



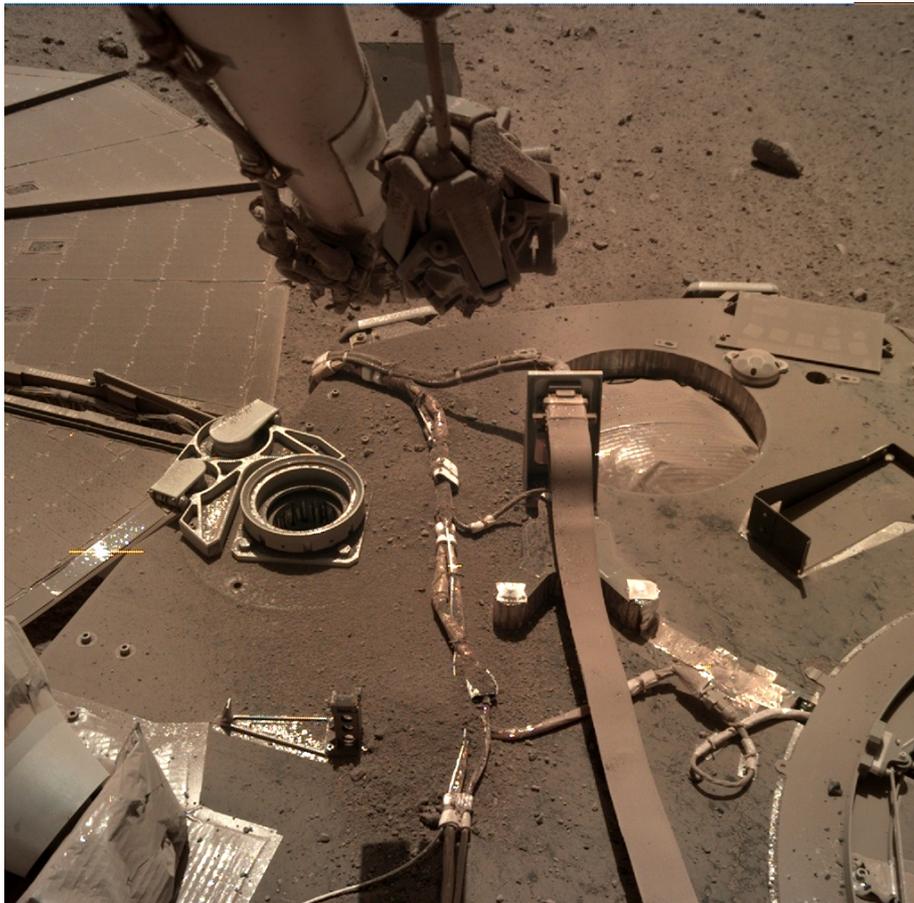
# Derniers résultats scientifiques InSight: structure interne de Mars de la croûte au noyau



P. Lognonné (Investigateur Principal SEIS)  
E. Beucler, **R.F. Garcia**, T. Kawamura (co-investigateurs SEIS)  
N. Compaire, M. Drilleau, M. Plasman, H. Samuel, B. Tauzin (collaborateurs SEIS)  
B. Knammeyer-Endrun, A. Khan, S. Stähler, D. Giardini, W.B. Banerdt et les co-auteurs des articles Science  
C. Yana, Chef de projet opération au CNES

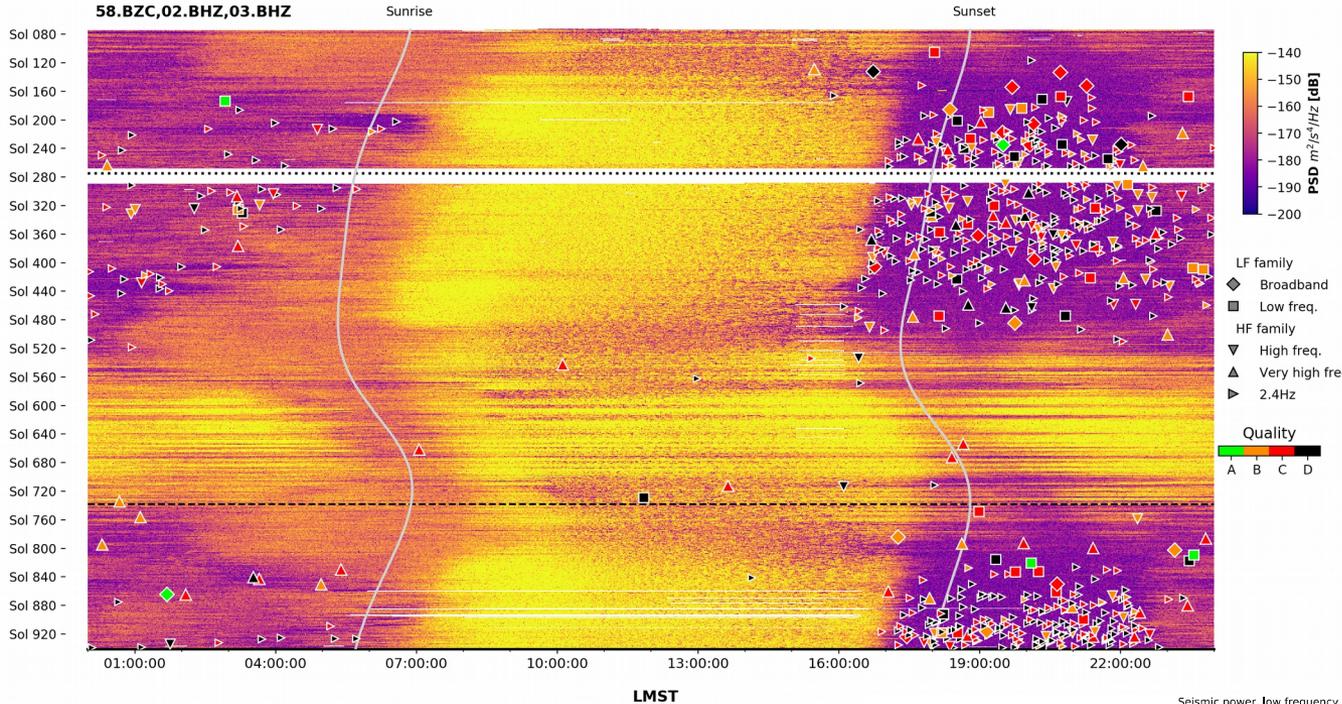


- Le 22 Juillet 2021 sera le Sol 943 depuis l'atterrissage d'InSight le 26 Novembre 2018, soit environ 1.4 année Martienne
- Malgré l'accumulation de poussière sur les panneaux solaires et grâce au nettoyage de ces derniers, InSight et SEIS continue de mesurer l'activité sismique de Mars.



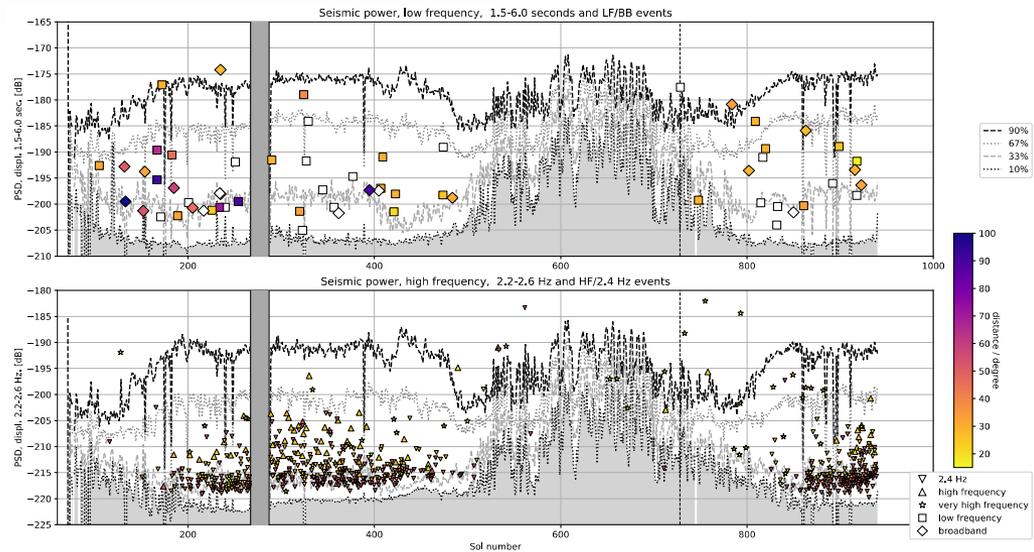
Sols: 72-941

58.BZC,02.BHZ,03.BHZ

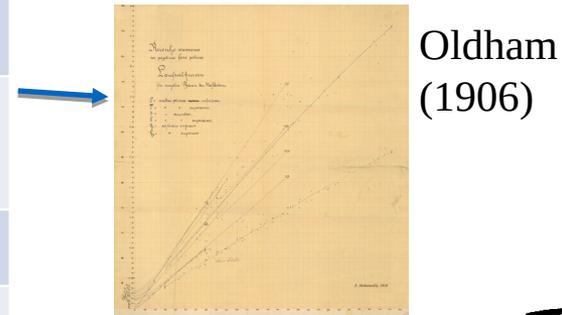
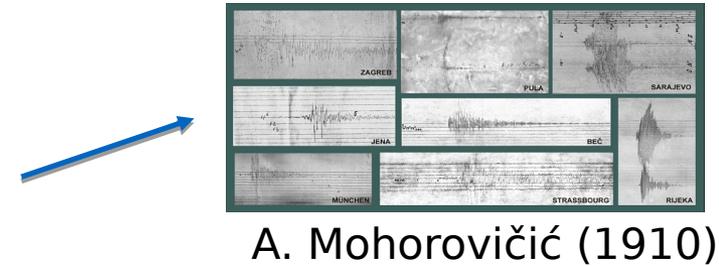


• Après 250 sols caractérisés par un fort bruit sismique ( et peu de séismes détectés), la fenêtre bas bruit de la fin d'après midi réapparaît et avec elle la détection de nouveaux séismes

- Plus de 60 séismes basse fréquence ou large bande détectés ( $f < 2$  Hz)
- 120 séismes ou évènement haute fréquence détectés ( $> 2$  Hz)
- 550 séismes ou évènement à 2.4 Hz détectés ( $f \sim 2.4$  Hz)

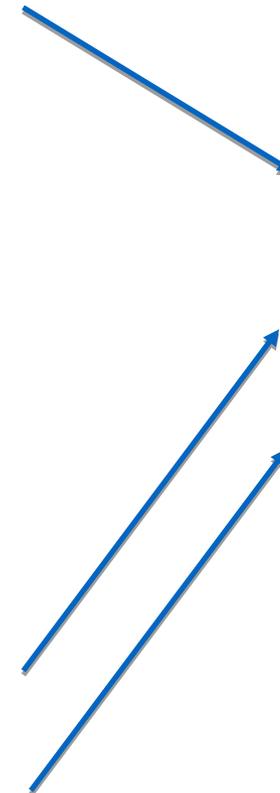


Objectifs de la mission	Connaissance actuelle
Epaisseur de la croûte	$65 \pm 35$ km
Stratification de la croûte	Pas d'information
Vitesses sismiques du manteau	$8 \pm 1$ km/s (prédit)
Etat liquide ou solide du noyau	A priori liquide, mais pas de démonstration
Rayon du noyau (+RISE)	$1700 \pm 300$ km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



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

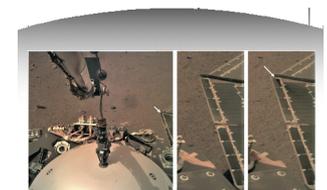


AGU

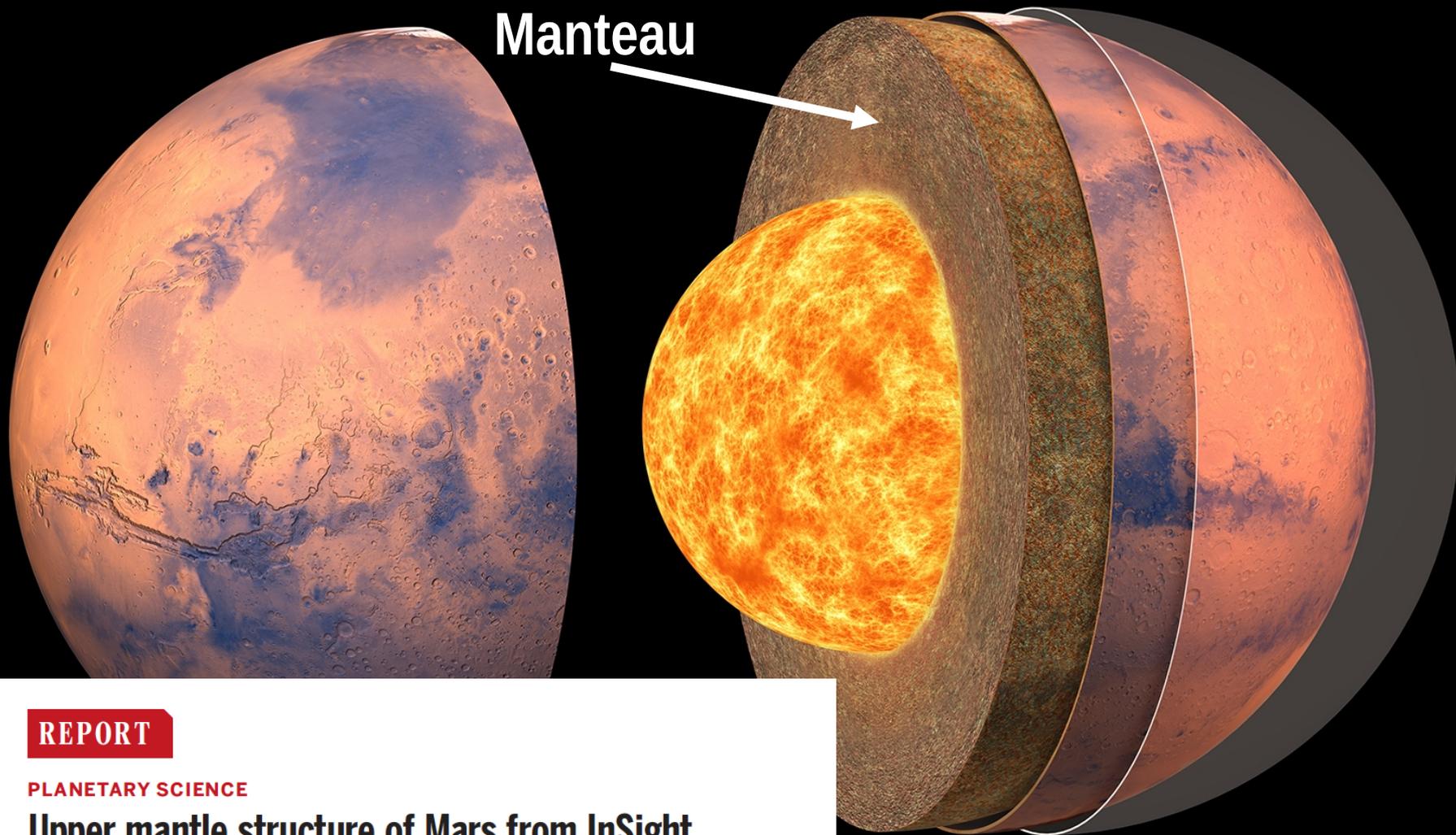


Earth and Space Science

May 2020 - Volume 7 - Issue 5



WILEY



## REPORT

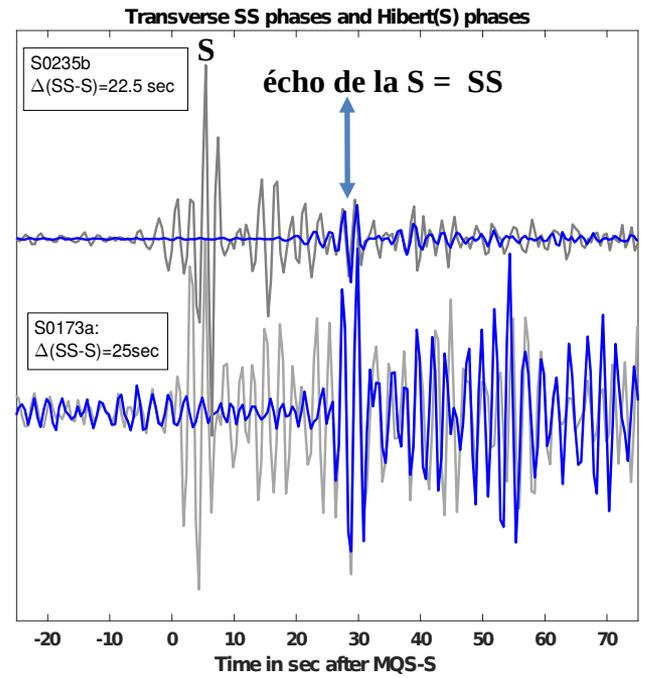
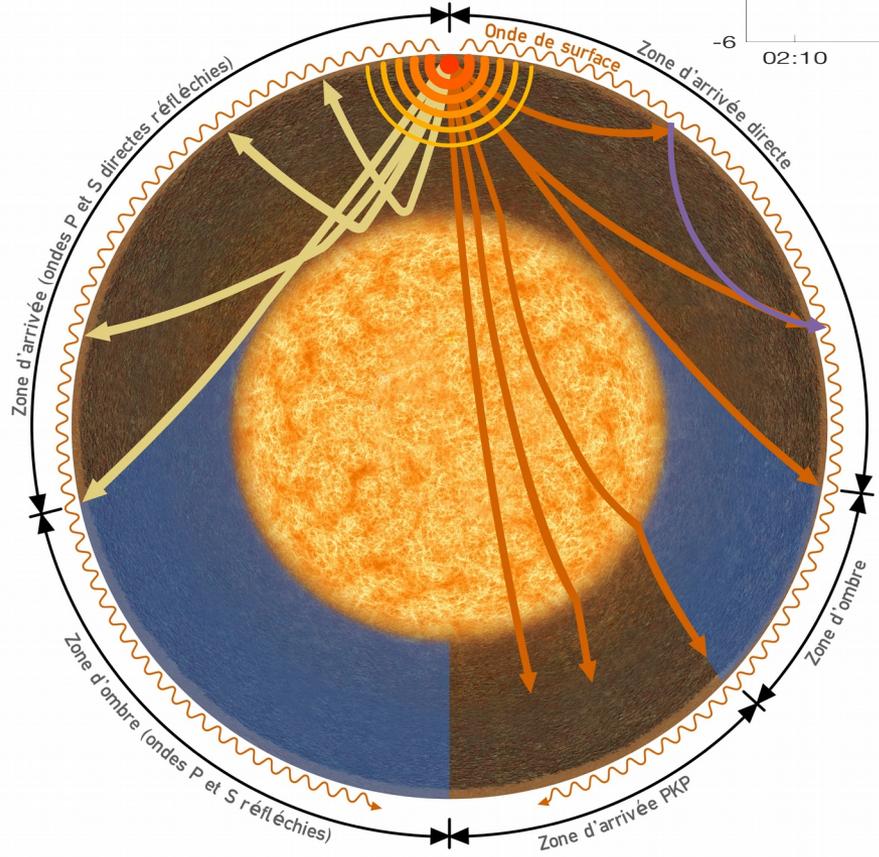
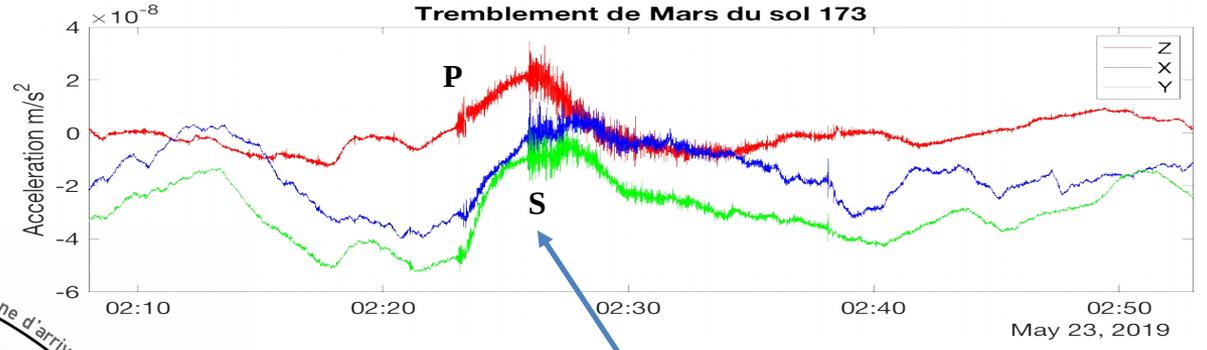
### PLANETARY SCIENCE

# 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-Schnidrig<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 !)**

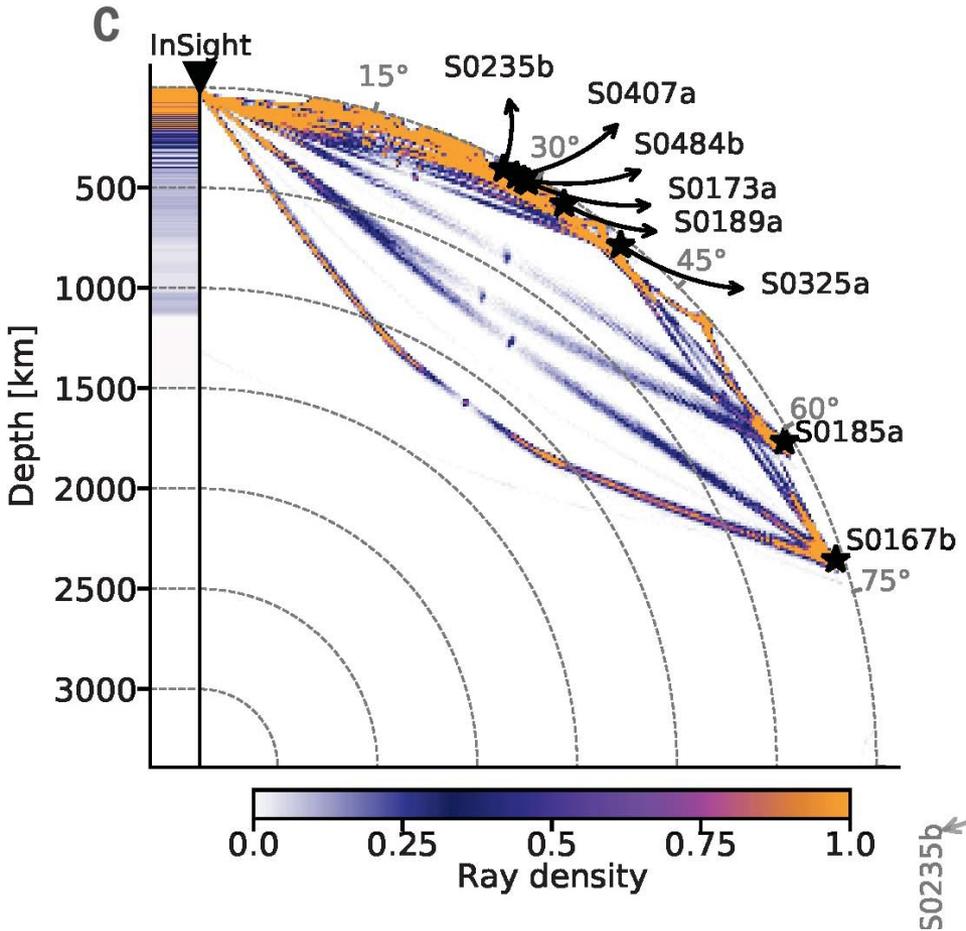


**Analyse sur les 8 meilleurs séismes et  
avec 3 méthodes différentes**

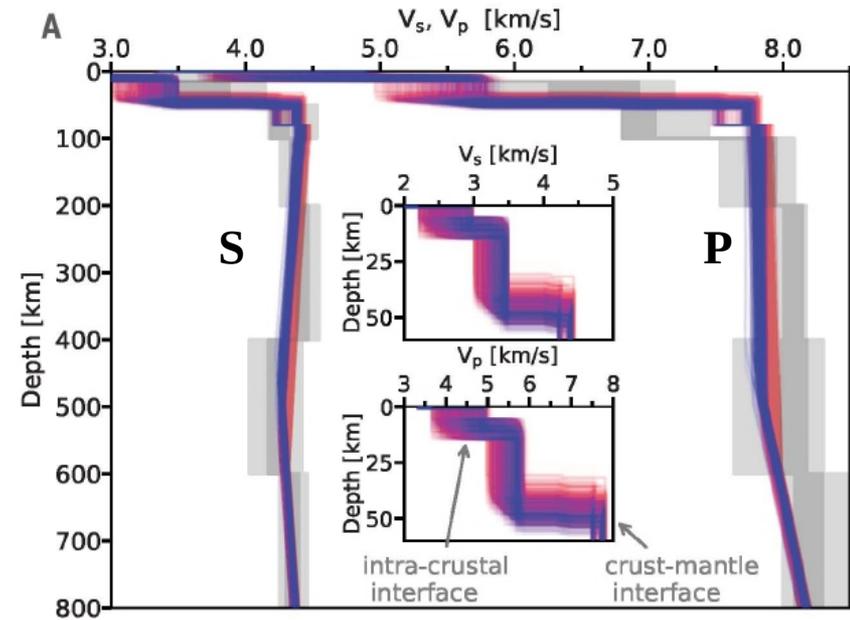
Contribution P.Lognonné, M.Plasman



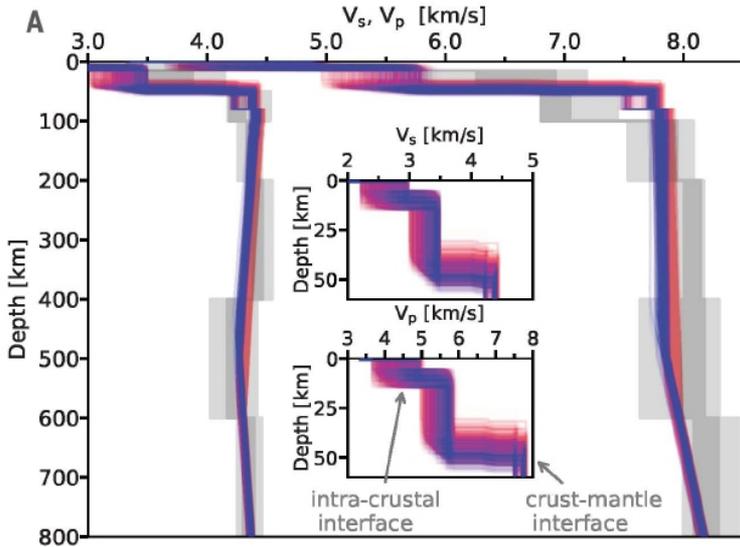
## Trajets des ondes directes et des multiples



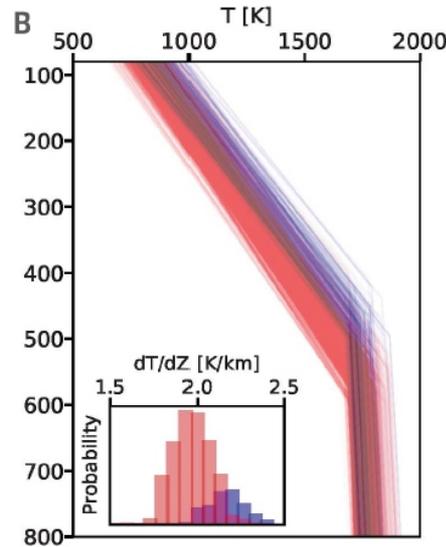
## Modèle de vitesses sismiques S et P



Contribution A.Khan



Contribution A.Khan

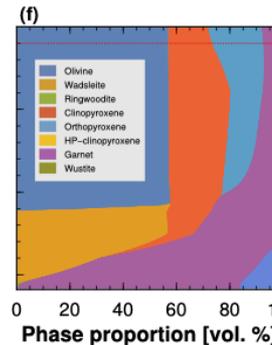
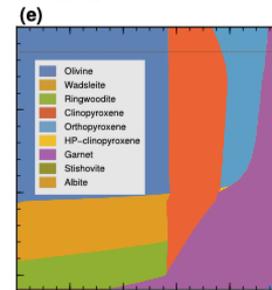
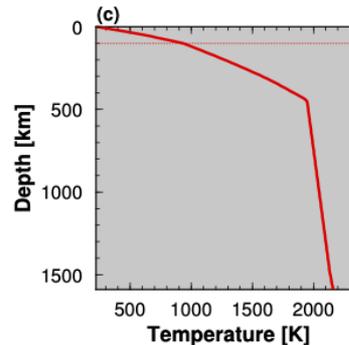
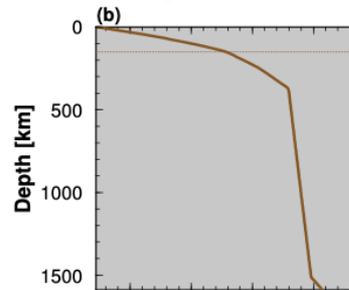


**Modèle de température et sismique proposé**

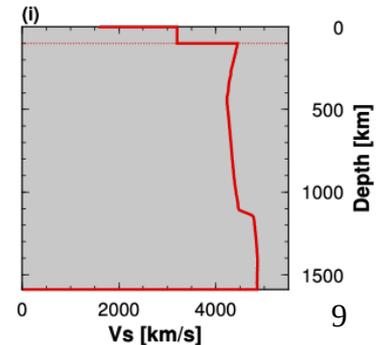
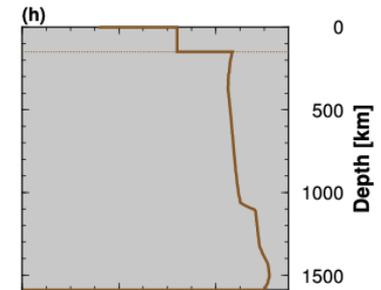
- Pour une minéralogie moyenne du manteau (comme celle obtenue à partir des SNC), les modèles de vitesses P et S permettent de contraindre la température dans la lithosphère Martienne

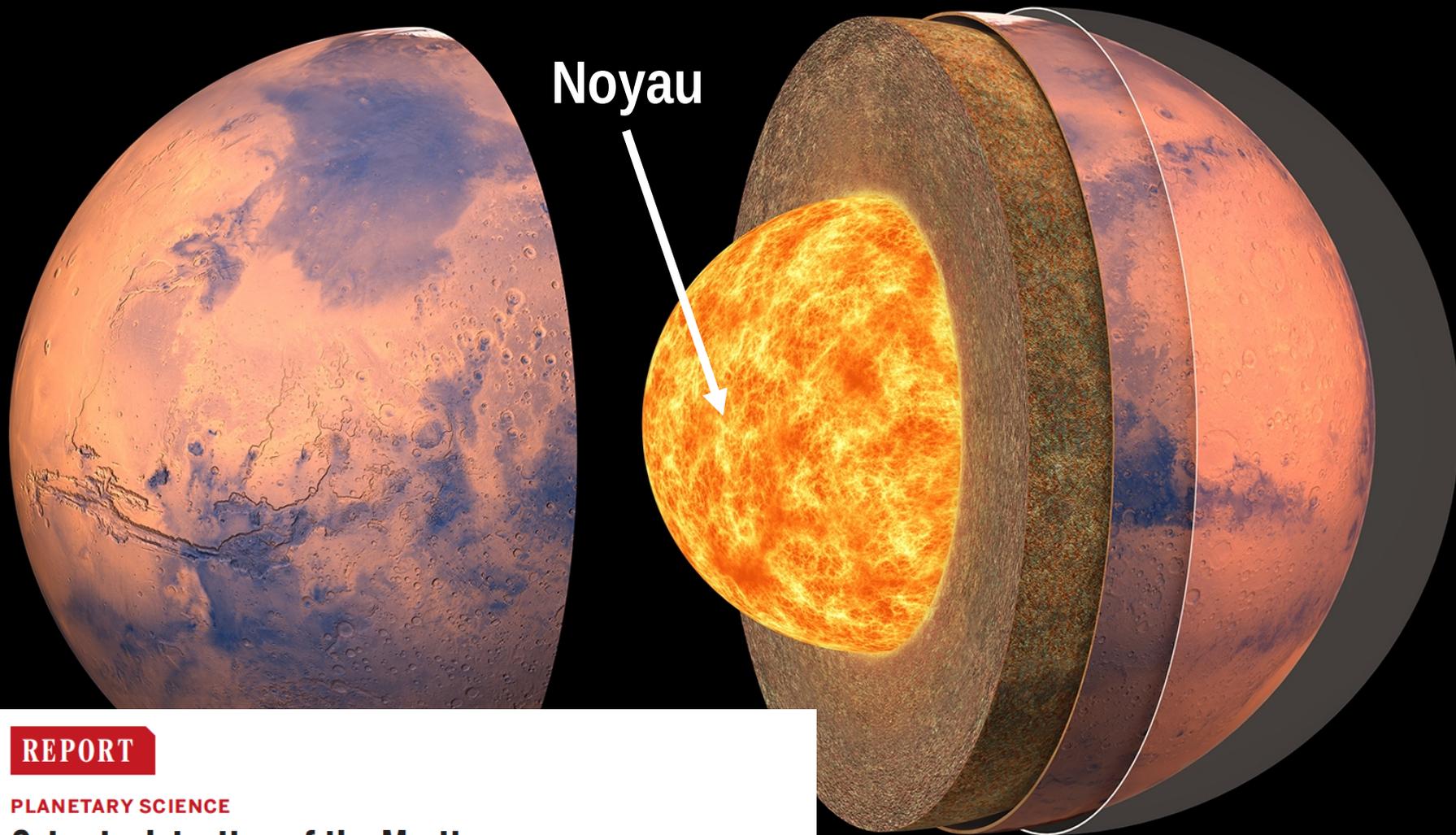
- Une première estimation du flux de chaleur du manteau peut ainsi être proposée, avec un flux de chaleur 3-5 fois moindre que sur Terre

## Modèles de température et minéralogiques associés



## Contribution H.Samuel





## REPORT

### PLANETARY SCIENCE

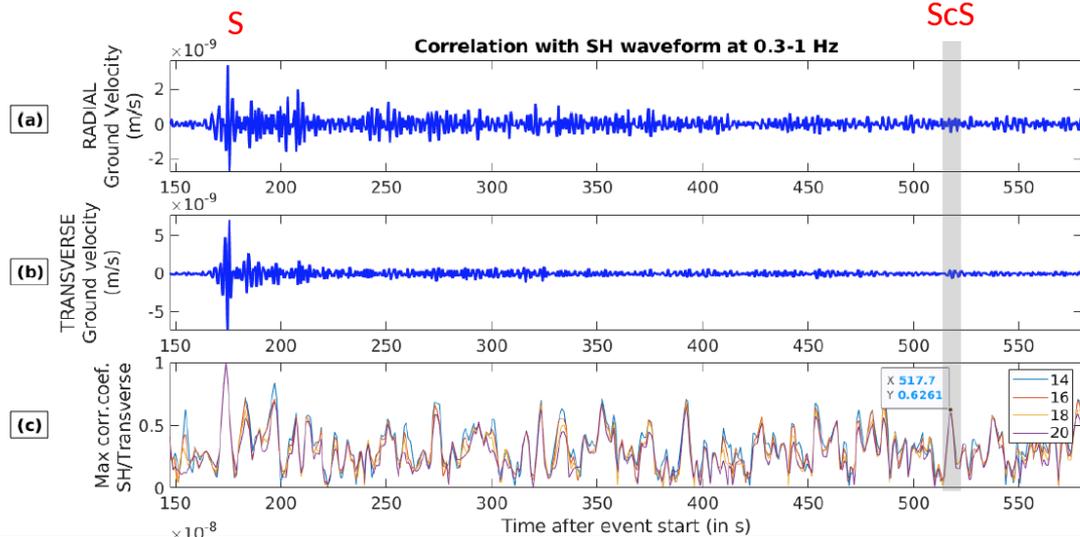
# Seismic detection of the Martian core

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 Lekić<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>

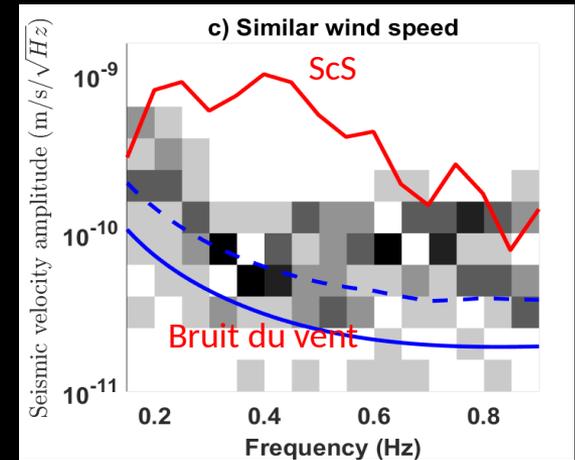


Contribution R.Garcia, E.Stutzmann

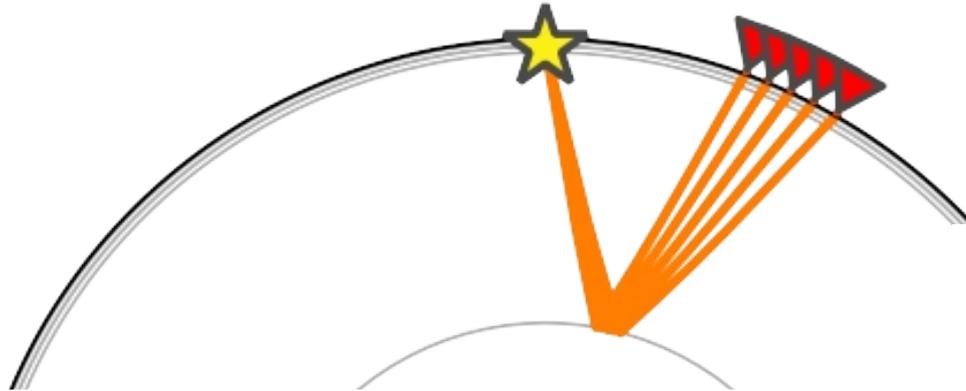
- Phases de faible amplitude
- 6 méthodes différentes ont été utilisées
- Une analyse statistique a quantifié l'amplitude du bruit atmosphérique



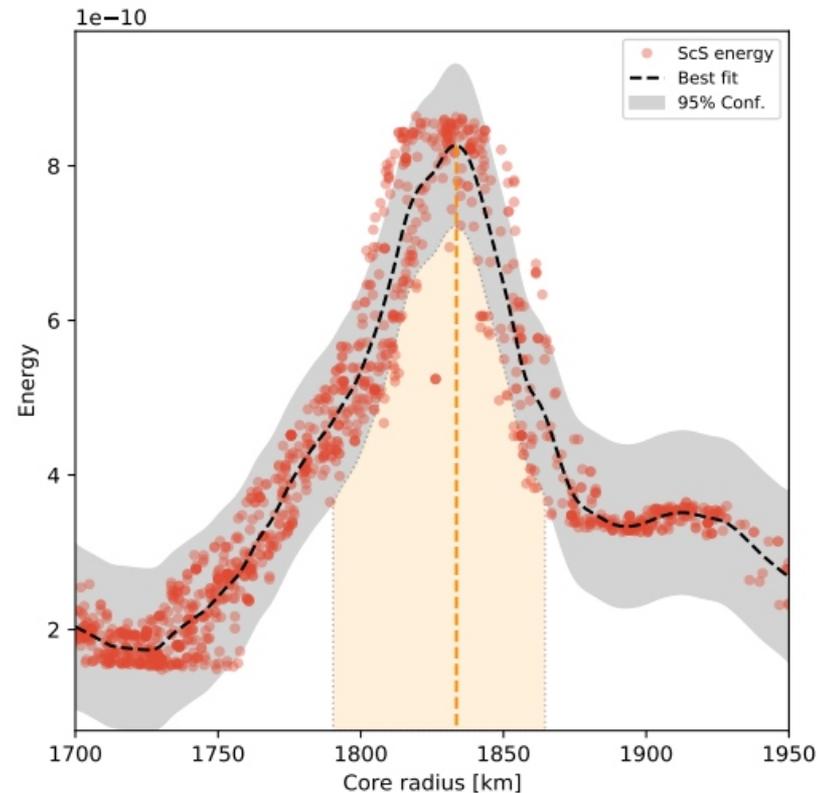
Contribution Z.Xu,  
P.Lognonné



## 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  $5.7-6.3 \text{ g/cm}^3$



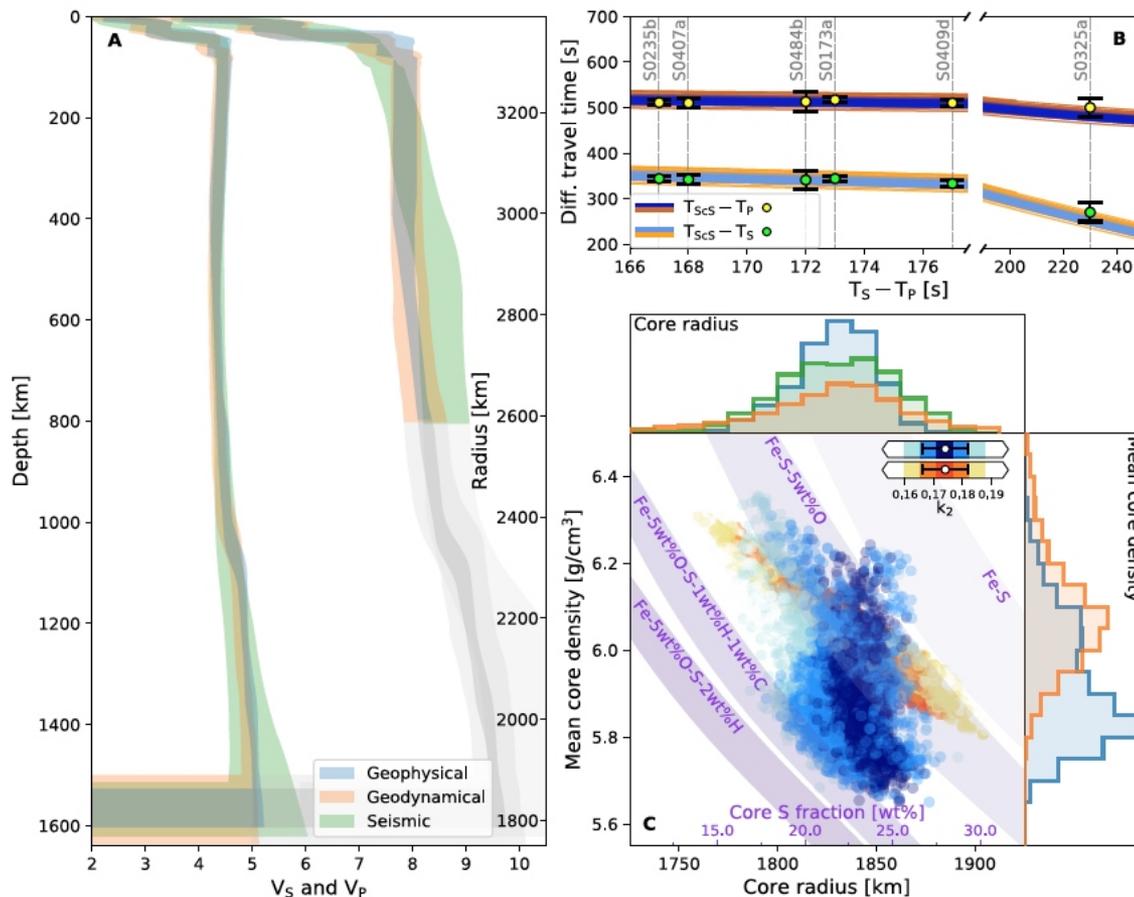


● Estimation avant lancement: 1400-2000km      Estimation SEIS: 1830 km±40 km

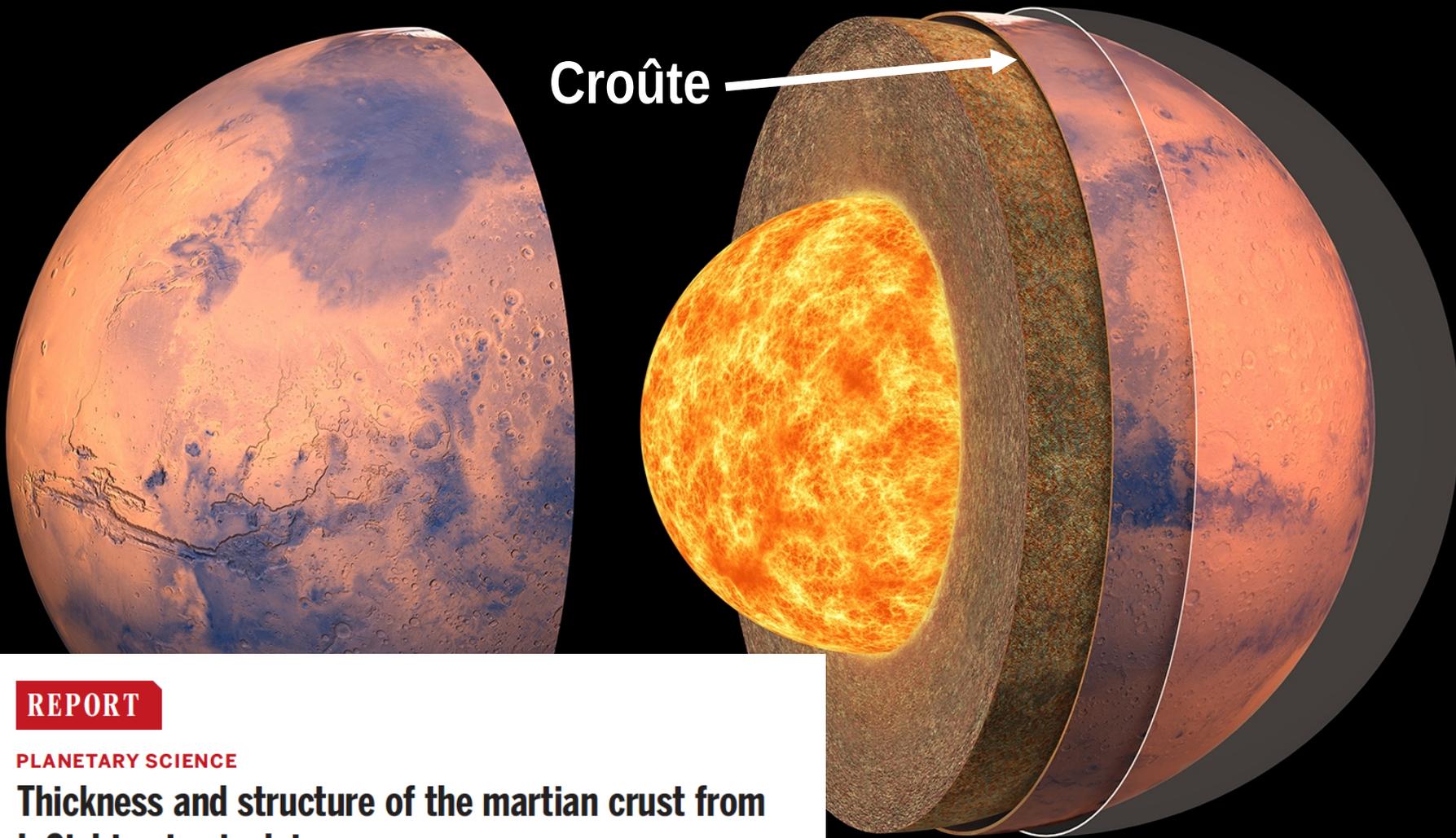
● Un gros noyau

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

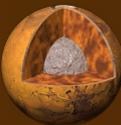


## REPORT

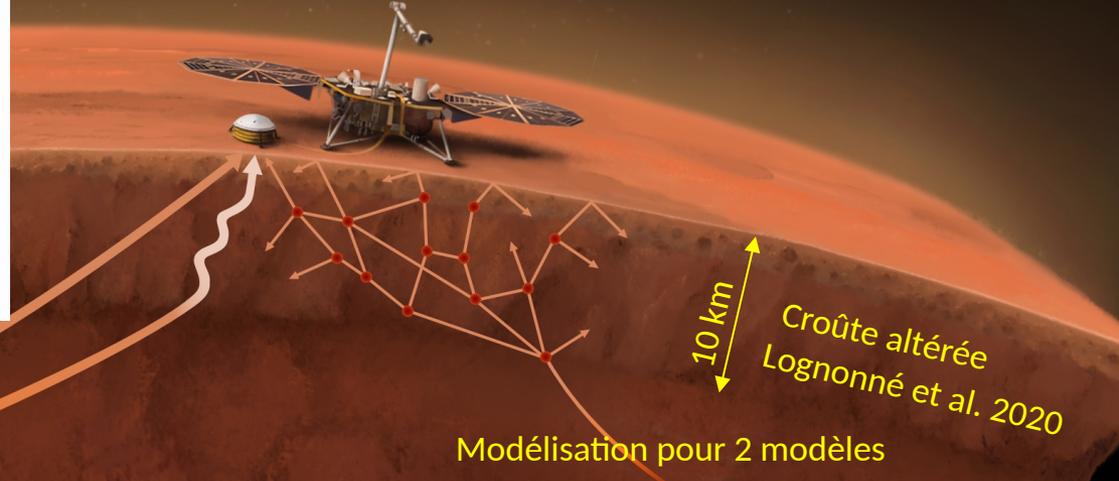
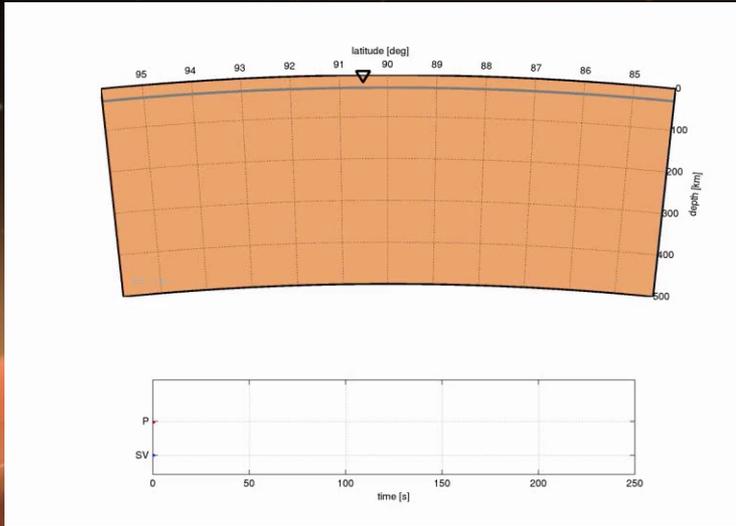
### PLANETARY SCIENCE

# 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>

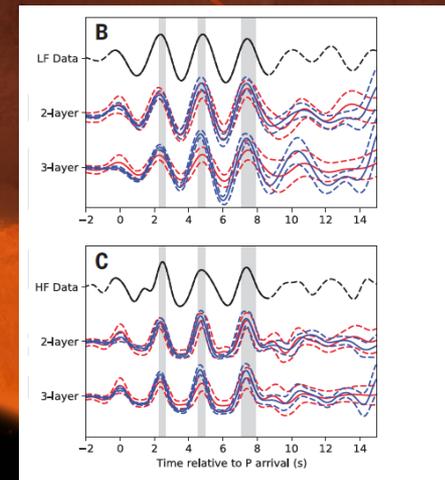
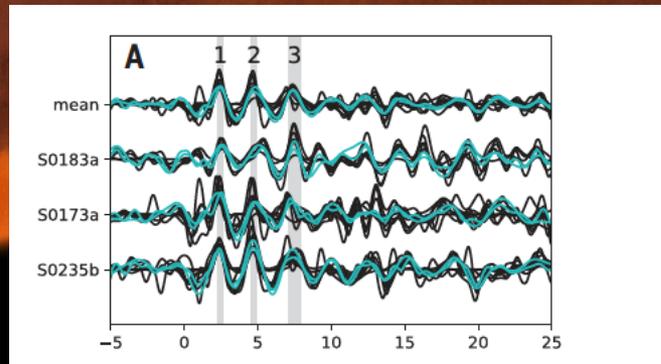


- Première méthode: par les ondes converties des séismes
- Objectif: identifier les conversions des ondes associée au moho Martien ( interface croûte/manteau)
- Plusieurs méthodes différentes ont été utilisées pour confirmer les résultats



Modélisation pour 2 modèles

Observations sur 3 séismes



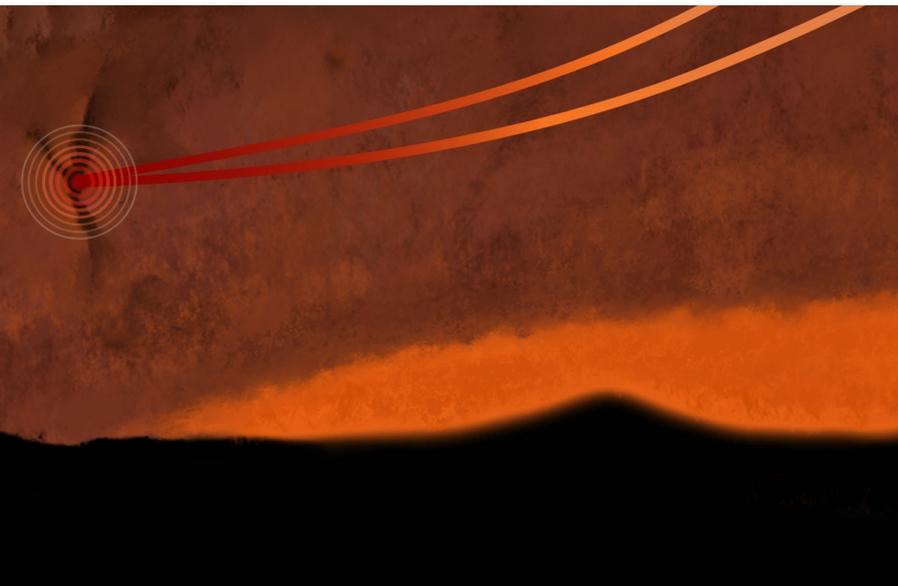
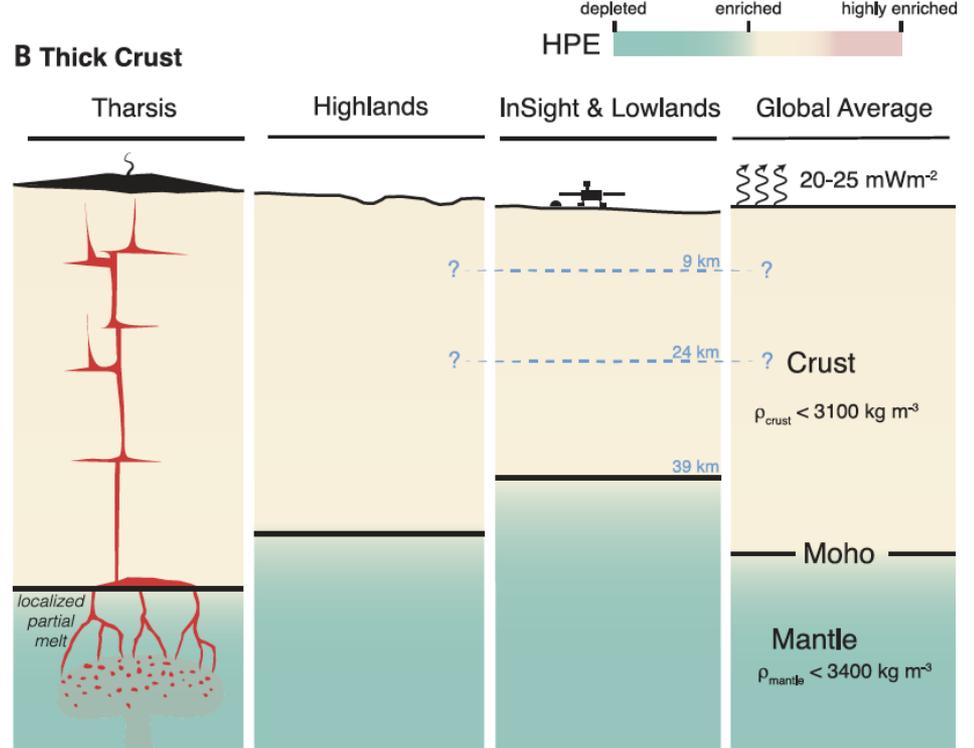
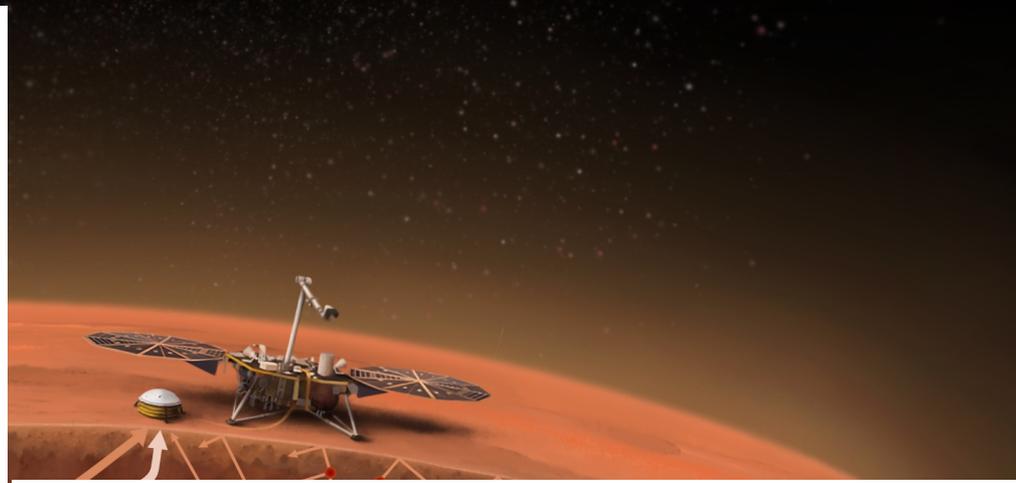
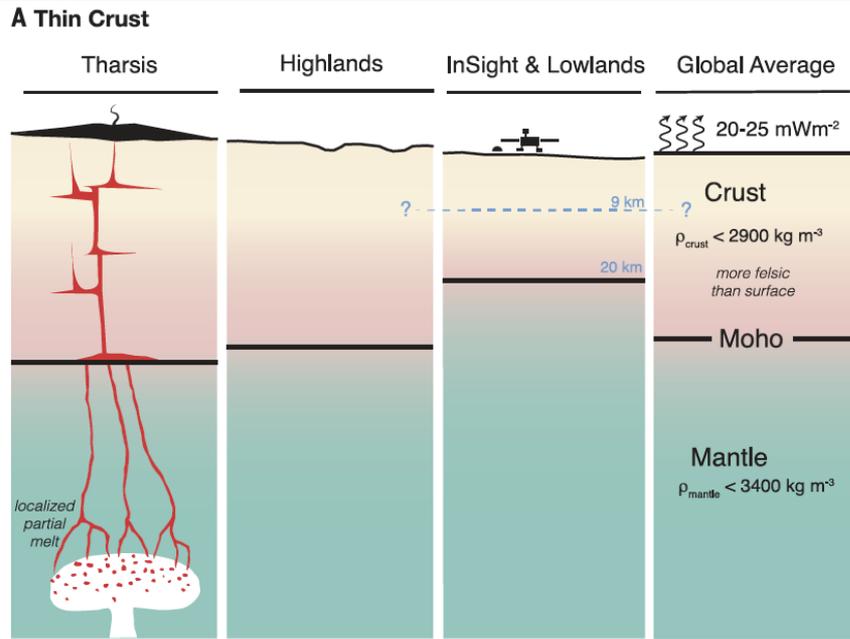
Croûte  
~20 km

Croûte  
~35 km

Croûte

Manteau

# Conclusion: 2 modèles possibles

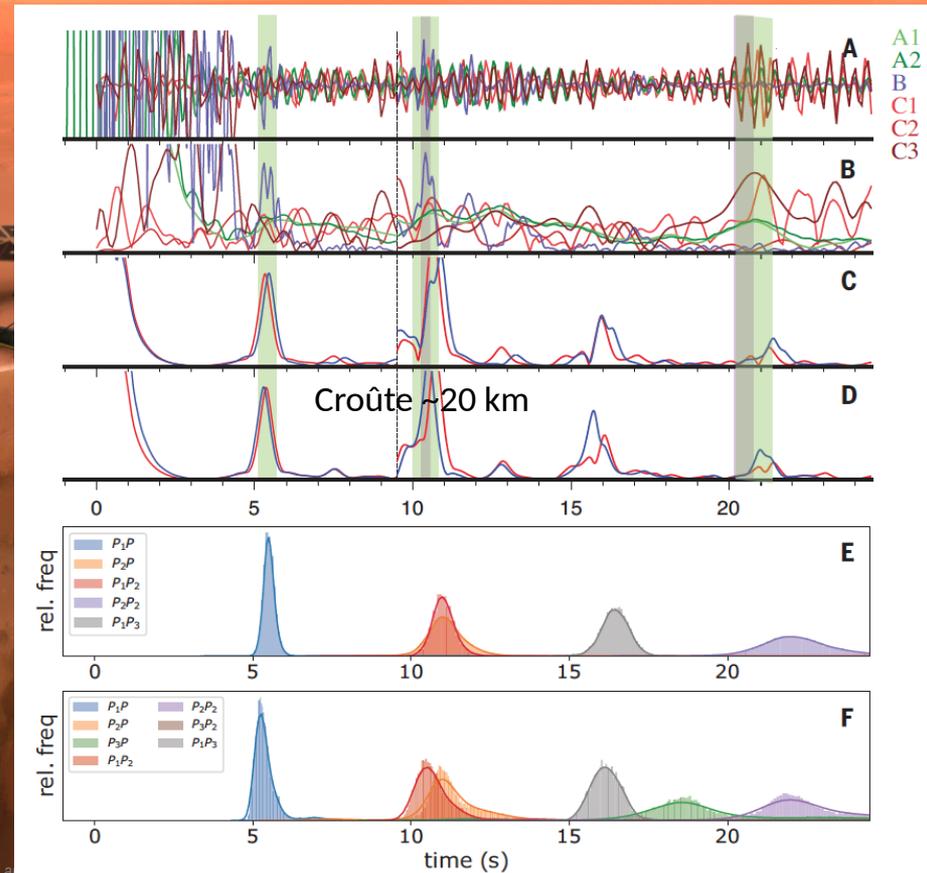


# Confirmation par les analyse de bruit sismique Martien

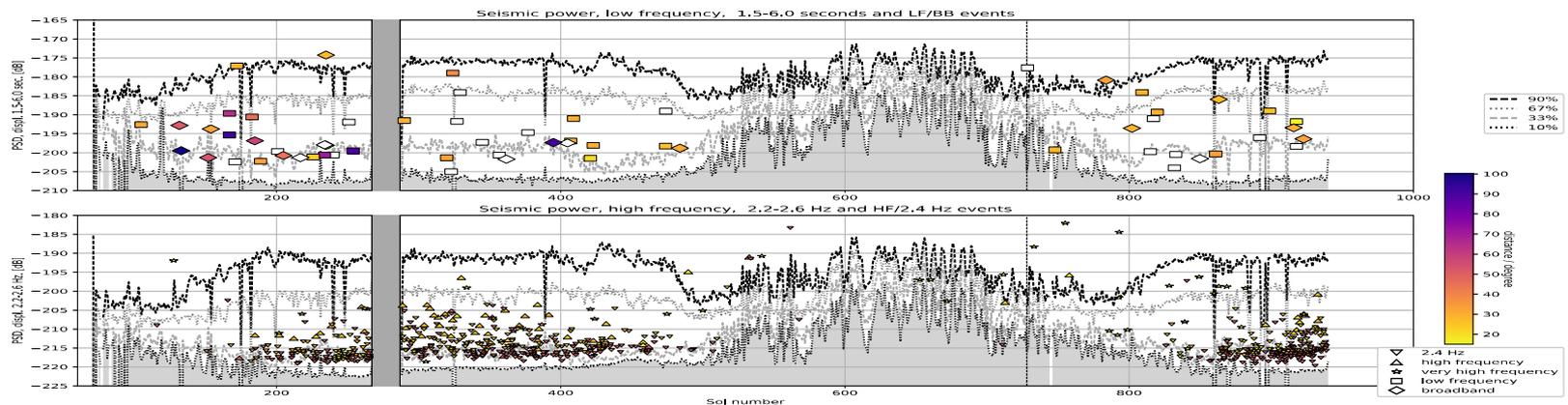
- **Seconde méthode:** analyse du bruit sismique généré par l'atmosphère
- **Objectif:** identifier les ondes faisant des allers/retours entre la surface et une interface crustale
- Là encore, plusieurs méthodes différentes ont été utilisées
- Confirme principalement l'interface à 20 km de profondeur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

Bruit atmosphérique = vibration du sol

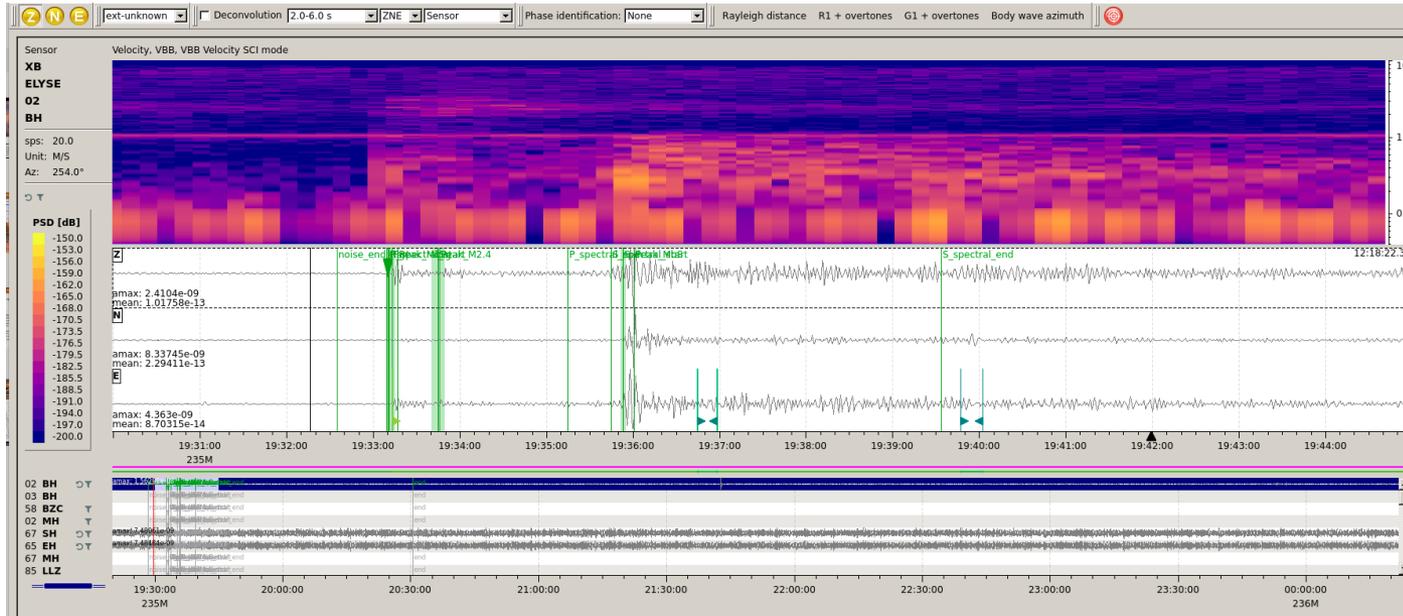
Propagation et réflexion par des interfaces



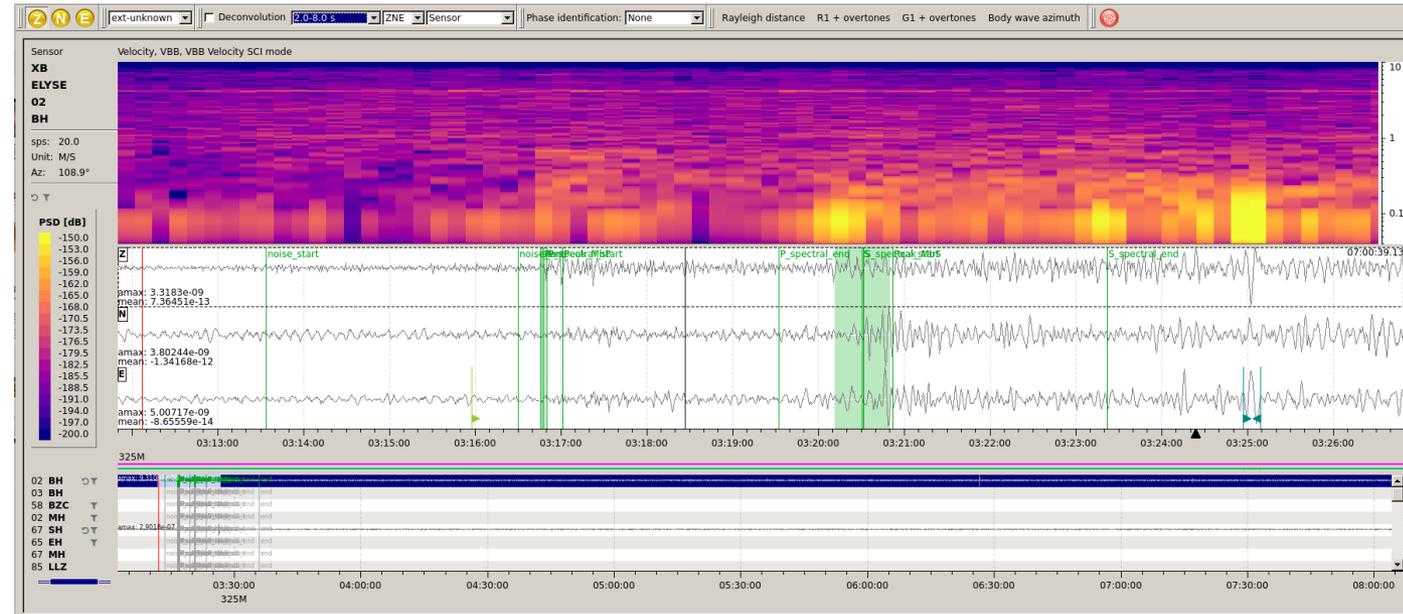
- Un travail journalier et quotidien des services d'Observation de SEIS et d'InSight
  - Assurant l'opération de l'instrument, sa surveillance et le flux de commandes et de données entre le JPL et le CNES. (SISMOC au CNES, Equipe Instrumentale à l'IPGP)
  - Diffusant les données formatées et calibrées 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)
- 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



S0235



S0325

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



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

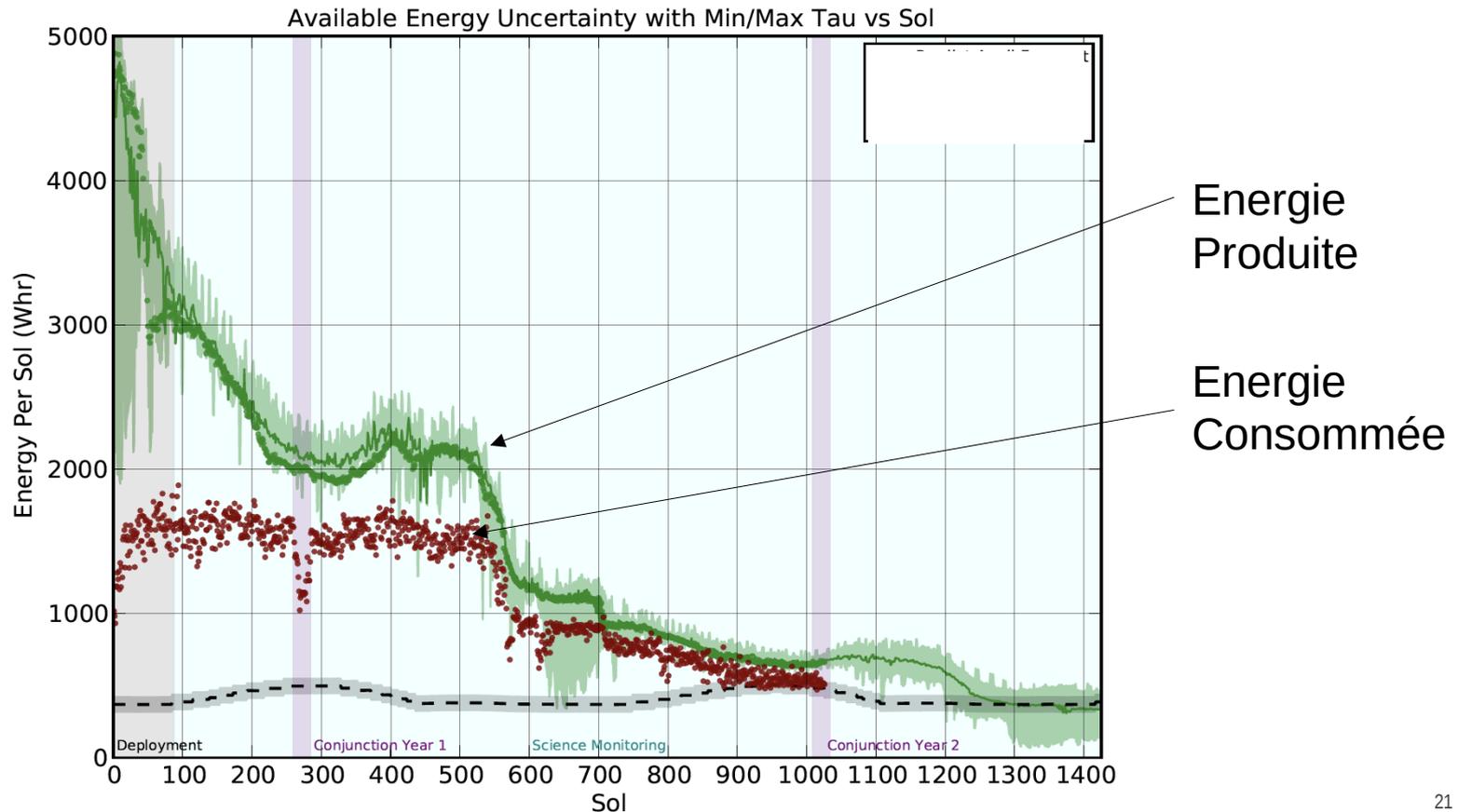


Giardini et al. 2020  
Banerdt et al. 2020

# Qu'en est-il de la mission?

- Le principal problème de la mission InSight actuellement est l'énergie disponible à cause du dépôt de poussières sur les panneaux solaires.
  - 4 fois moins d'énergie que au début de la mission
  - Les instruments météo (Pression, Vent, Température, Magnétomètre) sont éteints depuis 300 sols

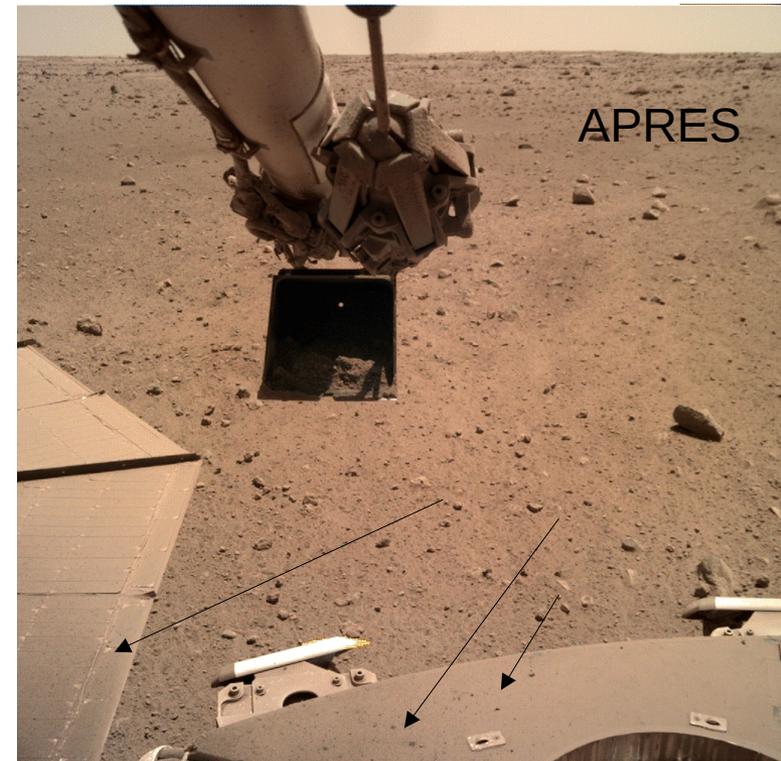
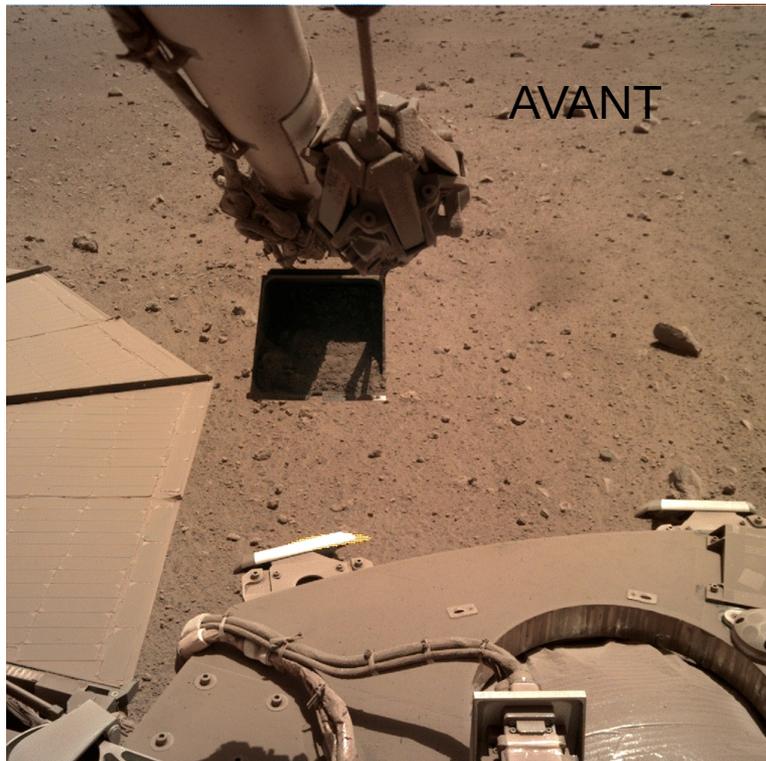
D'après  
B. Banerdt  
JPL



# Qu'en est-il de la mission?

- Le principal problème de la mission InSight est l'énergie disponible à cause du dépôt de poussières sur les panneaux solaires.
  - 4 fois moins d'énergie que au début de la mission
  - Les instruments météo (Pression, Vent, Température, Magnétomètre) sont éteints depuis 300 sols
- => sablage des panneaux solaires pour enlever une partie de la poussière

D'après  
M. Golombek  
JPL



- Le principal problème de la mission InSight est l'énergie disponible à cause du dépôt de poussières sur les panneaux solaires.
  - 4 fois moins d'énergie que au début de la mission
  - Les instruments météo (Pression, Vent, Température, Magnétomètre) sont éteints depuis 300 sols
- => sablage des panneaux solaires pour enlever une partie de la poussière

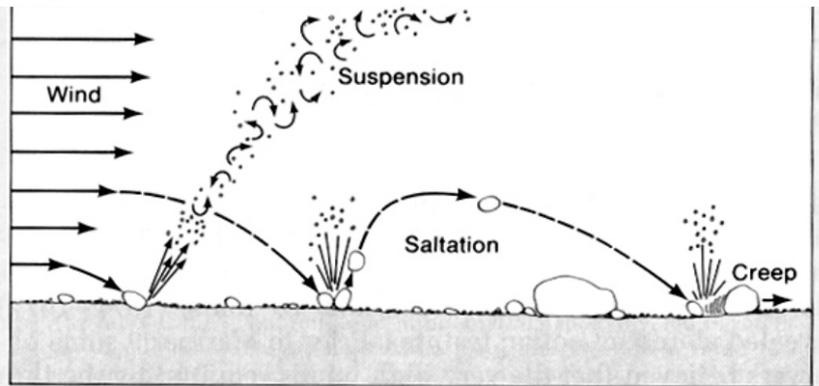
D'après  
M. Golombek

4% d'énergie gagnée au premier essai,  
Moins pour les autres, mais plusieurs mois gagnés

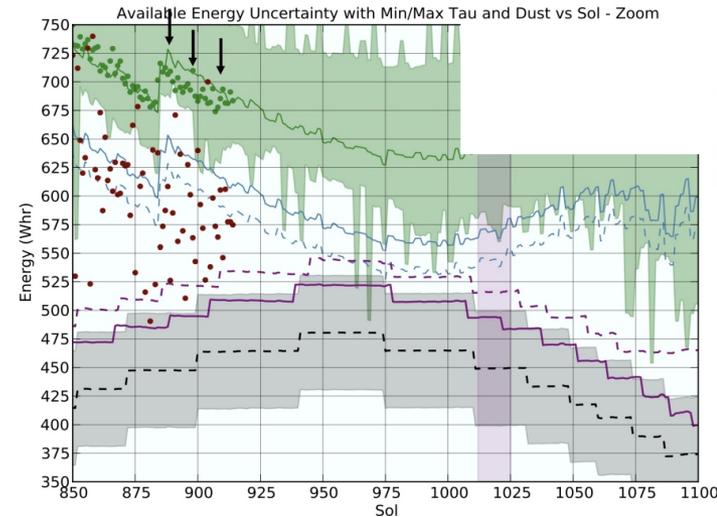
## JPL Transportation modes

- Suspension - dust
- Saltation - sand
- Creep
- Reptation

Soil/sand entrained in Wind during Dump  
Overcomes threshold friction wind speed  
Dispersed and impacts surface or solar panel  
Kicks up dust - goes into suspension  
100 times size  
Sand grain



**Figure 3.22**  
The friction of the wind movement across a surface can set particles into motion if the wind is sufficiently strong. The diagram illustrates how particles are moved by the wind in three modes: suspension, saltation, and creep. [From Thomas A. Mutch, *The Geology of Mars* (copyright © 1976 by Princeton University Press): fig. 1, p. 236. Reprinted by permission of Princeton University Press.]



## Search for Infrasound Signals in InSight Data Using Coupled Pressure/Ground Deformation Methods

Raphael F. Garcia; Naomi Murdoch; Ralph Lorenz; Aymeric Spiga; Daniel C. Bowman; Philippe Lognonné; Don Banfield; William Bruce Banerdt

[Abstract](#) [View article](#) [PDF](#) [Add to Citation Manager](#)

Bulletin of the Seismological Society of America October 26, 2021, Vol.111, 3055-3064.  
doi:<https://doi.org/10.1785/O120210079>

## Energy Envelope and Attenuation Characteristics of High-Frequency (HF) and Very-High-Frequency (VF) Martian Events

Sabrina Menina; Ludovic Margerin; Taichi Kawamura; Philippe Lognonné; Jules Marti; Mélanie Drilleau; Marie Calvet; Nicolas Compaire; Raphaël Garcia; Foivos Karakostas; Nicholas Schmerr; Martin van Driel; Simon C. Stähler; Matthieu Plasman; Domenico Giardini; Sebastian Carrasco; Brigitte Knapmeyer-Endrun; Grégory Sainton; William B. Banerdt

[Abstract](#) [View article](#) [PDF](#) [Add to Citation Manager](#)

Bulletin of the Seismological Society of America November 02, 2021, Vol.111, 3016-3034.  
doi:<https://doi.org/10.1785/O120210127>

## Scattering Attenuation of the Martian Interior through Coda-Wave Analysis

Foivos Karakostas; Nicholas Schmerr; Ross Maguire; Quancheng Huang; Doyeon Kim; Vedran Lekić; Ludovic Margerin; Ceri Nunn; Sabrina Menina; Taichi Kawamura; Philippe Lognonné; Domenico Giardini; Bruce Banerdt

[Abstract](#) [View article](#) [PDF](#) [Add to Citation Manager](#)

Bulletin of the Seismological Society of America October 26, 2021, Vol.111, 3035-3054.  
doi:<https://doi.org/10.1785/O120210253>

## Magnitude Scales for Marsquakes Calibrated from InSight Data

Maren Böse; Simon C. Stähler; Nicholas Deichmann; Domenico Giardini; John Clinton; Philippe Lognonné; Savas Ceylan; Martin van Driel; Constantinos Charalambous; Nikolaj Dahmen; Anna Horleston; Taichi Kawamura; Amir Khan; Martin Knapmeyer; Guérolé Orhand-Mainsant; John-Robert Scholz; Fabian Euchner; W. Bruce Banerdt

[Abstract](#) [View article](#) [Supplementary data](#) [PDF](#) [Add to Citation Manager](#)

Bulletin of the Seismological Society of America June 22, 2021, Vol.111, 3003-3015.  
doi:<https://doi.org/10.1785/O120210045>

## The Site Tilt and Lander Transfer Function from the Short-Period Seismometer of InSight on Mars

Alexander E. Stott; Constantinos Charalambous; Tristram J. Warren; William T. Pike; Robert Myhill; Naomi Murdoch; John B. McClean; Ashitey Trebi-Ollennu; Grace Lim; Raphael F. Garcia; David Mimoun; Sharon Kedar; Kenneth J. Hurst; Marco Bierwirth; Philippe Lognonné; Nicholas A. Teanby; Anna Horleston; William B. Banerdt

## Resonances and Lander Modes Observed by InSight on Mars (1–9 Hz)

Nikolaj L. Dahmen; Géraldine Zenhäusern; John F. Clinton; Domenico Giardini; Simon C. Stähler; Savas Ceylan; Constantinos Charalambous; Martin van Driel; Kenneth J. Hurst; Sharon Kedar; Philippe Lognonné; Naomi Murdoch; Robert Myhill; Mark P. Panning; William T. Pike; Martin Schimmel; Cédric Schmelzbach; John-Robert Scholz; Alexander E. Stott; Eleonore Stutzmann; William B. Banerdt

## Anatomy of Continuous Mars SEIS and Pressure Data from Unsupervised Learning

Salma Barkaoui; Philippe Lognonné; Taichi Kawamura; Éléonore Stutzmann; Léonard Seydoux; Maarten V. de Hoop; Randall Balestrero; John-Robert Scholz; Grégory Sainton; Matthieu Plasman; Savas Ceylan; John Clinton; Aymeric Spiga; Rudolf Widmer-Schmidrig; Francesco Civilini; W. Bruce Banerdt

[Abstract](#) [View article](#) [Supplementary data](#) [PDF](#) [Add to Citation Manager](#)

Bulletin of the Seismological Society of America November 09, 2021, Vol.111, 2964-2981.  
doi:<https://doi.org/10.1785/O120210095>

## ARTICLE

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-26957-7>

OPEN



# The shallow structure of Mars at the InSight landing site from inversion of ambient vibrations

M. Hobiger<sup>1,6,7</sup>, M. Hallo<sup>1,7</sup>, C. Schmelzbach<sup>2,7</sup>, S. C. Stähler<sup>2</sup>, D. Fäh<sup>1</sup>, D. Giardini<sup>2</sup>, M. Golombek<sup>3</sup>, J. Clinton<sup>1</sup>, N. Dahmen<sup>2</sup>, G. Zenhäusern<sup>2</sup>, B. Knapmeyer-Endrun<sup>4</sup>, S. Carrasco<sup>4</sup>, C. Charalambous<sup>5</sup>, K. Hurst<sup>3</sup>, S. Kedar<sup>3</sup> & W. B. Banerdt<sup>3</sup>

- InSight va remplir tous ses objectifs scientifiques!
- La mission va “mourir” faute de puissance dans l’été 2022 à moins qu’un gros tourbillon de poussière ne vienne nettoyer les panneaux
- Encore des surprises dans les dernières données acquises (impacts de météorites, séismes lointains)
- Les modèles de recharge des capteurs de SEIS (VBB et SP) iront vers la Lune dans le projet “Farside Seismic Suite” et seront déployé dans le cratère “Schrödinger”: une nouvelle aventure pour “sismo à l’école”?

