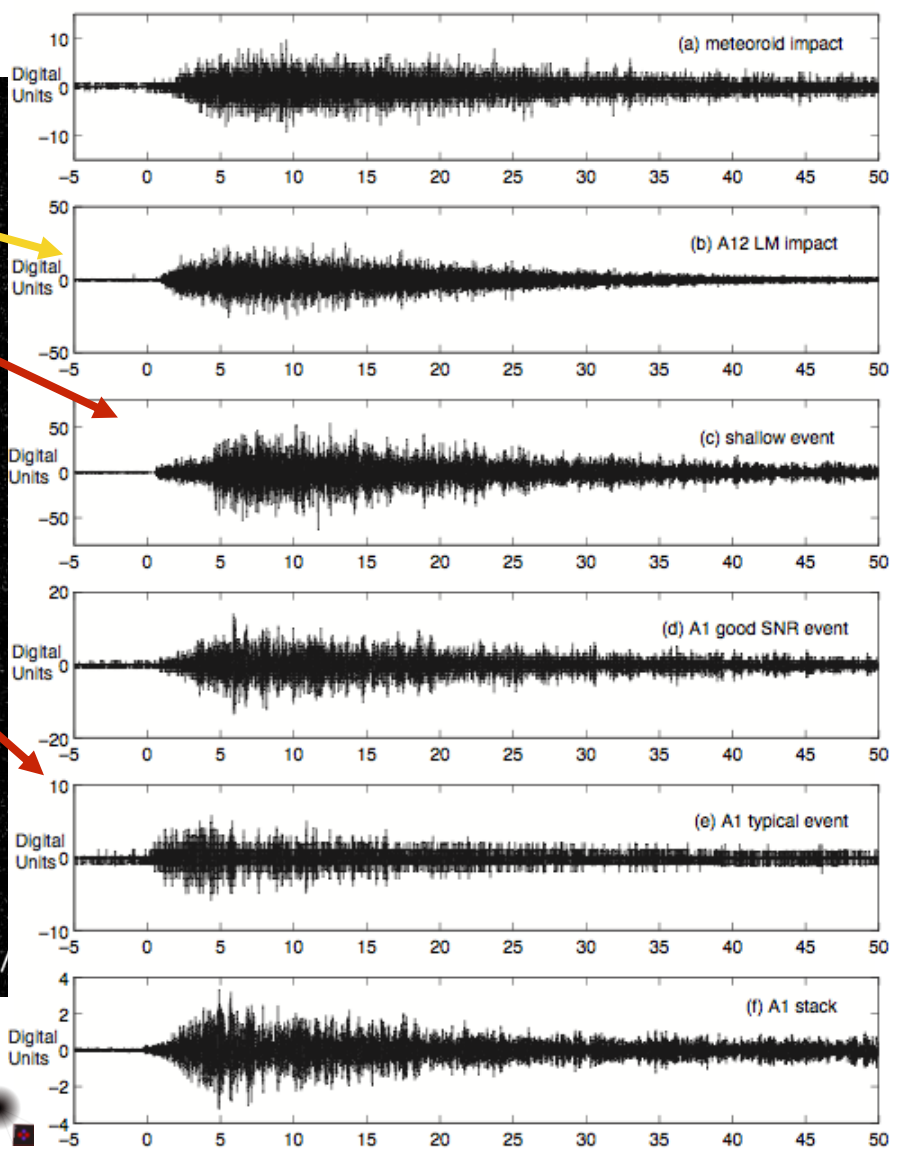
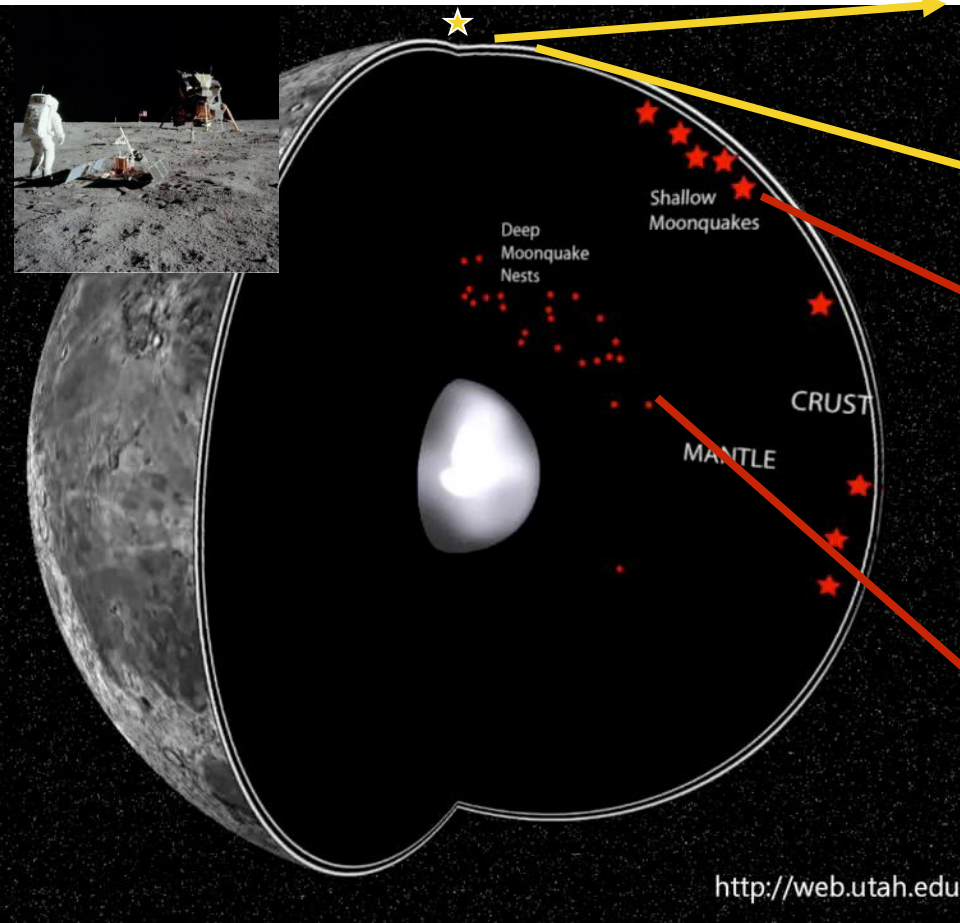
**1889-1910: La sismologie découvre l'intérieur de la Terre avec les premiers sismomètres.**



**1969-1977: La sismologie découvre l'intérieur de la Lune avec les sismomètres Apollo**





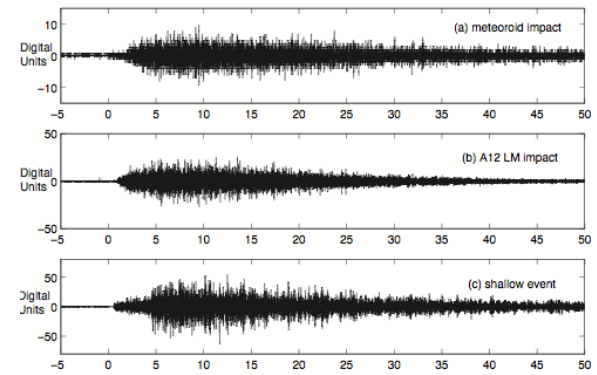
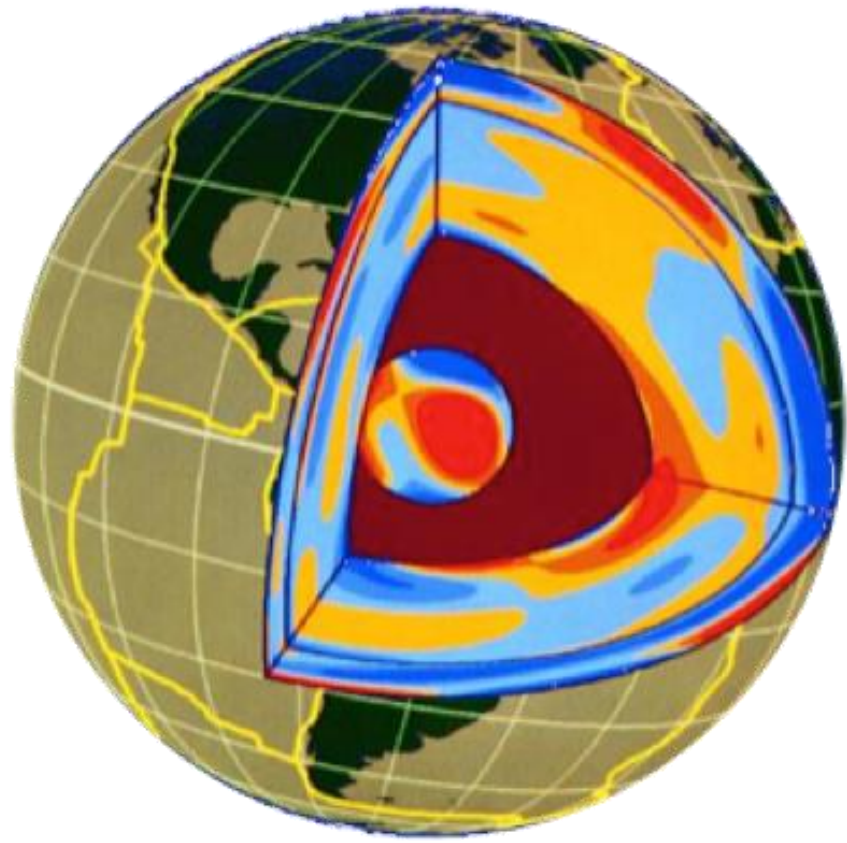


Atome d'Helium



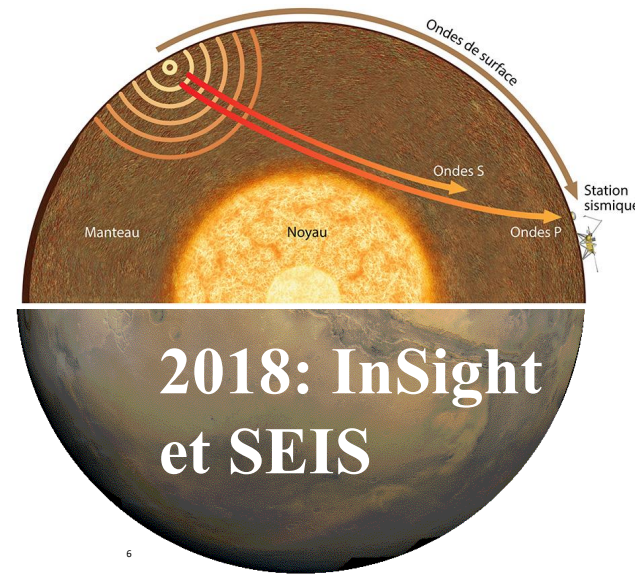
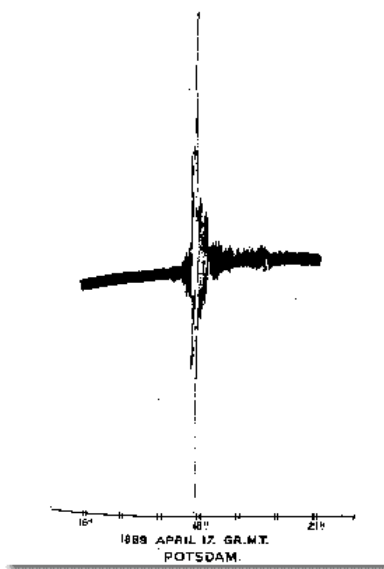
Minutes après





## 1969-1977: La sismologie découvre l'intérieur de la Lune avec les sismomètres Apollo

## 1889-1910: La sismologie découvre l'intérieur de la Terre avec les premiers sismomètres.

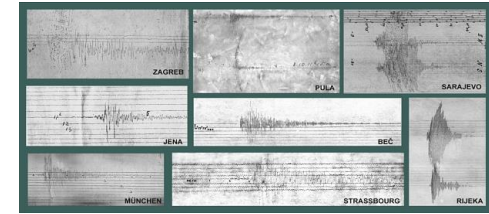




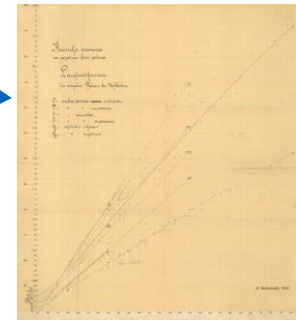
# La même quête que sur Terre, il y a un siècle...



Objectifs de la mission	Connaissance actuelle
Epaisseur de la croûte	65±35 km
Stratification de la croûte	Pas d'information
Vitesses sismiques du manteau	8±1 km/s (d'après des modèles)
Etat liquid ou solide du noyau	A priori liquid, mais pas de démonstration
Rayon du noyau(+RISE)	1700±300 km
Core density (RISE)	6.4±1.0 gm/cc
Heat flow (HP3)	30±25 mW/m <sup>2</sup> (inferred)
Activité sismique	Incertitude de x100
Localisation des zones actives	Pas d'information
Flux de météorites	Incertitude de x6



A. Mohorovičić (1910)



Oldham (1906)

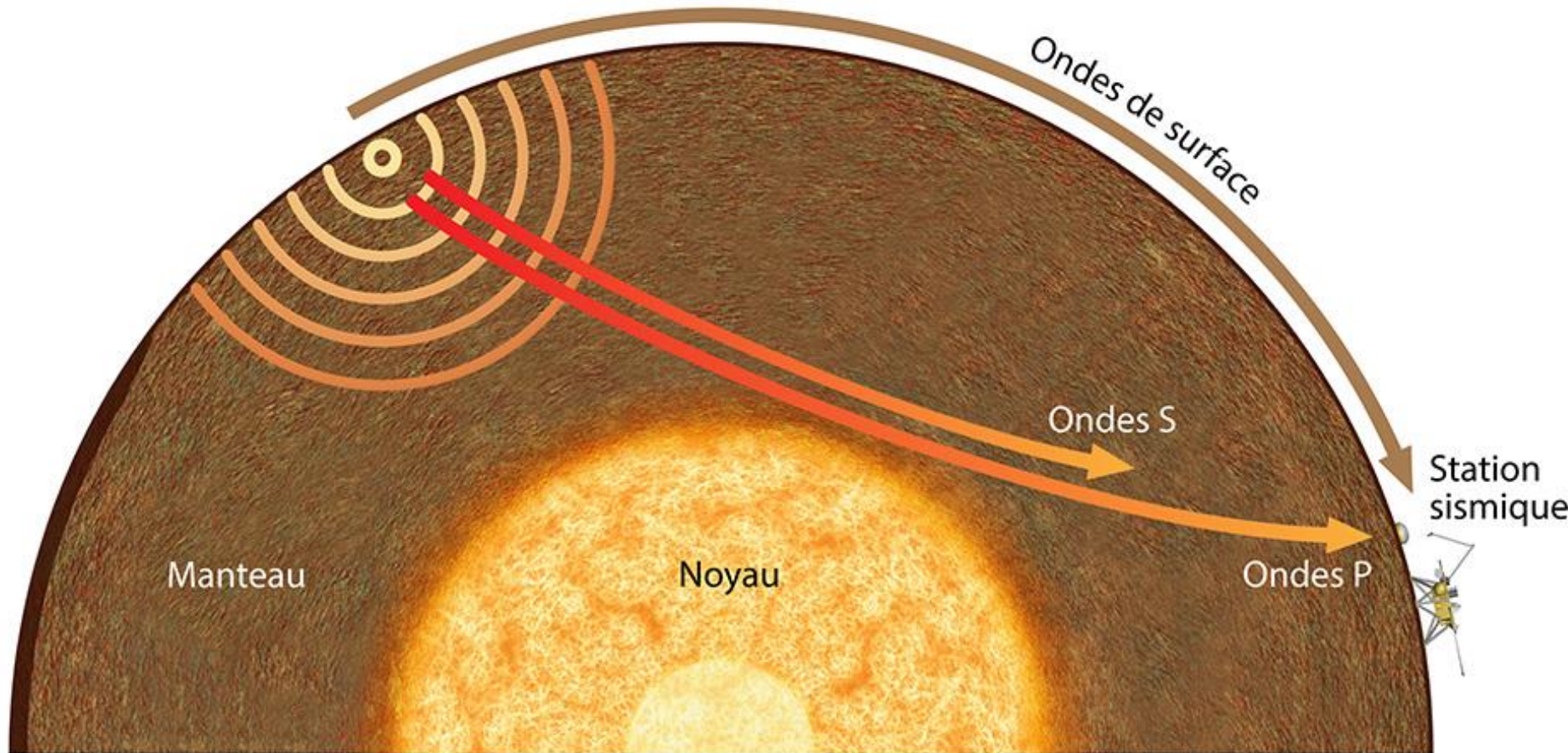


von Rebeur-Pacshwitz (Nature, 1889)



Exemples sur Terre





- La vitesse des ondes sismiques dépend de la composition et de la température des milieux traversés
- Mais pour déterminer cette vitesse, il faut en général connaître la distance de propagation et le temps de propagation (ou l'effet de cette distance sur la forme de l'onde)



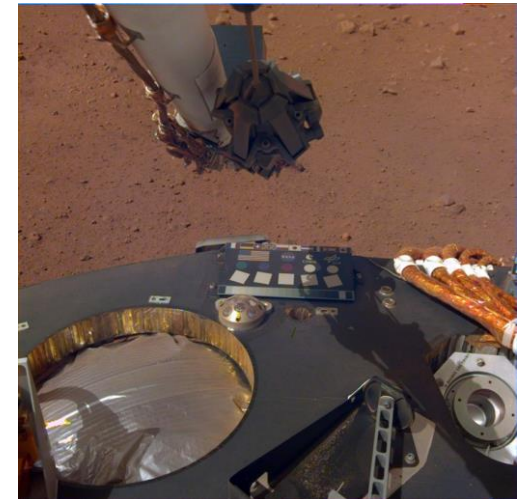
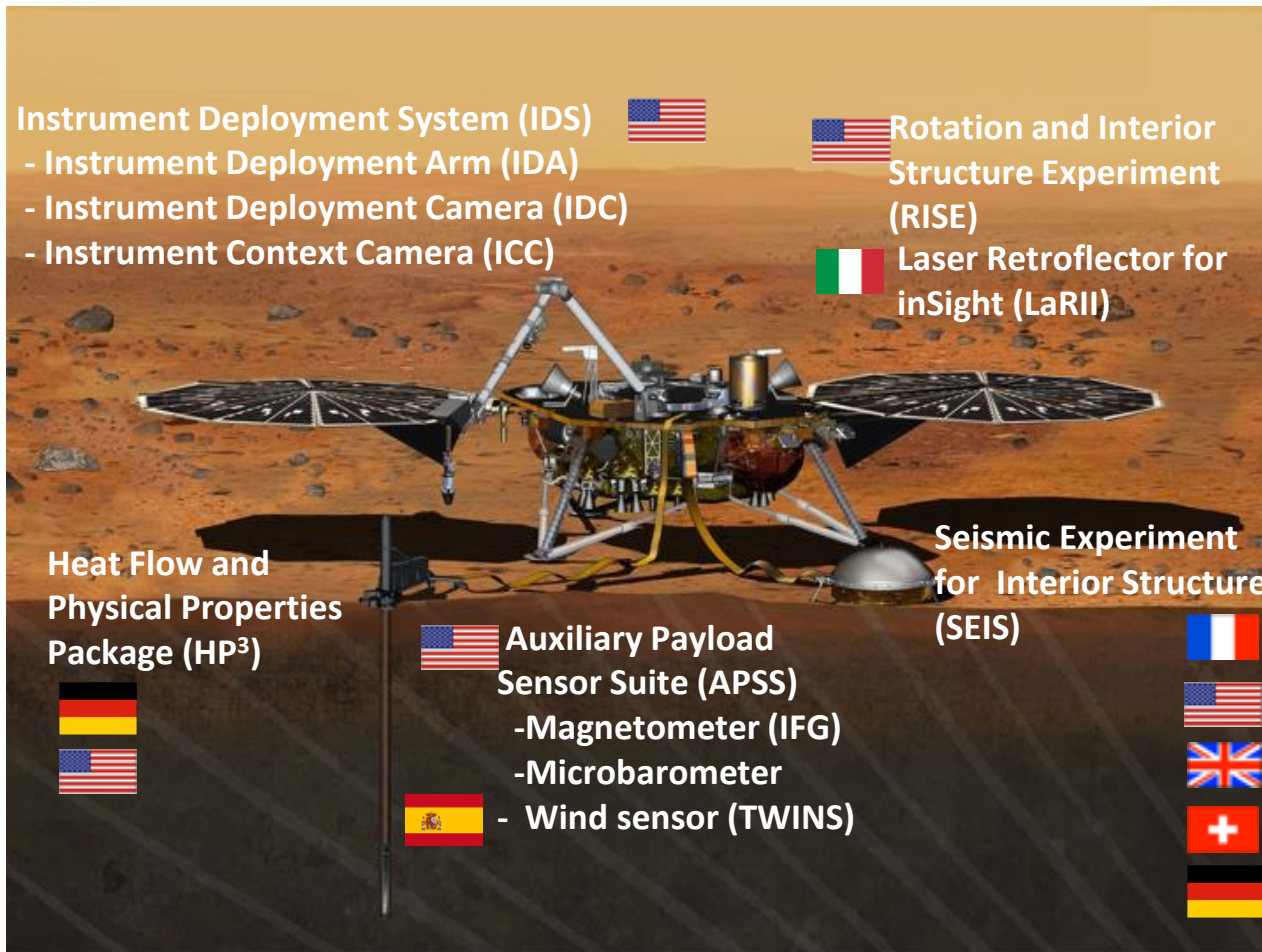
# Lancement (5/2018) et atterrissage le 27/11/2018





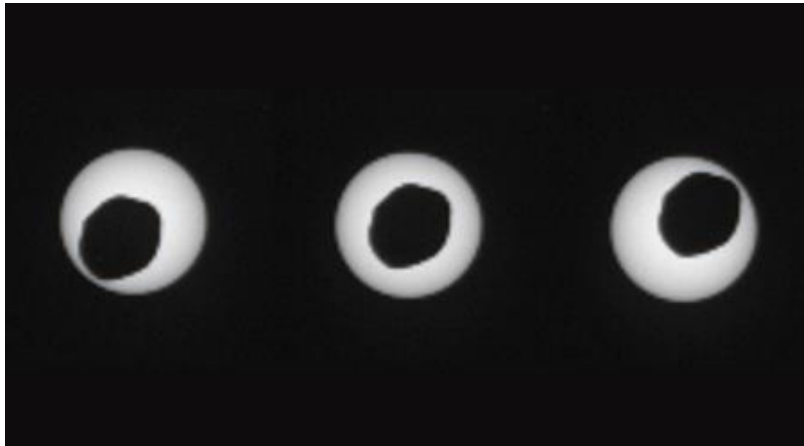


- InSight est le premier observatoire géophysique et atmosphérique sur Mars, très proche de ceux déployés sur Terre par les réseaux géophysiques ou sur la Lune par Apollo

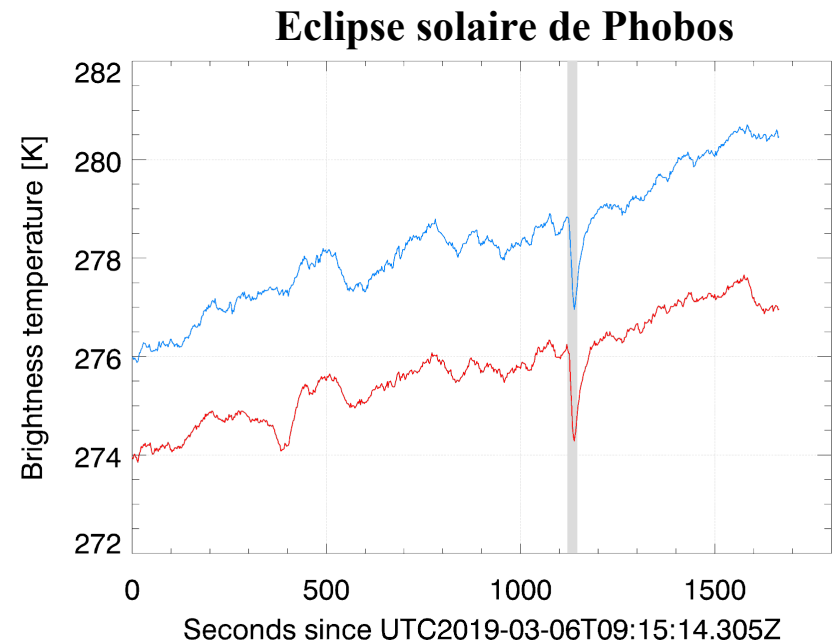




- Le radiomètre mesure la température du sol (même principe qu'un thermomètre infrarouge)
- Un exemple de signal est le refroidissement du sol lors des éclipses du soleil générées par Phobos
- L'analyse de la chute de température renseigne sur la conductivité thermique du sol



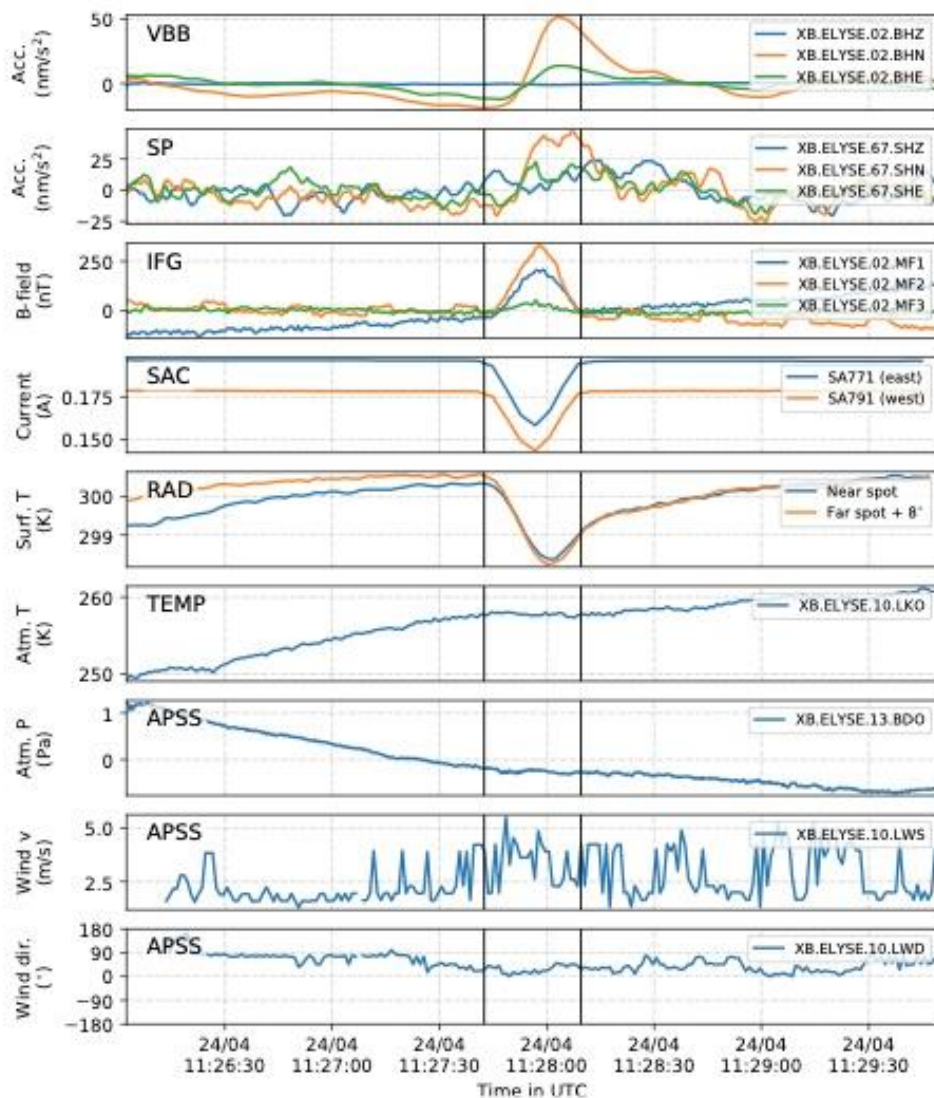
Eclipse du soleil vue par Curiosity, le 17 aout 2003





# Signaux des éclipses de Phobos (1/3): SEIS et les autres

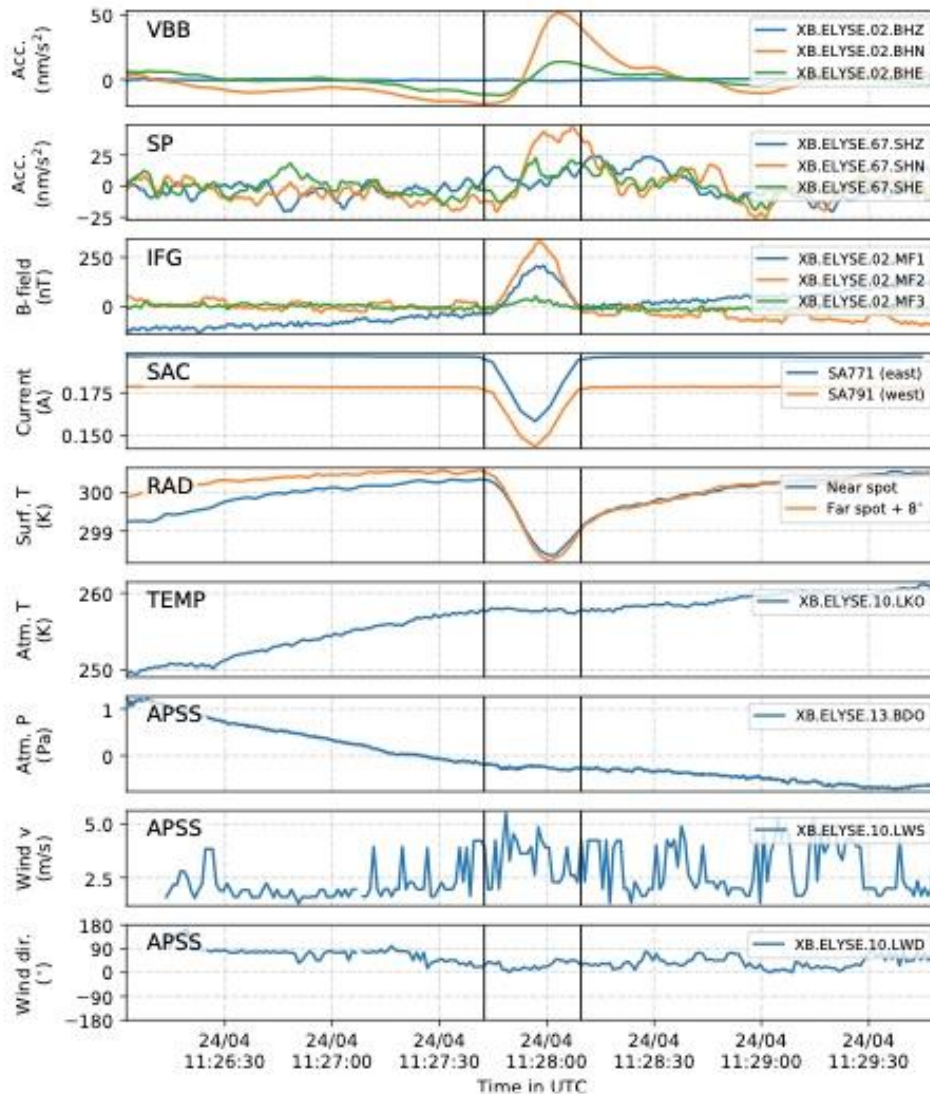
- Mais un signal est aussi détecté par les autres instruments !



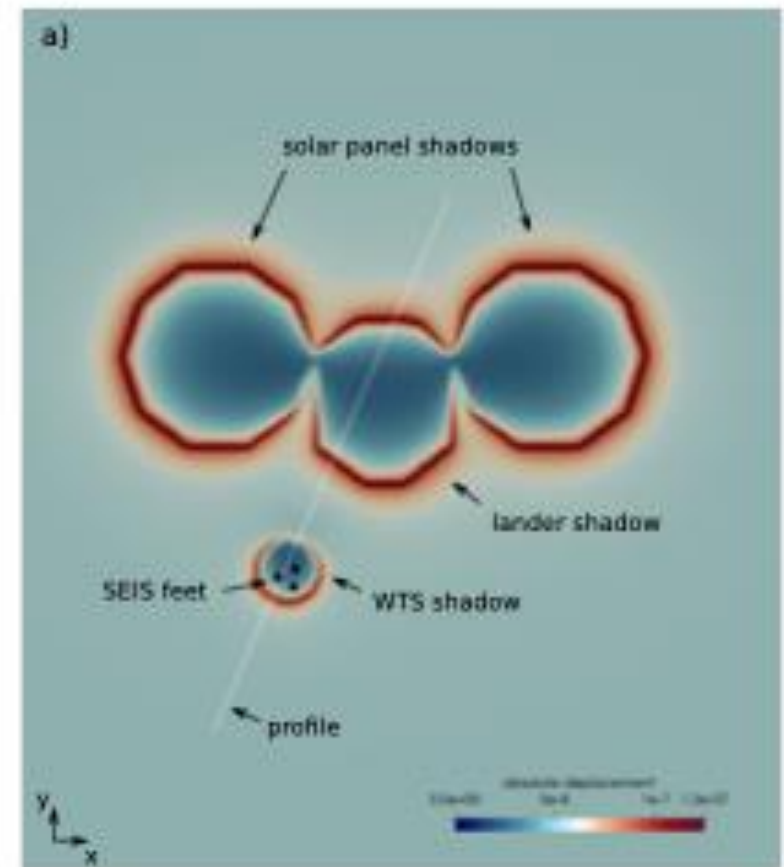
- SEIS: Déformation du sol
- IGF: Champ magnétique associé à la chute de courant du générateur solaire
- Variation de courant du générateur solaire
- Radiomètre
- Variation de température et de pression
- Amplitude du vent (RAS)
- Direction du vent

# Signaux des éclipses de Phobos (1/3): SEIS et les autres

- Mais un signal est aussi détecté par les autres instruments !



- SEIS: Déformation du sol







InSight

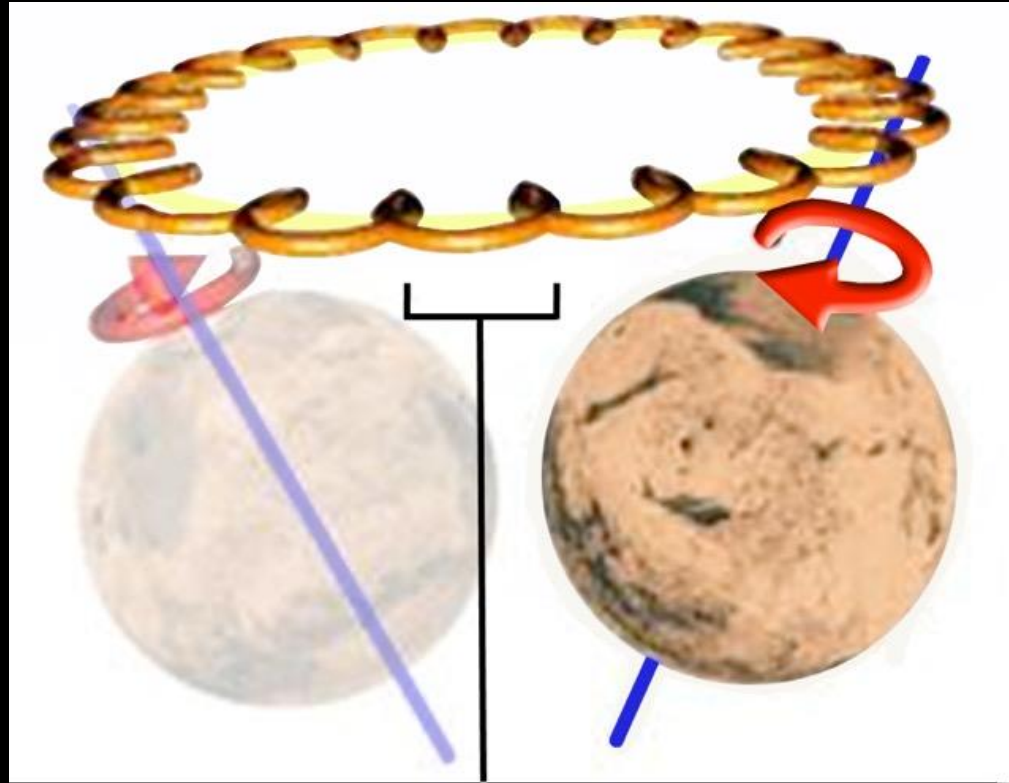


## La rotation de Mars dépend de sa structure interne

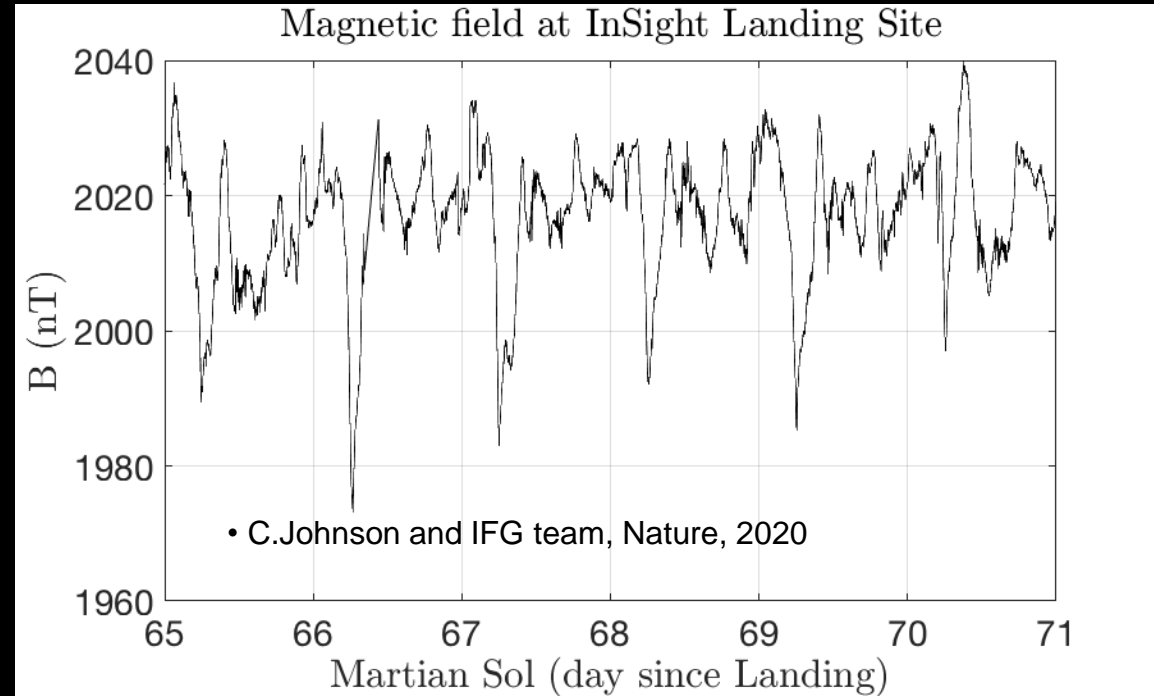
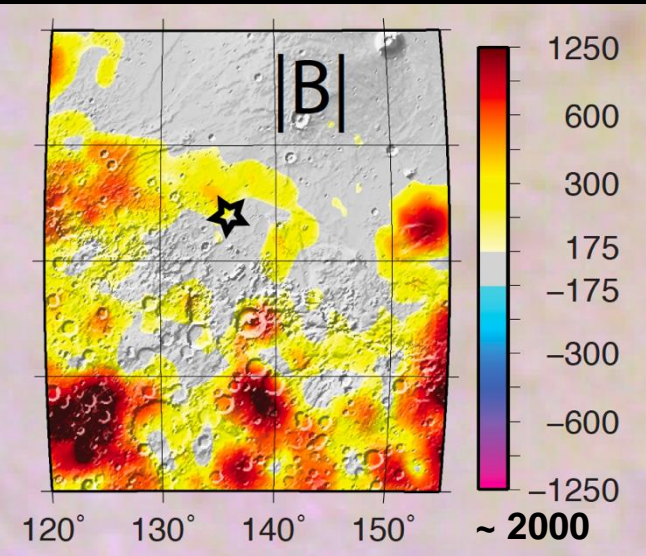


Précession

170 414 ±67 ans (Kahan et al., 2021)



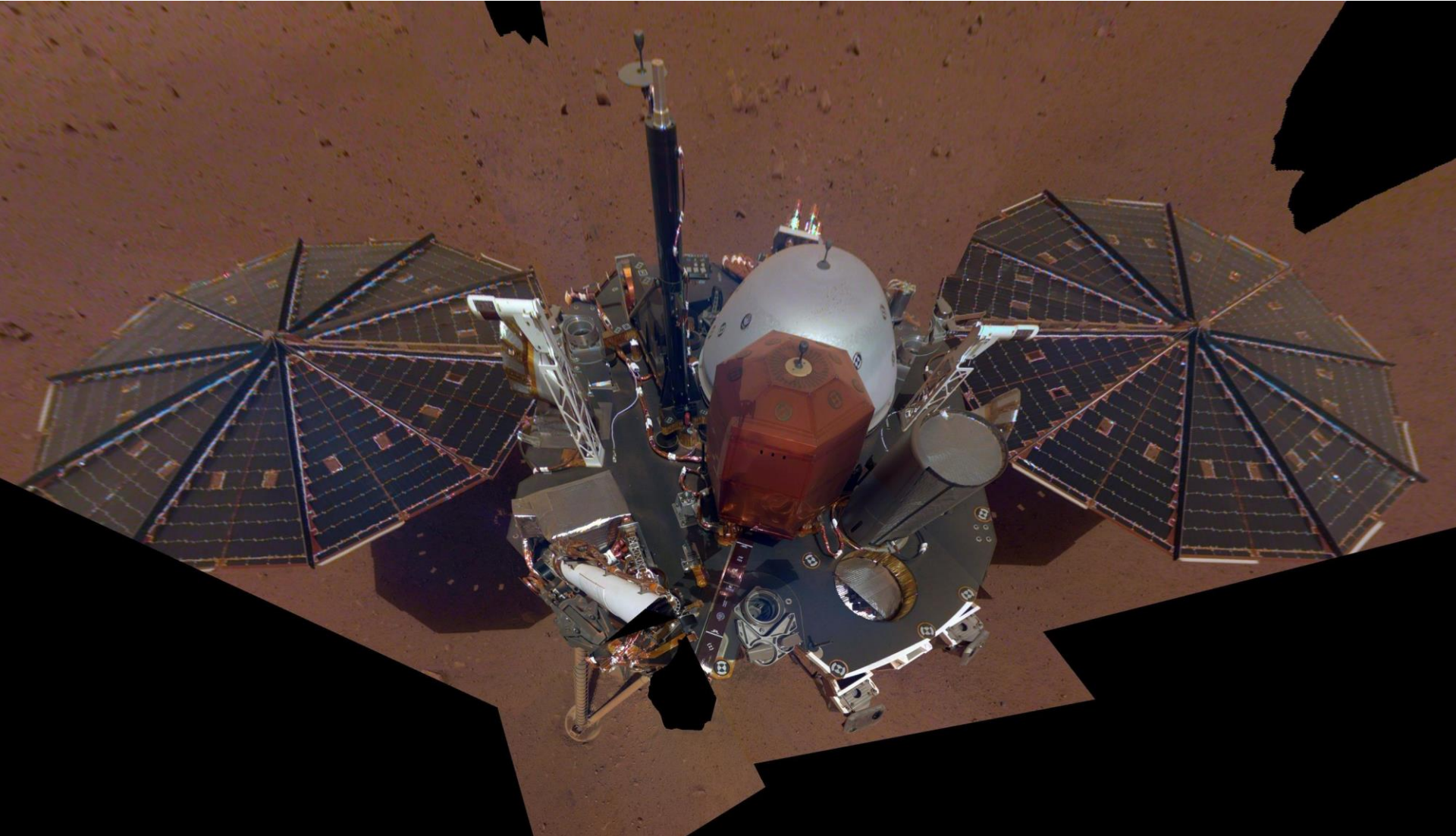
Nutation (~1 année Martienne)



Prédiction des modèles orbitaux  $\sim 300$  nT (environ 1% du champ terrestre)

Le magnétomètre d'InSight détecta 2000nT de champ à la surface, montrant que des champs crustaux plus élevés peuvent être observés au sol.

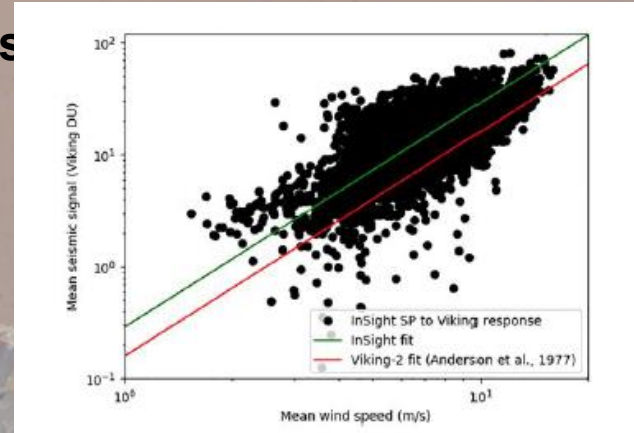
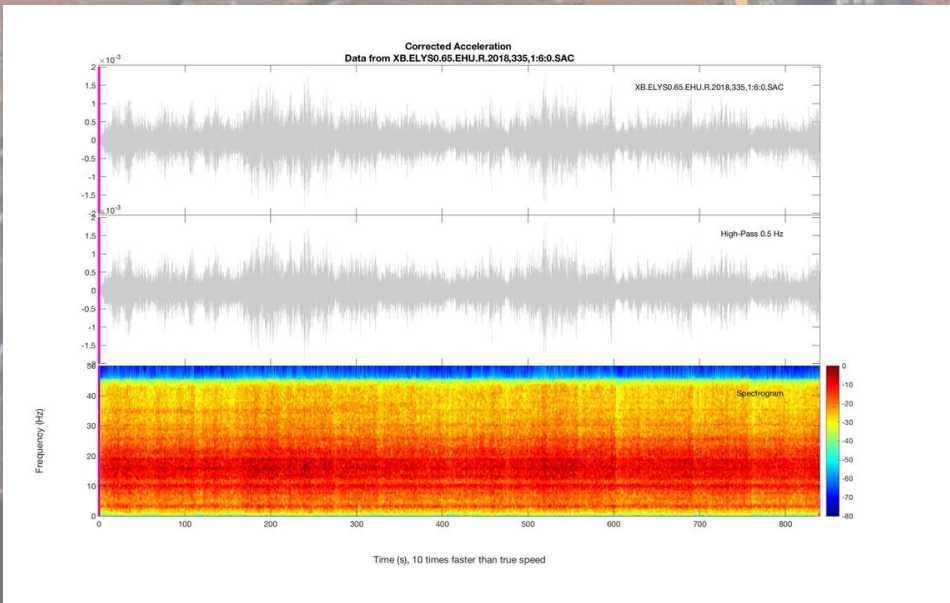






- Très fortes vibrations en raison des oscillations des panneaux solaire et de la structure  
*Panning et al. 2020*

- Vibrations comparable en amplitude à celles de



Anderson et al. (1977)

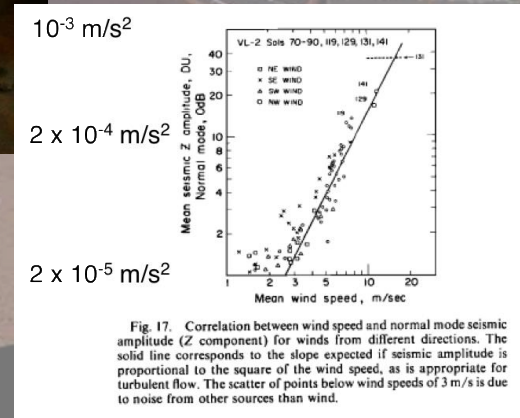
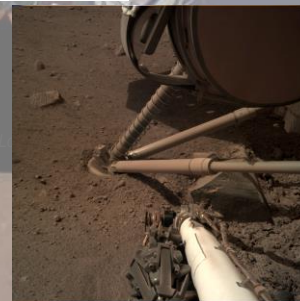
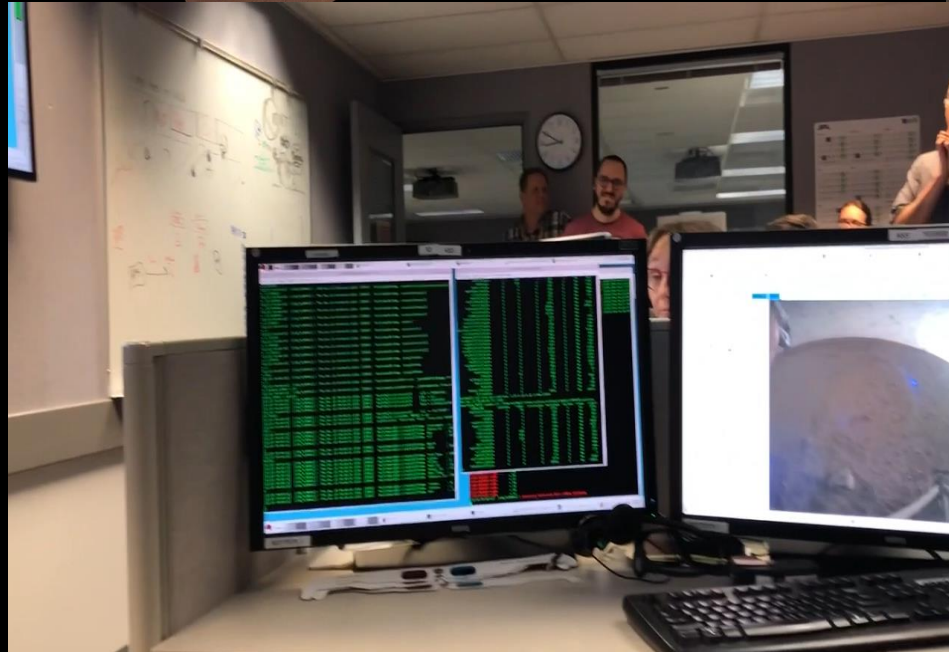
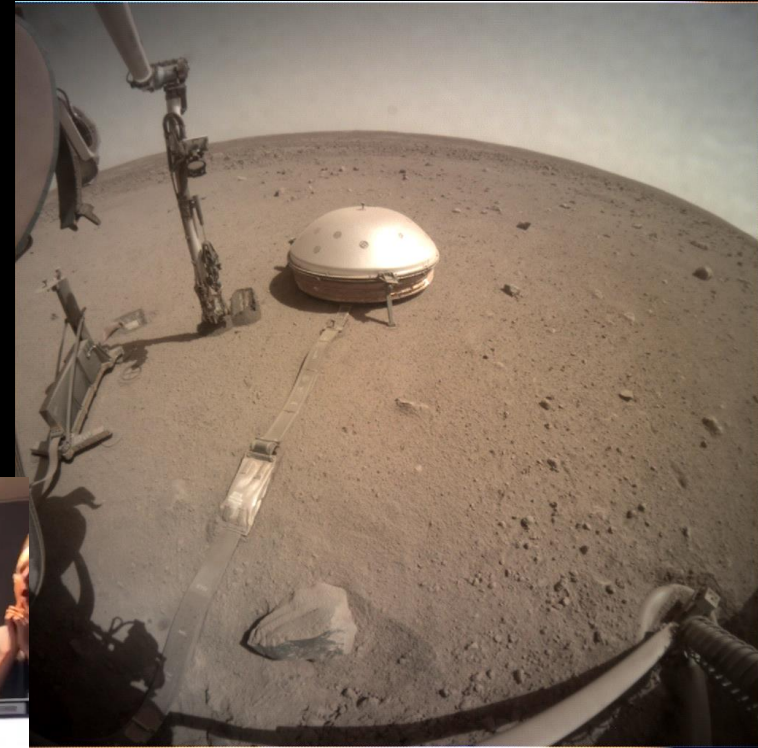
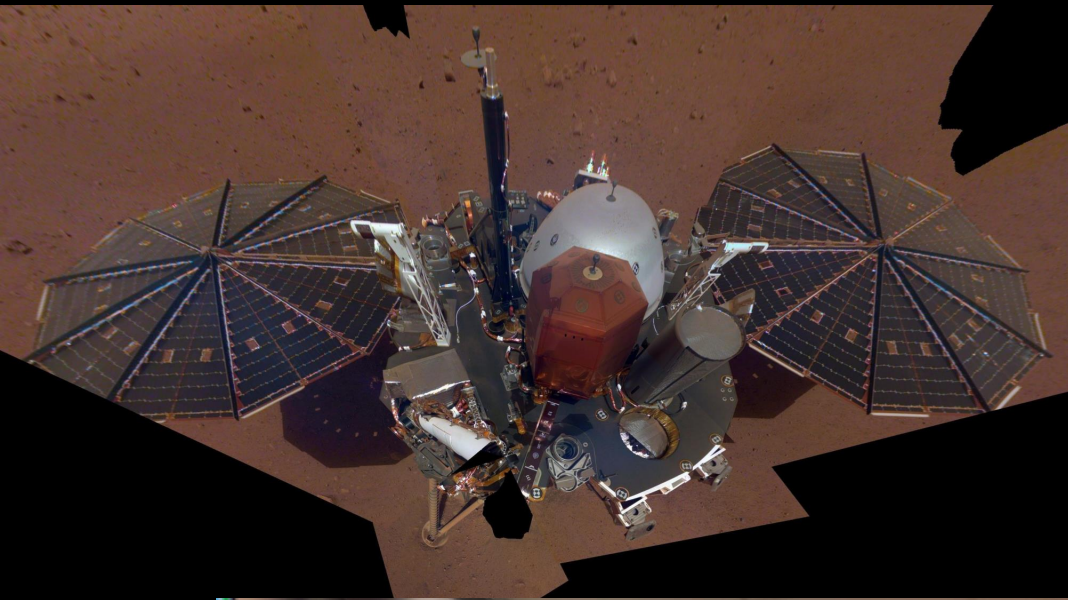


Fig. 17. Correlation between wind speed and normal mode seismic amplitude (Z component) for winds from different directions. The solid line corresponds to the slope expected if seismic amplitude is proportional to the square of the wind speed, as is appropriate for turbulent flow. The scatter of points below wind speeds of 3 m/s is due to noise from other sources than wind.





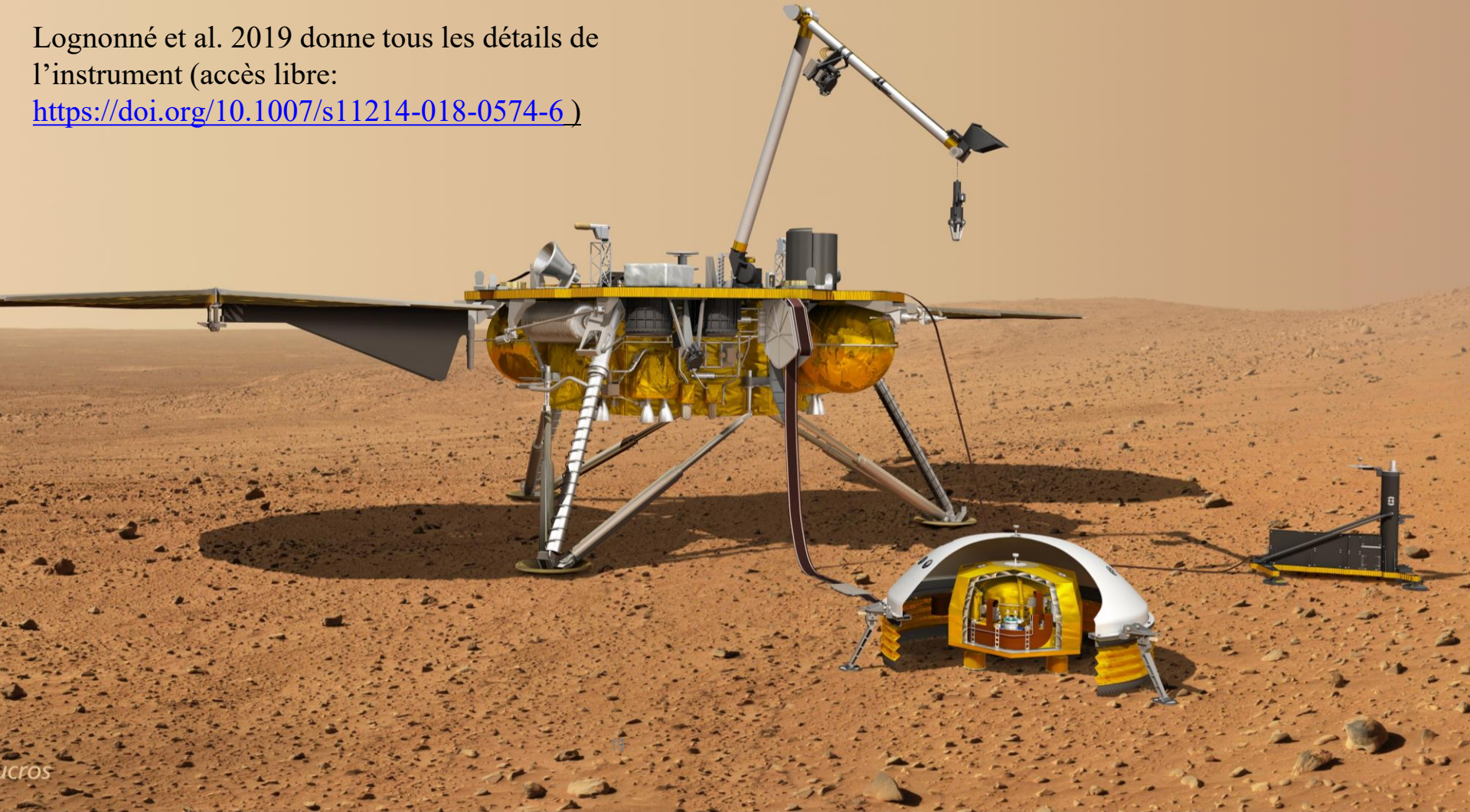






Lognonné et al. 2019 donne tous les détails de l'instrument (accès libre:

<https://doi.org/10.1007/s11214-018-0574-6>)

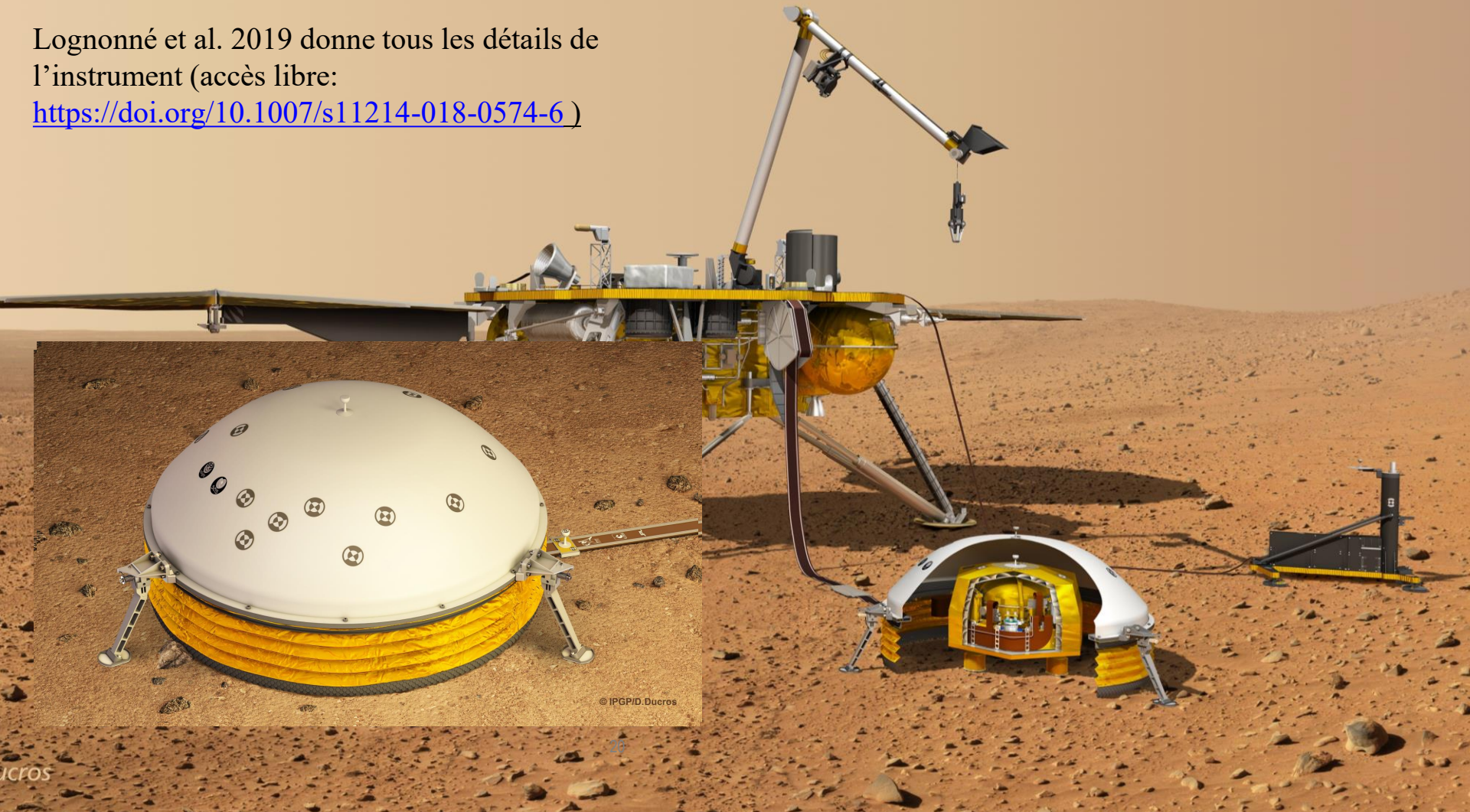






Lognonné et al. 2019 donne tous les détails de l'instrument (accès libre:

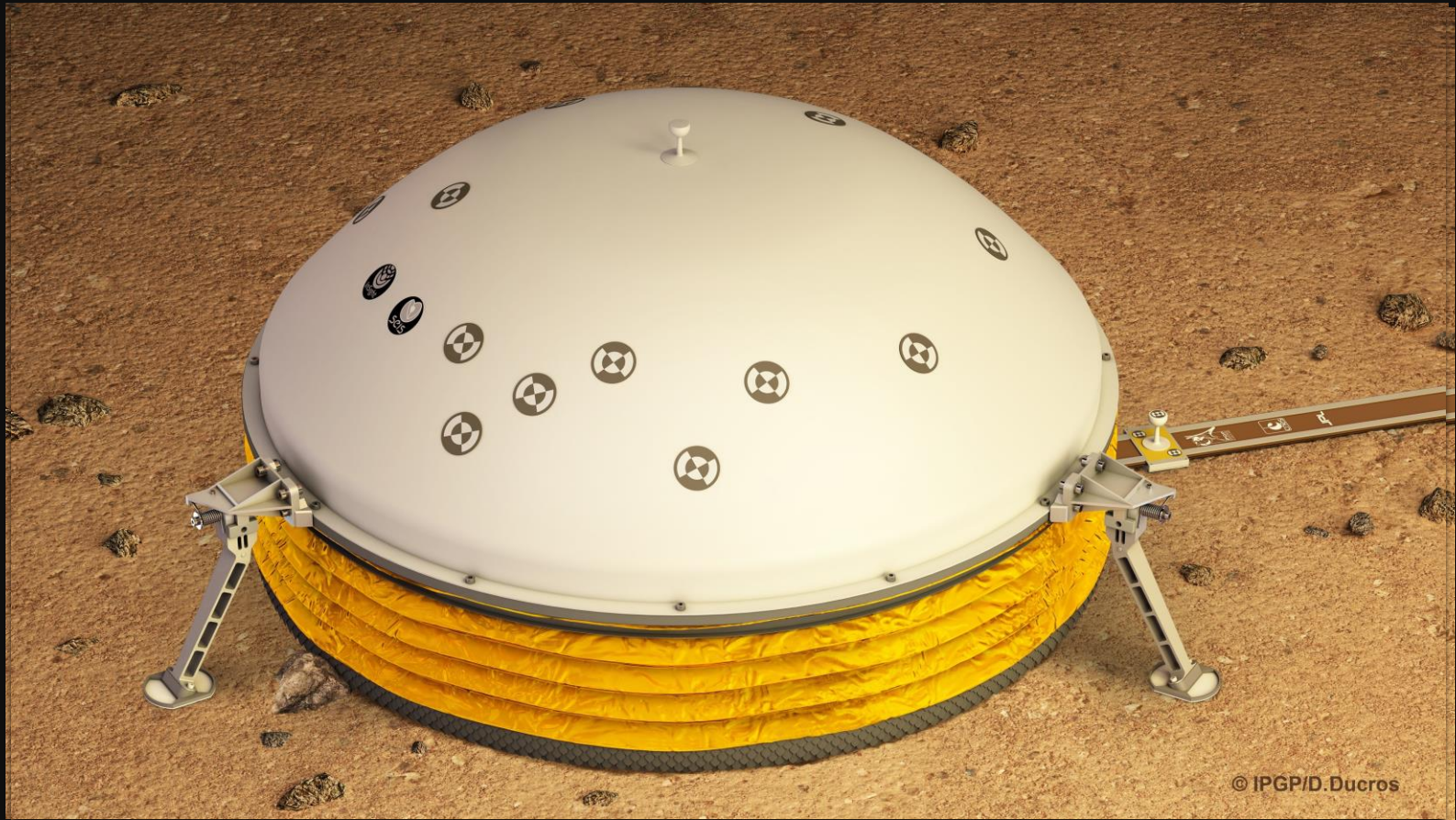
<https://doi.org/10.1007/s11214-018-0574-6>)



© IPGP/ID. Ducros

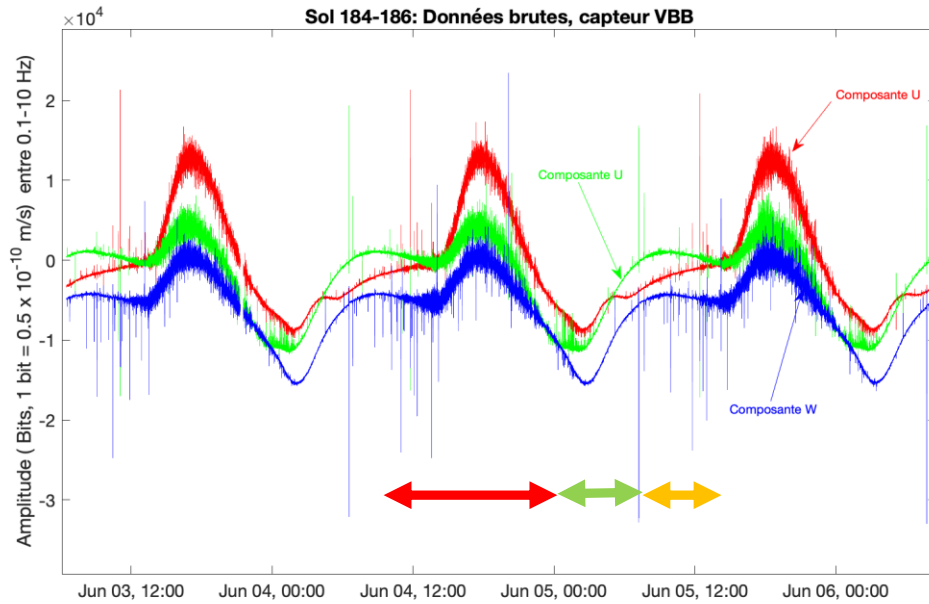
ucros





2  
1

Voir Lognonné et al. 2019 pour tous les détails ( accès libre: <https://doi.org/10.1007/s11214-018-0574-6> )



Données brute en temps ( directement de l'instrument)

Fin d'après midi  
et début de nuit  
calme

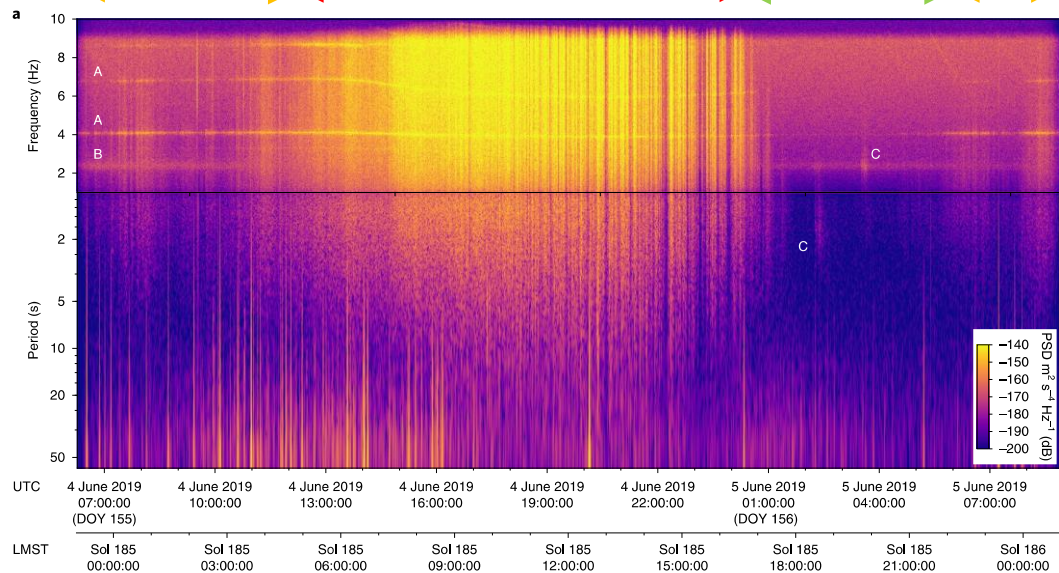
Matinée agitée par les  
tourbillons de vent

Fin de nuit agitée...

**Données en fréquence et en Unité physique ( Puissance spectrale en accélération)**  
**Puissance spectrale en accélération est l'équivalent en sismologie de l'intensité sonore en fonction de la fréquence**

**-200 dB équivaut à  $10^{-10} \text{ ms}^{-2}/\text{Hz}^{1/2}$**

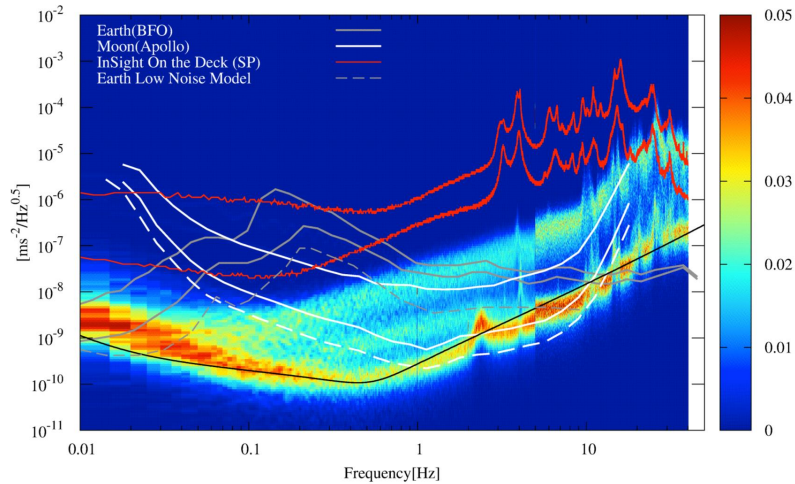
**-140 dB équivaut à  $10^{-7} \text{ ms}^{-2}/\text{Hz}^{1/2}$**



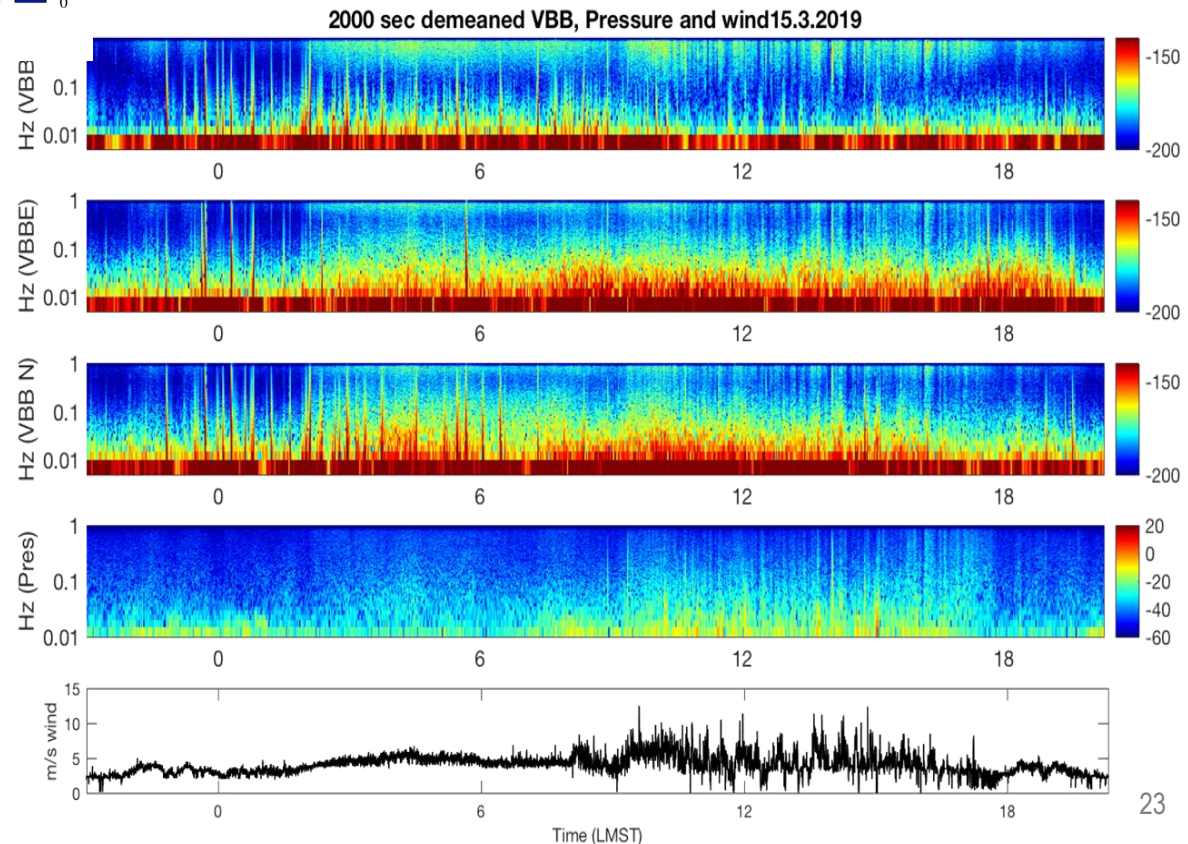


# Des signaux sismiques de très faible amplitude...

- Entre 5 secondes et 15 secondes, SEIS sur Mars enregistre les signaux les plus faibles de l'histoire de la sismologie



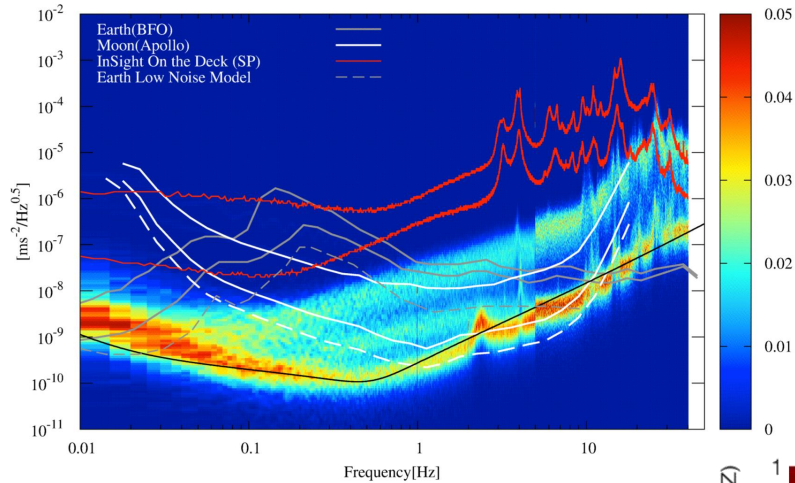
Lognonné et al. 2020



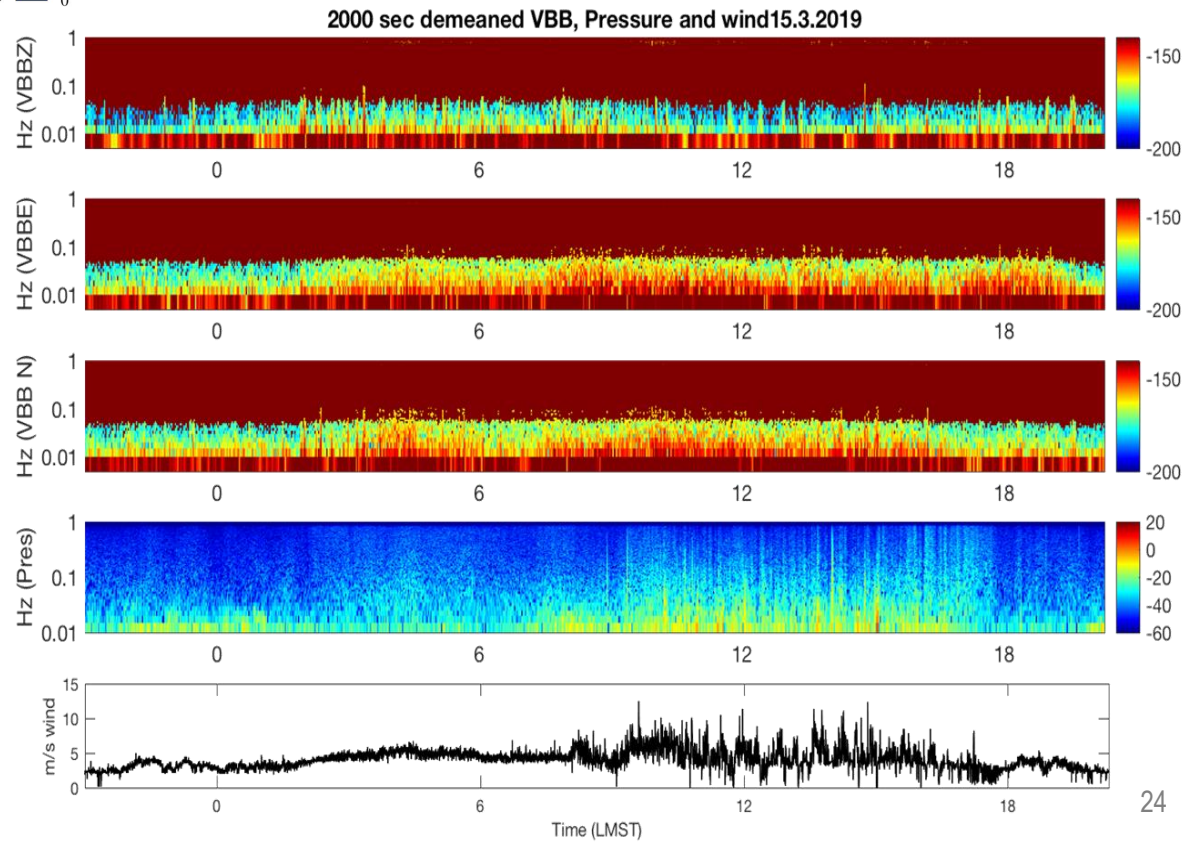


# Des signaux sismiques de très faible amplitude...

- Entre 5 secondes et 15 secondes, SEIS sur Mars enregistre les signaux les plus faibles de l'histoire de la sismologie

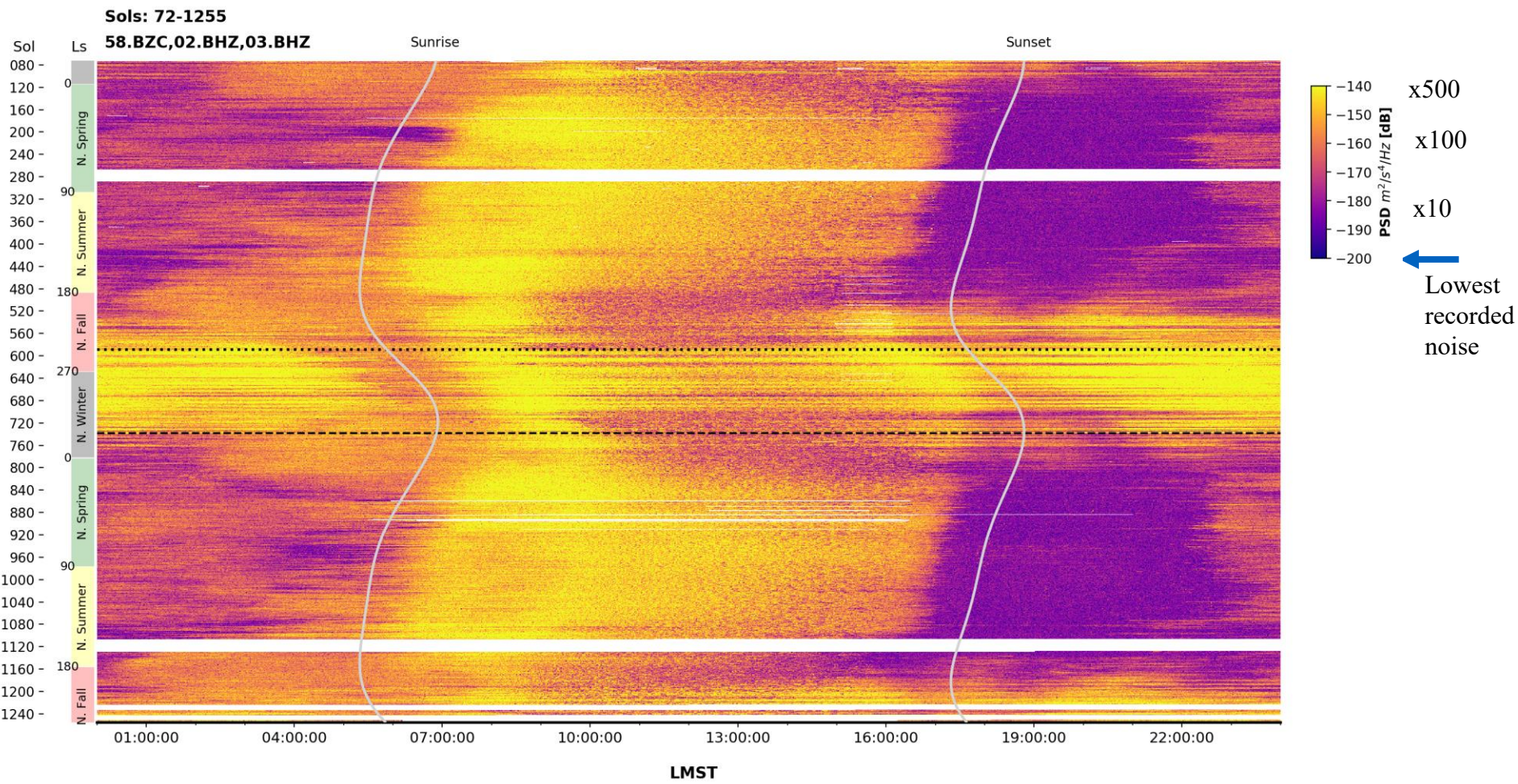
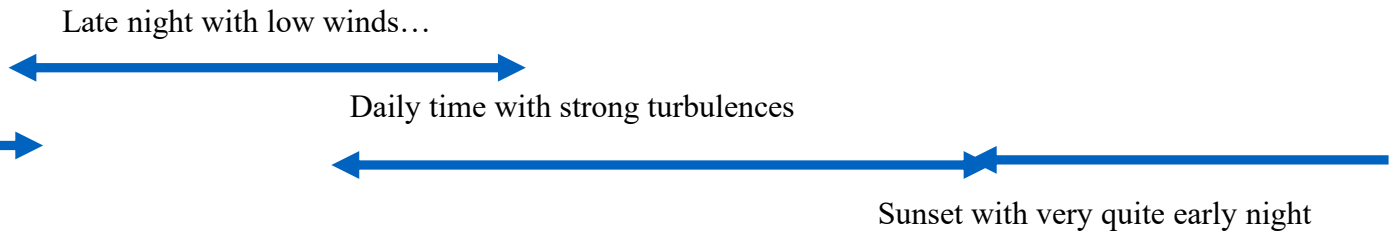


Lognonné et al. 2020





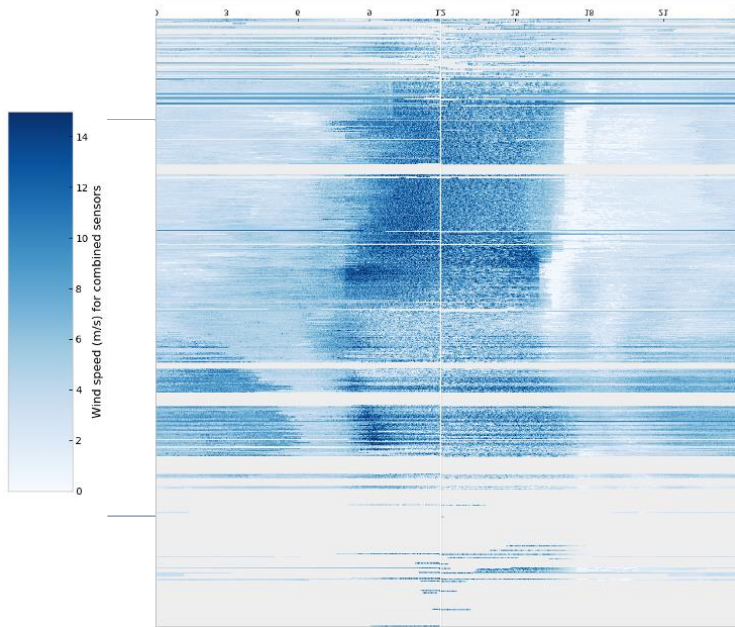
# Plus de 1240 jours (martiens) de mesures...



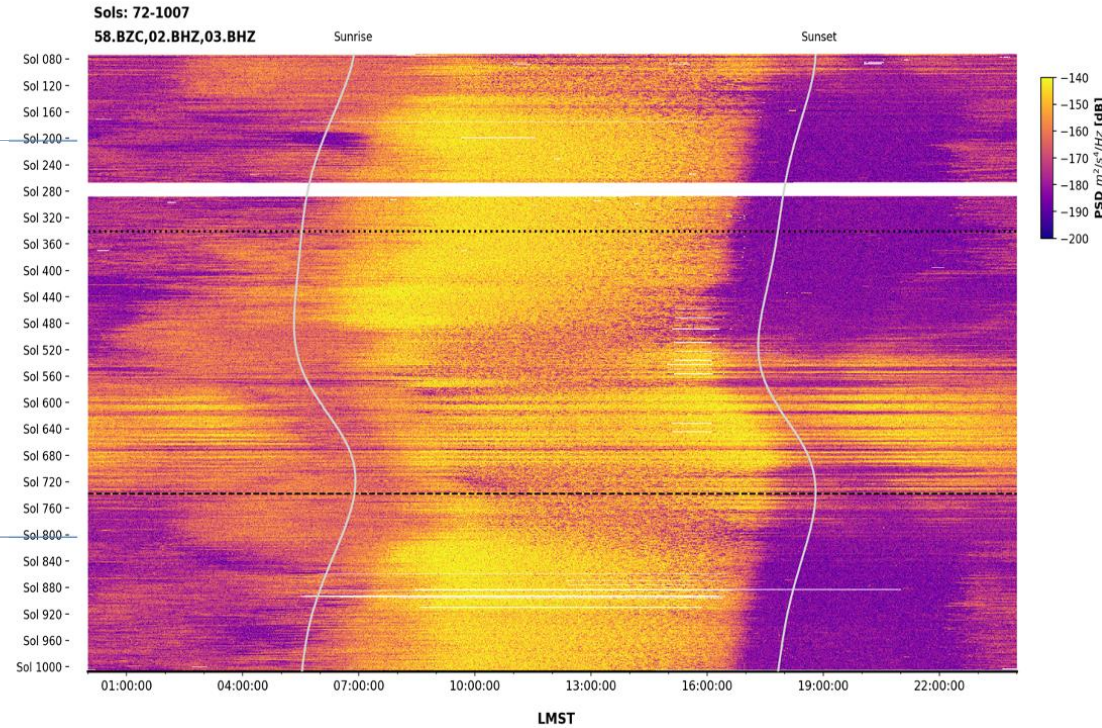


# Même sous le bouclier éolien, le bruit est contrôlé par le vent...

## TWINS Mesures de Vent



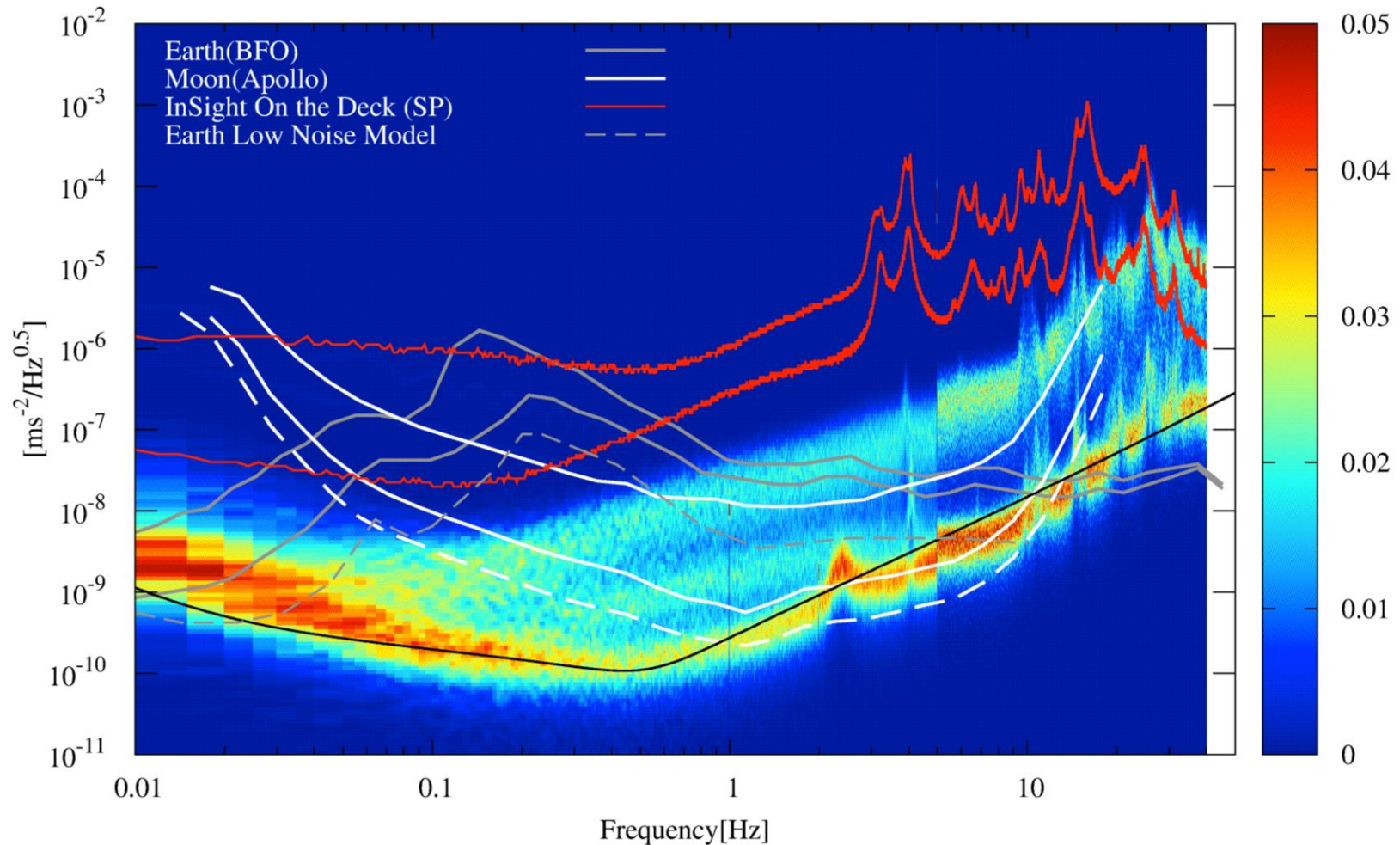
## SEIS Acceleration du sol

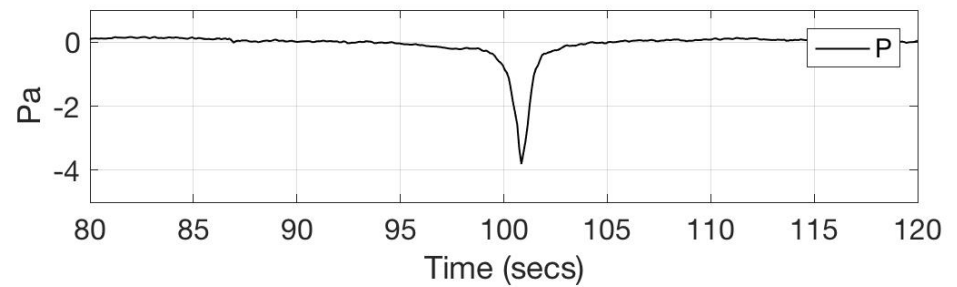
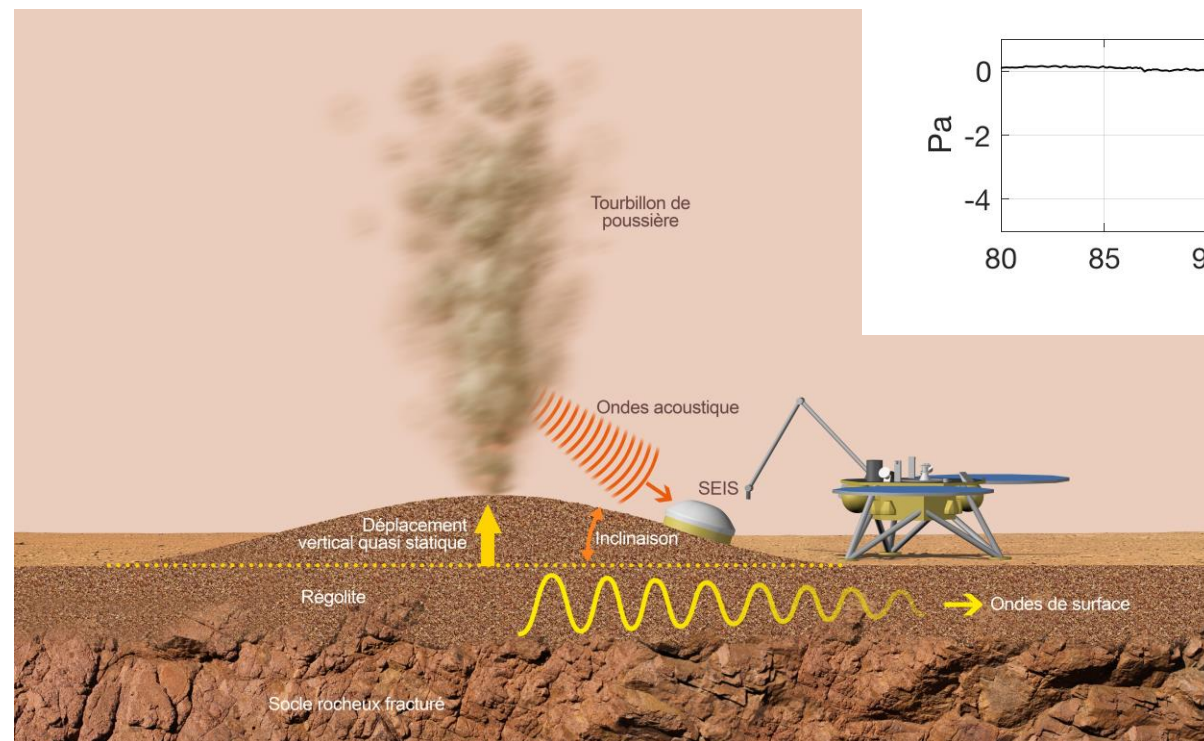
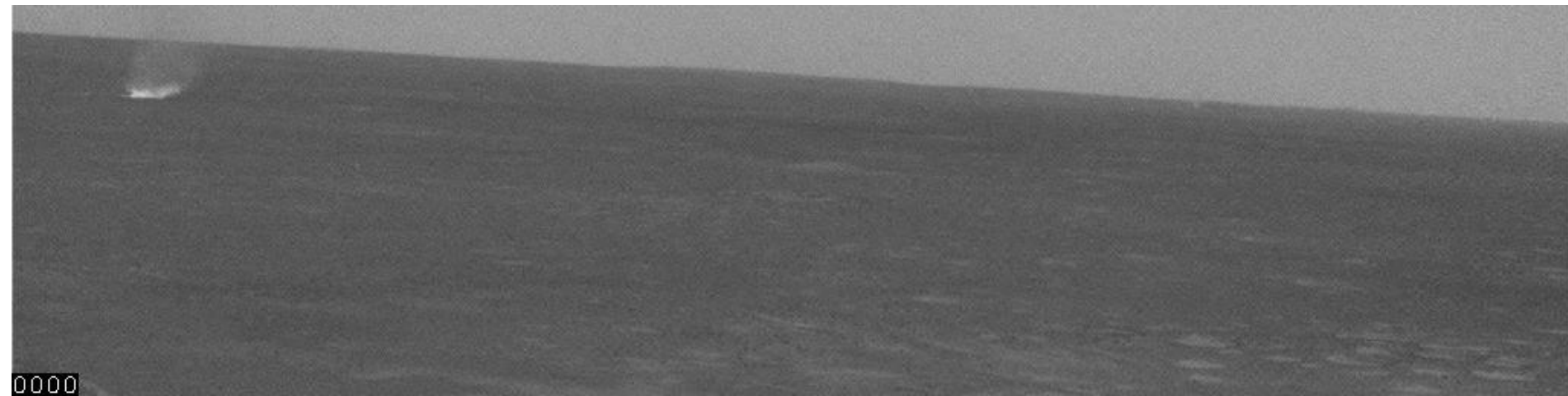






- Entre 5 secondes et 15 secondes, SEIS sur Mars enregistre les signaux les plus faibles de l'histoire de la sismologie



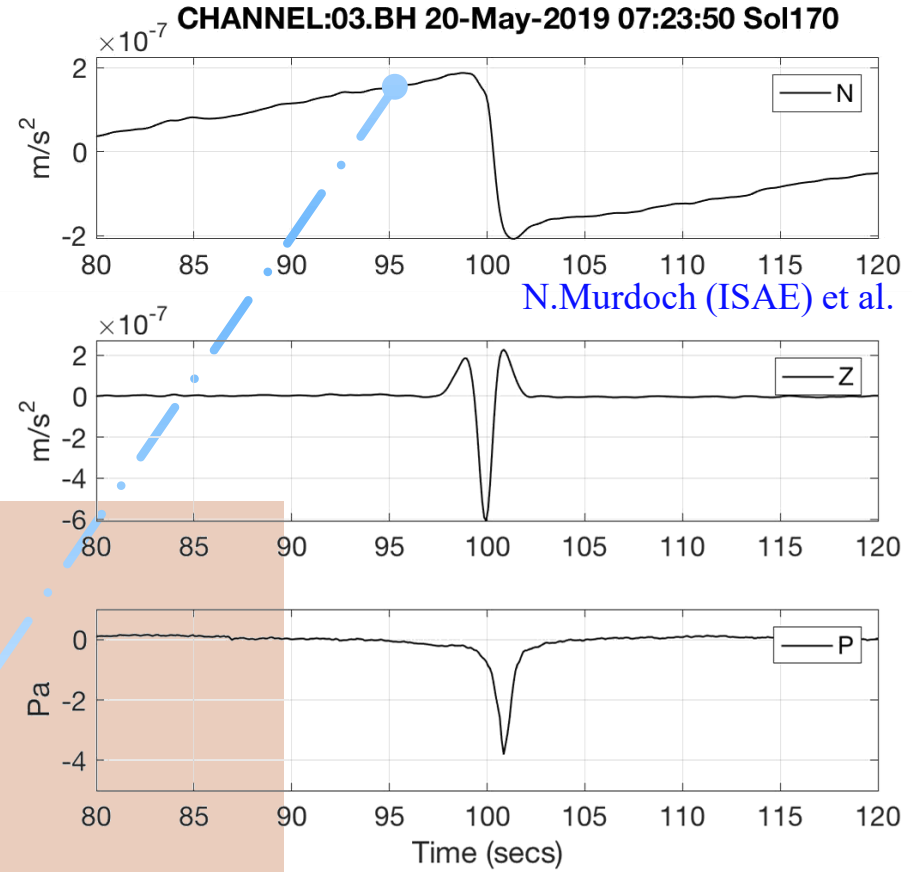


- l'air remonte dans le tourbillon créant une dépression
- La dépression dans le tourbillon aspire la surface



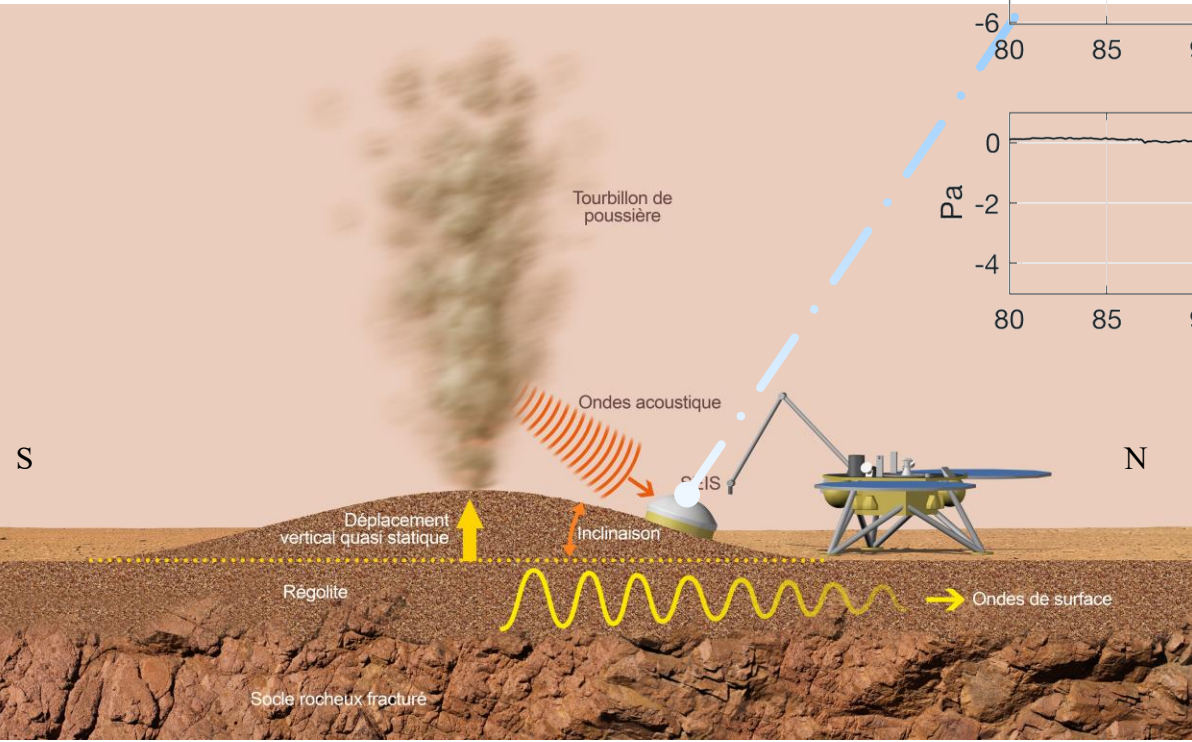


- Suivant la taille, la dépression exerce sur le sol une force (vers le haut) comparable au poids d'un petit chien... ou d'un rhinocéros...



N.Murdoch (ISAE) et al.

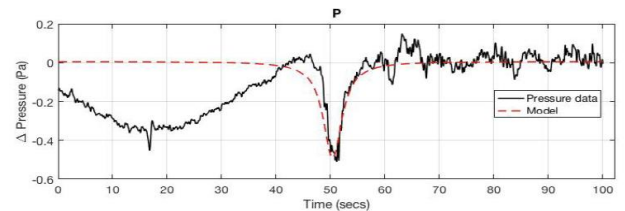
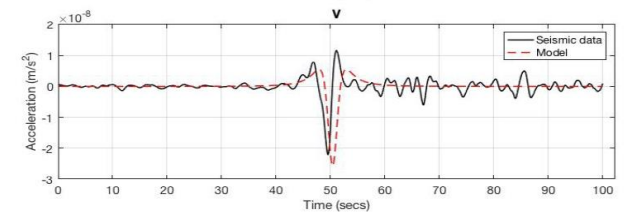
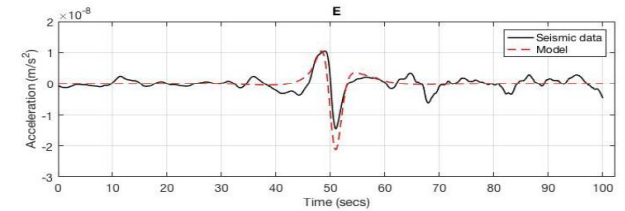
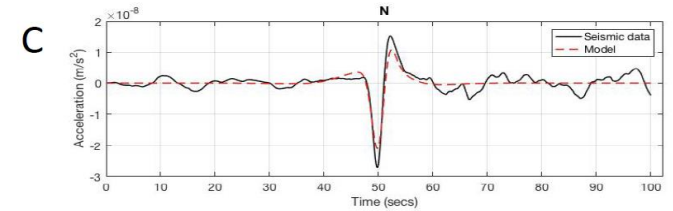
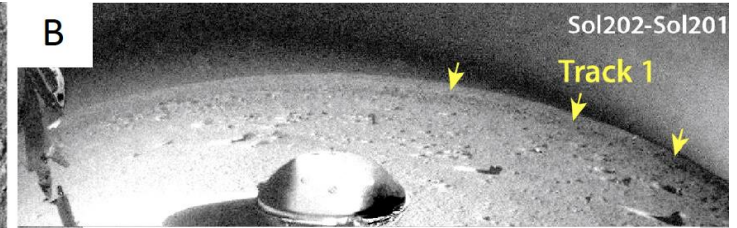
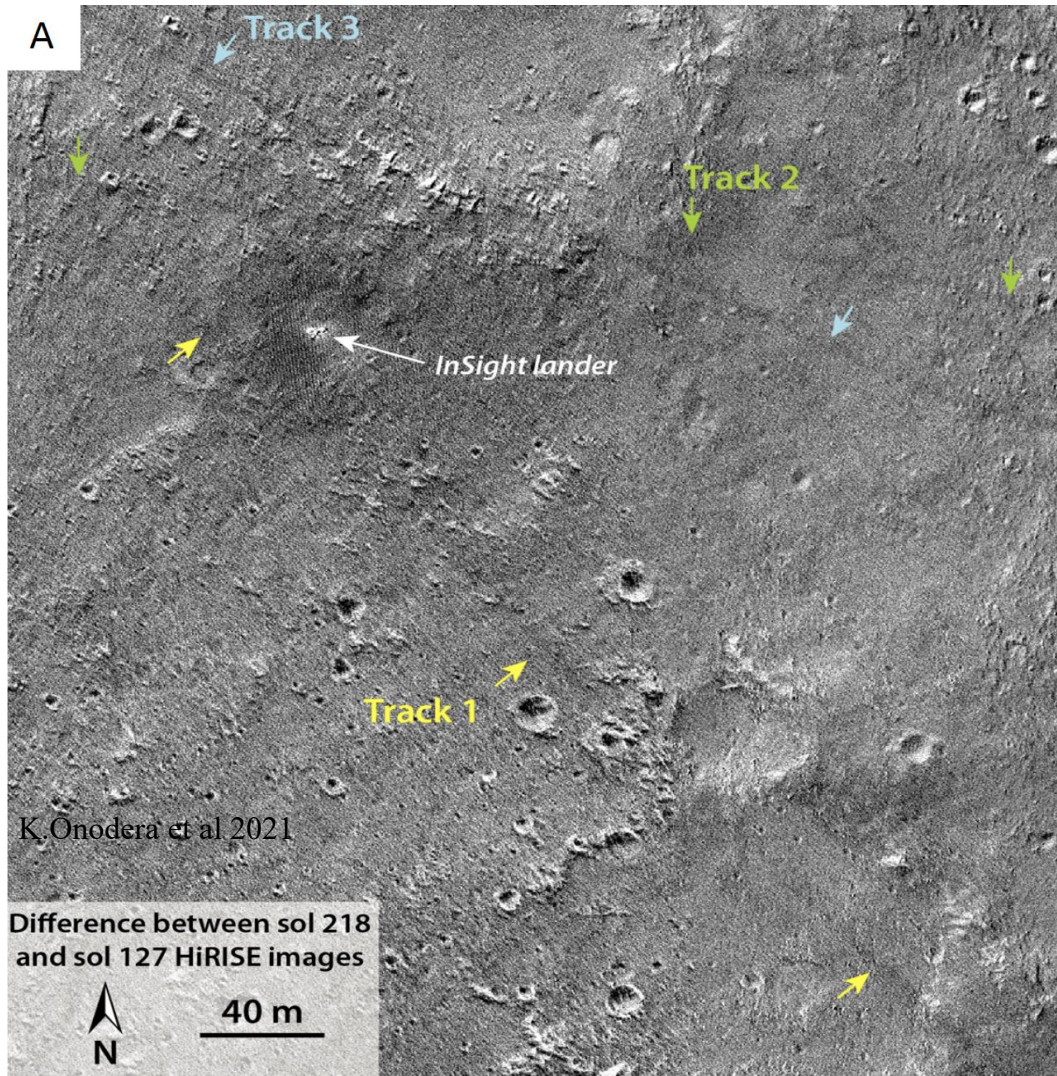
Ce dust devil...



Petit dust devil...



Grand dust devil...

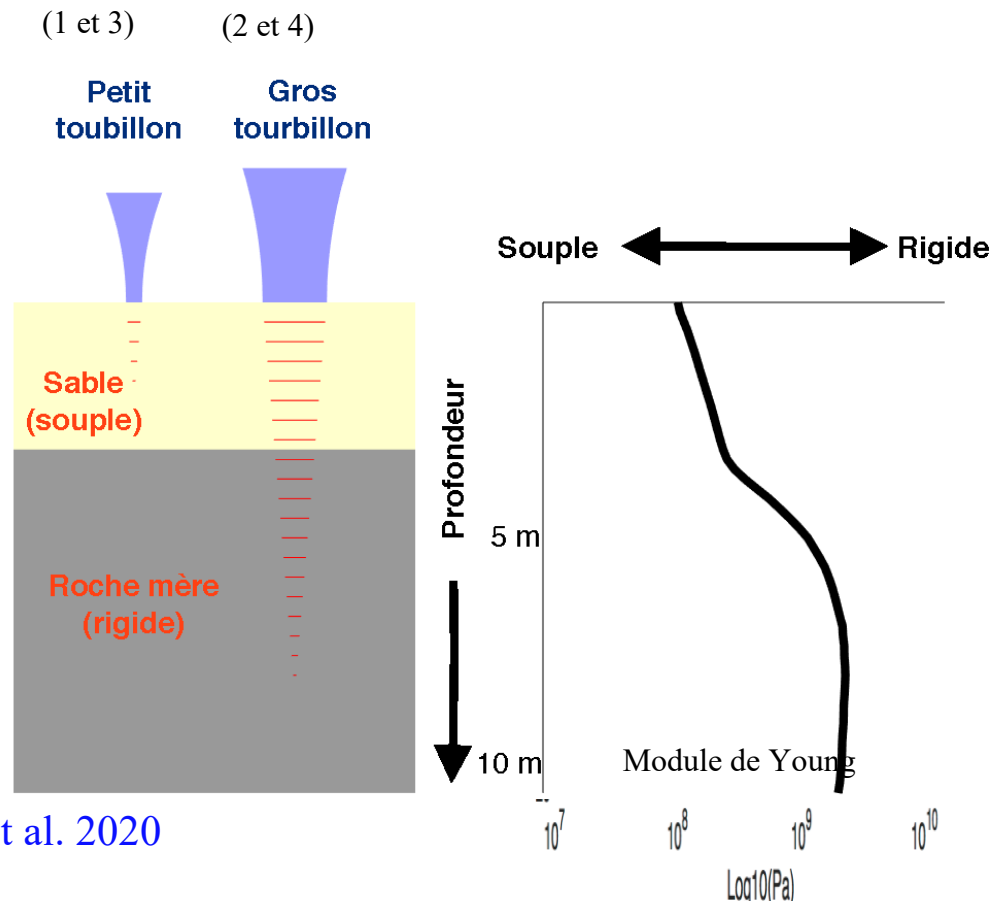
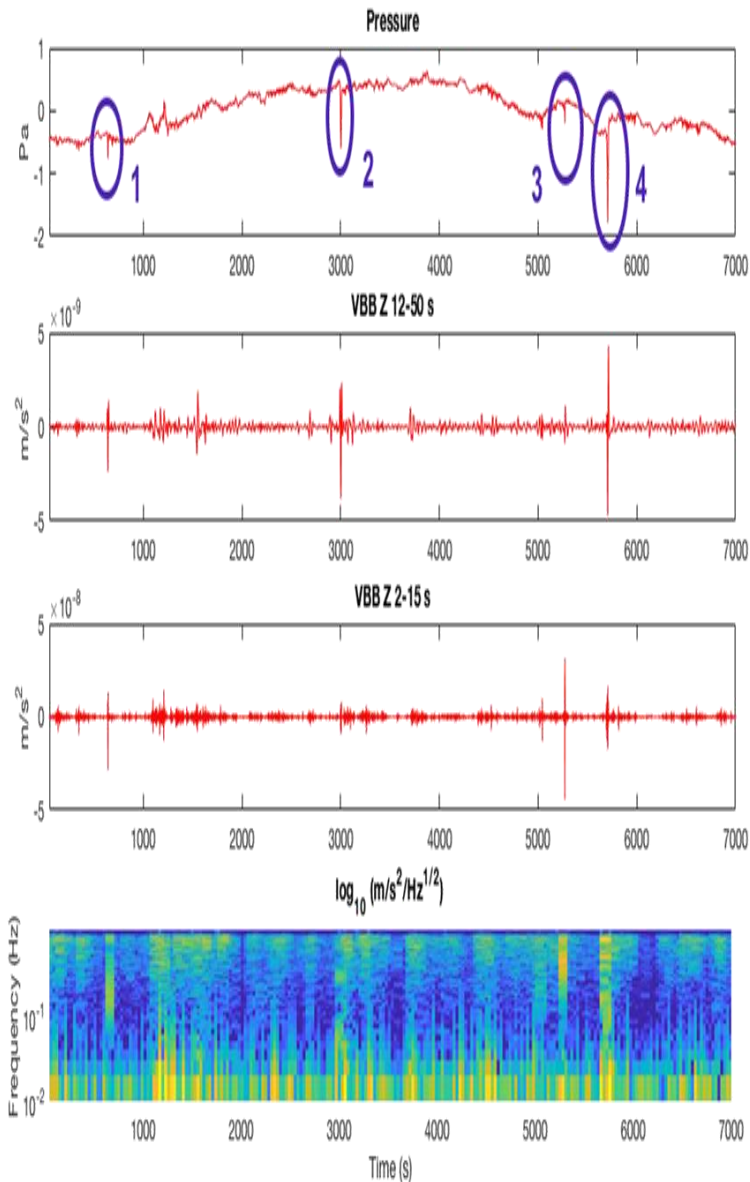


• Courtesy of B.Banerdt (JPL), C.Perrin (IPGP), N.Murdoch (ISAE) , in Banerdt et al. 2020



# Premiers sondages de la subsurface (à la surface de Mars)

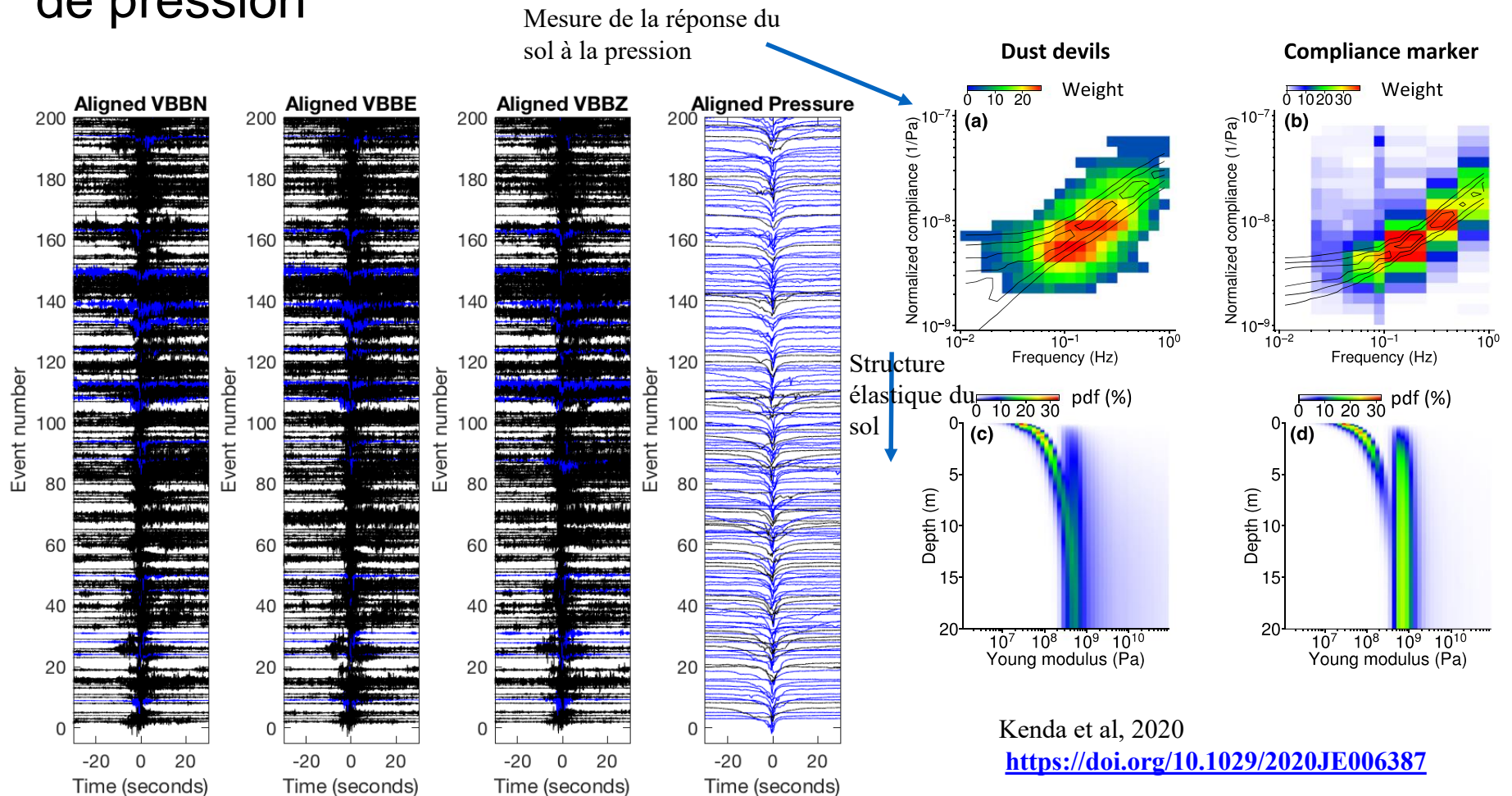
- Nos premiers modèles détectent une roche mère à faible profondeur, ~ 5 m, avec une plus forte rigidité que prévue pour les 5 premiers mètres.



Lognonné et al. , Kenda et al, Murdoch et al. 2020  
 Onodora et al. 2021

# Sondages de la subsurface (2020)

- Ces modèles ont été améliorés en utilisant plusieurs centaines de signaux associés aux passages de dust devils ou de fronts de pression



Lorenz et al, 2020

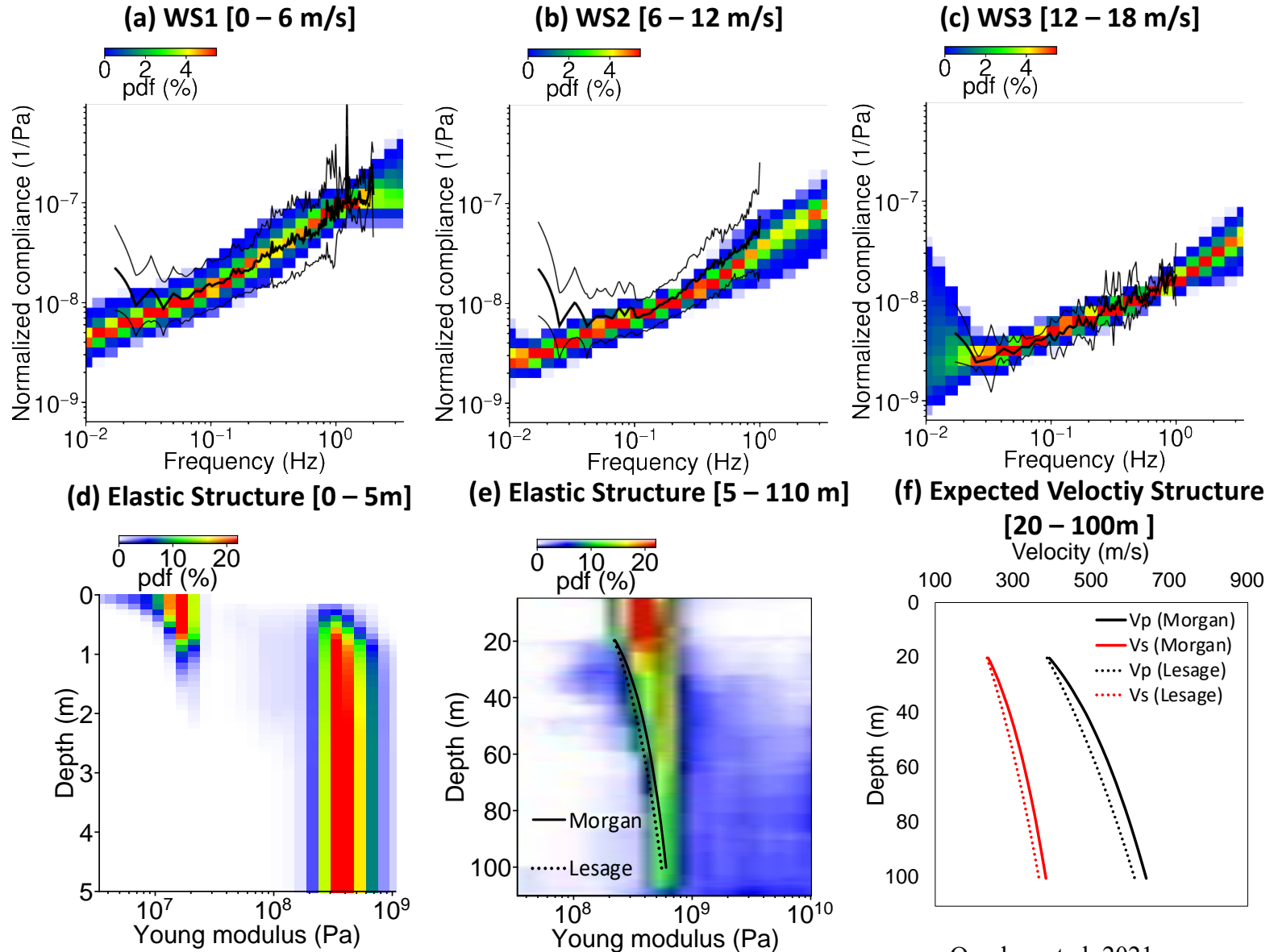
<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.114119>

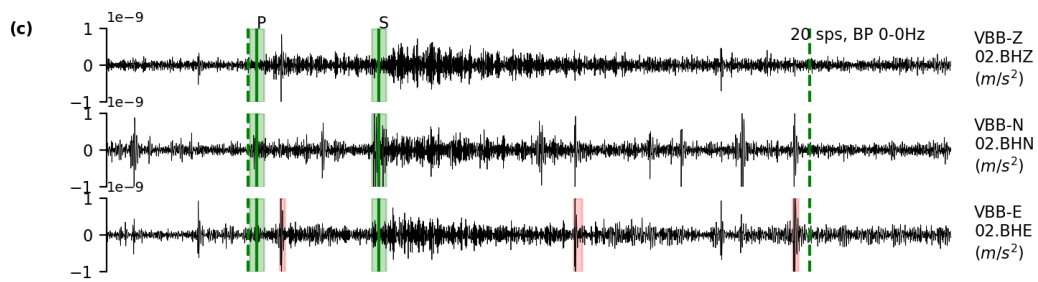
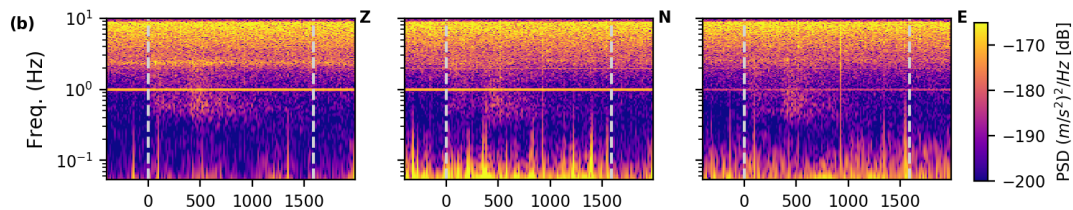
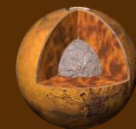
Kenda et al, 2020

<https://doi.org/10.1029/2020JE006387>



# Sondages de la subsurface (2021)



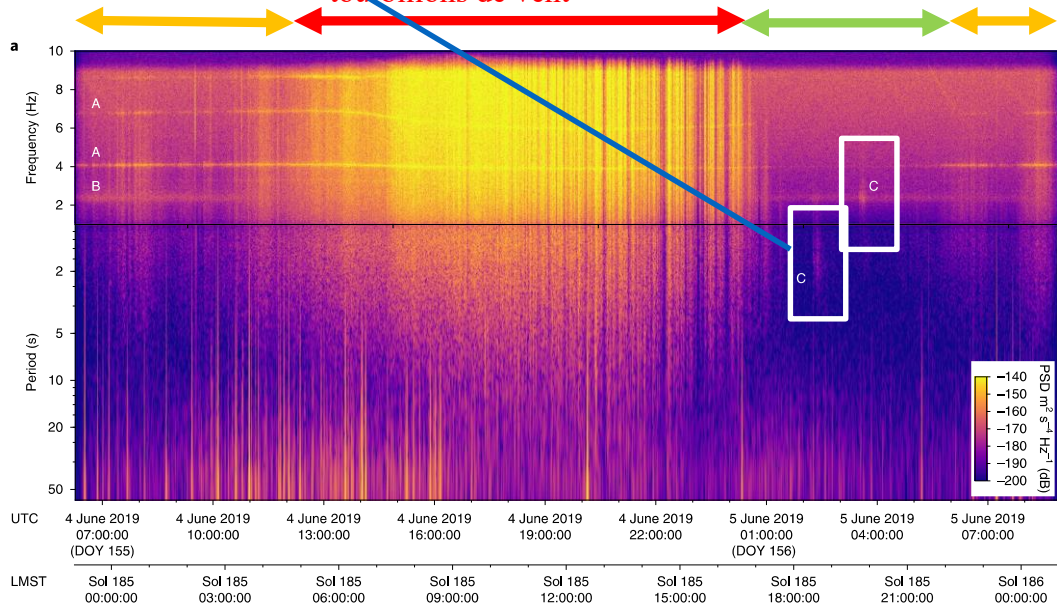


Fin d'après midi  
et début de nuit  
calme

Fin de nuit agitée..

Matinée agitée par les  
tourbillons de vent

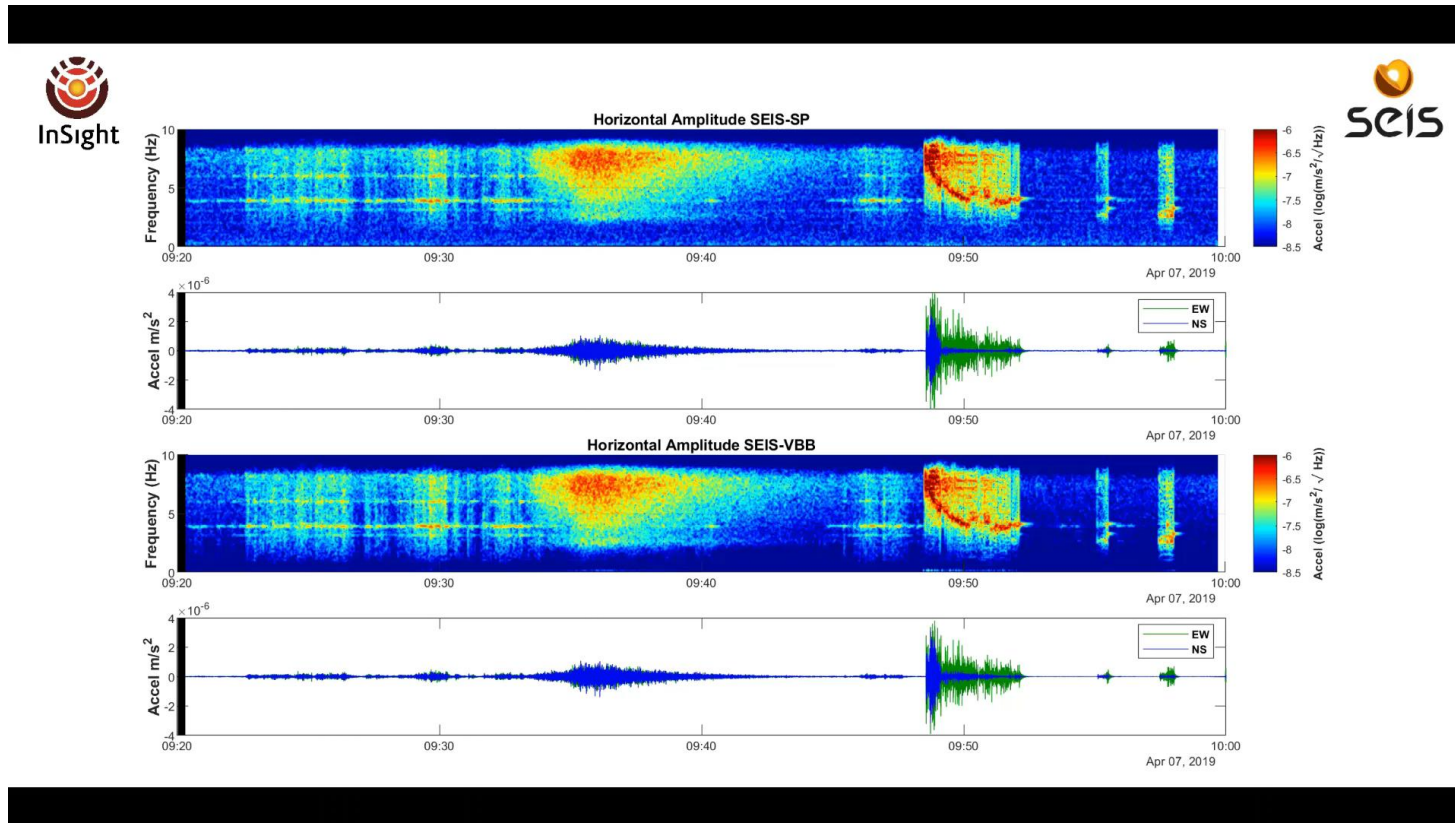
Giardini et al. 2020



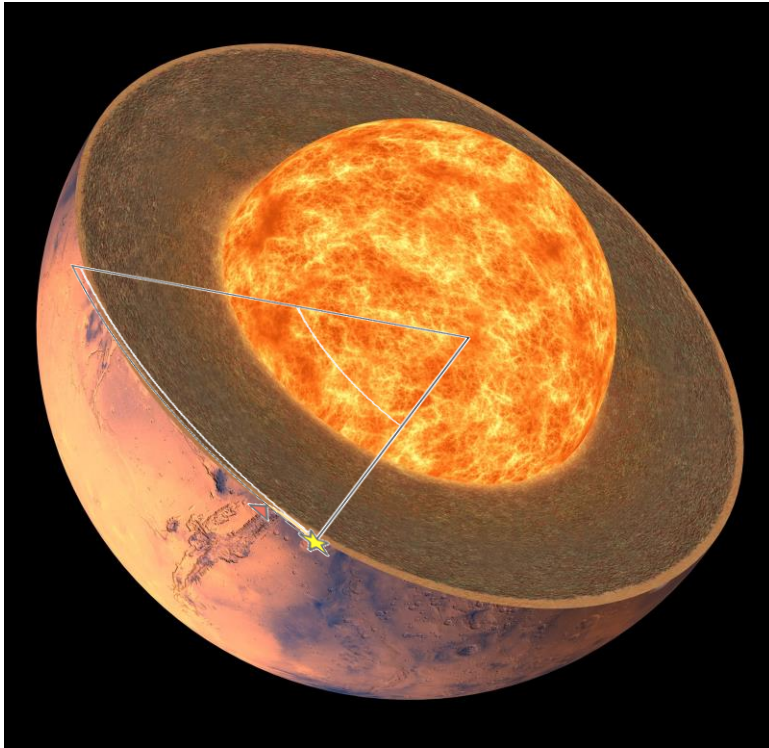




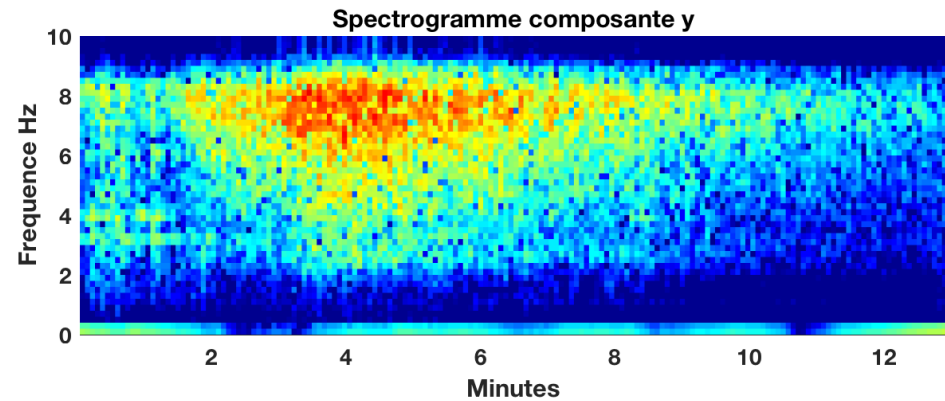
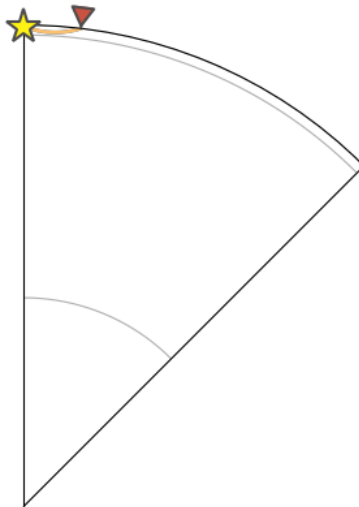
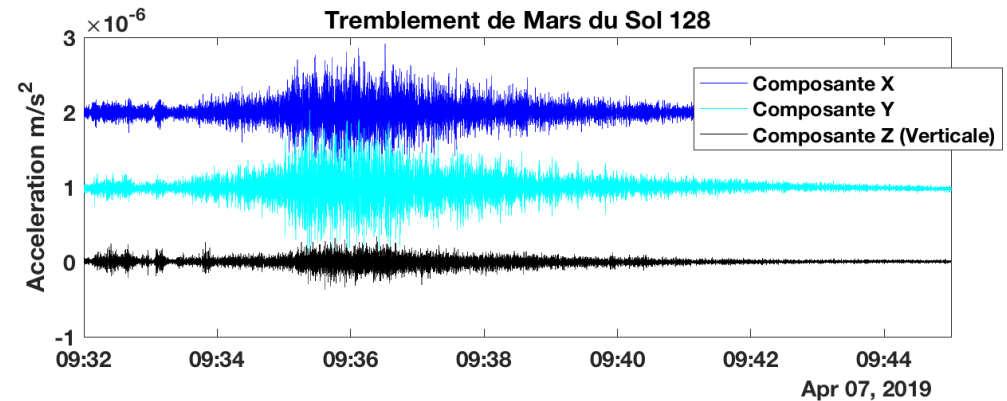
- Un séisme haute fréquence, 10-30 fois plus fort que le bruit des meilleures stations terrestres (5-10 nanomètres de déplacement du sol)



# Tremblement de Mars du 7 avril 2019 ( sol 128)



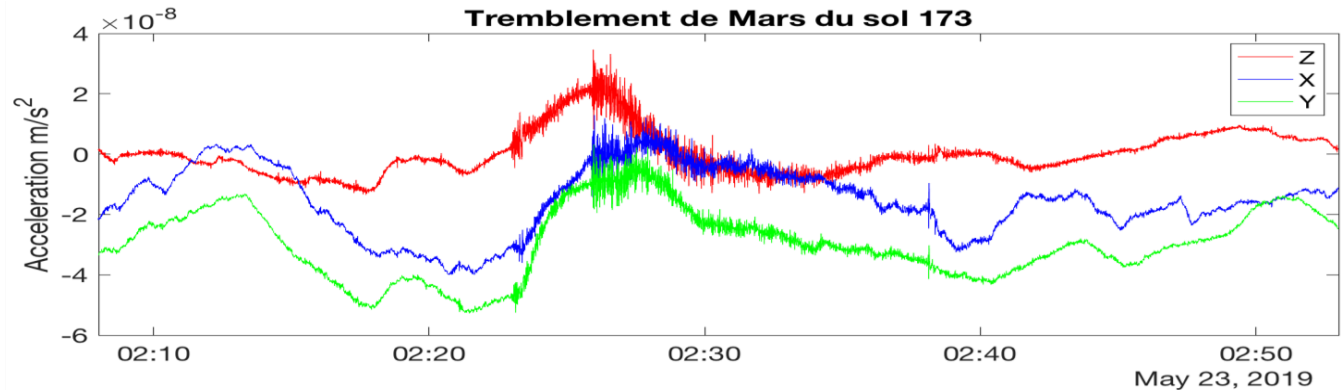
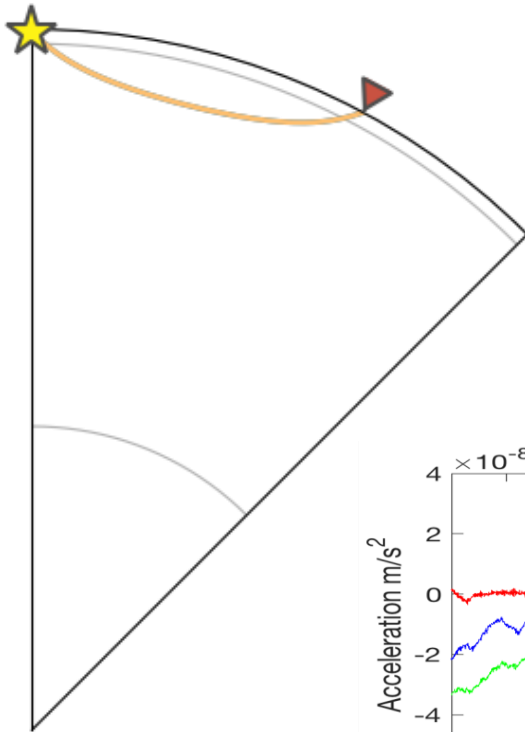
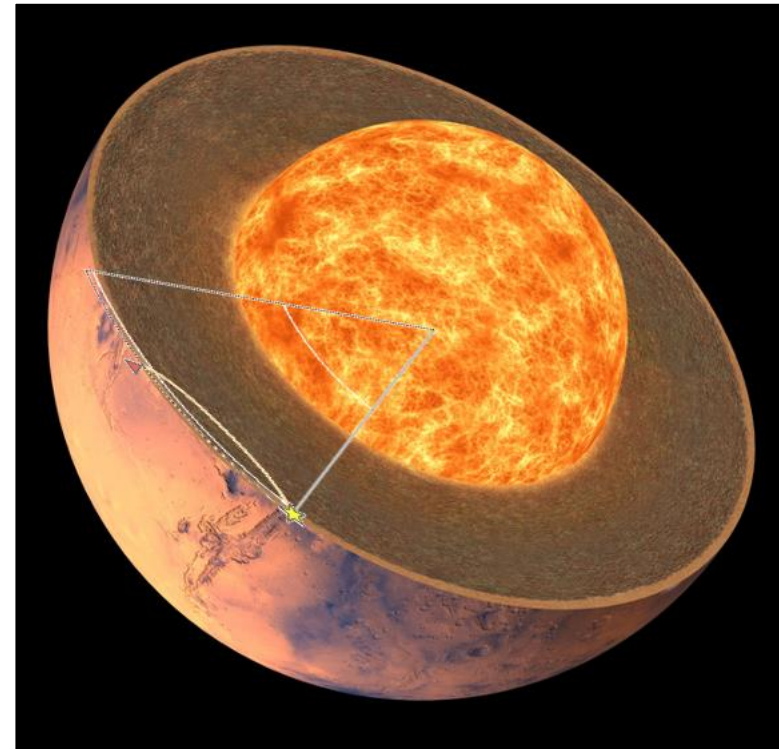
- Un séisme riche en haute fréquence à environ 500 km de distance
- Une longue durée du signal, montrant que les ondes réverbèrent lors de leur propagation





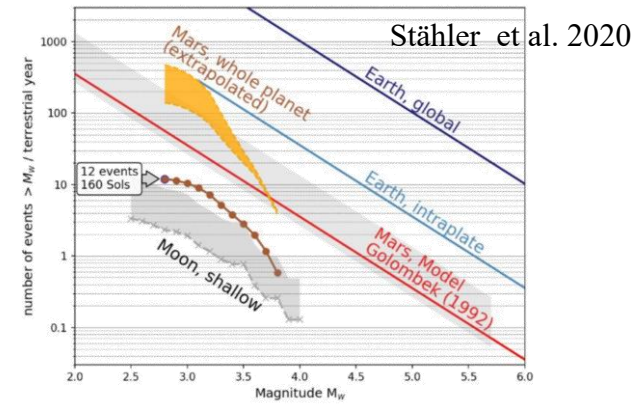
# Séisme du 5 Mai 2019 (sol 173)

- Séisme de magnitude 3-3.5
- Belles ondes P et S
- Localisé à environ 1600 km à l'est d'InSight

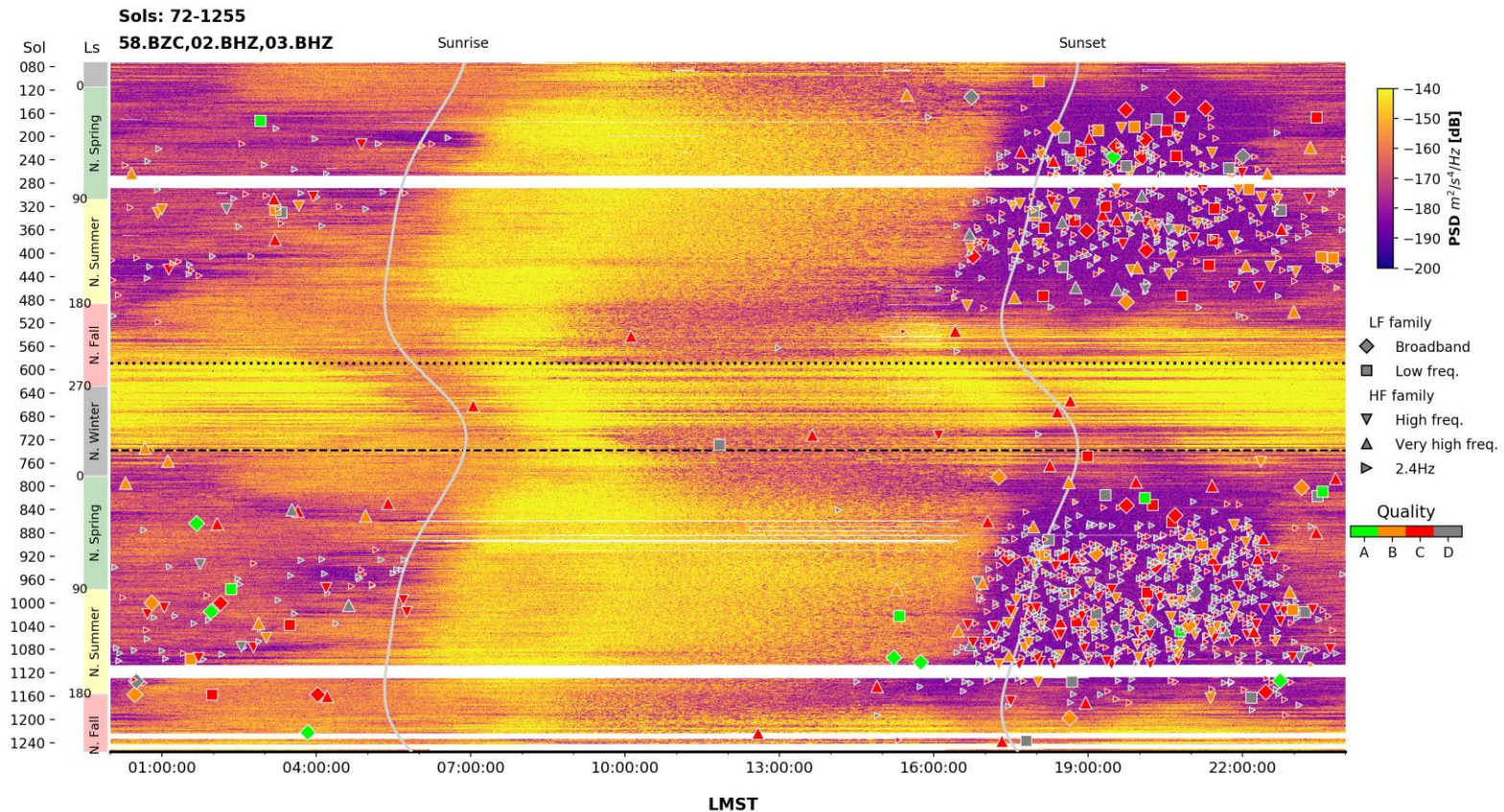




- Plus de 1300 évènements dont 94 avec une forte énergie à basse fréquence
- Cette sismicité place Mars entre la Lune et la Terre



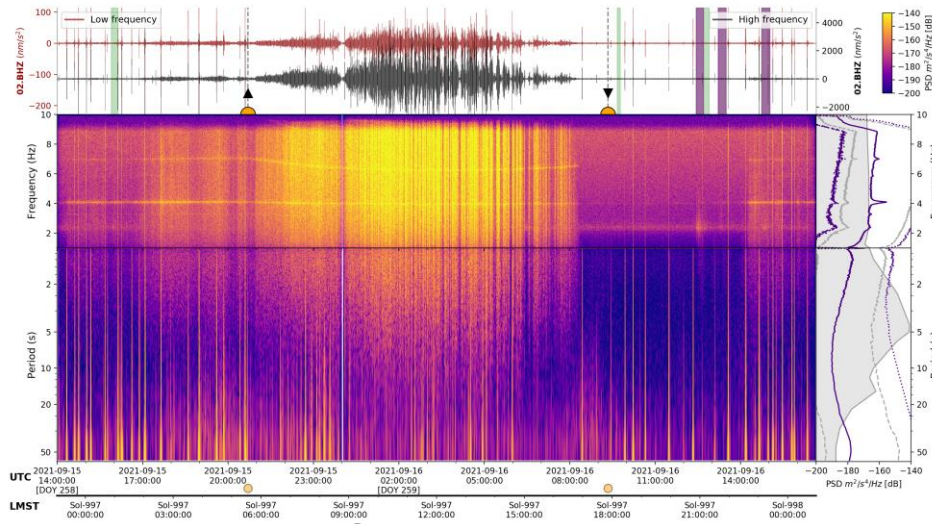
Clinton et al. 2020



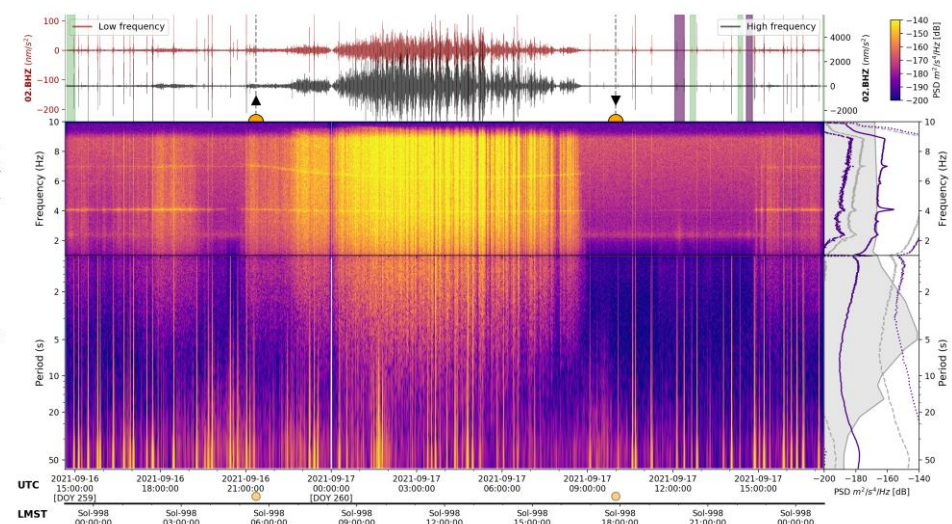




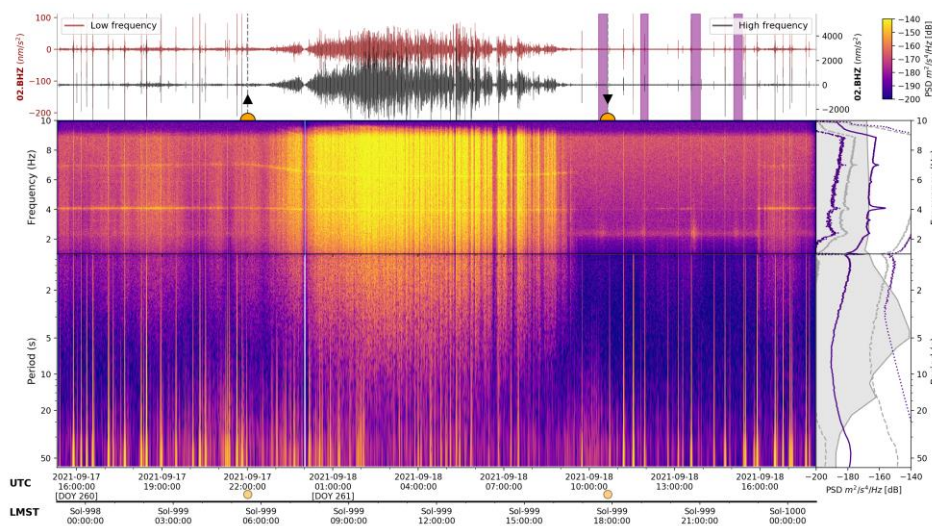
# Quelques gros évènements....



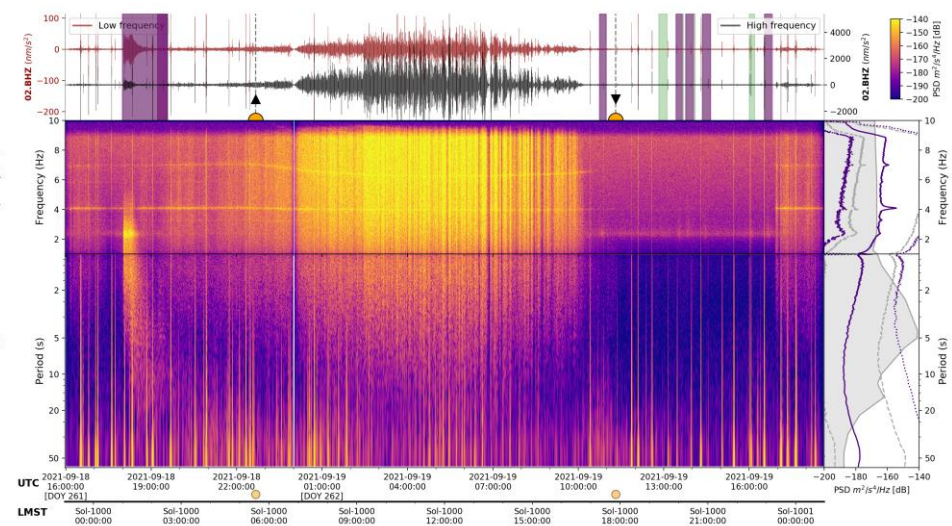
Sol 997



Sol 998



Sol 999

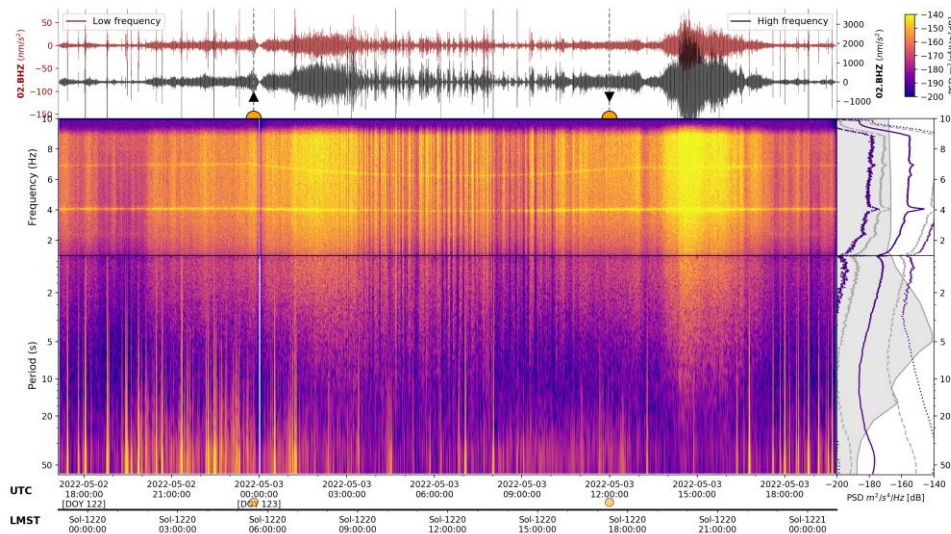


Sol 1000

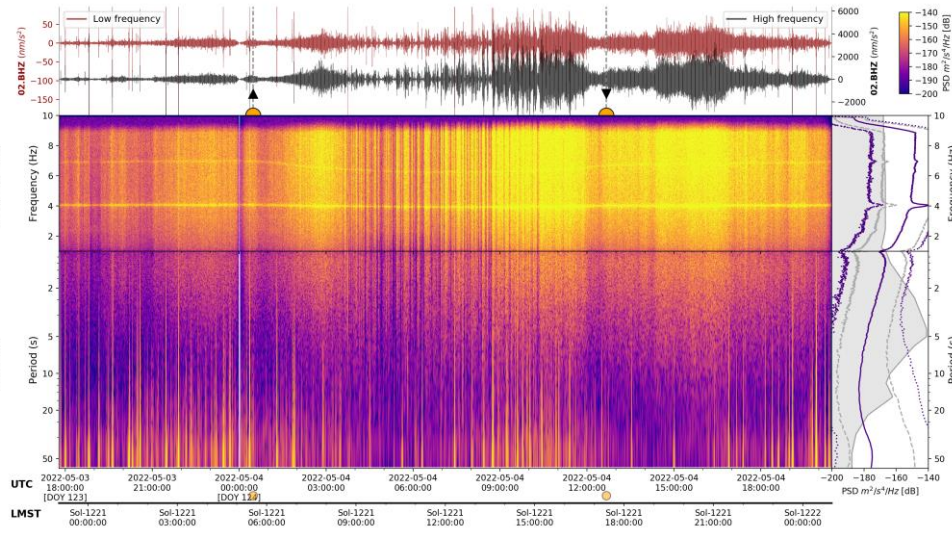




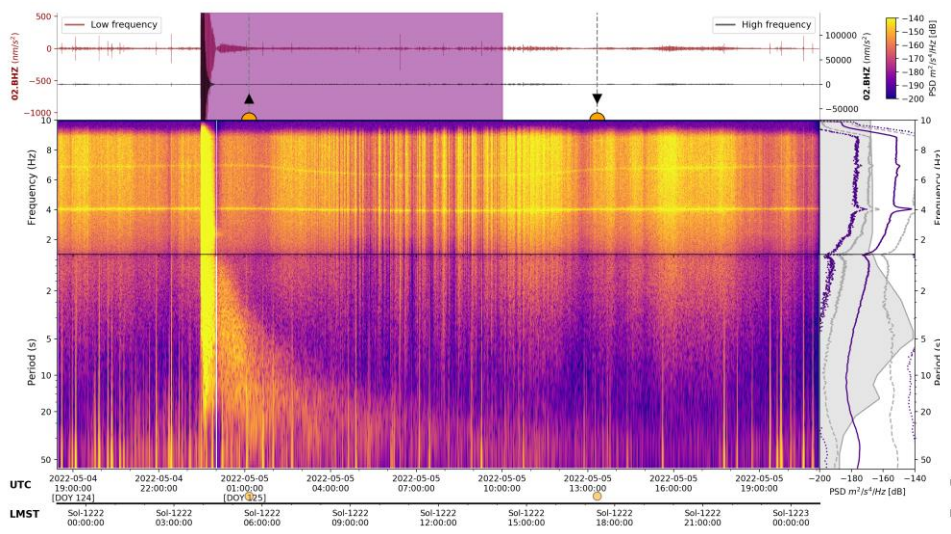
# Quelques gros évènements....



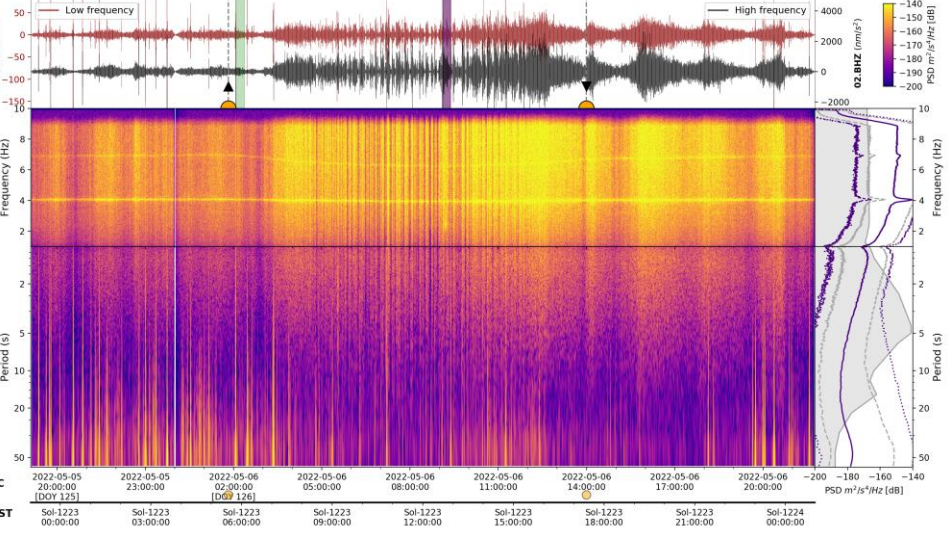
Sol 1220



Sol 1221

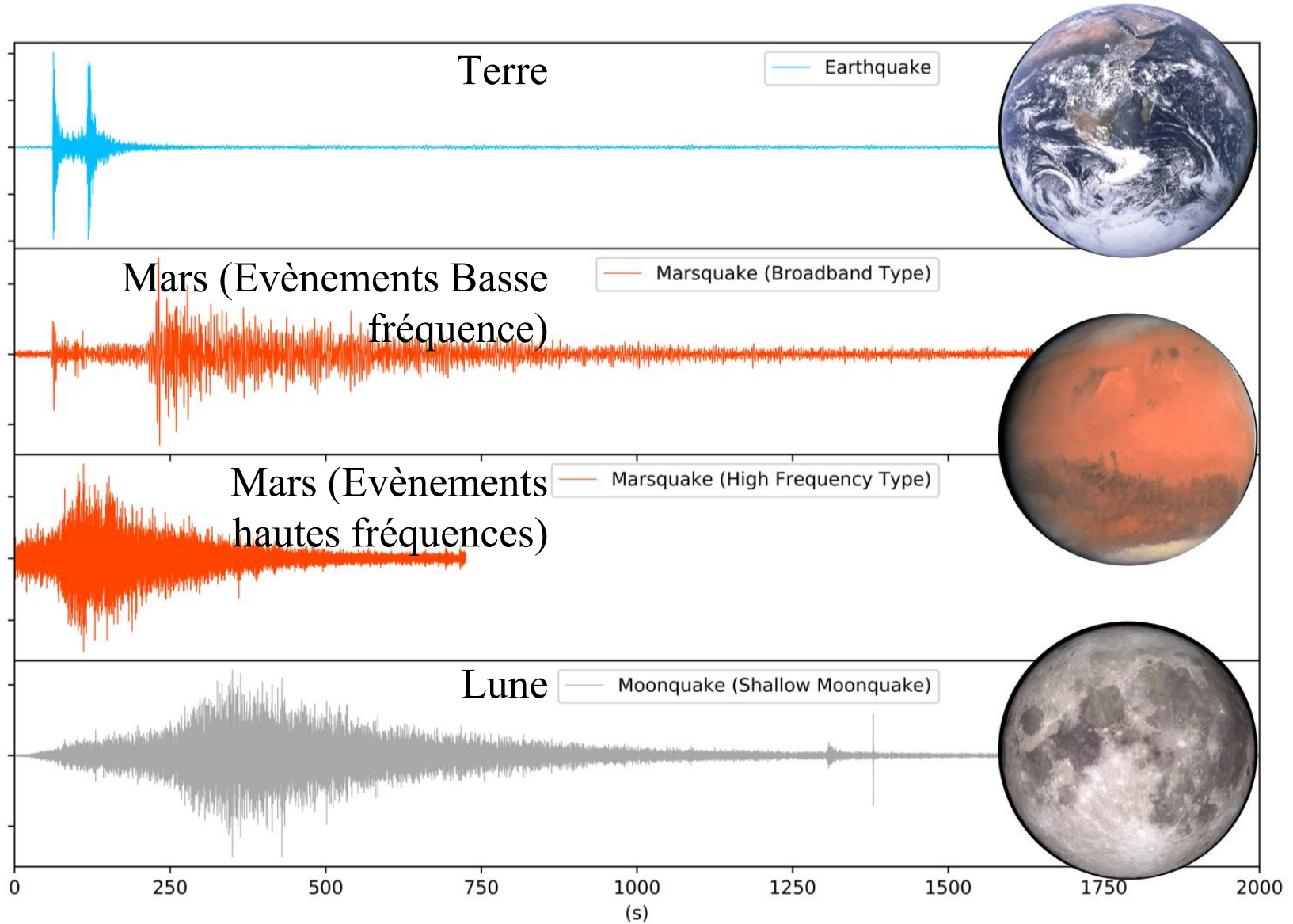


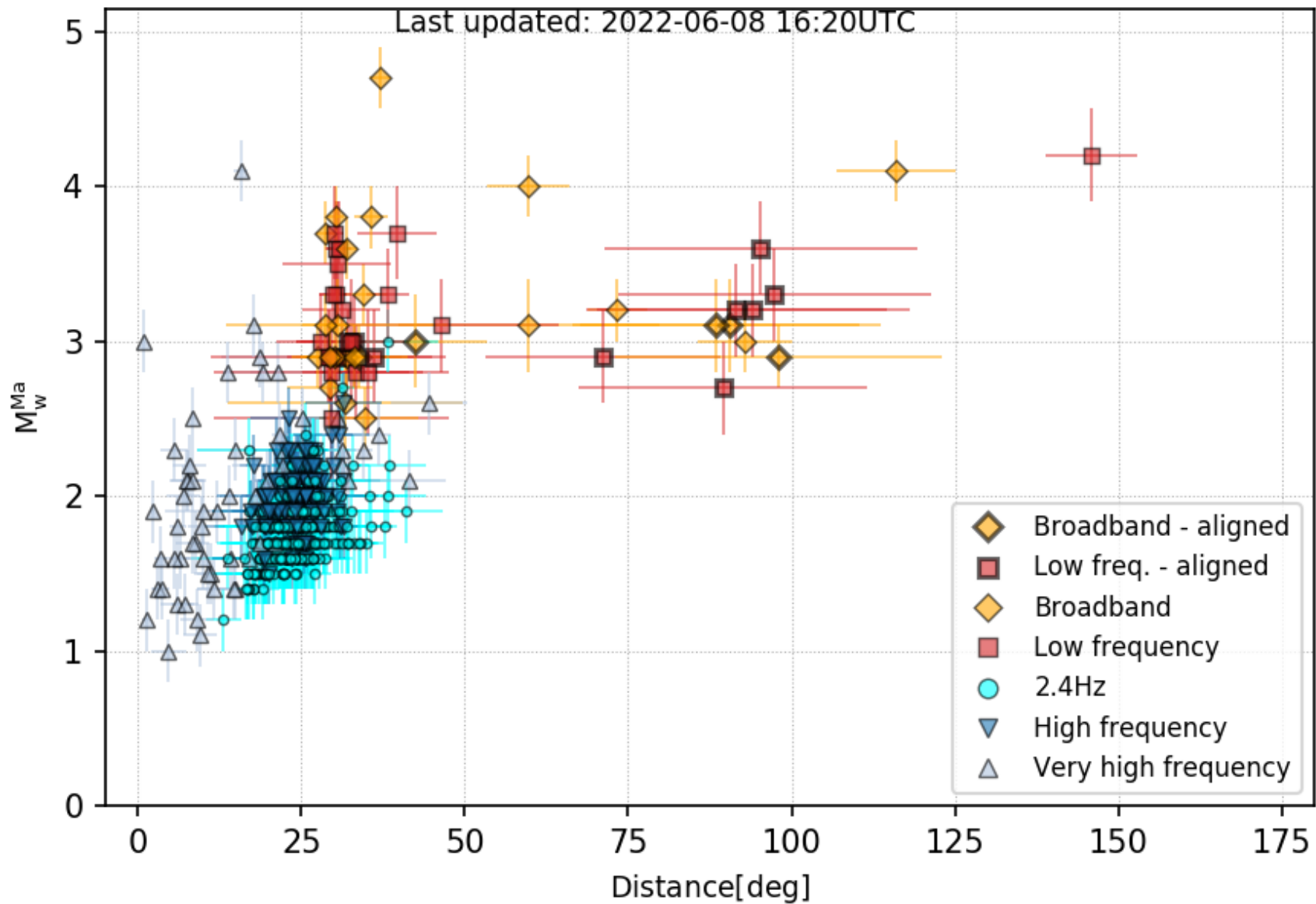
Sol 1222



Sol 1223





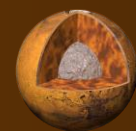






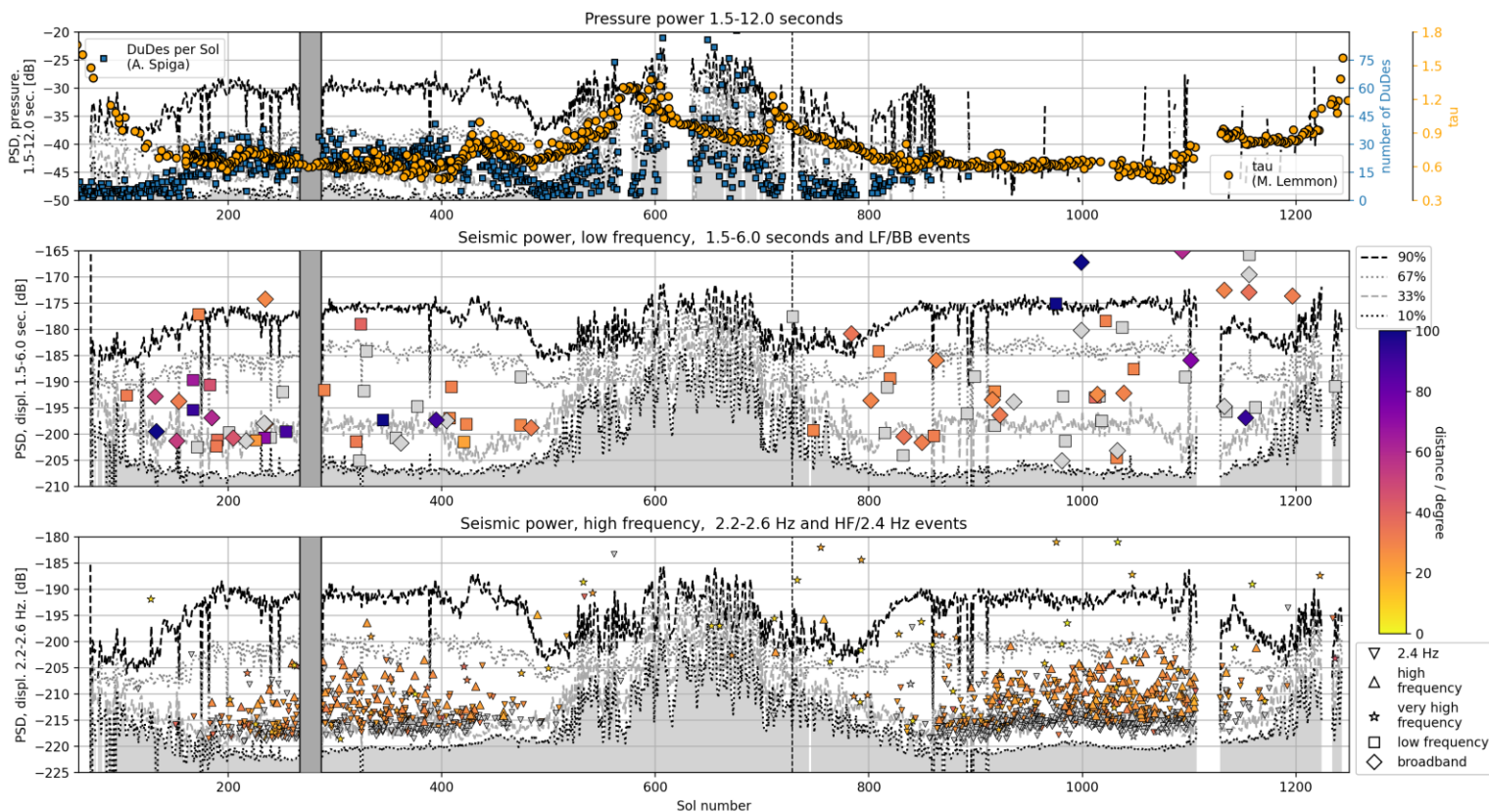
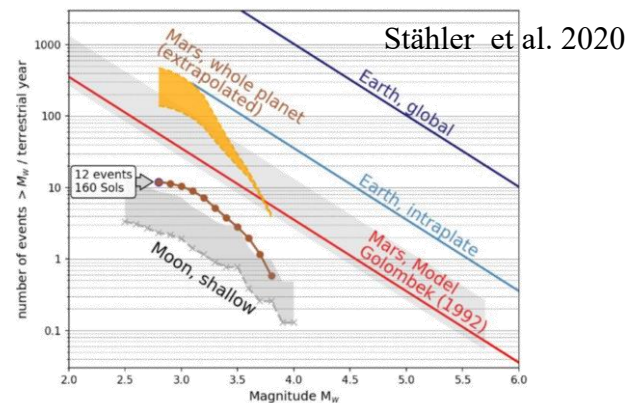
InSight

# Catalogue d'évènements après 1240 sols

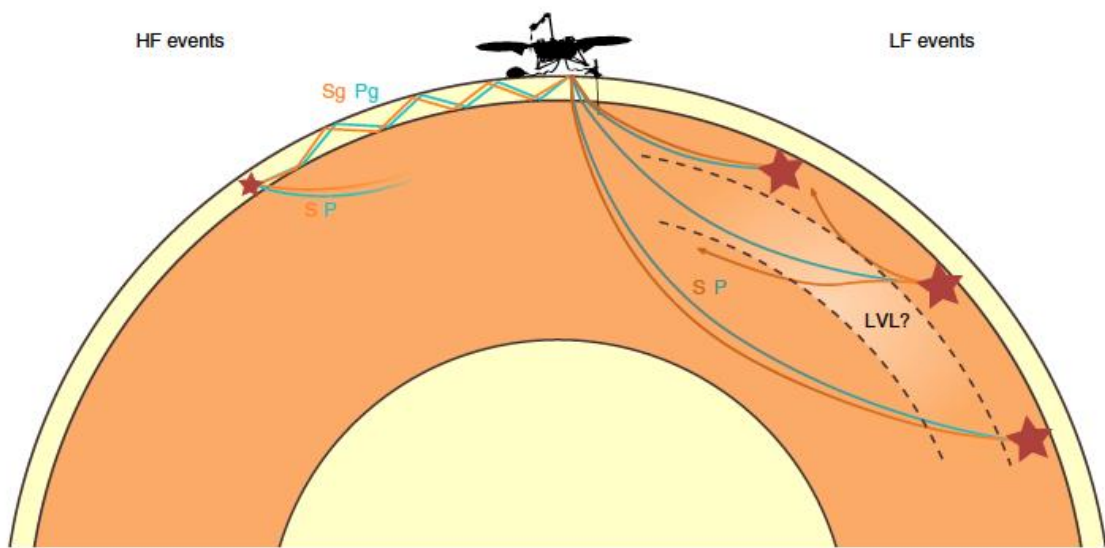
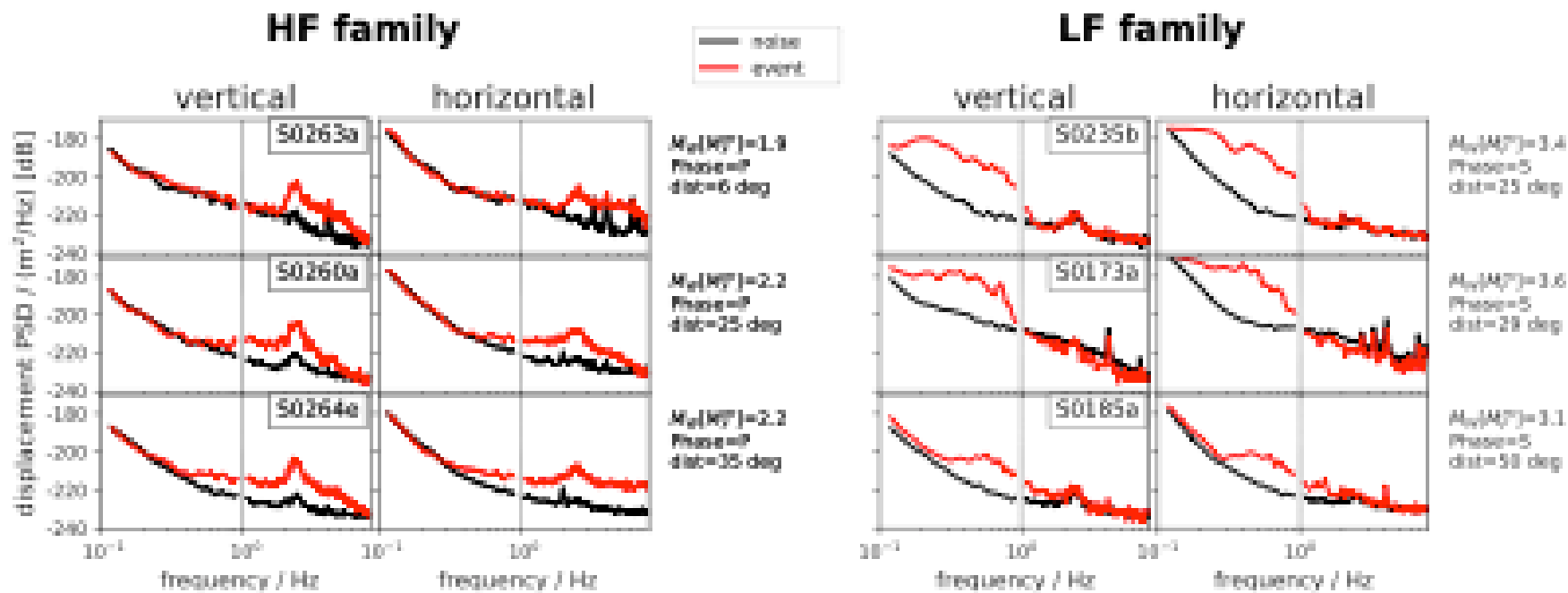


- Plus de 1300 évènements dont 94 avec une forte énergie à basse fréquence
- Cette sismicité place Mars entre la Lune et la Terre

Clinton et al. 2020



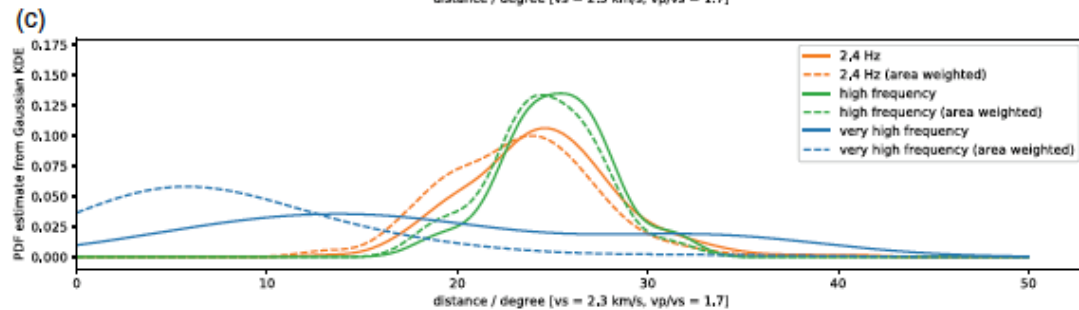
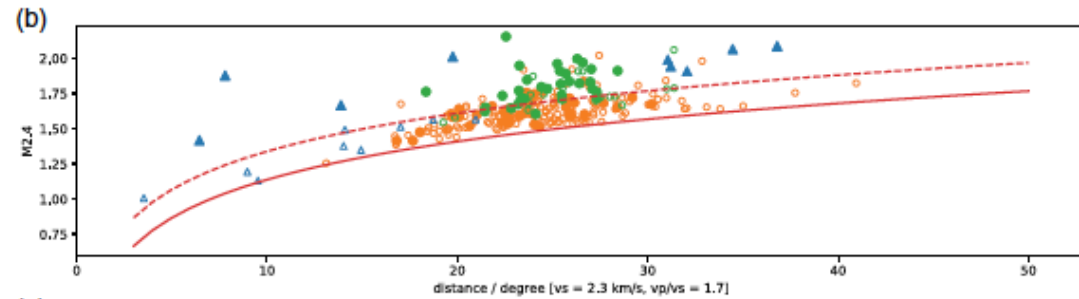
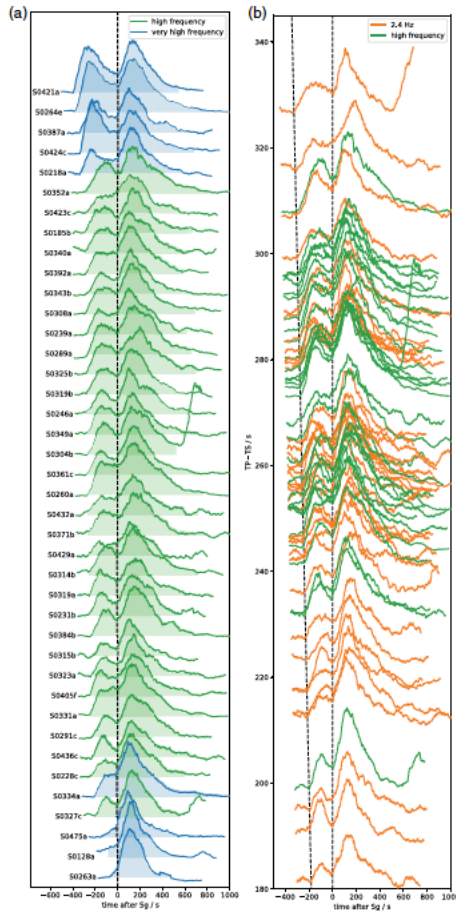
# Deux famille de séismes ( vis-à-vis de leur propagation )



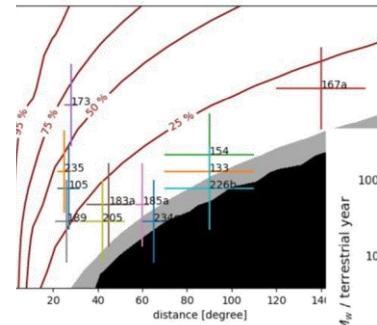
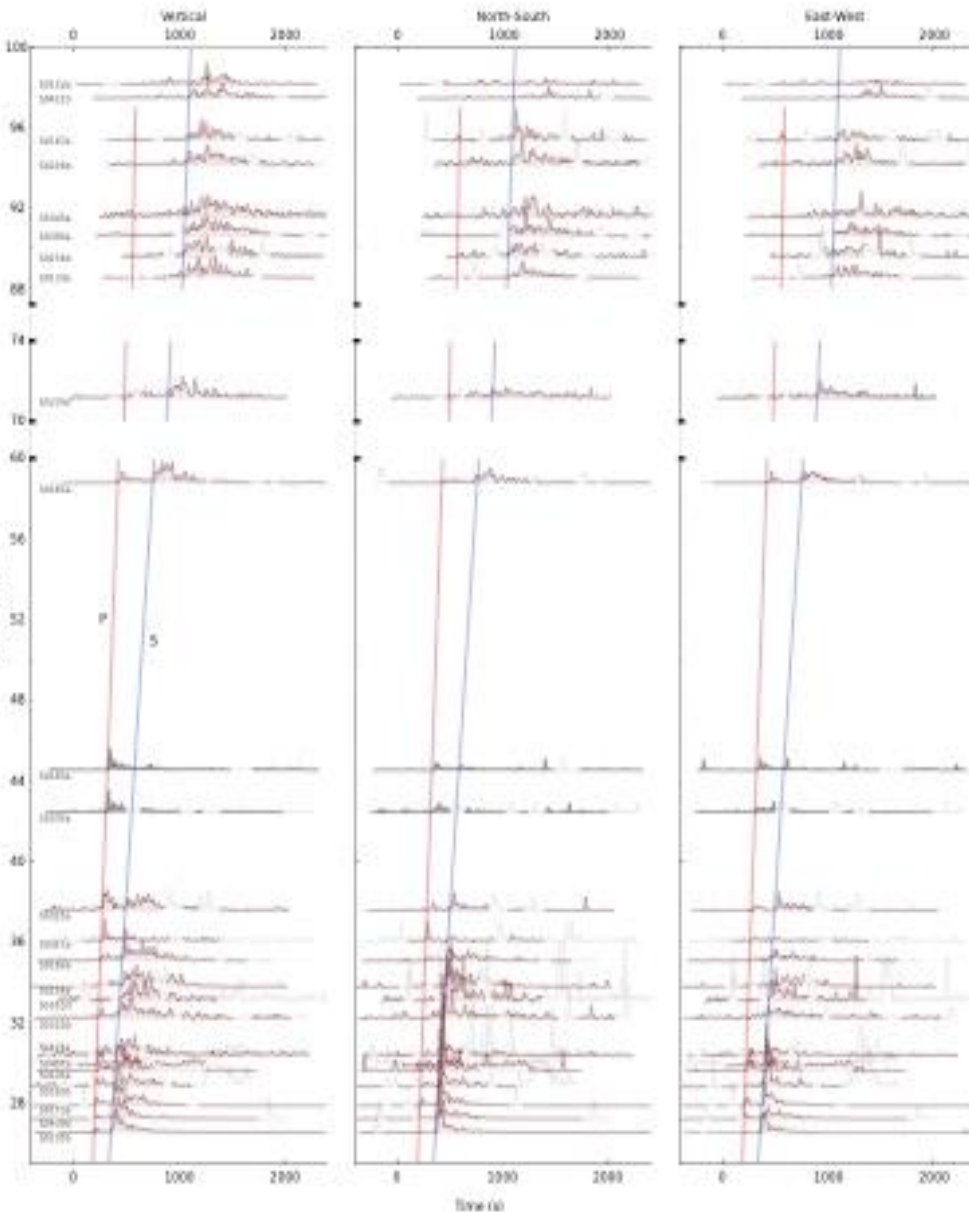


# Deux famille de séismes: séismes Haute fréquence

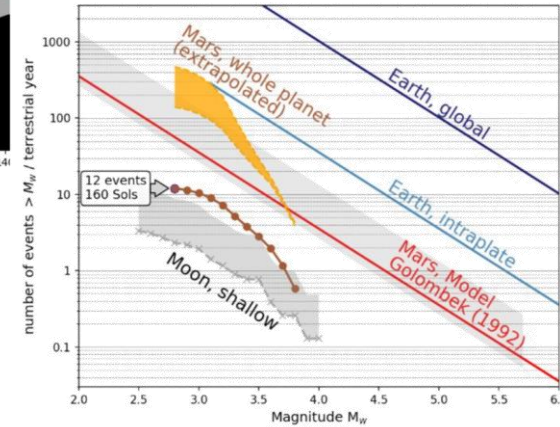
- Des séismes assez nombreux de faible magnitude ( $< 2$ ), et situés entre  $20$  et  $30^\circ$  de distance épacentrale (1200-1800 km)
- localisation encore inconnue



# Deux famille de séismes: séismes basse fréquence



Banerdt et al. 2020  
Stähler et al. 2020

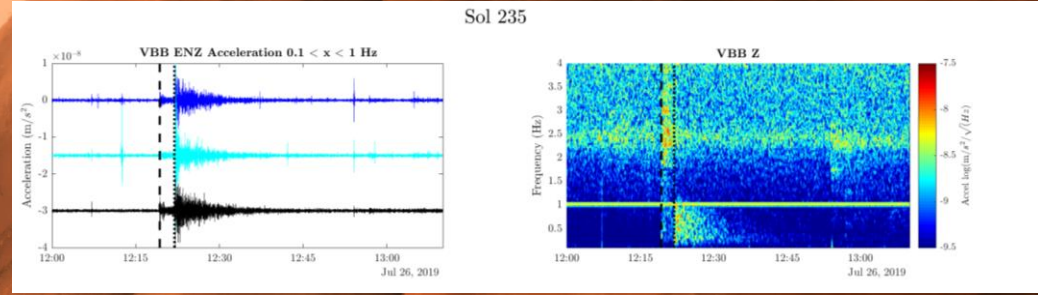
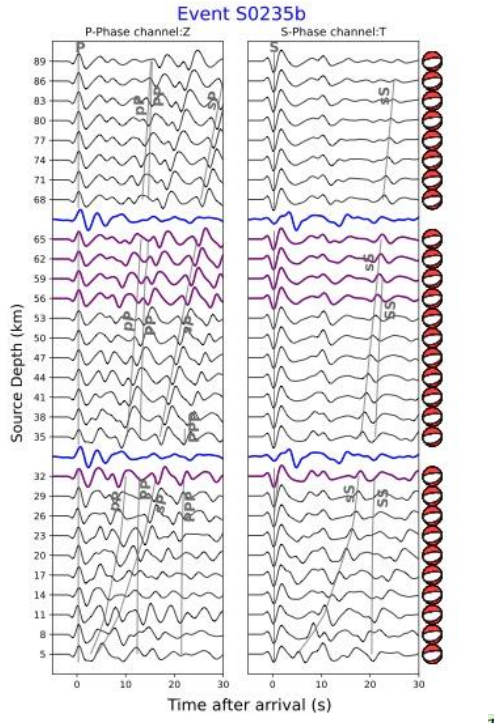


- ~60 séismes plus lointain longue période, d'une magnitude de 3 à 4 constituant l'essentiel de la sismicité



# Découverte d'une sismicité régionale dans Cerberus Fossae

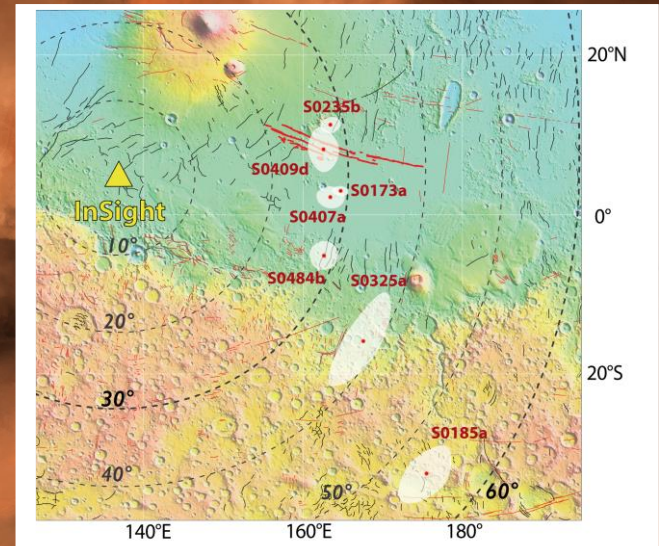
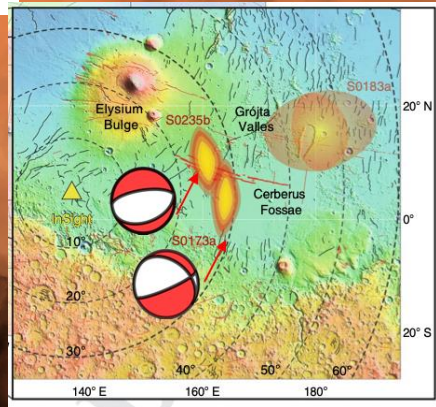
- Les 3 séismes les plus forts (dont deux avec des ondes P et S polarisées) sont issus de la même région
- Tous les deux localisées dans la région de Cerberus, impliquant une activité tectonique régionale



Drilleau et al. LPSC 2021 #162

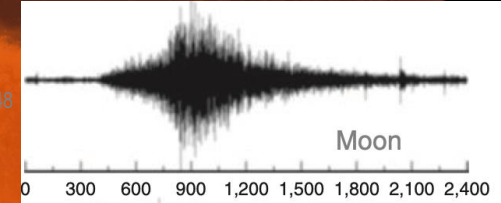
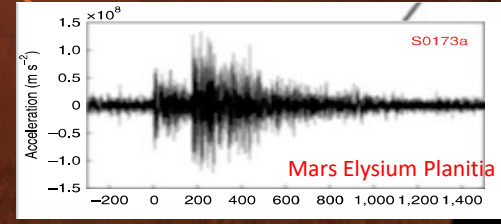
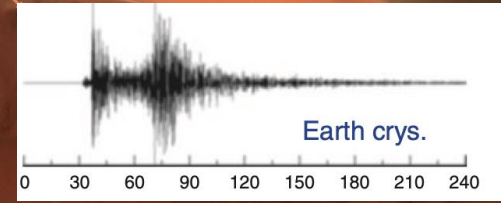
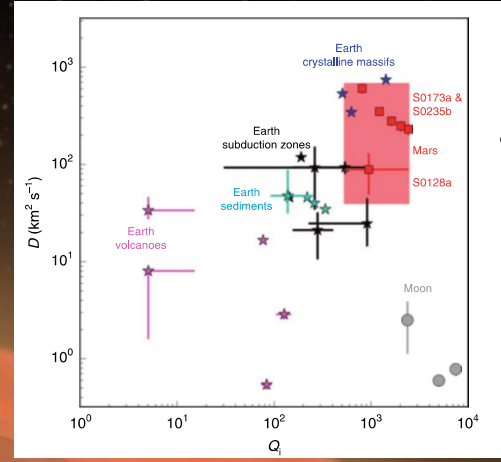
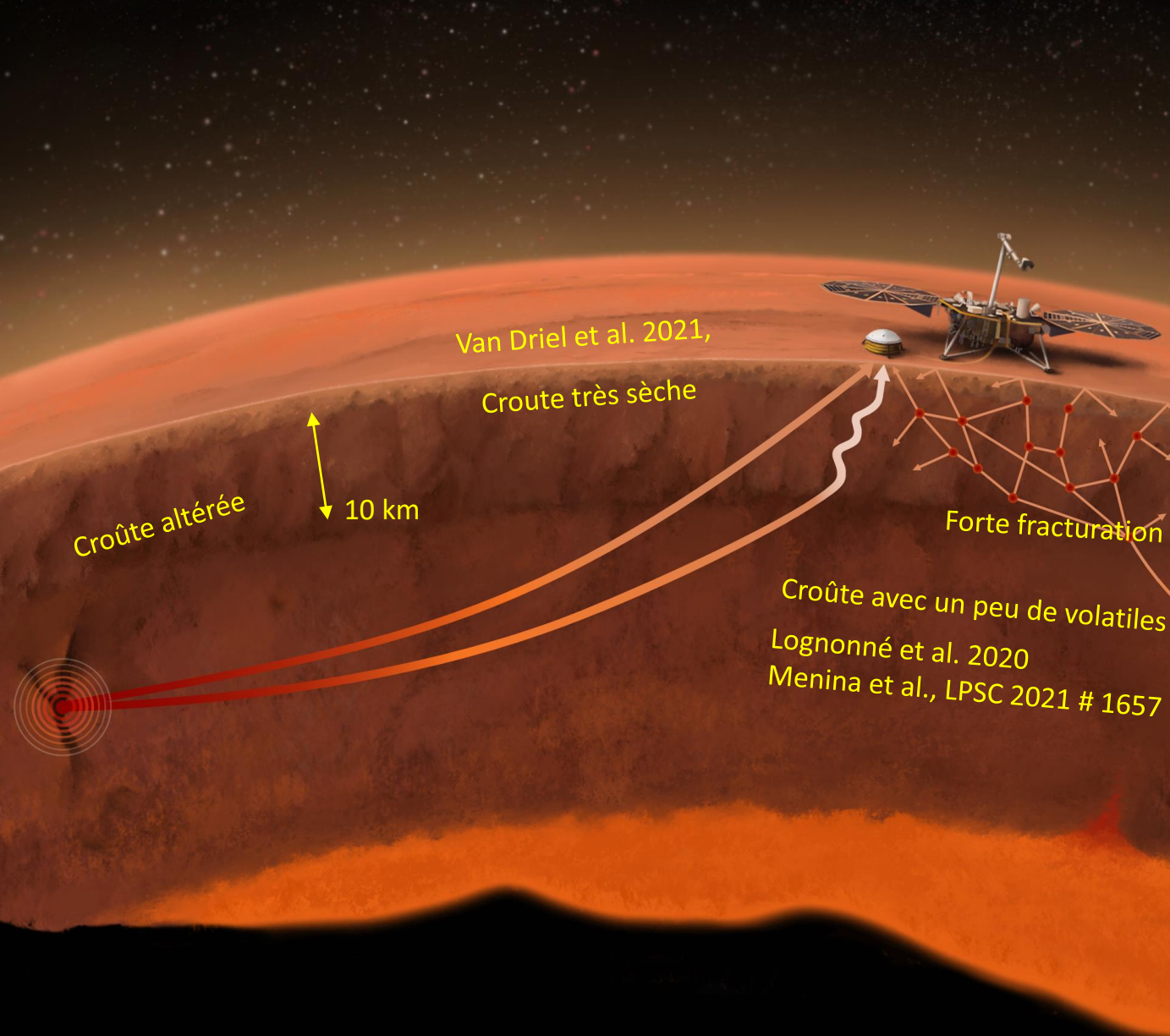
Brinkman et al. 2021

Giardini et al. 2020,  
Clinton et al. 2020

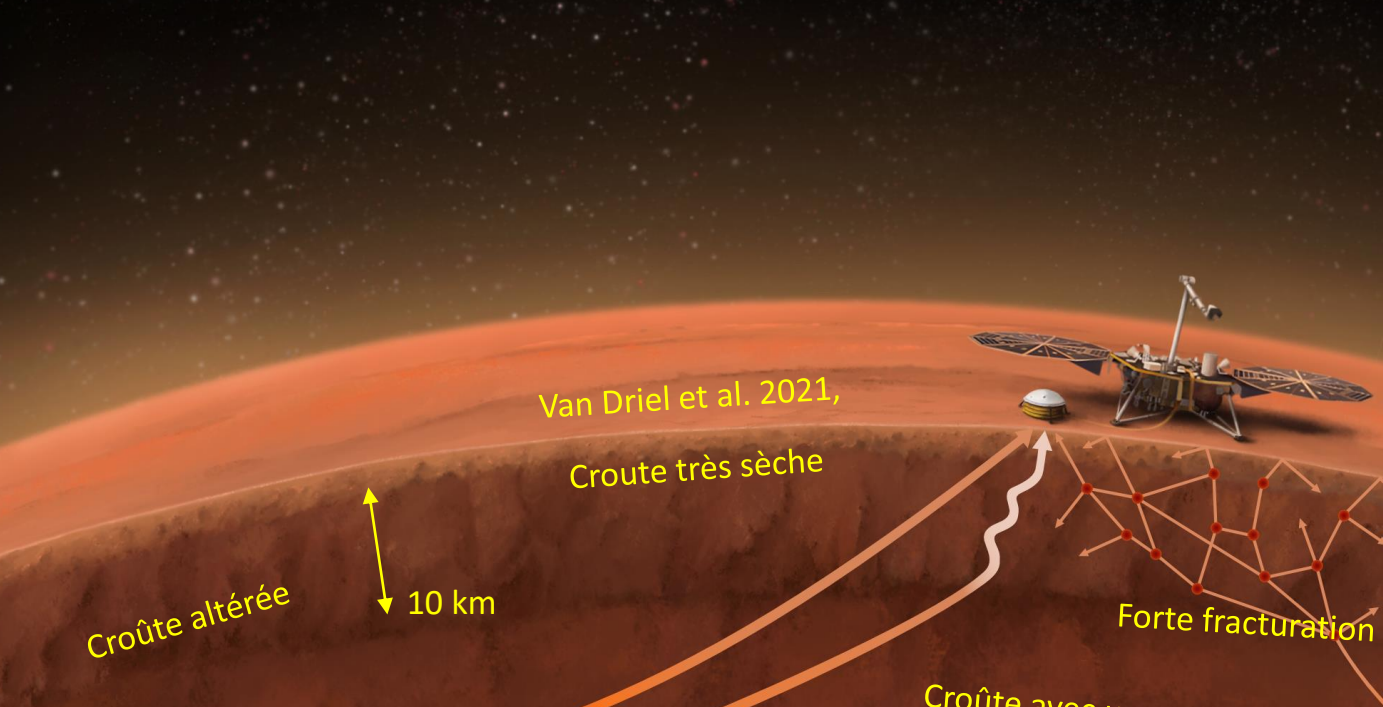




# Caractérisation de la croûte Martienne





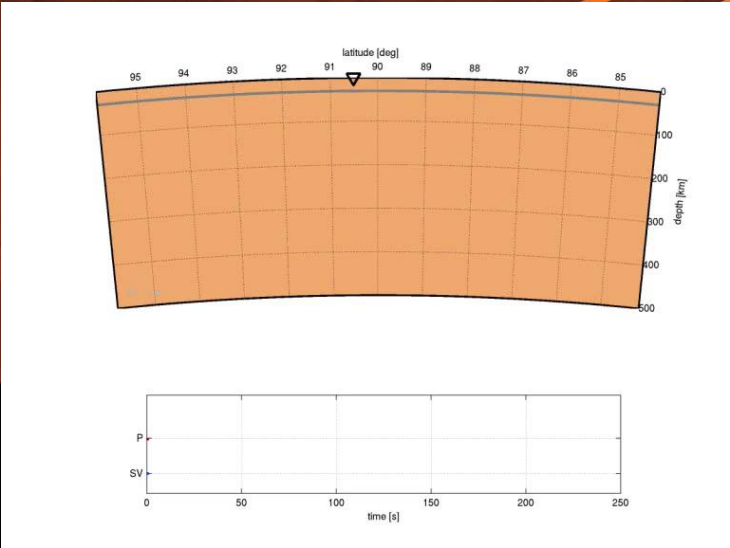


Van Driel et al. 2021,  
Croûte très sèche

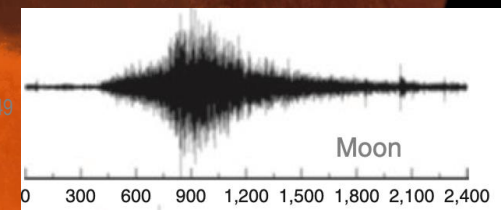
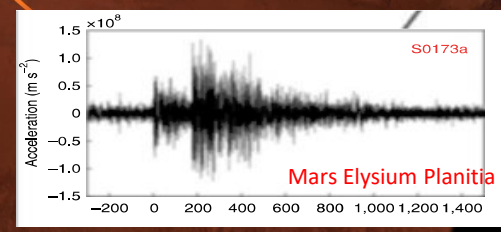
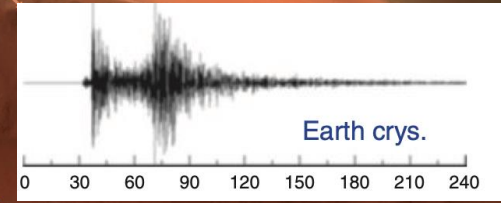
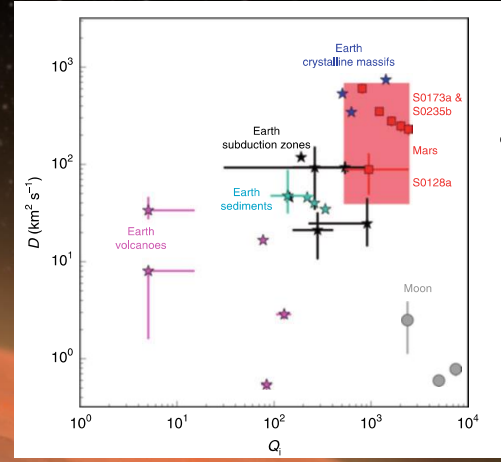
Croûte altérée  
10 km

Forte fracturation

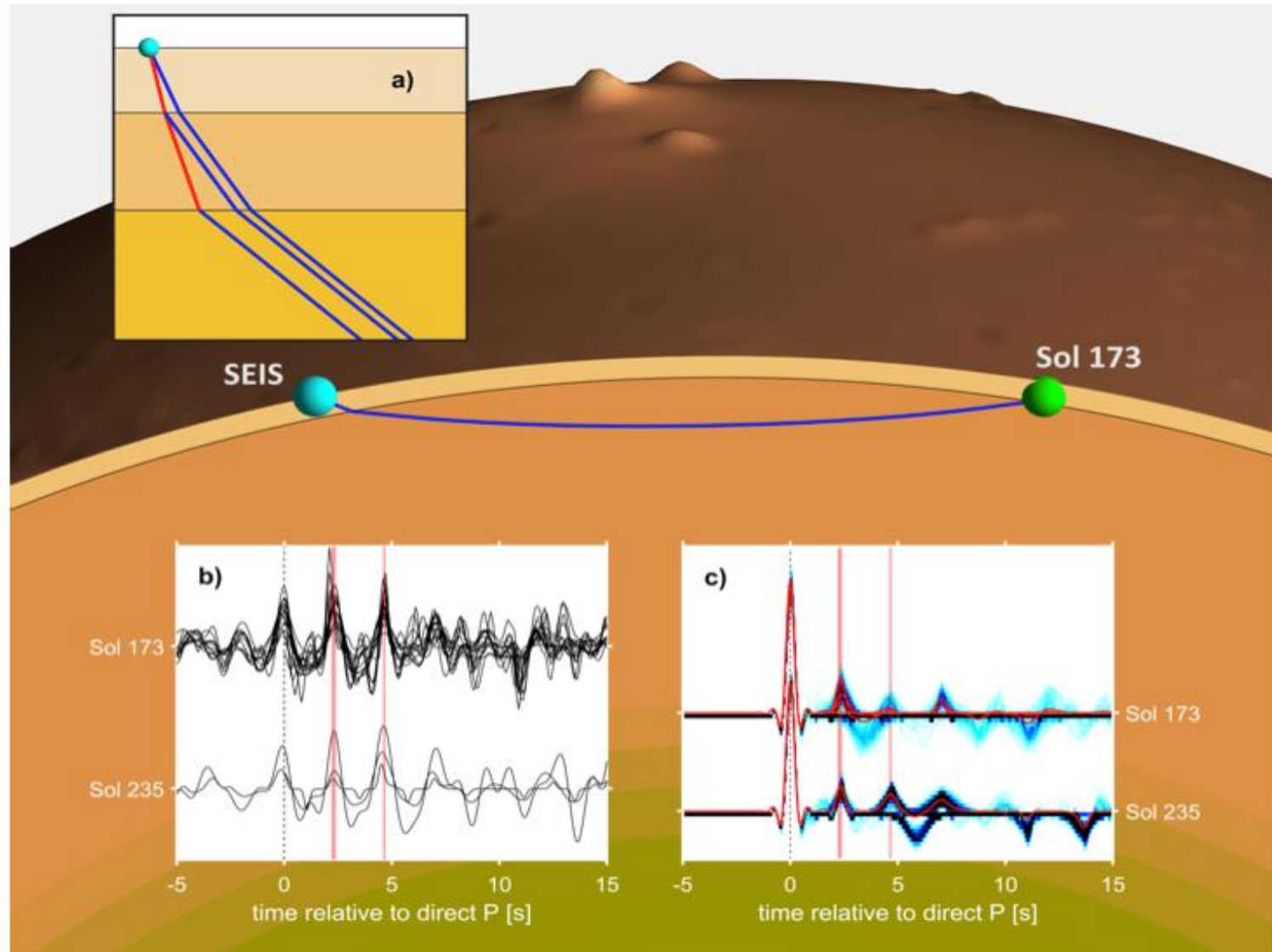
Croûte avec un peu de volatiles  
Lognonné et al. 2020  
Menina et al., LPSC 2021 # 1657



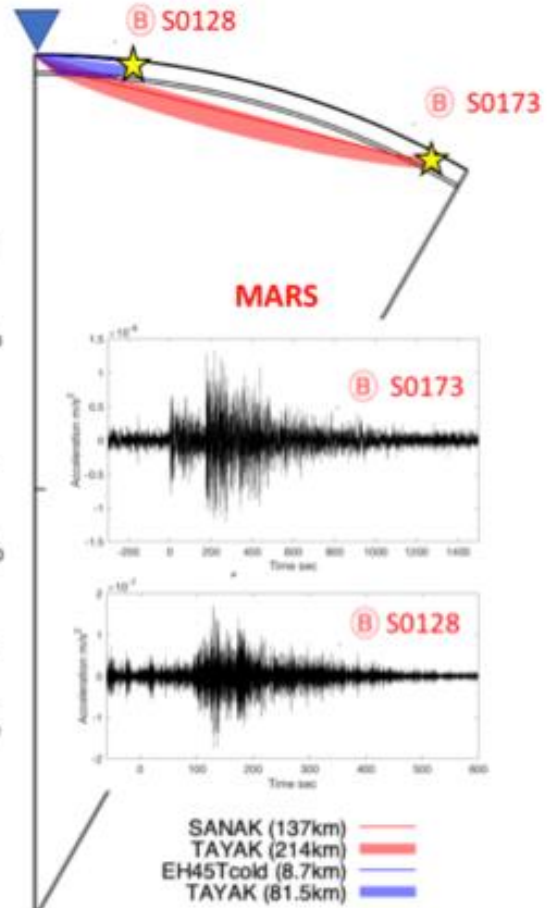
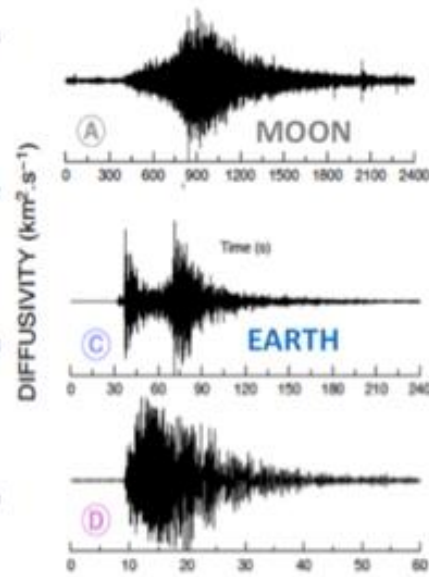
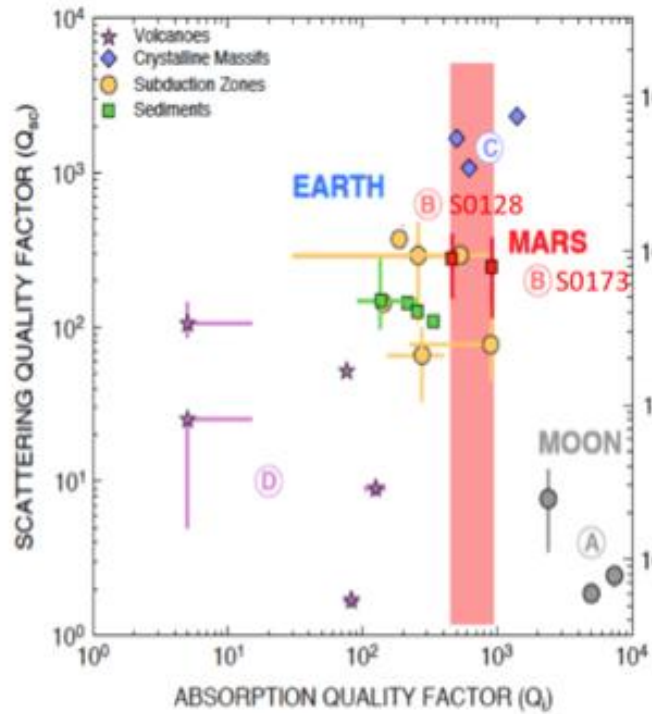
Croûte 20-35 km.  
Manteau Panning et al. LPSC 2021  
Knapmeyer-Endrun et al. 2021



# Première contraintes sur la structure crustale (1/2)



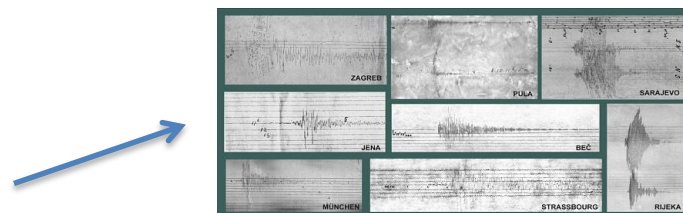




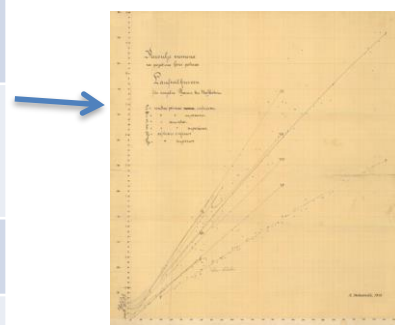
- Il est maintenant possible de comparer la propagation des ondes entre la Terre, la Lune et Mars
- Cette comparaison entre la Terre (très humide) et la Lune (très sèche) suggère la présence de volatiles dans la croûte profonde, bien que les premiers km semblent très secs.

• courtesy of L.Margerin (IRAP), T.Kawamura, S.Melina (IPGP) from Lognonné et al. (2020)

Objectifs de la mission	Connaissance actuelle
Epaisseur de la croûte	65±35 km
Stratification de la croûte	Pas d'information
Vitesses sismiques du manteau	8±1 km/s (prédit)
Etat liquide ou solide du noyau	A priori liquide, mais pas de démonstration
Rayon du noyau (+RISE)	1700±300 km
Masse volumique du noyau (RISE)	6.4±1.0 gm/cc
Flux de chaleur(HP3)	30±25 mW/m <sup>2</sup> (prédit)
Activité sismique	Incertitude de x100
Localisation des zones actives	Pas d'information
Flux de météorites	Incertitude de x6

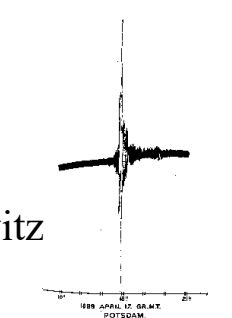


A. Mohorovičić (1910)



Oldham (1906)

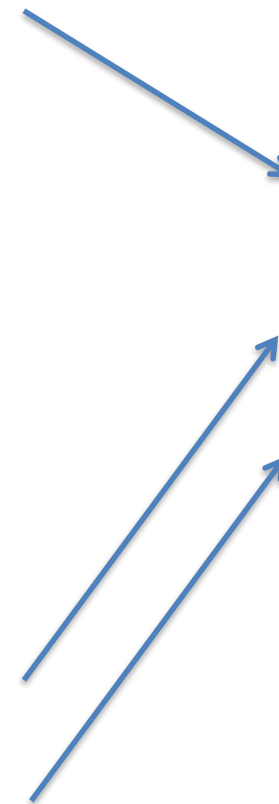
von Rebeur-Pacshwitz (Nature, 1889)



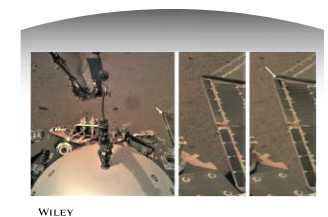
Exemples sur Terre

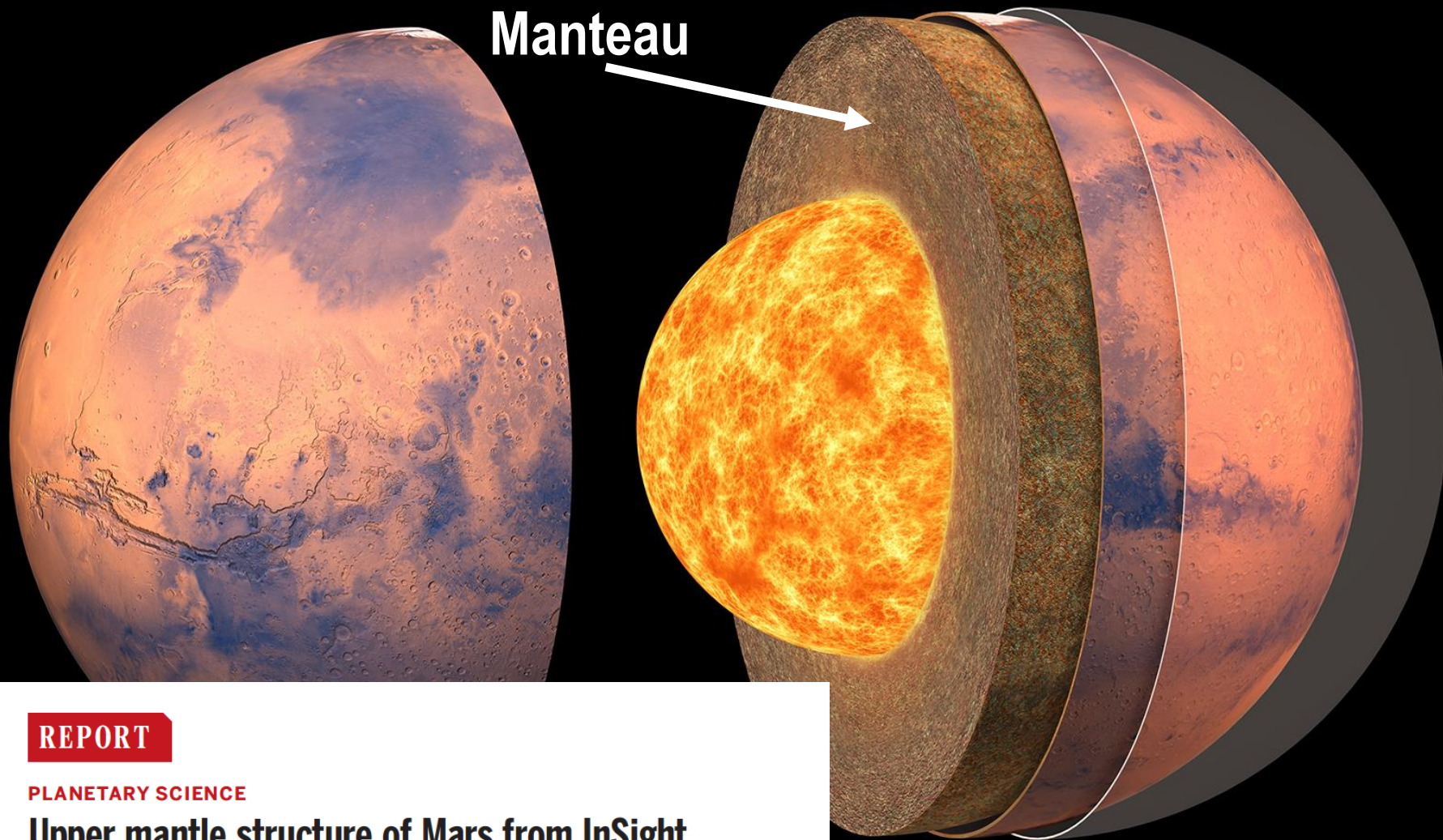


Objectifs de la mission	Connaissance actuelle
Epaisseur de la croûte	65±35 km
Stratification de la croûte	<b>Zone altérée dans les 10 premiers km</b>
Vitesses sismiques du manteau	8±1 km/s (d'après des modèles)
Etat liquide ou solide du noyau	A priori liquide, mais pas de démonstration
Rayon du noyau (+RISE)	1700±300 km
Masse volumique du noyau (RISE)	6.4±1.0 gm/cc
Flux de chaleur (HP3)	30±25 mW/m <sup>2</sup> (prédit)
Activité sismique	<b>Entre la Terre et la Lune</b>
Localisation des zones actives	<b>Forte activité dans Cerberus</b>
Flux de météorites	Incertitude de x6



Lognonné et al. 2020  
Giardini et al. 2020  
Banerdt et al. 2020





Manteau

## REPORT

### PLANETARY SCIENCE

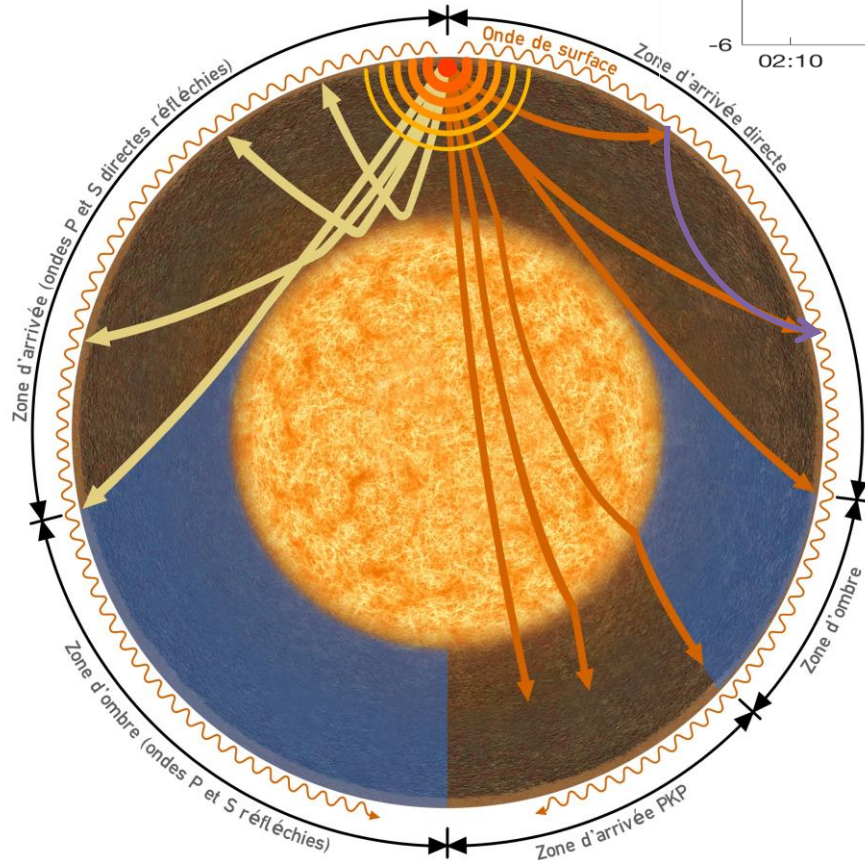
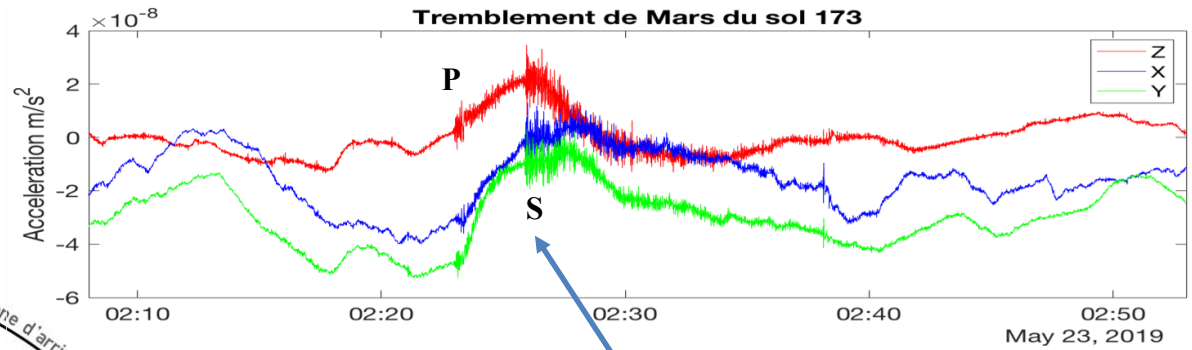
# Upper mantle structure of Mars from InSight seismic data

Amir Khan<sup>1,2\*</sup>, Savas Ceylan<sup>1</sup>, Martin van Driel<sup>1,3</sup>, Domenico Giardini<sup>1</sup>, Philippe Lognonné<sup>4</sup>, Henri Samuel<sup>4</sup>, Nicholas C. Schmerr<sup>5</sup>, Simon C. Stähler<sup>1</sup>, Andrea C. Duran<sup>1</sup>, Quancheng Huang<sup>5</sup>, Doyeon Kim<sup>5</sup>, Adrien Broquet<sup>6,7</sup>, Constantinos Charalambous<sup>8</sup>, John F. Clinton<sup>9</sup>, Paul M. Davis<sup>10</sup>, Mélanie Drilleau<sup>11</sup>, Foivos Karakostas<sup>5</sup>, Vedran Lekic<sup>5</sup>, Scott M. McLennan<sup>12</sup>, Ross R. Maguire<sup>5</sup>, Chloé Michaut<sup>13,14</sup>, Mark P. Panning<sup>15</sup>, William T. Pike<sup>8</sup>, Baptiste Pinot<sup>11</sup>, Matthieu Plasman<sup>4</sup>, John-Robert Scholz<sup>16</sup>, Rudolf Widmer-Schmidrig<sup>17</sup>, Tilman Spohn<sup>18</sup>, Suzanne E. Smrekar<sup>15</sup>, William B. Banerdt<sup>15</sup>

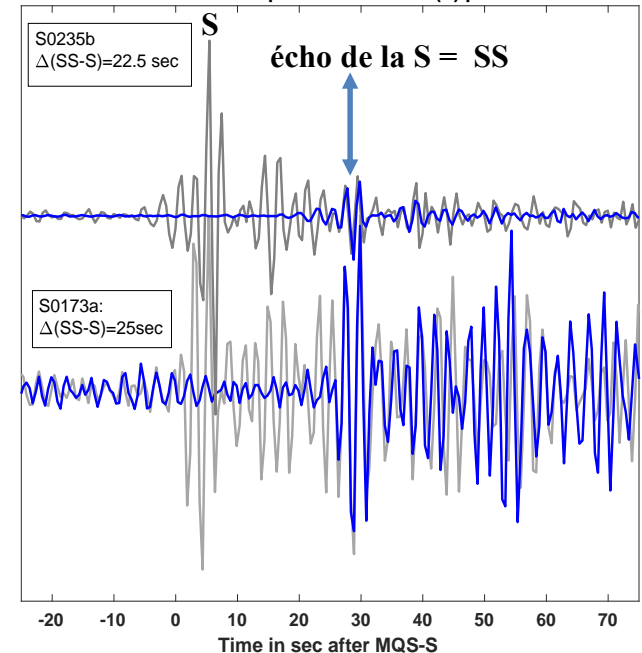




**Un des plus gros séismes...  
(avec des faibles amplitudes !)**



**Transverse SS phases and Hibert(S) phases**

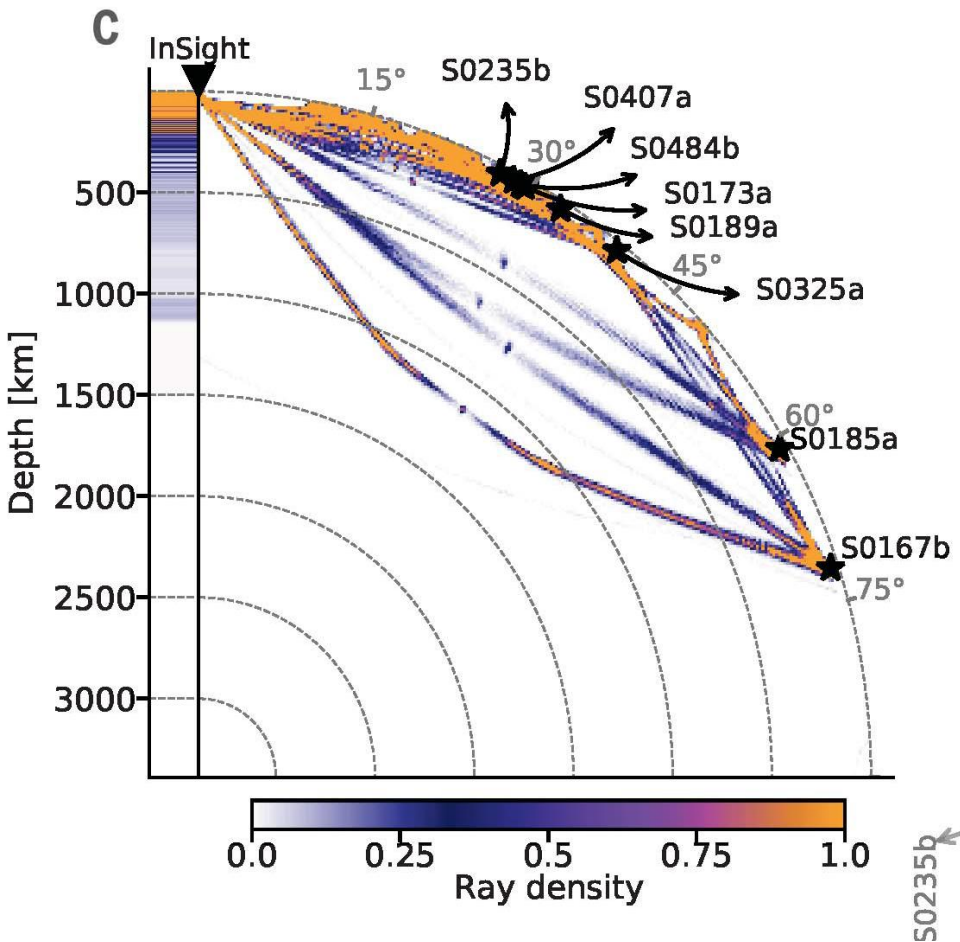


**Analyse sur les 8 meilleurs séismes et  
avec 3 méthodes différentes**

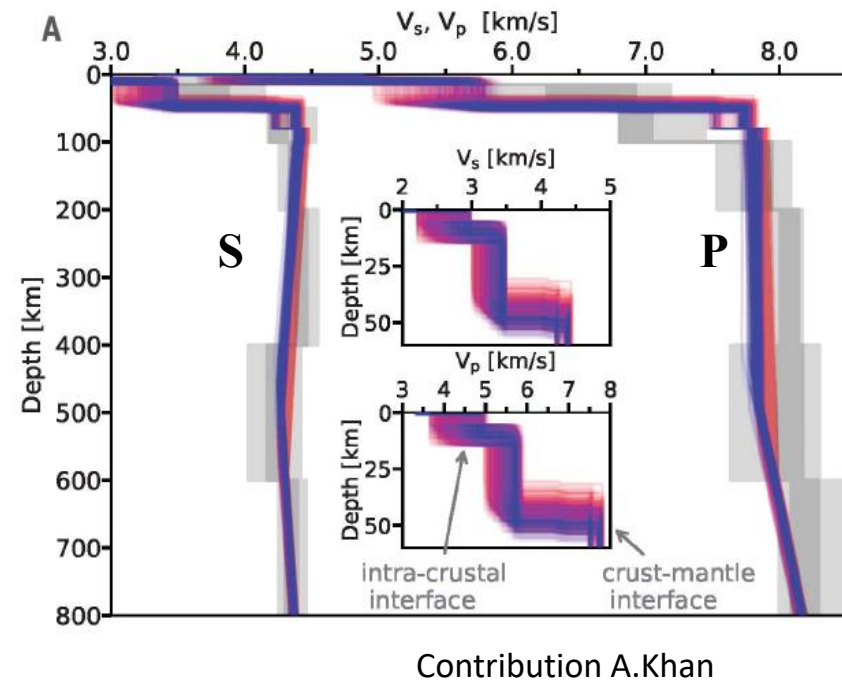
Contribution P.Lognonné, M.Plasman



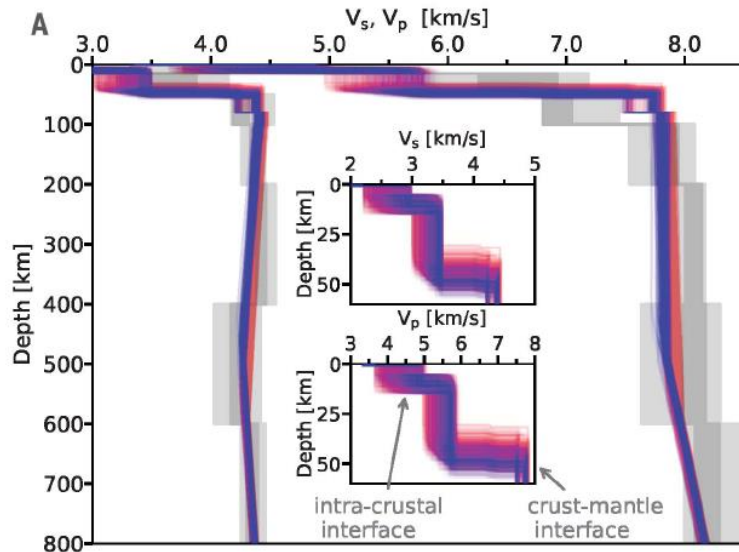
## Trajets des ondes directes et des multiples



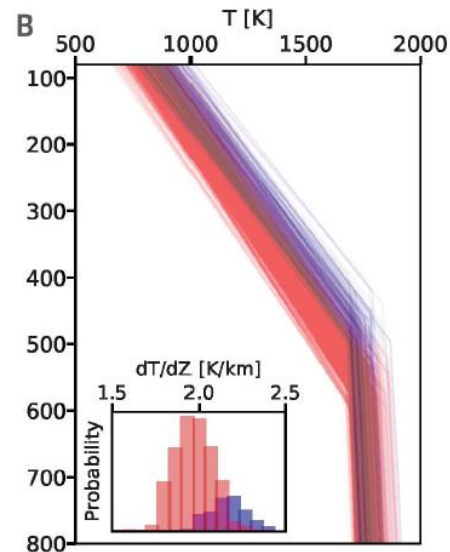
## Modèle de vitesses sismiques S et P







Contribution A.Khan

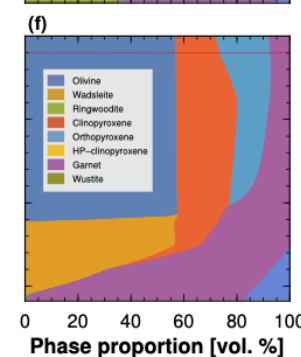
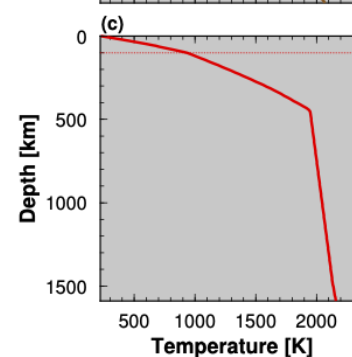
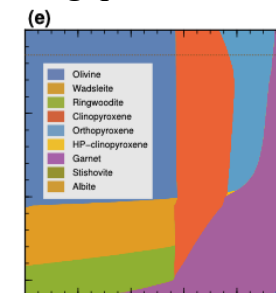
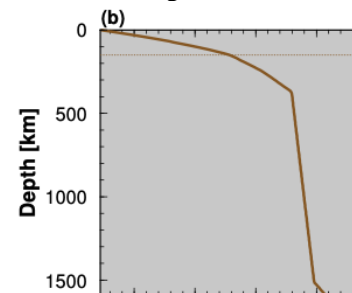


**Modèle de température et sismique proposé**

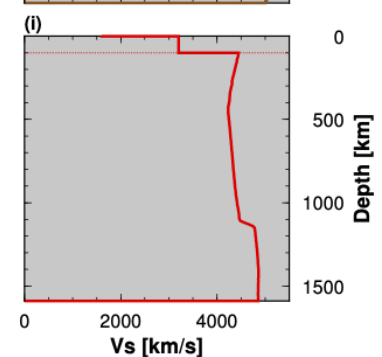
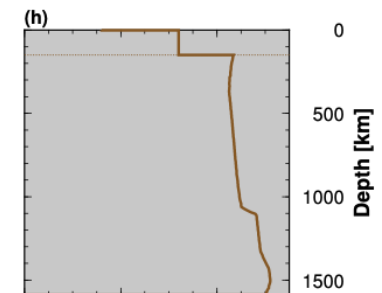
- Pour une minéralogie moyenne du manteau (comme celle obtenue à partir des SNC), les modèles de vitesses P et S permettent de contraindre la température dans la lithosphère Martienne

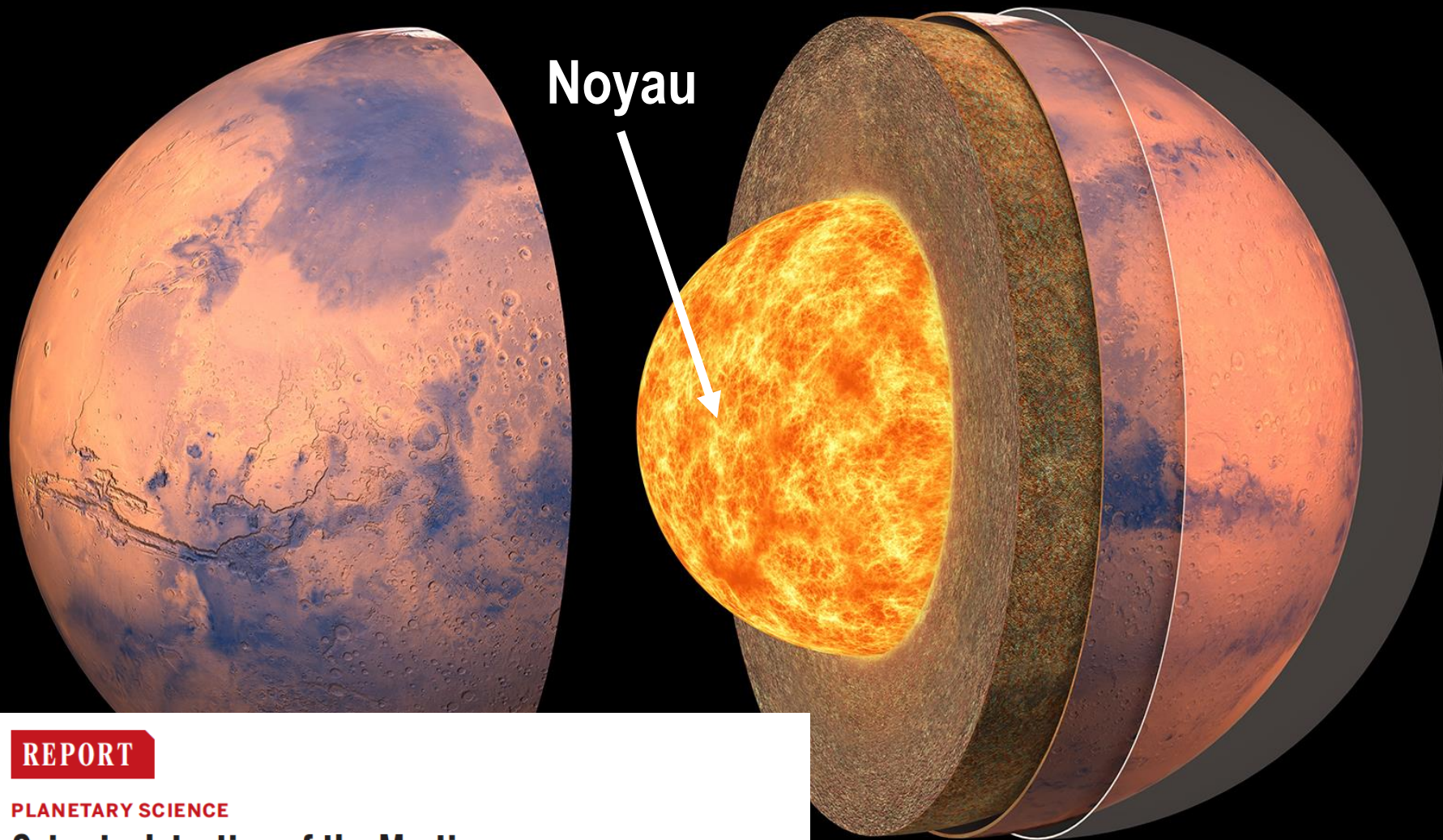
- Une première estimation du flux de chaleur de surface peut ainsi être proposée, avec un flux de chaleur 3-5 fois moindre que sur Terre

**Modèles de température et minéralogiques associés**



**Contribution H.Samuel**





## REPORT

### PLANETARY SCIENCE

# Seismic detection of the Martian core

Simon C. Stähler<sup>1\*</sup>, Amir Khan<sup>1,2</sup>, W. Bruce Banerdt<sup>3</sup>, Philippe Lognonné<sup>4</sup>, Domenico Giardini<sup>1</sup>, Savas Ceylan<sup>1</sup>, Mélanie Drilleau<sup>5</sup>, A. Cecilia Duran<sup>1</sup>, Raphaël F. Garcia<sup>5</sup>, Quancheng Huang<sup>6</sup>, Doyeon Kim<sup>6</sup>, Vedran Lekic<sup>6</sup>, Henri Samuel<sup>4</sup>, Martin Schimmel<sup>7</sup>, Nicholas Schmerr<sup>6</sup>, David Sollberger<sup>1</sup>, Éléonore Stutzmann<sup>4</sup>, Zongbo Xu<sup>4</sup>, Daniele Antonangeli<sup>8</sup>, Constantinos Charalambous<sup>9</sup>, Paul Davis<sup>10</sup>, Jessica C. E. Irving<sup>11</sup>, Taichi Kawamura<sup>4</sup>, Martin Knapmeyer<sup>12</sup>, Ross Maguire<sup>6</sup>, Angela G. Marusiak<sup>3</sup>, Mark P. Panning<sup>3</sup>, Clément Perrin<sup>13</sup>, Ana-Catalina Plesa<sup>12</sup>, Attilio Rivoldini<sup>14</sup>, Cédric Schmelzbach<sup>1</sup>, Géraldine Zenhäusern<sup>1</sup>, Éric Beucler<sup>13</sup>, John Clinton<sup>15</sup>, Nikolaj Dahmen<sup>1</sup>, Martin van Driel<sup>1</sup>, Tamara Gudkova<sup>16</sup>, Anna Horleston<sup>11</sup>, W. Thomas Pike<sup>9</sup>, Matthieu Plasman<sup>4</sup>, Suzanne E. Smrekar<sup>3</sup>

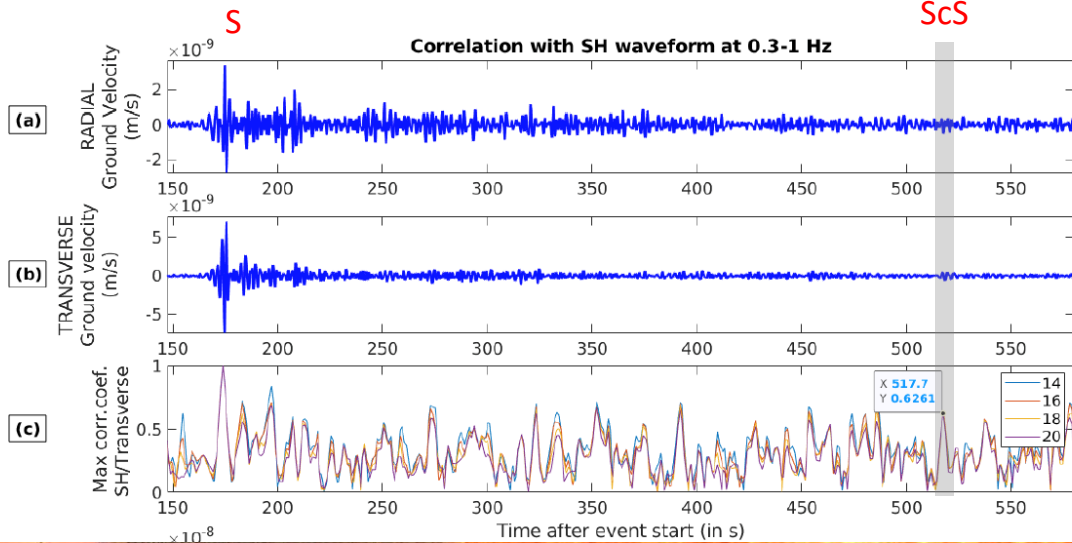




# Identification individuelle des phases du noyau

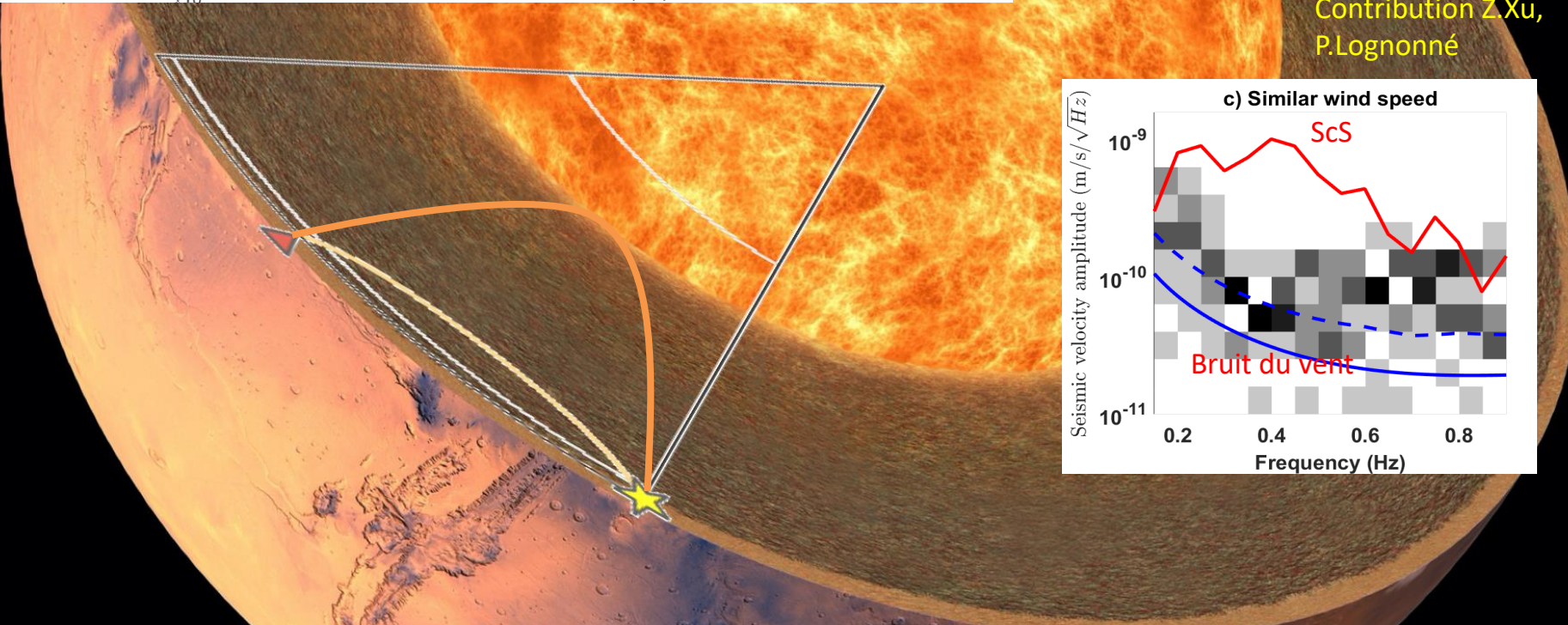
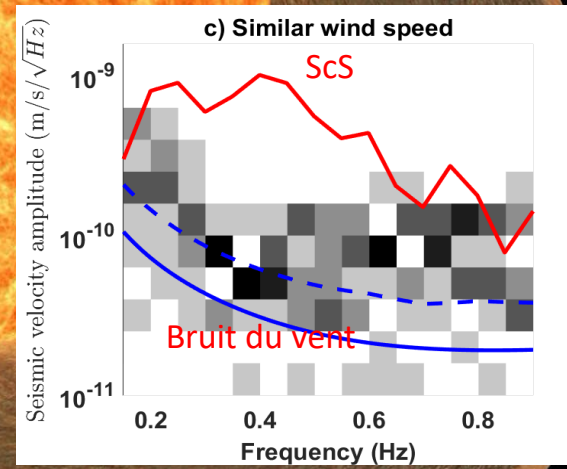


Contribution R.Garcia, E.Stutzmann

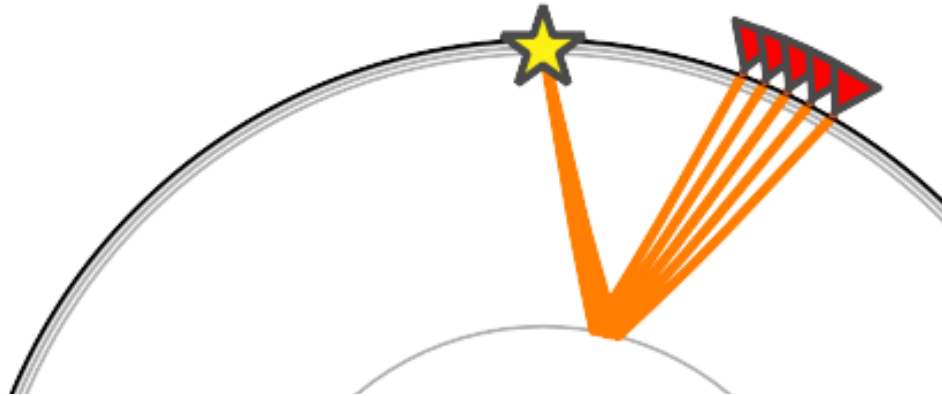


- Phases de faible amplitude
- 6 méthodes différentes ont été utilisées
- Une analyse statistique a quantifié l'amplitude du bruit atmosphérique

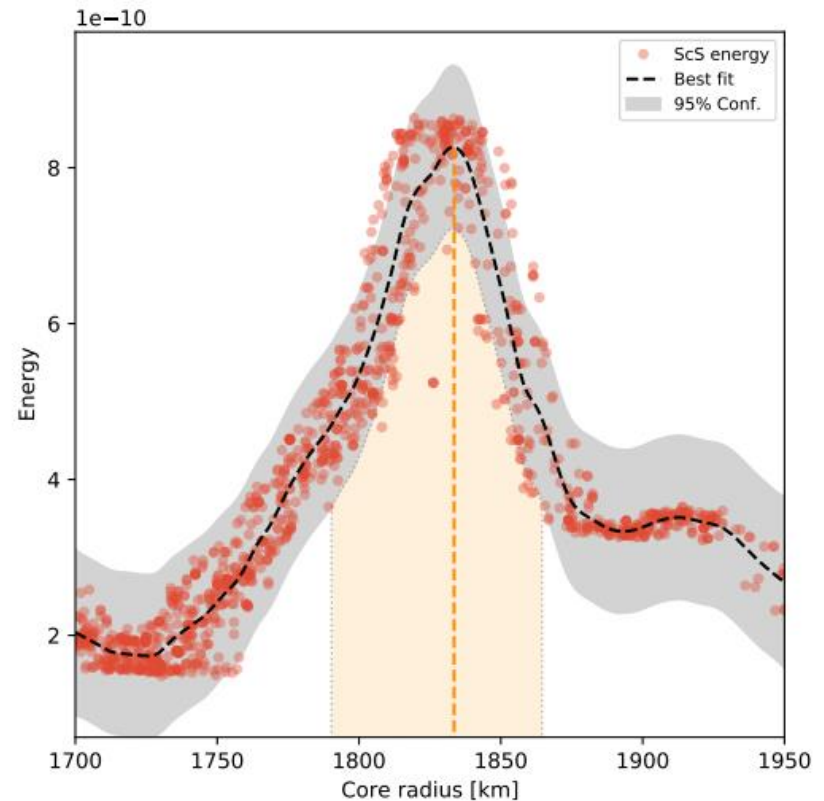
Contribution Z Xu, P.Lognonné



ScS



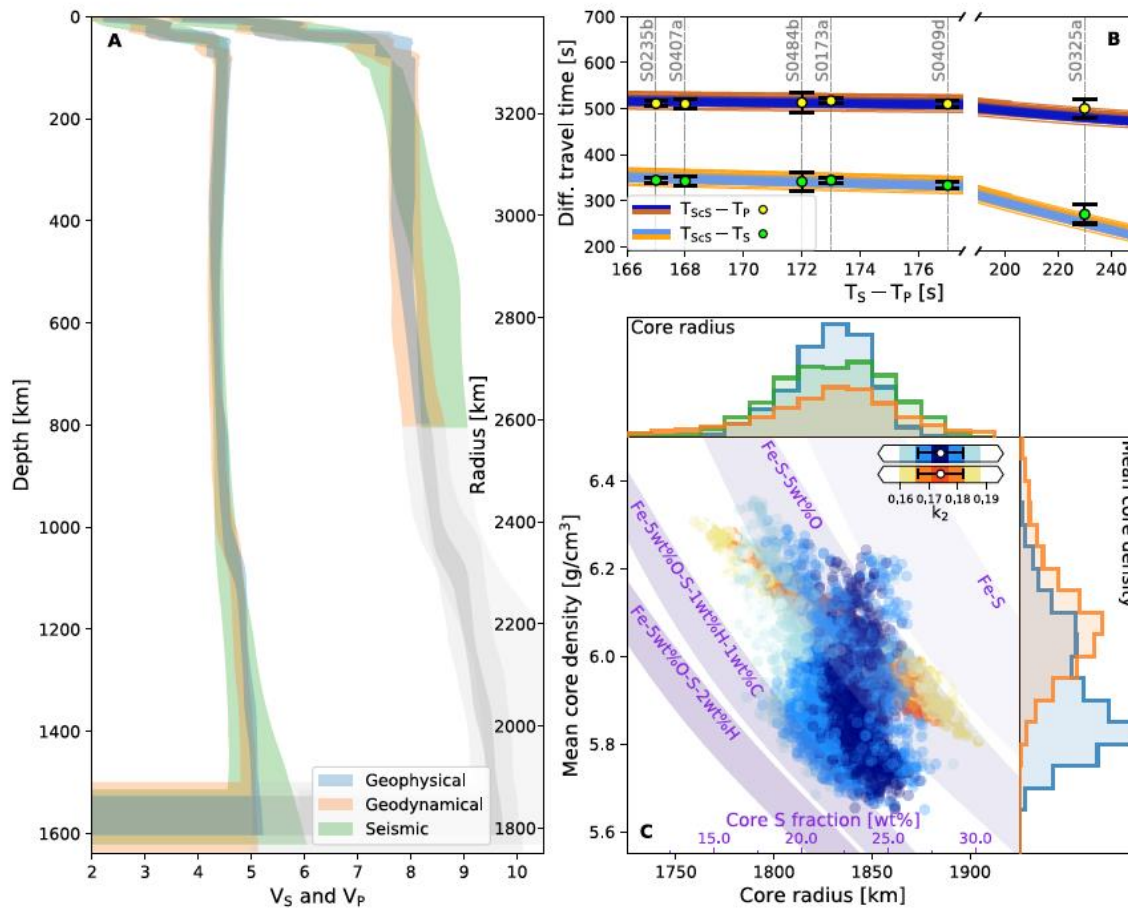
- 6 séismes martiens utilisés:
  - Magnitude comprise entre 3 et 3.7
  - Distance entre 1650km et 2350 km
- Ces signaux ont été sommés afin d'estimer l'énergie provenant d'un réflecteur de rayon variable
- L'analyse montre un excès d'énergie sismique réfléchi pour un noyau liquide avec un rayon de  $1830 \pm 40$  km avec une masse volumique de  $5.7-6.3 \text{ g/cm}^3$





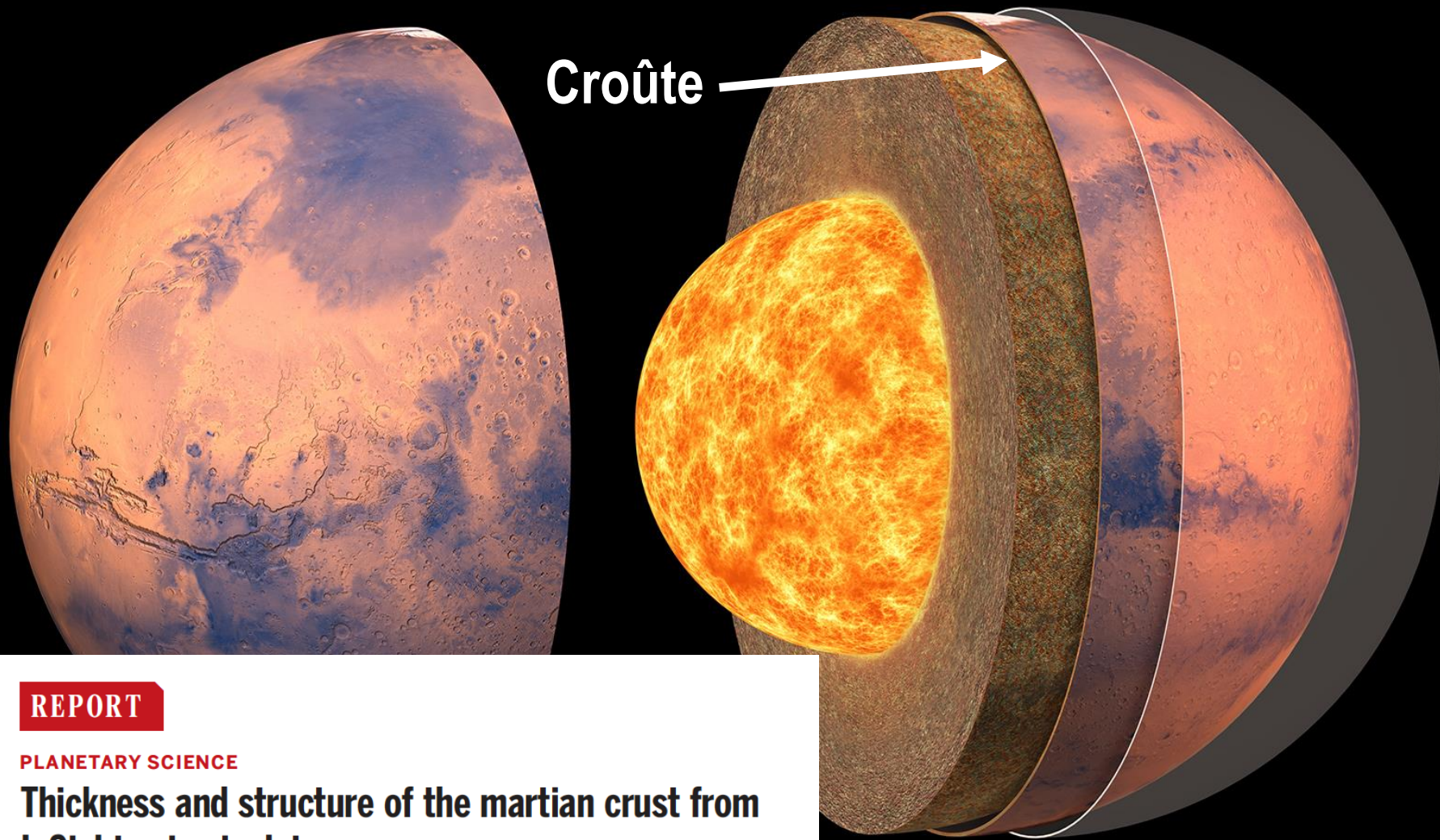


- Estimation avant lancement: 1400-2000km
- Estimation SEIS: 1830 km $\pm$ 40 km
- Un gros noyau plus riche en éléments légers que le noyau terrestre ne permettant pas à une couche de perovskite d'exister à la base du manteau



Contribution M.Drilleau, H.Samuel, Khan et al.





Croûte

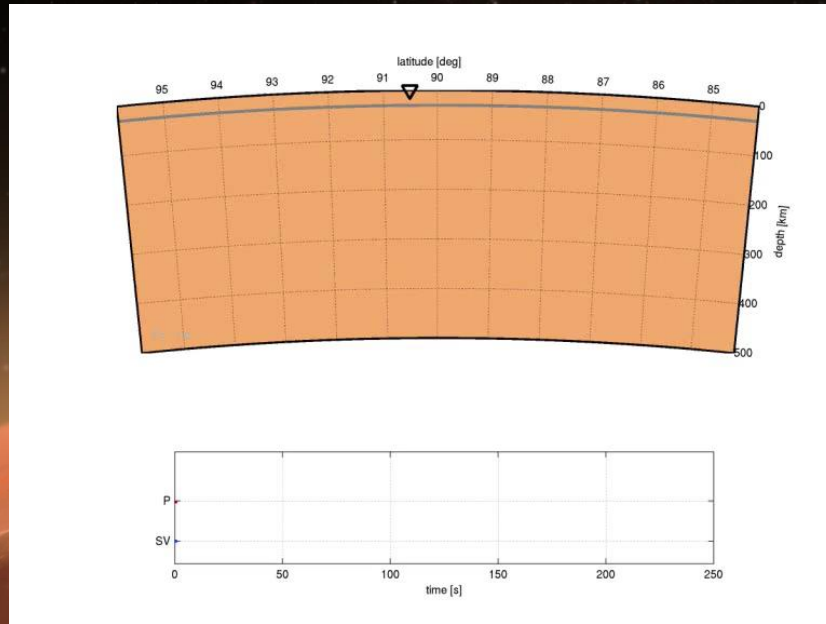
## REPORT

### PLANETARY SCIENCE

# Thickness and structure of the martian crust from InSight seismic data

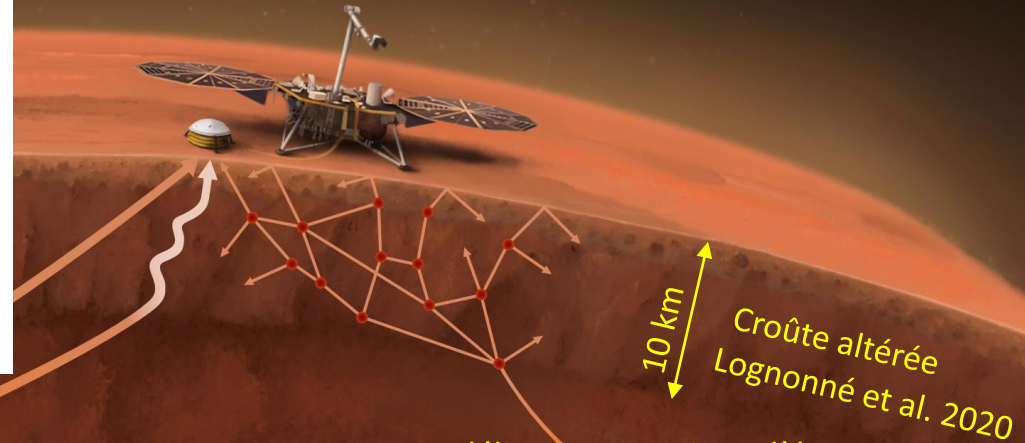
Brigitte Knapmeyer-Endrun<sup>1\*</sup>, Mark P. Panning<sup>2</sup>, Felix Bissig<sup>3</sup>, Rakshit Joshi<sup>4</sup>, Amir Khan<sup>3,5</sup>, Doyeon Kim<sup>6</sup>, Vedran Lekić<sup>6</sup>, Benoit Tauxin<sup>7,8</sup>, Saikiran Tharimena<sup>2,†</sup>, Matthieu Plasman<sup>9</sup>, Nicolas Compaire<sup>10</sup>, Raphael F. Garcia<sup>10</sup>, Ludovic Margerin<sup>11</sup>, Martin Schimmel<sup>12</sup>, Éléonore Stutzmann<sup>9</sup>, Nicholas Schmerr<sup>6</sup>, E. Bozda<sup>13</sup>, Ana-Catalina Plesa<sup>14</sup>, Mark A. Wieczorek<sup>15</sup>, Adrien Broquet<sup>16,15</sup>, Daniele Antonangeli<sup>17</sup>, Scott M. McLennan<sup>18</sup>, Henri Samuel<sup>9</sup>, Chloé Michaut<sup>7,19</sup>, Lu Pan<sup>20</sup>, Suzanne E. Smrekar<sup>2</sup>, Catherine L. Johnson<sup>21,22</sup>, Nienke Brinkman<sup>3</sup>, Anna Mittelholz<sup>3</sup>, Attilio Rivoldini<sup>23</sup>, Paul M. Davis<sup>24</sup>, Philippe Lognonné<sup>9,19</sup>, Baptiste Pinot<sup>10</sup>, John-Robert Scholz<sup>4</sup>, Simon Stähler<sup>3</sup>, Martin Knapmeyer<sup>14</sup>, Martin van Driel<sup>3</sup>, Domenico Giardini<sup>3</sup>, W. Bruce Banerdt<sup>2</sup>





Contribution B.Knapmeyer-Endrun

- Première méthode: par les ondes converties des séismes
- Objectif: identifier les conversions des ondes associée au moho Martien ( interface croûte/manteau)
- Plusieurs méthodes différentes ont été utilisées pour confirmer les résultats

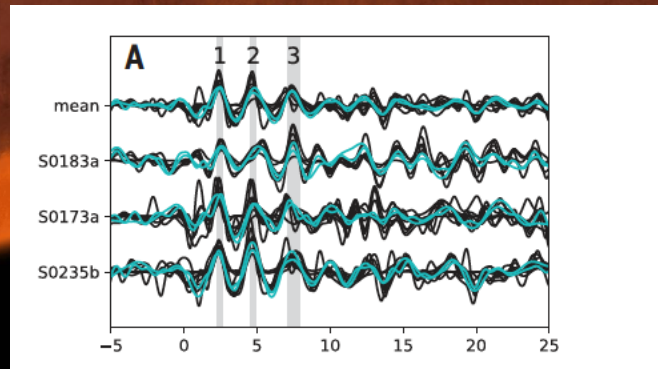


10 km  
Croûte altérée  
Lognonné et al. 2020

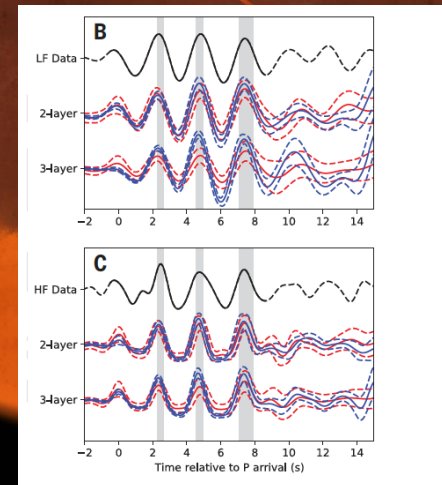
Modélisation pour 2 modèles



Observations sur 3 séismes



Contribution B.Tauzin, M.Plasman et al.



Croûte  
~20 km

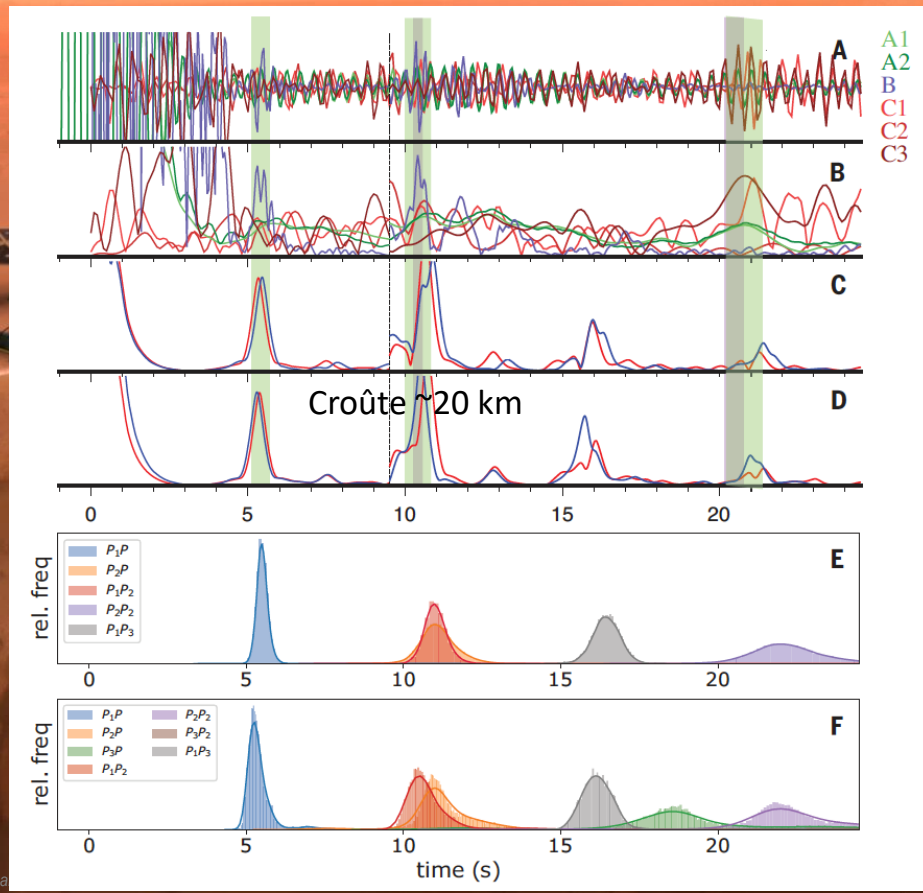
Croûte  
~35 km

# Confirmation par les analyse de bruit sismique Martien

- **Seconde méthode:** analyse du bruit sismique généré par l'atmosphère
- **Objectif:** identifier les ondes faisant des allers/retours entre la surface et une interface crustale
- Là encore, plusieurs méthodes différentes ont été utilisées
- Confirme principalement l'interface à 20 km de profondeur sans exclure celui de 35 km

Bruit atmosphérique = vibration du sol

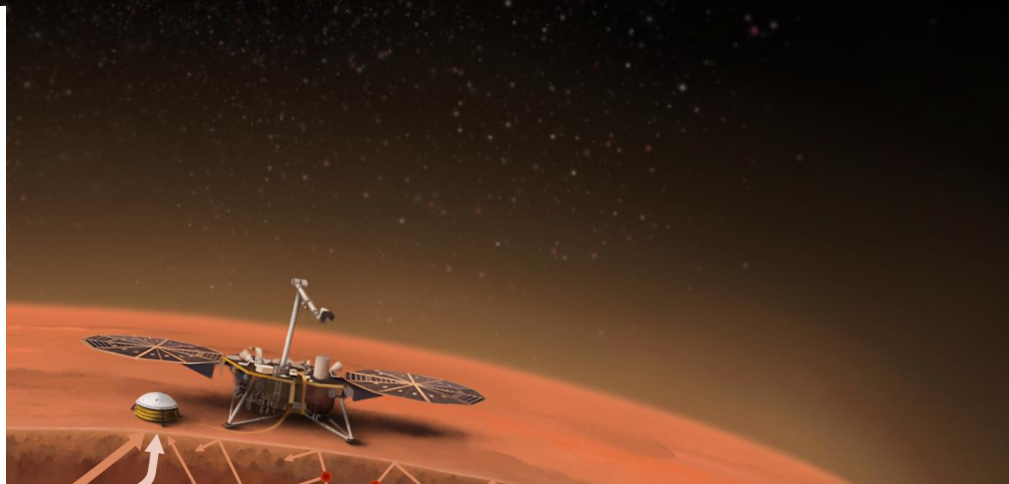
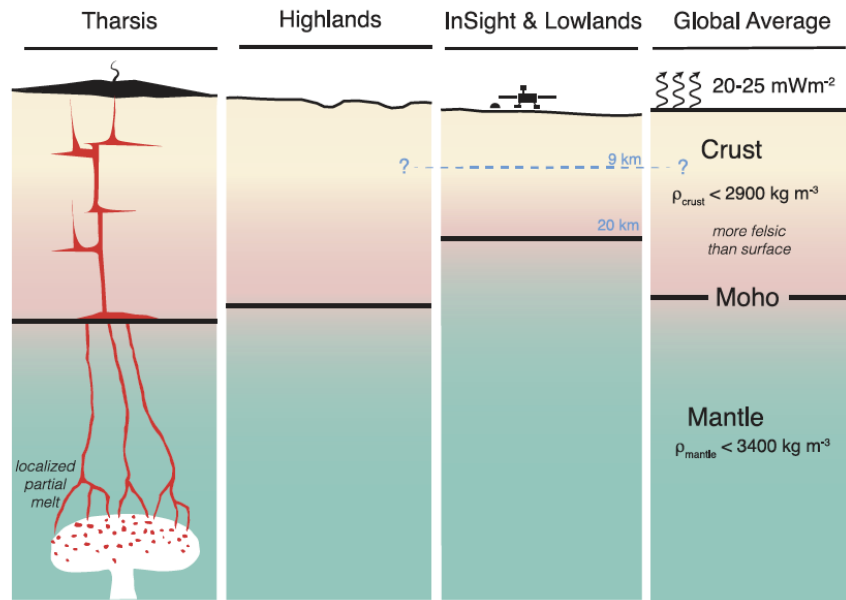
Propagation et réflexion par des interfaces



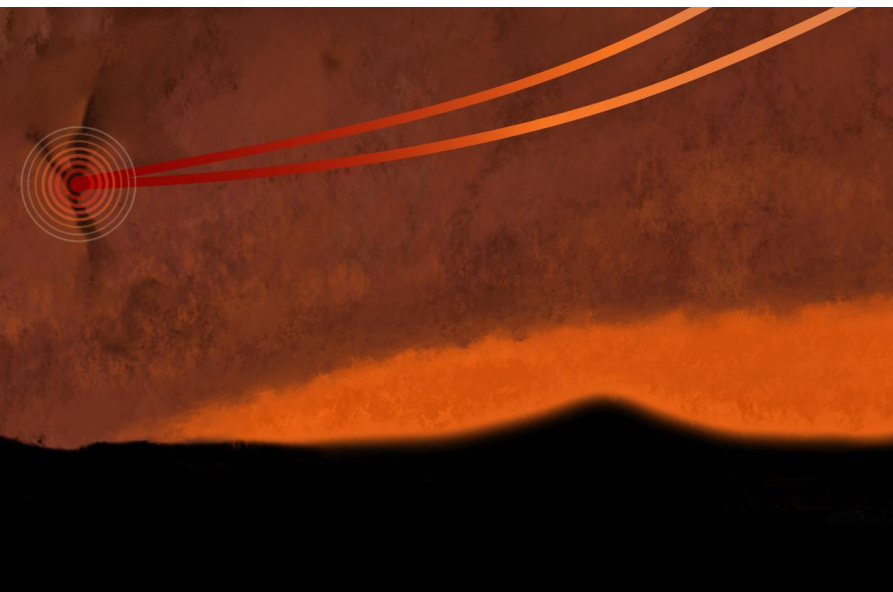
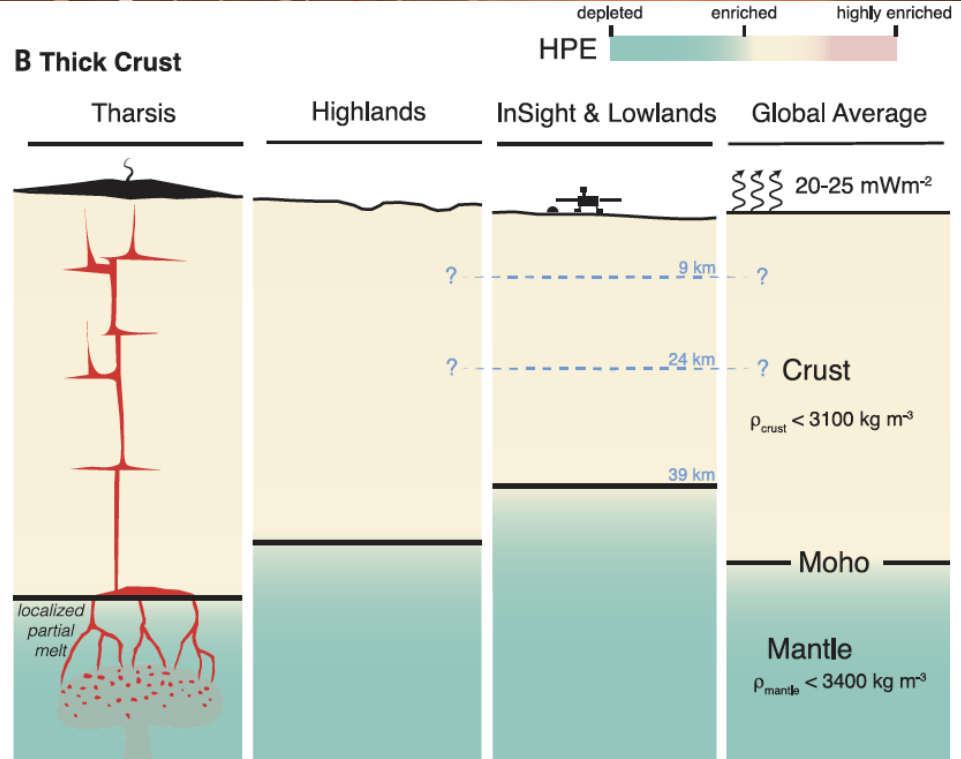


# Conclusion: 2 modèles possibles

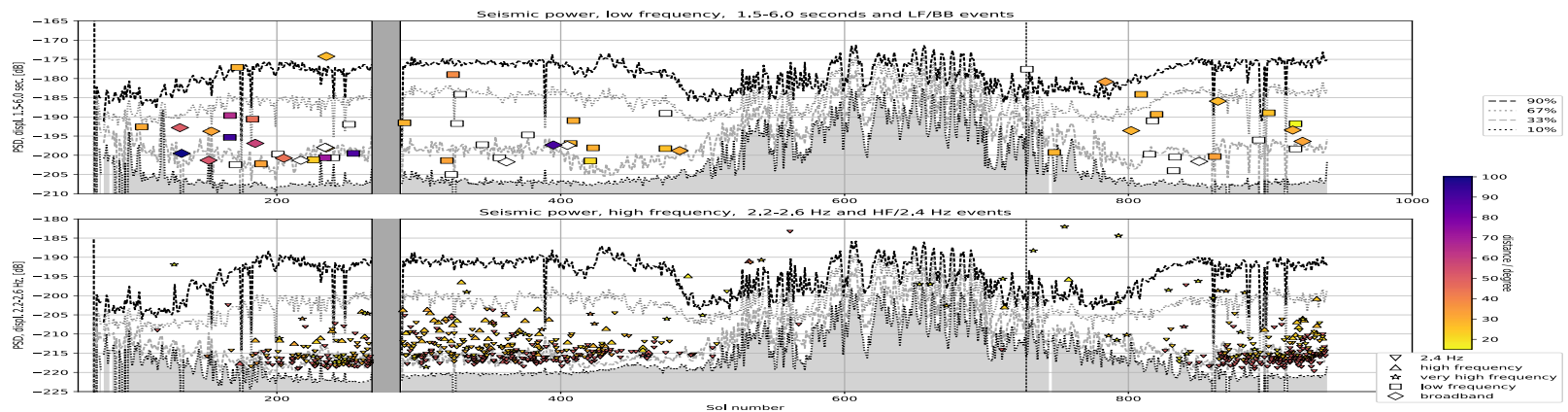
## A Thin Crust



## B Thick Crust

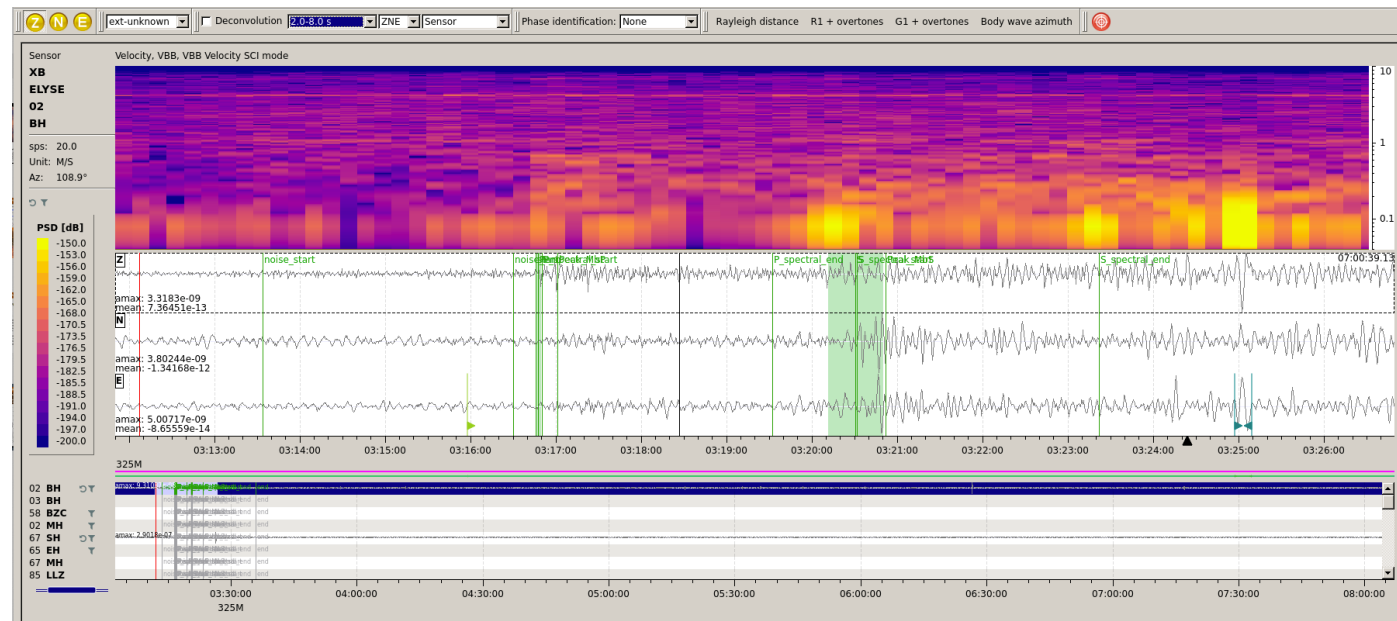
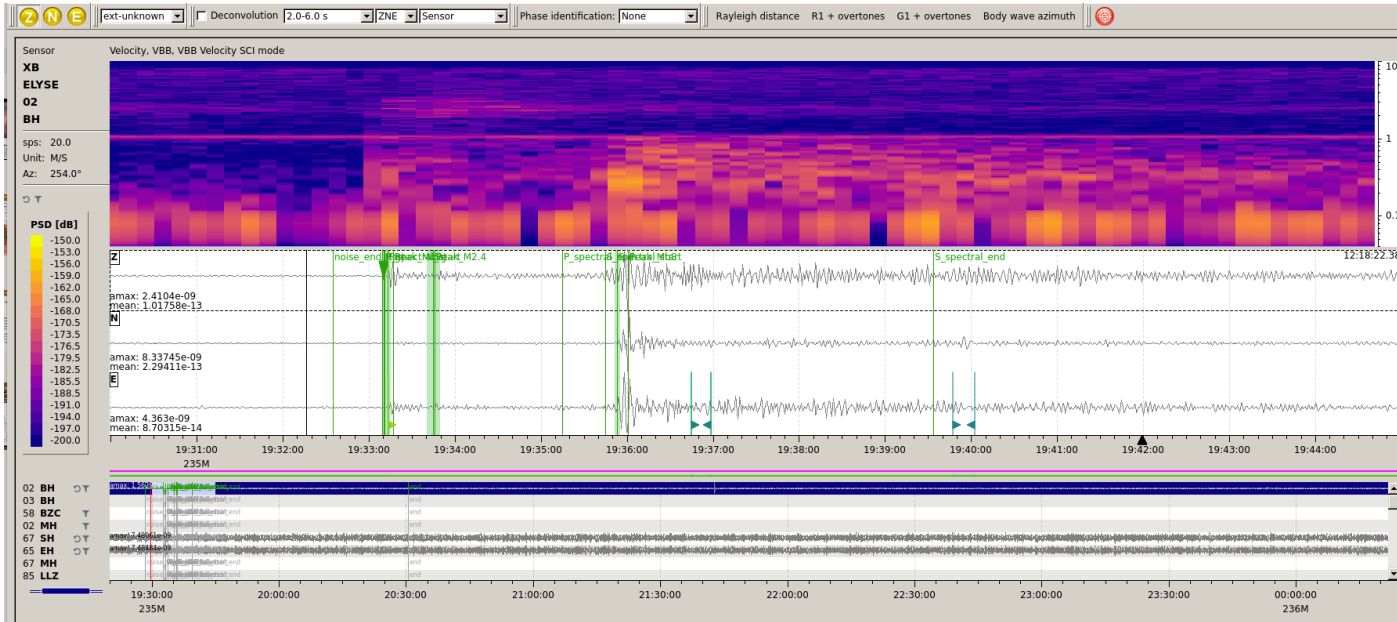


- Un travail journalier et quotidien des services d'Observation de SEIS et d'InSight
  - Assurant l'opération de l'instrument, sa surveillance et le flux de commandes et de données entre le JPL et le CNES. (SISMOC au CNES, Equipe Instrumentale à l'IPGP)
  - Diffusant les données formatées et calibrées à la communauté scientifique (Mars SEIS data Service à l'IPGP)
  - Analysant quotidiennement les données SEIS pour identifier et répertorier les événements sismiques : Mars Quake Service, ETHZ avec l'IPGP (T.Kawamura, M.Plasman), l'Université de Bristol
  - Répertoriant, classant et exécutant les commandes de rapatriement d'évènements SEIS : ERP Guru, avec le LPG et l'Université de Nantes (E.Beucler, C.Perrin)
- Les données SEIS et les catalogues de sismicité sont enfin diffusées à la communauté scientifique tous les 90 jours, ainsi qu'au réseau Sismo à l'Ecole opérée par GeoAzur et l'Université de Nice





# Derrière la scène: exemple d'évènements vu par le MQS



Objectifs de la mission	Connaissance actuelle
Epaisseur de la croûte	<b>20-35 km sous InSight</b>
Stratification de la croûte	<b>Zone altérée dans les 10 premiers km</b>
Vitesses sismiques du manteau	<b>7.8±0.2 km/s</b>
Etat liquide ou solide du noyau	<b>Liquide à l'interface du manteau</b>
Rayon du noyau <b>(SEIS)</b>	<b>1830±40 km</b>
Masse volumique du noyau <b>(SEIS)</b>	<b>6±0.3 gm/cc</b>
Flux de chaleur <b>(HP3)</b>	<b>14-29 mW/m<sup>2</sup></b>
Activité sismique	<b>Entre la Terre et la Lune</b>
Localisation des zones actives	<b>Forte activité dans Cerberus</b>
Flux de météorites	Incertitude de x3



Lognonné et al. 2020



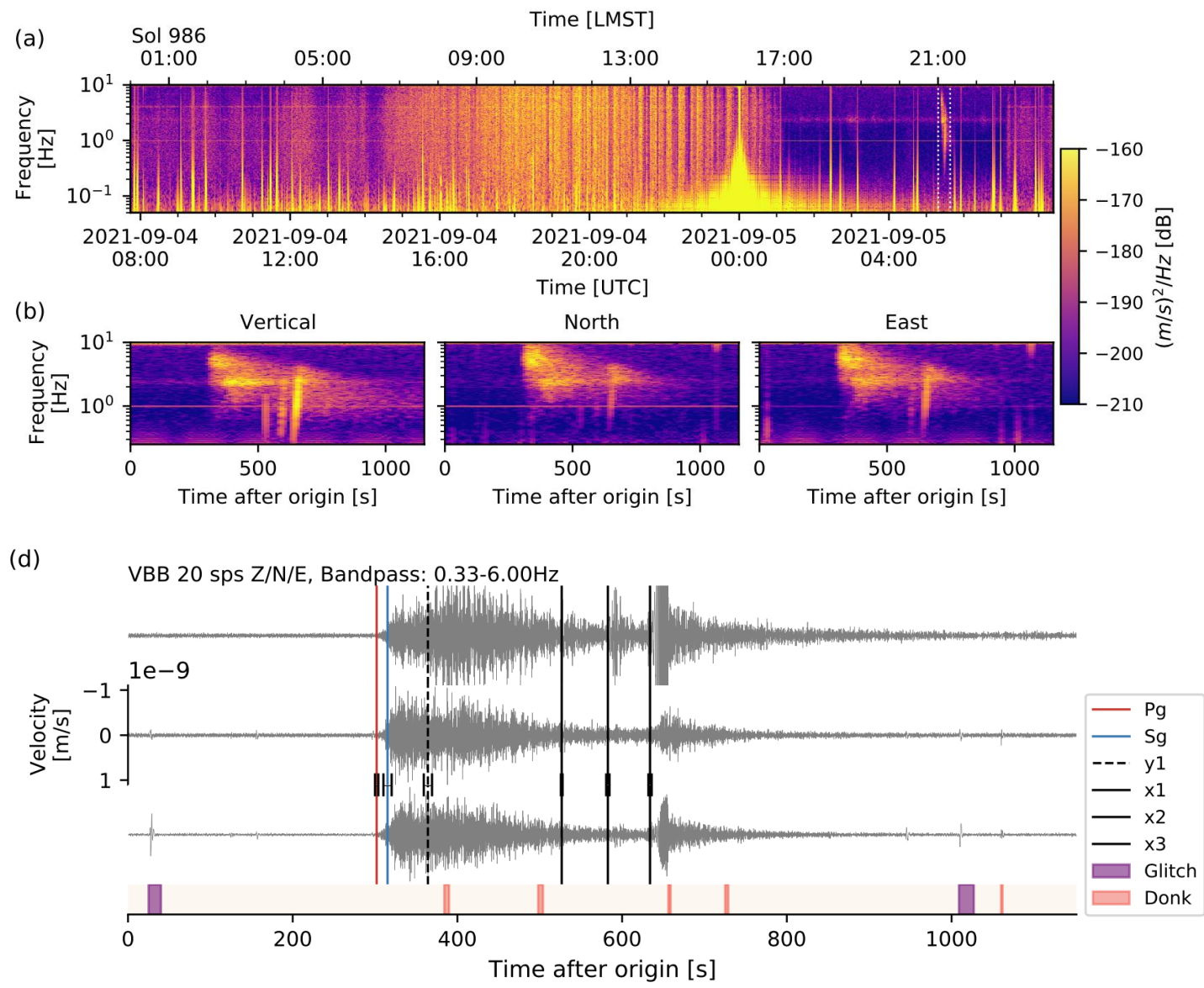
Knappmeyer-Endrun et al. 2021  
Khan et al. 2021  
Stähler et al. 2021



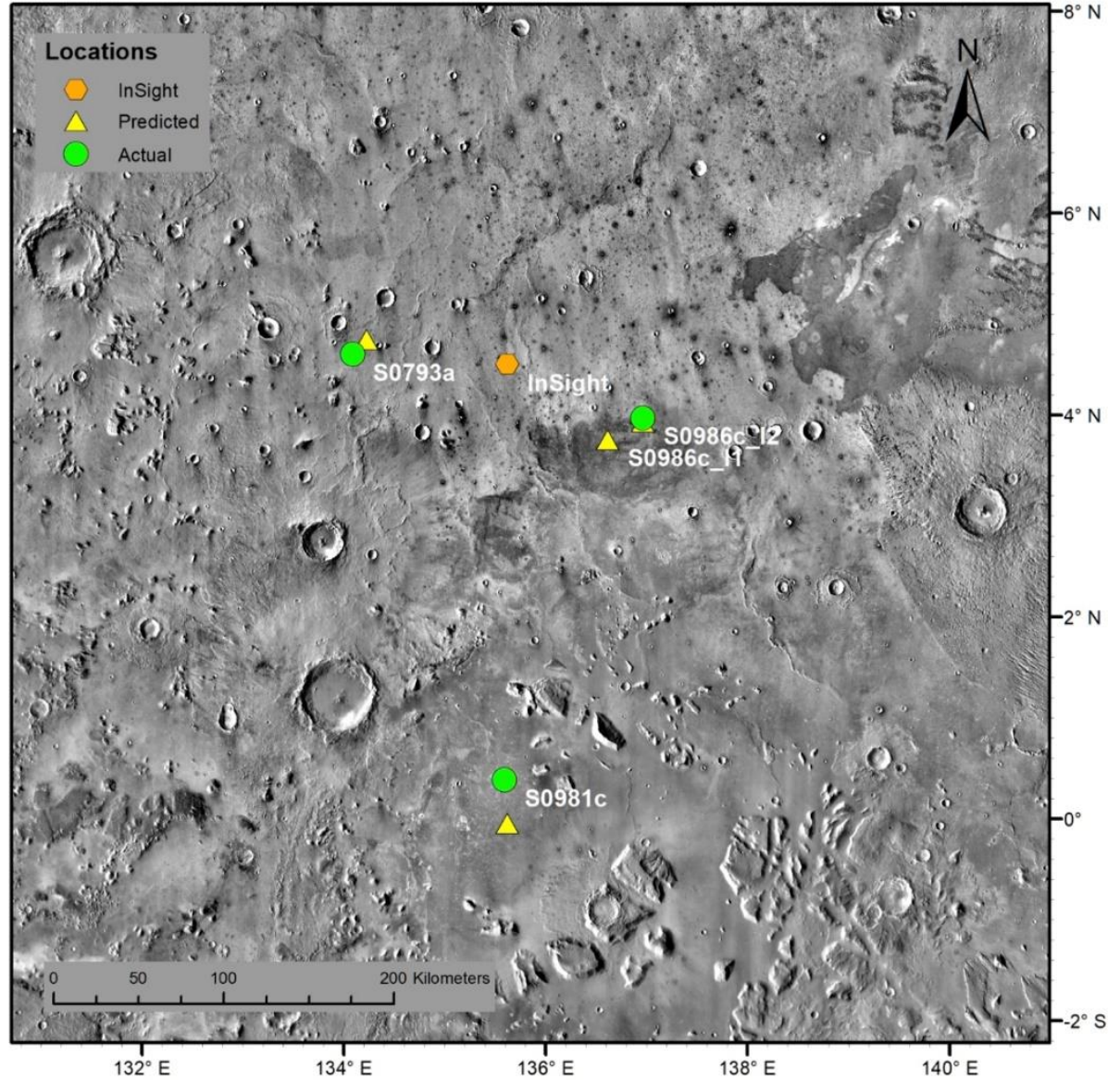
Giardini et al. 2020  
Banerdt et al. 2020





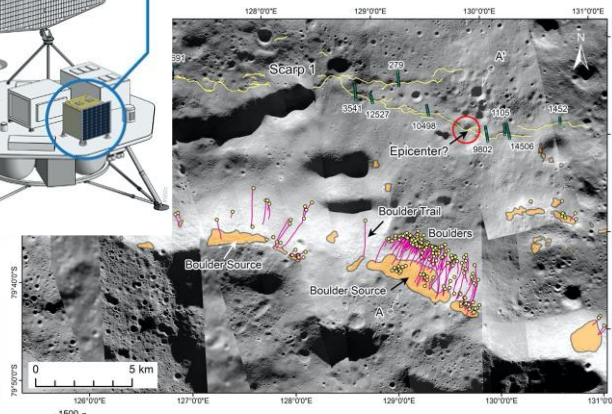
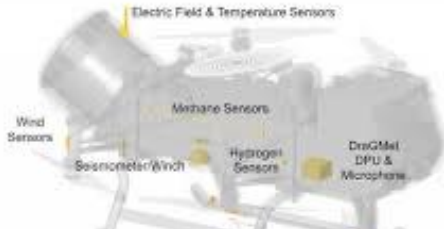
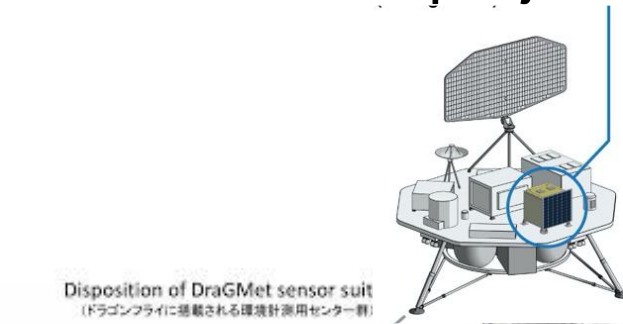




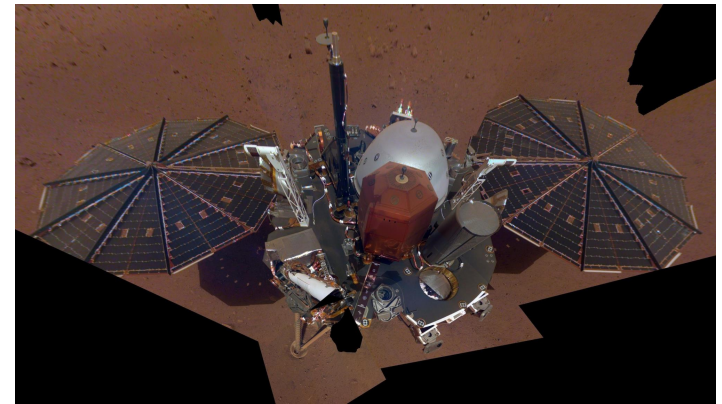




- Grand succès scientifique et une aventure humaine forte
- La sismologie planétaire, avec InSight, est maintenant intégrée dans plusieurs missions.
- et nous aurons des 2025 un autre VBB .... Sur la face cachée de la Lune avec le projet FSS, sélectionné par la NASA

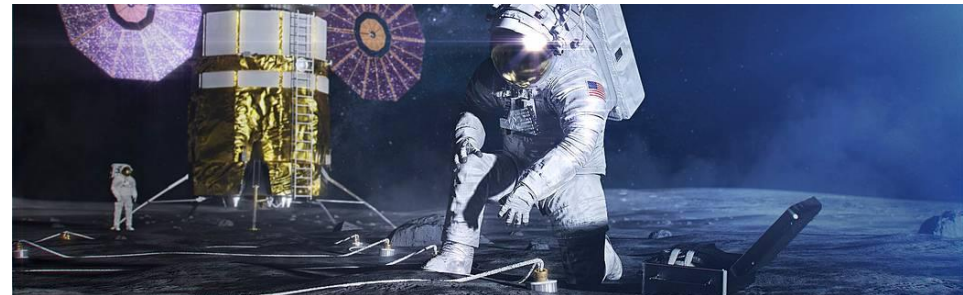


InSight (2019-2022+)



Retour sur la Lune: Artemis III. (2027)

DragonFly sur Titan (2025-2030)





# 2018-2021 : Couvertures de revues primaires et de journaux magazines



## Editions spéciales InSight:

- 2 éditions spéciales de Space Science review ( 2017 and 2019)
- Nature Geoscience -Science
- InSight at MARS, Edition Spéciale AGU ( JGR-Planet, GRL, ESS)
- Martian Seismology and the InSight Mission to Mars, Edition spéciale BSSA

Pour en savoir plus et accéder aux données ( 90 jours après leur obtention sur Mars)

<http://seis-insight.eu>

Accès à tous les articles scientifiques

Actualités



Sismologie planétaire SEIS InSight Mars Science



JPL

Imperial College  
London

CNRS

ISAE



ETH

Pour en savoir plus et accéder aux données ( 90 jours après leur obtention sur Mars)

<http://seis-insight.eu>

Acces aux premiers articles de Nature Geoscience

Actualités



Sismologie planétaire SEIS InSight Mars Science

123,0253398

183,02398

45°27

Accueil &gt; Science &gt; Accueil

Accueil

Données SEIS

Description des données  
Citation des données  
Publication des données

Mars SEIS Data Service  
(MSDS)

Accès aux métadonnées  
Accès aux séries  
temporelles  
Disponibilité des données

Bienvenue dans la rubrique scientifique

## Bienvenue dans la rubrique scientifique du site SEIS

Cette partie du portail SEIS/InSight permet de consulter :

- Les données scientifiques et de maintenance de l'instrument SEIS placées en accès libre.
- Une documentation sur les données SEIS, ainsi que le calendrier de mise à disposition.
- Une liste de références de publications scientifiques (à venir).

Dernière mise à jour : 24 mai 2019



Realized by IPGP

Contact :  
SEIS Support

JPL

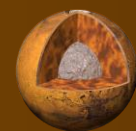
Imperial College  
London

ISAE

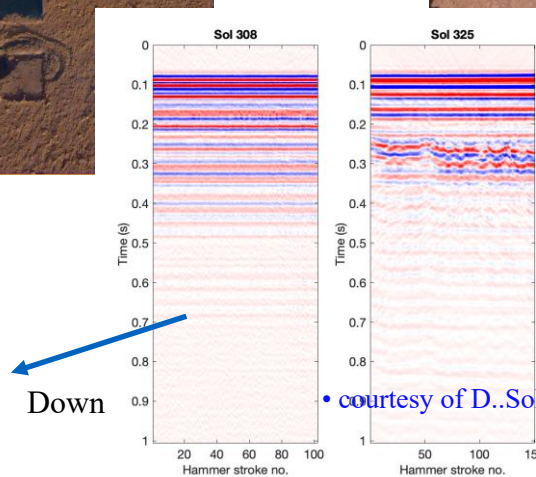
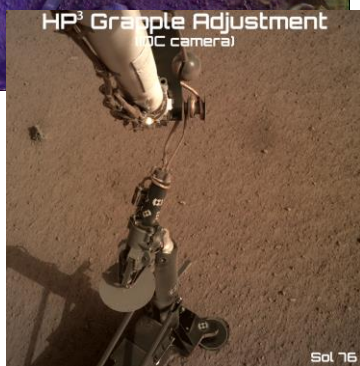
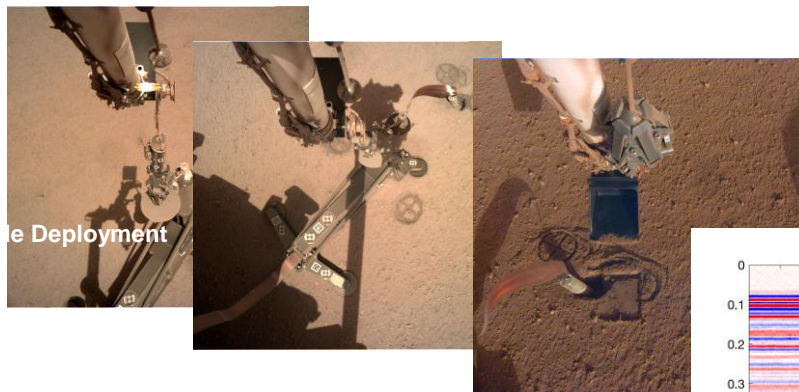


ETH





- HP3 n'a pas réussi à s'enfoncer profondément dans le régolite martien.
- Une grande déception pour l'équipe HP3 partagée par toute l'équipe InSight, mais beaucoup d'enseignement pour la prochaine expérience de flux de chaleur ....



• courtesy of D..Sohlberger et al (ETHZ)  
• Ongoing....