



# Operations InSight

JUSQU'AU DERNIER WATT-HEURE

*Nice - 9 juin 2022*

## Workshop InSight Education



4,5024°N 135,6234° E

Température

-100 / 0°C

28 / 32°C

Pression

6 / 8 hPa

880 / 1080 hPa

Vent

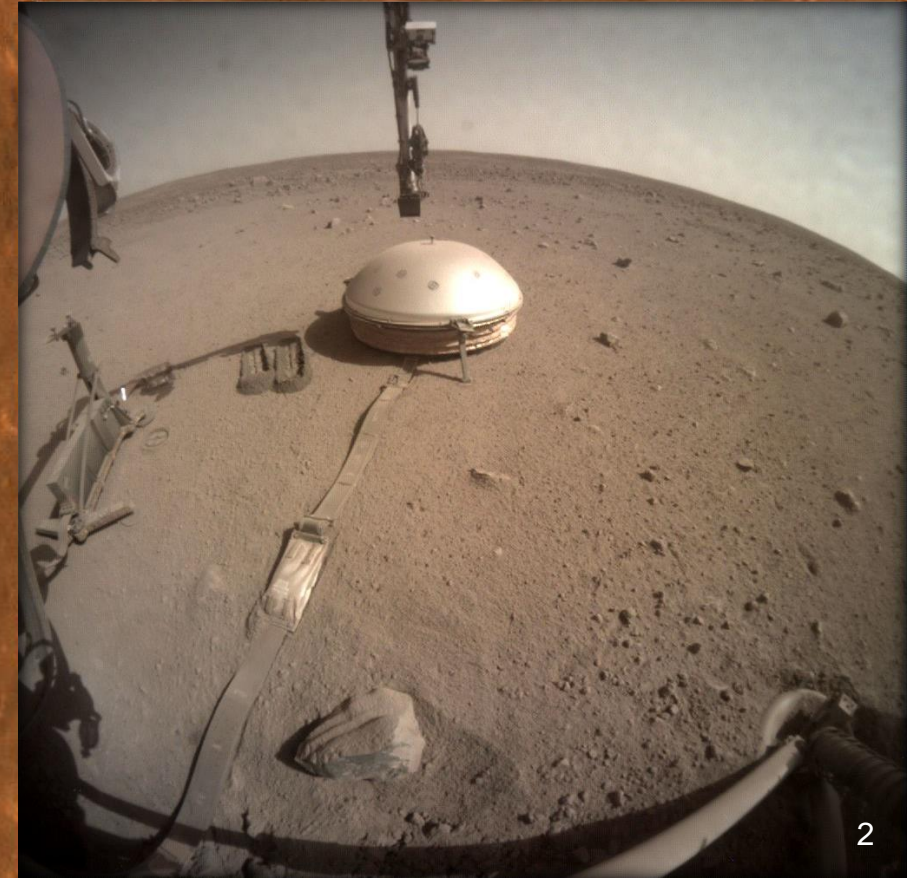
0 / 30 m/s

0 / 40 m/s

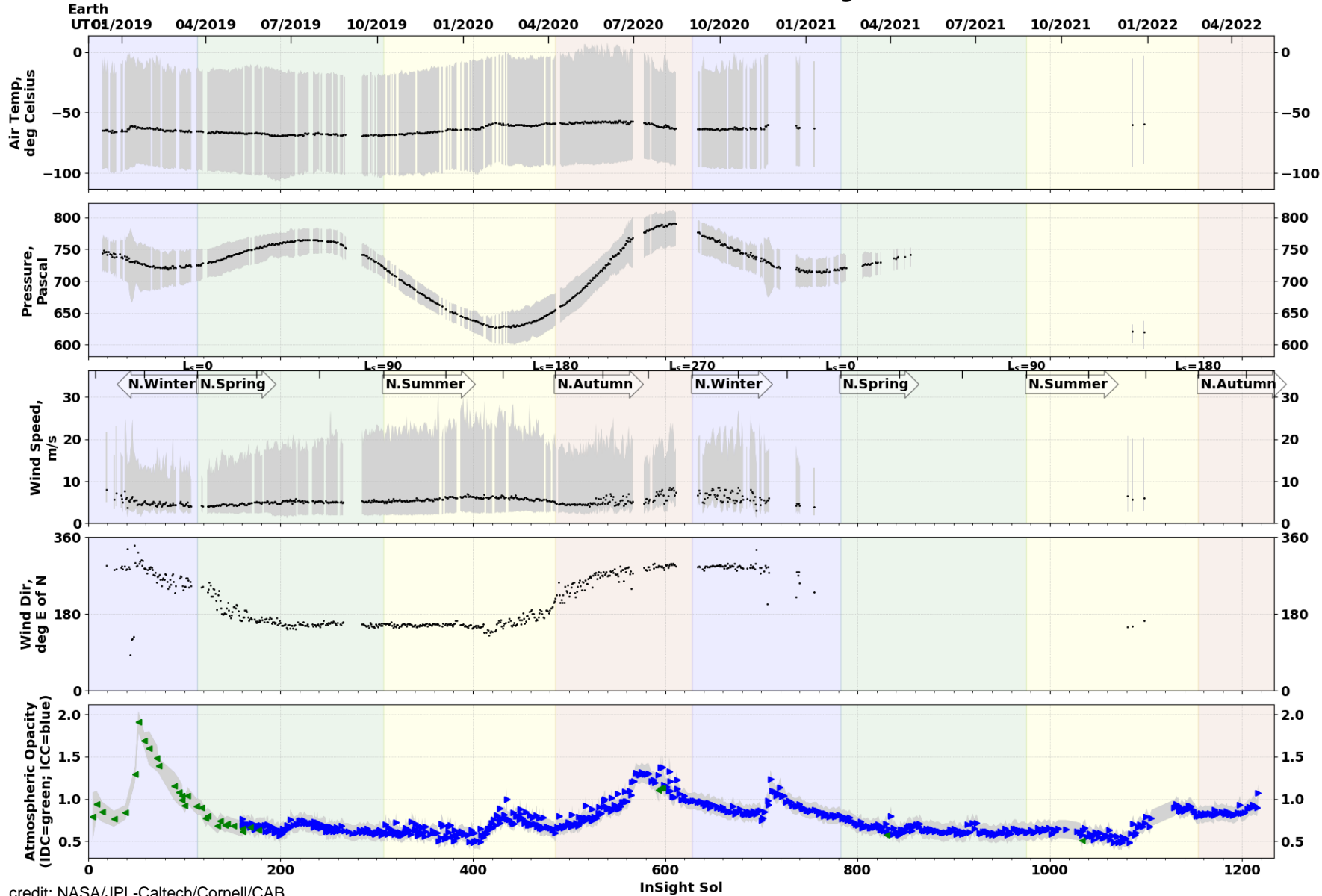
Flux solaire

~590 W/m<sup>2</sup>

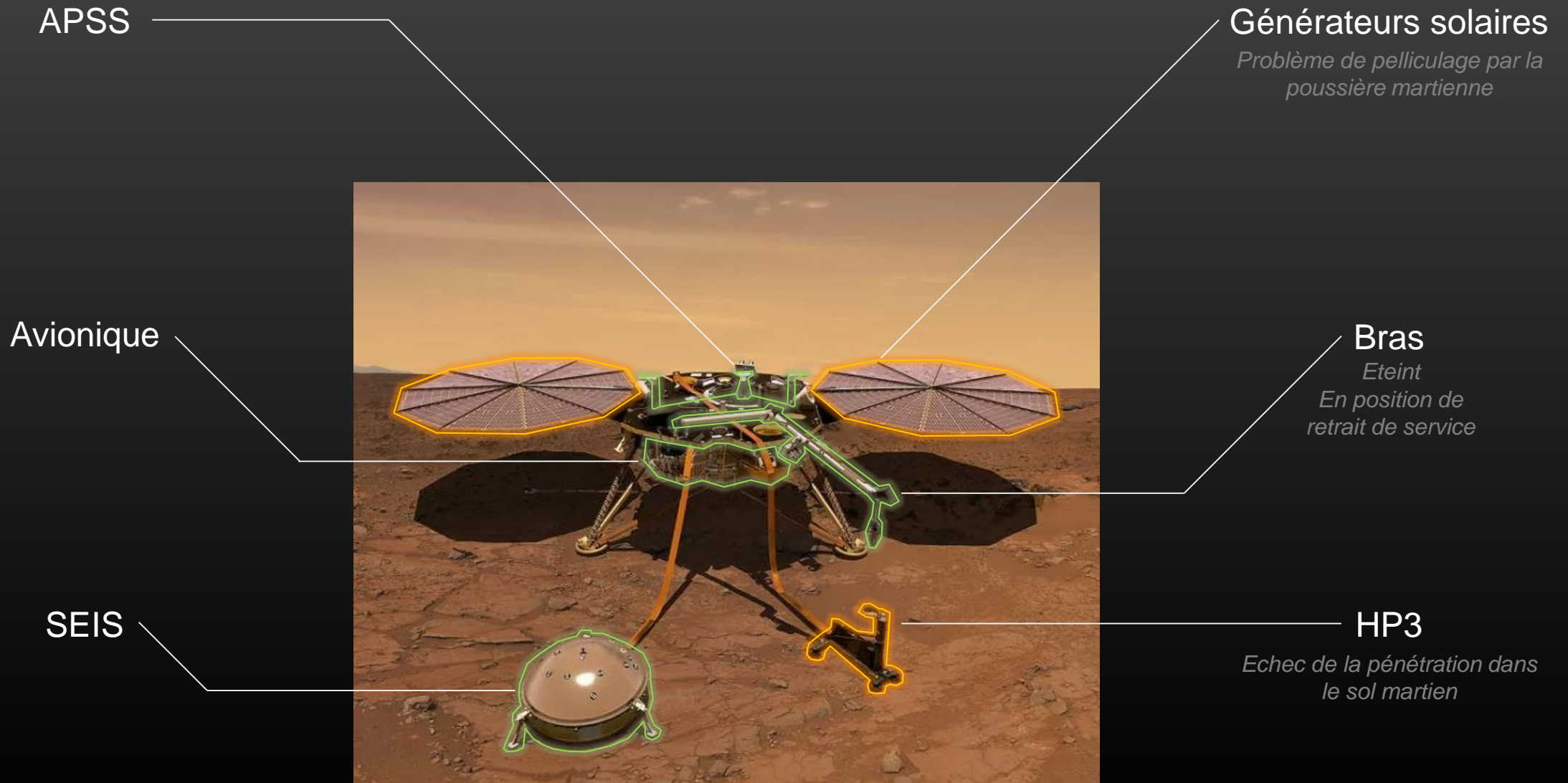
~1370 W/m<sup>2</sup>



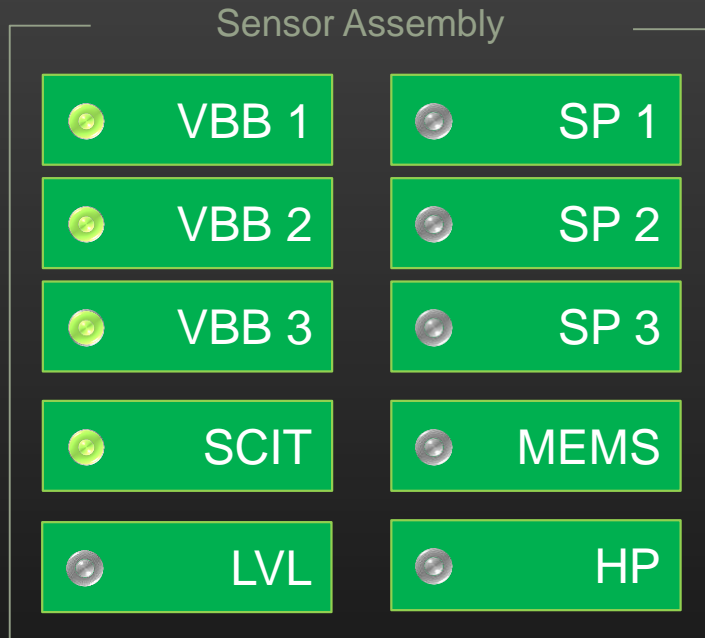
## Mars Weather and Climate from the InSight Mission



# Etat actuel de l'atterrisseur



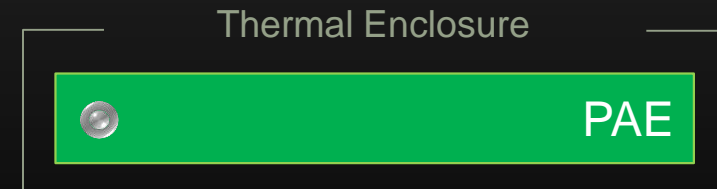
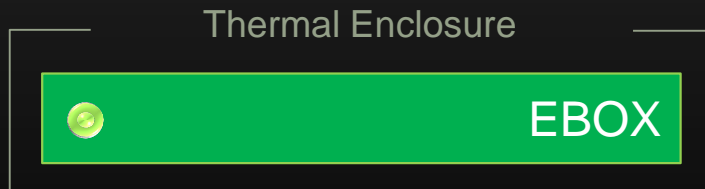
# Etat actuel de SEIS et APSS



SEIS

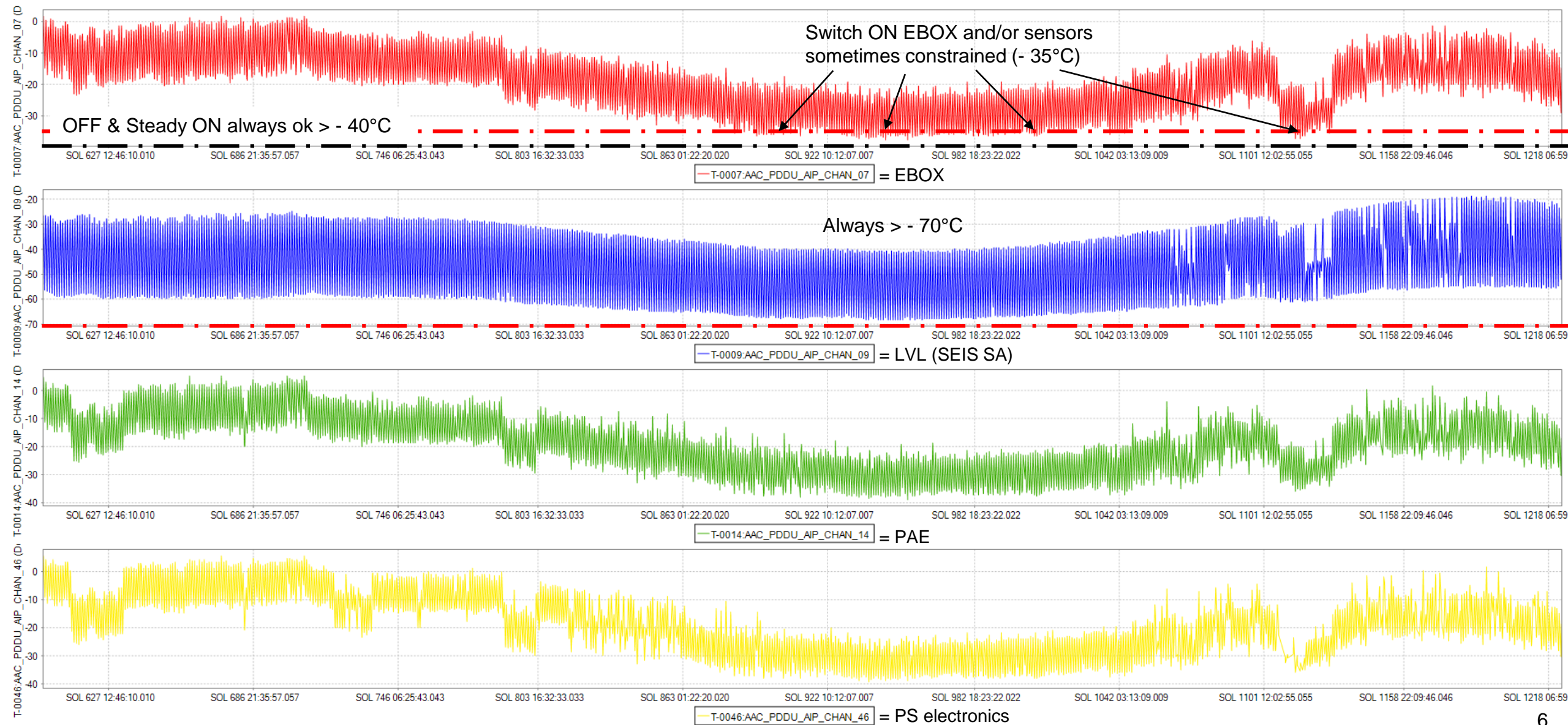


APSS



# Températures instrument

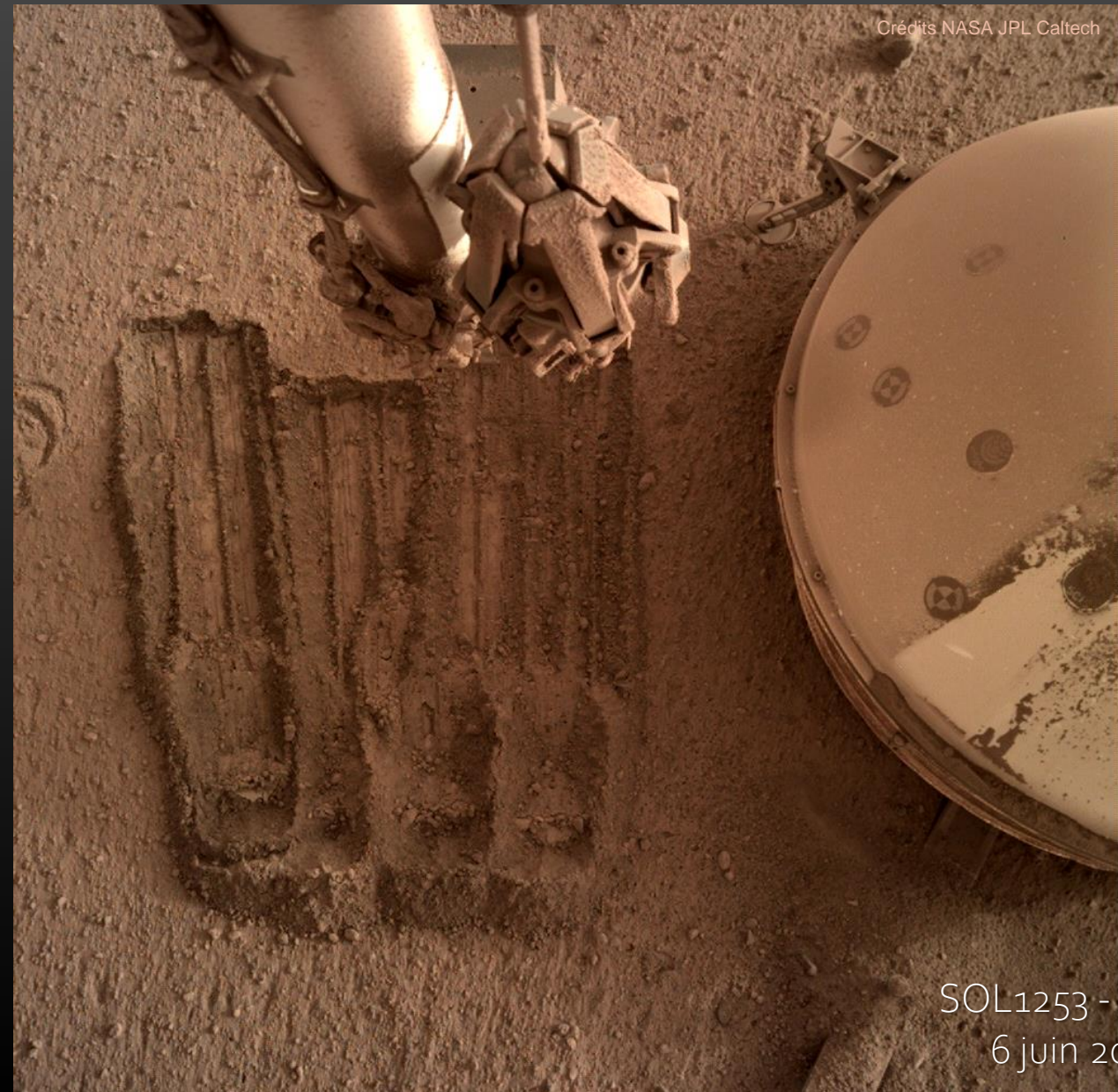
SEIS APSS ancillary temperatures (SOL 600 15:46:07.007 - SOL 1223 17:42:54.054)



# Images les plus récentes



Credits NASA JPL Caltech



SOL1253 - 16:12 LMST  
6 juin 2022 10:33



# Luminosité ambiante



Crédits NASA JPL Caltech



SOL1186 - 16:00 LMST  
29 mars 2022 14:08

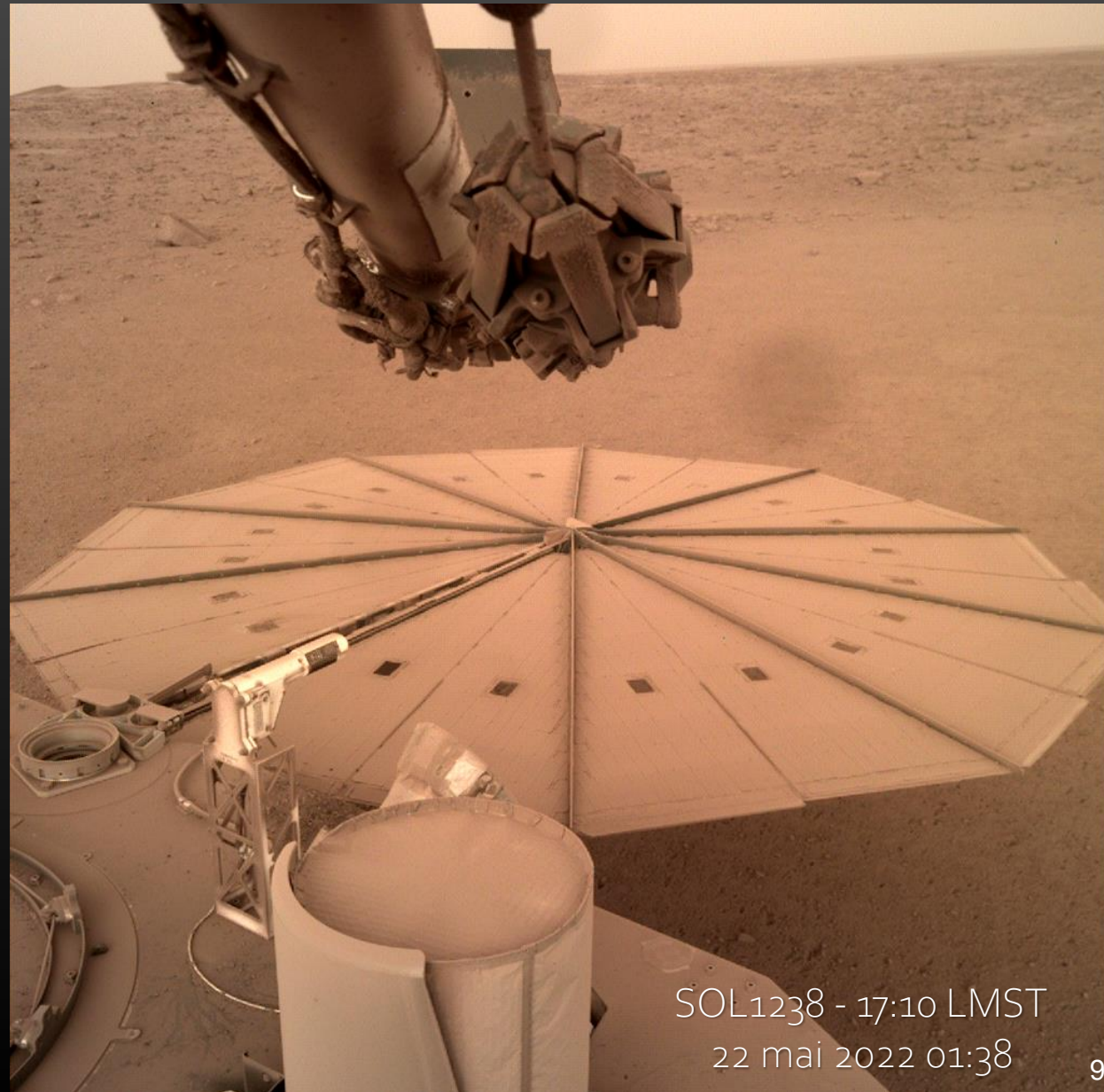
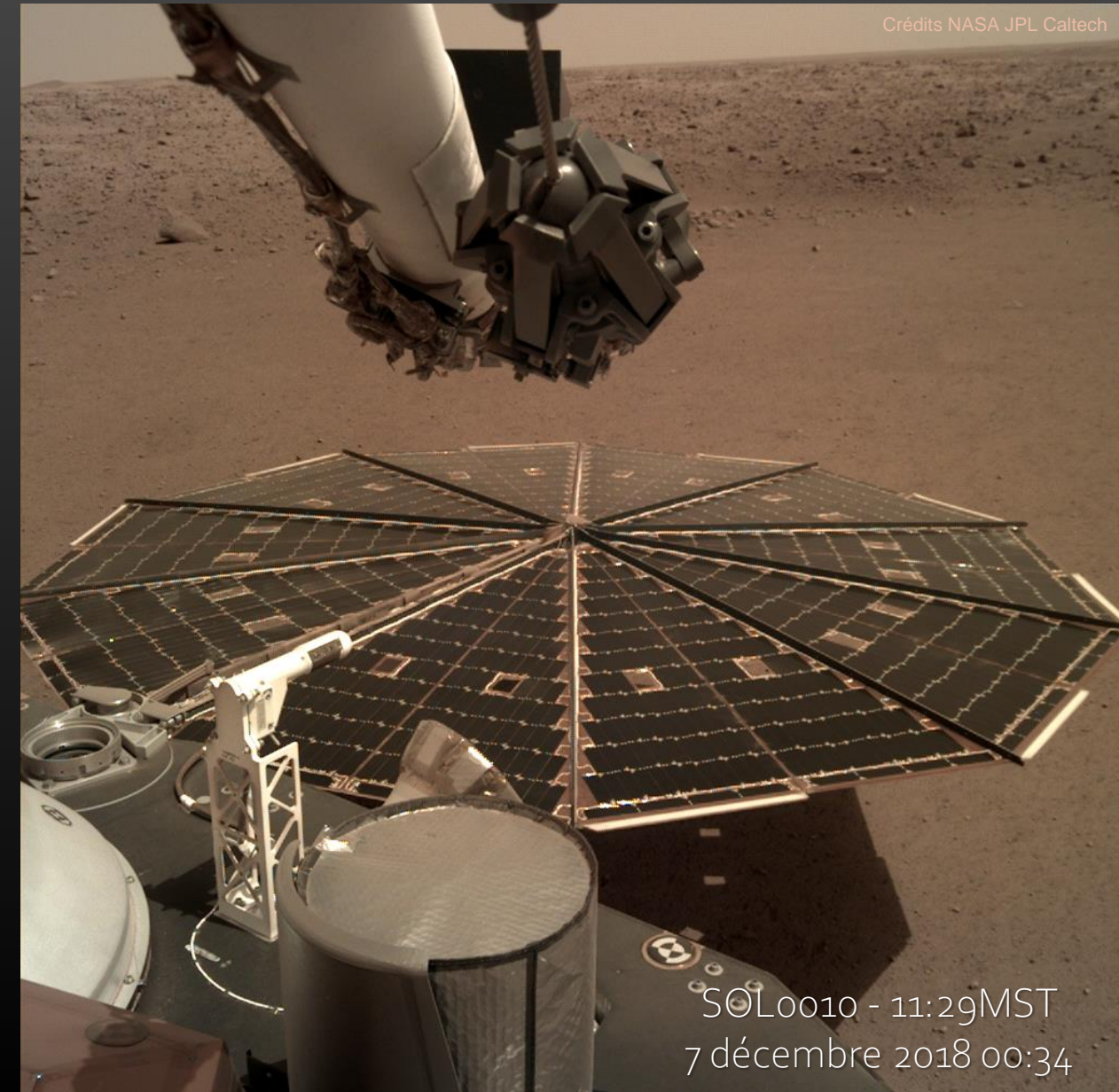


SOL1250 - 16:00 LMST  
03 juin 2022 08:22



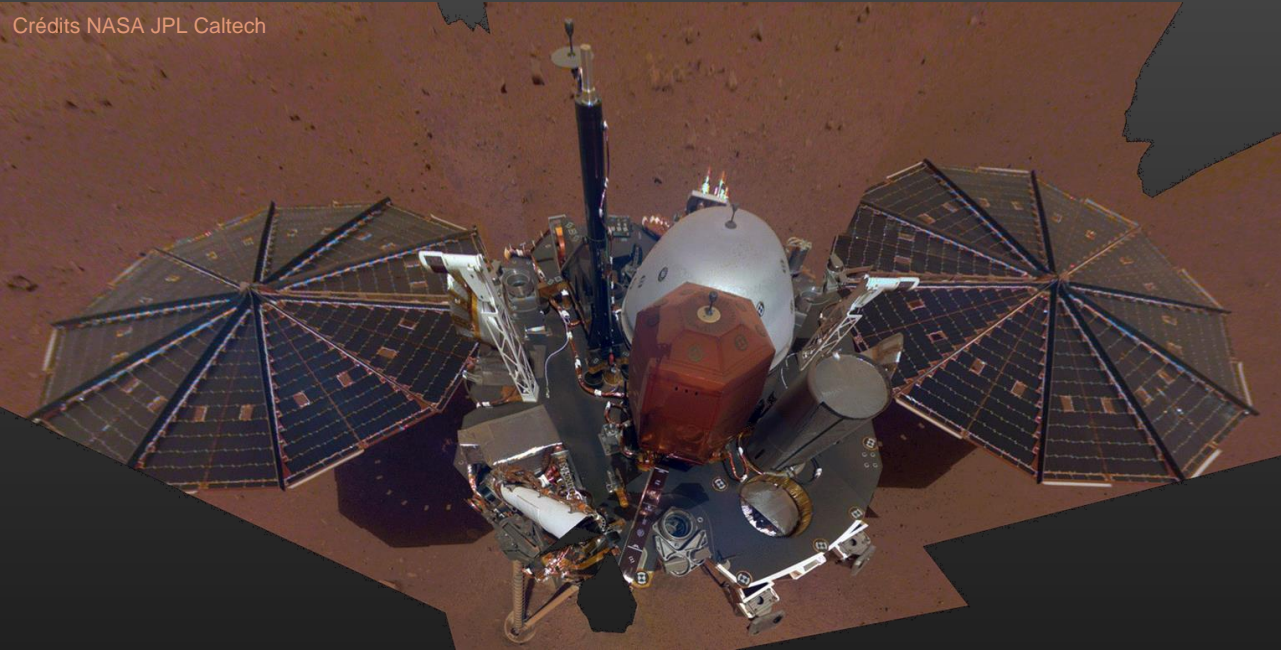
# Etat du panneau solaire Est

Crédits NASA JPL Caltech



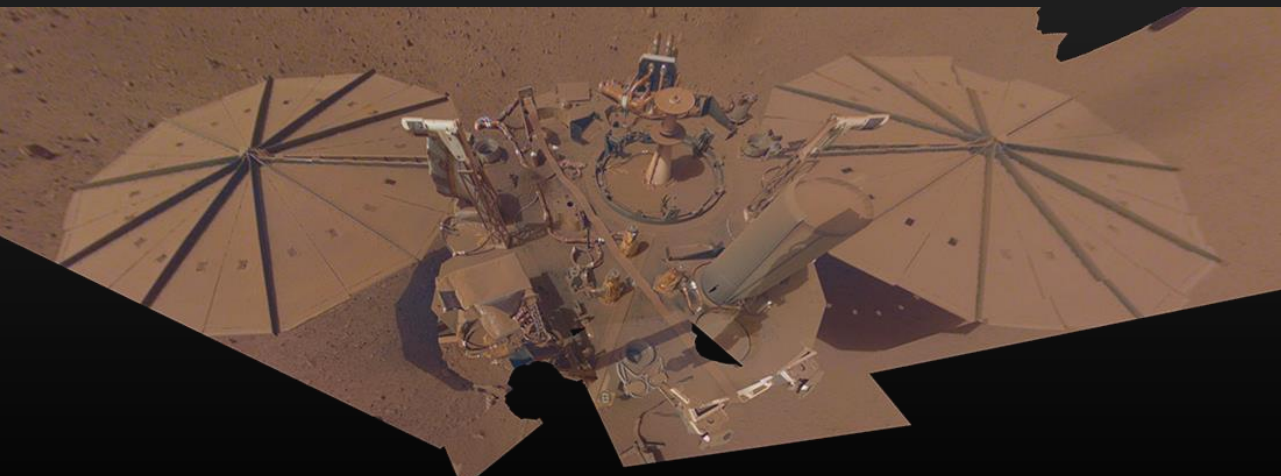
# Etat énergétique

Crédits NASA JPL Caltech



Décembre 2018

5000 Wh / sol



450 Wh / sol

Mai 2022

Graphe non disponible

- Depuis quelques jours, SEIS ne fonctionne plus en continu, mais seulement 9 à 12 heures par sol.
- Cette réduction du temps de fonctionnement devrait se poursuivre avec la baisse persistante de la génération de puissance.
- En cette saison martienne mouvementée, il existe un risque réel de subir une tempête de poussière fatale. La prédiction en vert n'étant qu'une prédiction "moyenne", il arrive de connaître des pics d'obscurité, comme cela a déjà été le cas cette année.

# Dispositions prises pour l'économie d'énergie (côté atterrisseur)



## **Contrôle thermique limité**

Depuis plusieurs mois déjà, l'essentiel de la régulation thermique active a été désactivée. Les équipements sont donc maintenus dans leur domaine de fonctionnement uniquement par la dissipation des électroniques lorsqu'elles fonctionnent. Seuls les réchauffeurs des batteries sont toujours actifs.



## **Système de détection d'isolation de panne partiellement actif**

Depuis quelques semaines, la protection logicielle qui commande l'atterrisseur en mode "survie" lorsque la génération électrique quotidienne est inférieure à un certain quota a été désactivée. D'autres protections restent actives, en particulier celles asservies sur la tension batterie.

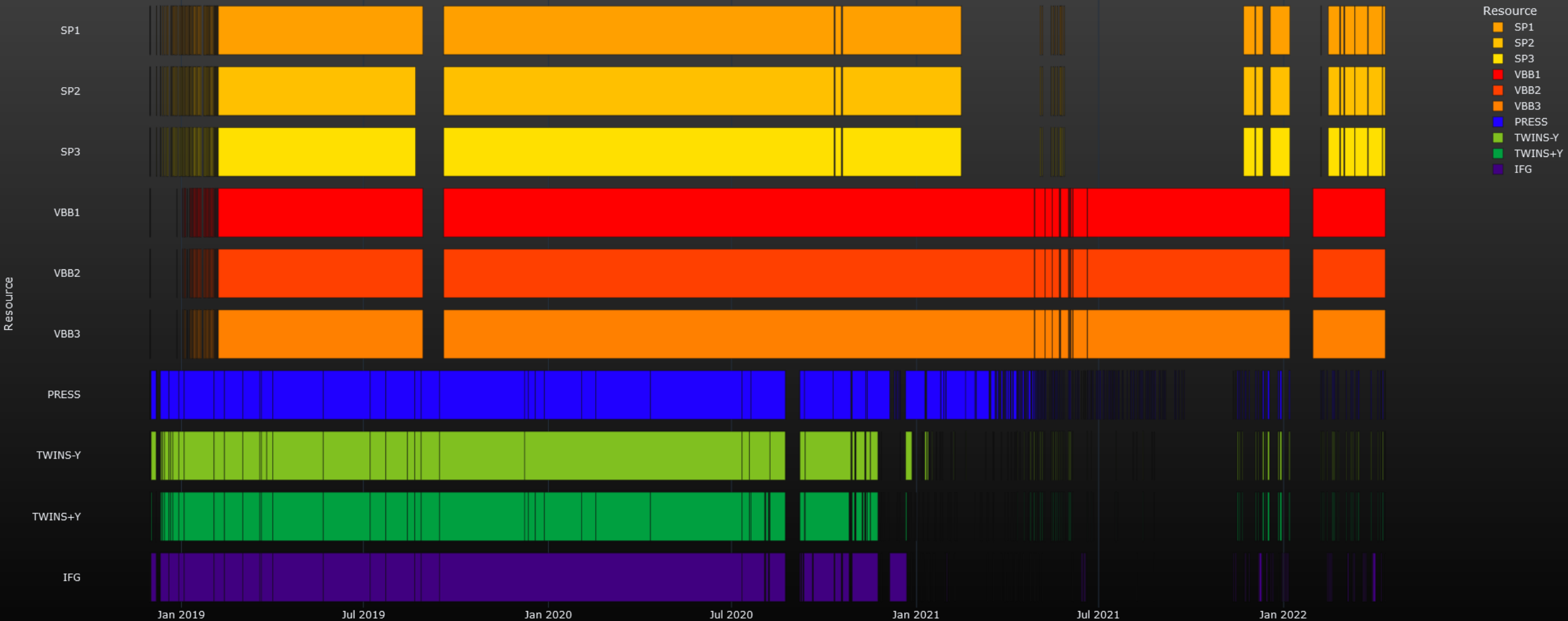


## **La fréquence des créneaux de communication a été réduite**

Les transpondeurs UHF et X étant énergivores en fonctionnement, les créneaux de communications avec les orbiteurs se sont espacés.

# Dispositions prises pour l'économie d'énergie (côté instruments)

Initialement prévus pour fonctionner tout le temps, les senseurs de SEIS et APSS ne sont plus allumés en continu.



## Les "wake-up"


L'ordinateur de bord de l'atterrisseur ne fonctionne pas en continu. Il alterne des phases de veille avec des phases actives, appelées "wake-up". Allumer un transpondeur, configurer un instrument, traiter des données science, déplacer le bras robotique ou prendre des photos sont quelques exemples d'activités qui nécessitent d'être dans un wake-up.

## De plus en plus rares...

Ces wake-up sont très énergivores. Leur fréquence chaque sol a donc été diminuée au maximum

## Et de plus en plus courts...

Il faut optimiser la durée des activités pour réduire la durée des wake-up au strict nécessaire.

 **Il a fallu revoir les scripts d'exécution pour éliminer les temps d'attente superflus et éliminer les étapes dispensables. Un travail sur lequel les ingénieurs du CNES ont été très actifs, solidement soutenus par l'équipe de conception.**

Lorsqu'on effectue une programmation de l'instrument, on doit donner la durée à allouer à l'exécution de l'opération. Il faut donc estimer cette durée.

Si cette durée d'exécution est dépassée, la séquence suivante démarre avant que la précédente soit terminée et le logiciel de vol interprète cela comme une anomalie : il éteint l'instrument.

Il faut donc ne surtout pas programmer d'activité plus longue que son allocation. Ainsi, les allocations ont initialement été dimensionnées assez largement pour être certain de ne jamais tomber dans ce cas.

Il a fallu revenir sur ce dimensionnement par exemple pour la séquence d'allumage de SEIS.

**20 minutes**  
+ 2 minutes de marge



**3 minutes 45 secondes**  
+ 1 minute de marge

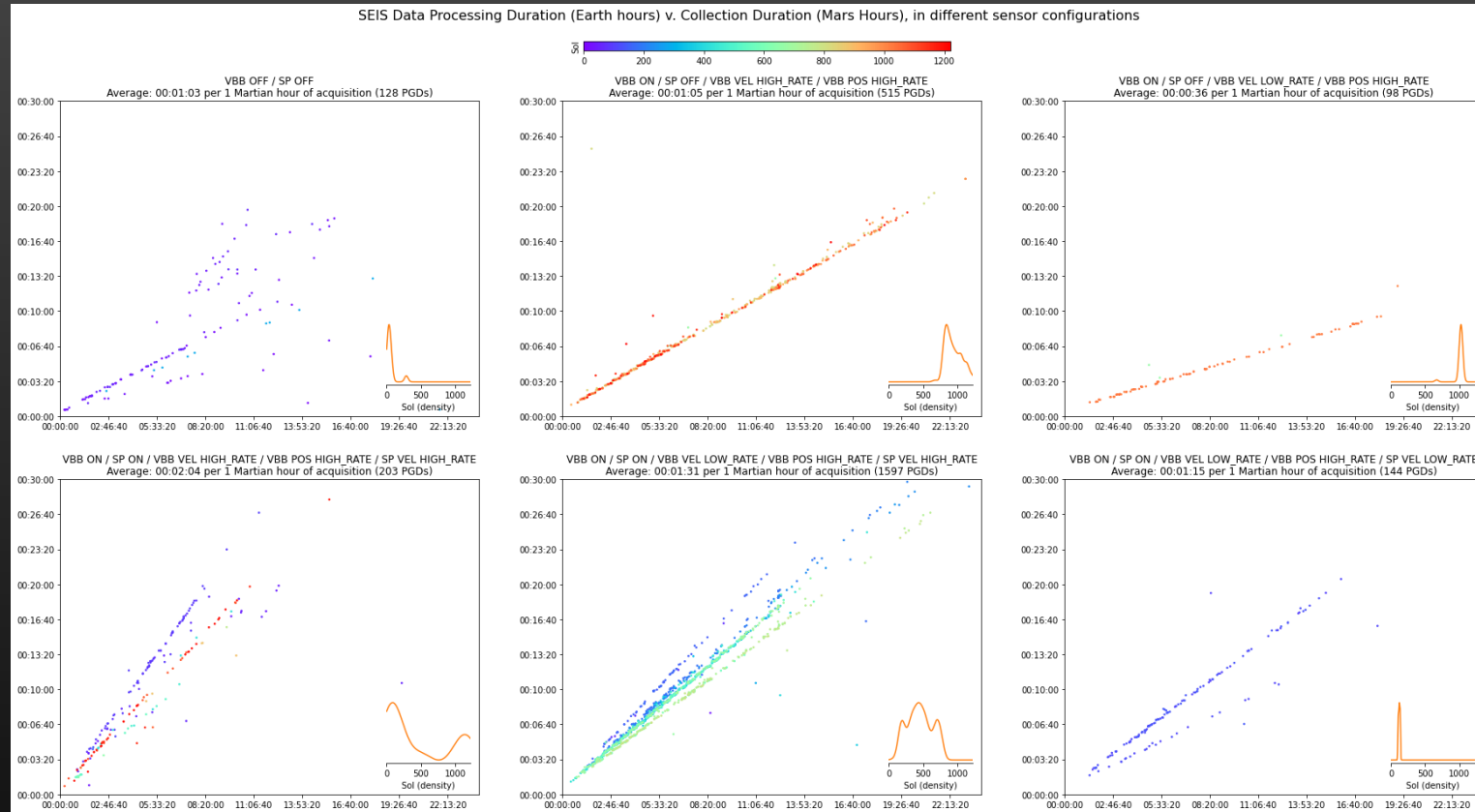
Le recentrage des VBBs n'est plus commandé, ce qui enlève une grande partie de la durée possible de la séquence, et les temps d'attente entre les étapes ont été revus.

# Diminution du temps bord alloué au calcul

Les données enregistrées par les instruments sont enregistrées à pleine résolution en mémoire. Mais du calcul est nécessaire à bord pour :

- Créer une version continue de ses données, sous-échantillonnée
- Compresser les données à pleine résolution

Il n'existe pas de modèle théorique précis de la durée de ces calculs en fonction du volume traité, puisque dans le design initial de la mission, l'abondance de la ressource énergétique faisait qu'il suffisait de marger généreusement le temps à allouer pour satisfaire au besoin.



**Une analyse empirique de la durée réelle observée a permis de définir un modèle de prédiction simple et fiable pour allouer au plus juste le temps de calcul**



# Des survies de plus en plus fréquentes

Les instruments sont plus fréquemment éteints en urgence pour faire face aux effets des tempêtes de sable sur la génération électrique.

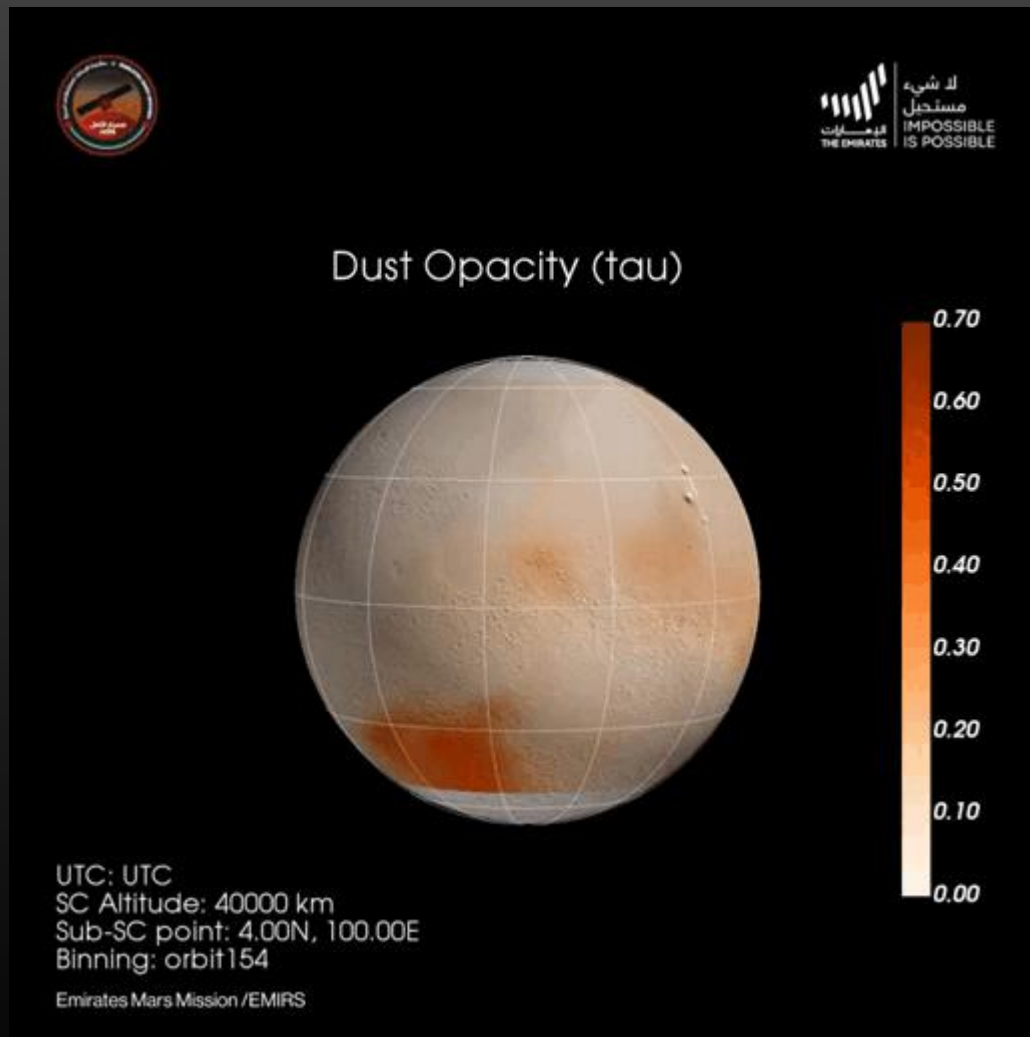
La dernière extinction d'urgence a eu lieu il y a deux semaines, c'est la troisième cette année, la deuxième pour le mois de mai.

L'objectif de l'équipe opérations est de proposer un plan capable de remettre rapidement les instruments en ordre de marche. Des dispositions ont déjà été prises en ce sens, et nous continuons d'œuvrer avec le JPL pour aller toujours plus loin.

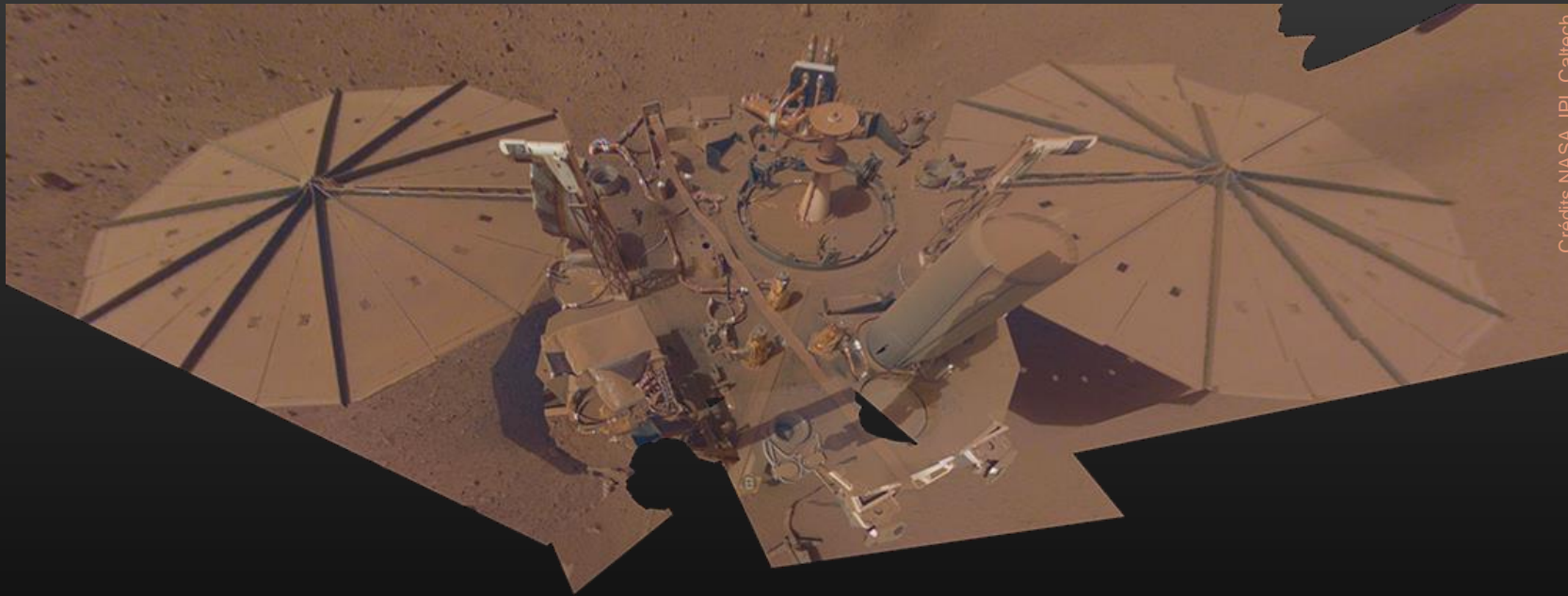
**22 sols**  
En janvier 2022



**9 sols**  
En juin 2022

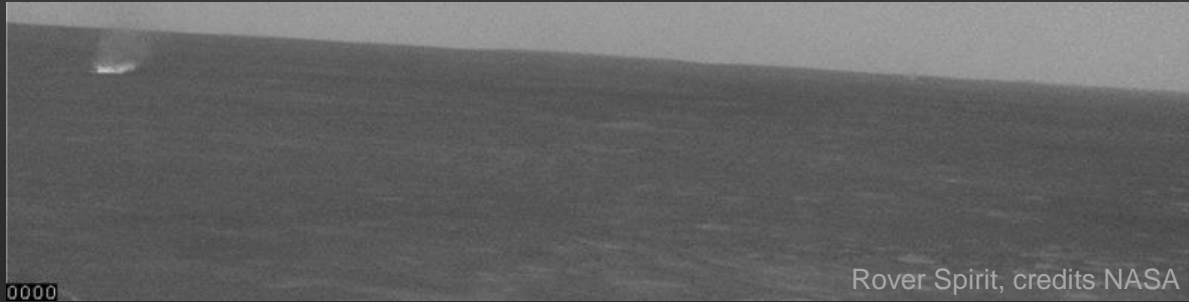


Si le problème initial provient de l'empoussièrément des panneaux solaires, n'y a-t-il pas moyen de nettoyer les panneaux solaires ?



Aucun système n'a été conçu et embarqué à bord pour effectuer une telle tâche.  
Le pelliculage des panneaux était un phénomène connu, et ses effets prévus:  
la taille des panneaux a été déterminée précisément pour pouvoir fournir assez d'énergie jusqu'au bout de la mission initiale, soit fin 2020.

Attendre un dust devil



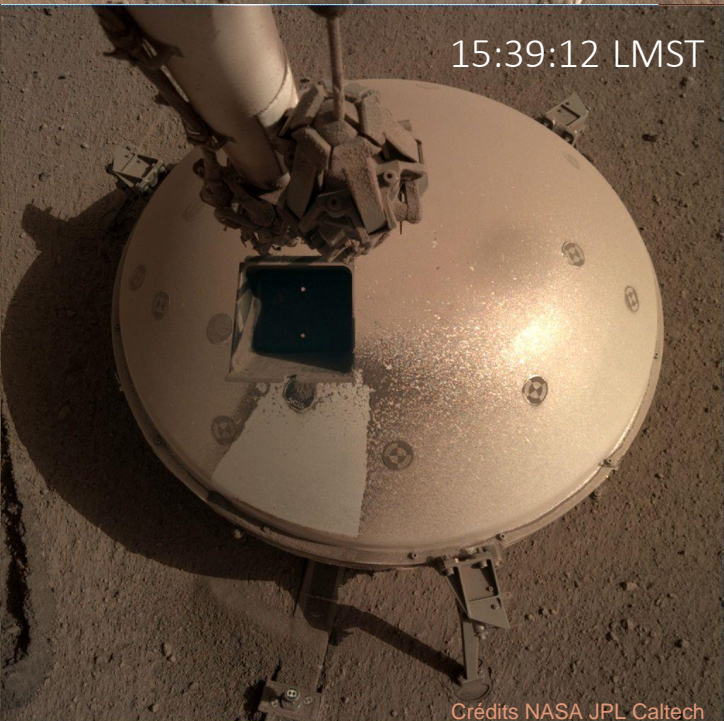
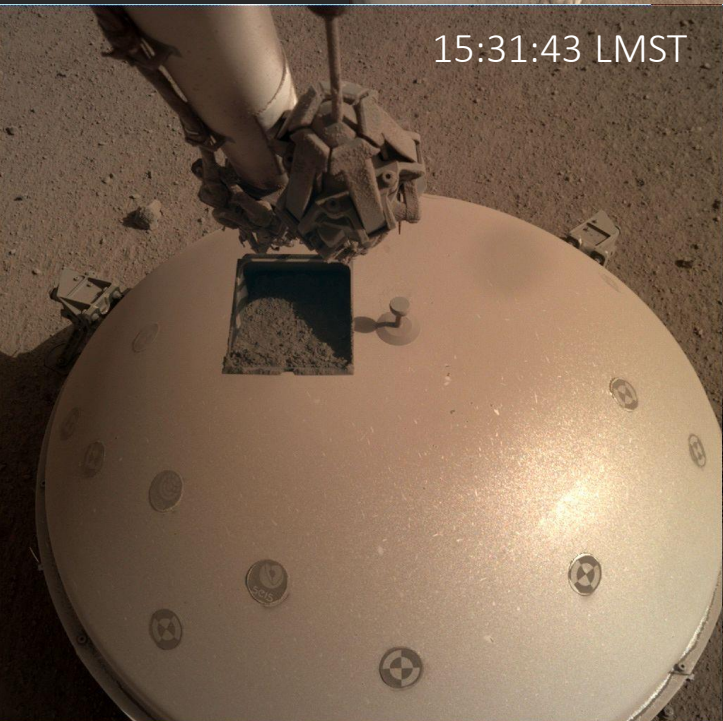
Utiliser la pelle pour créer un mouvement d'un panneau

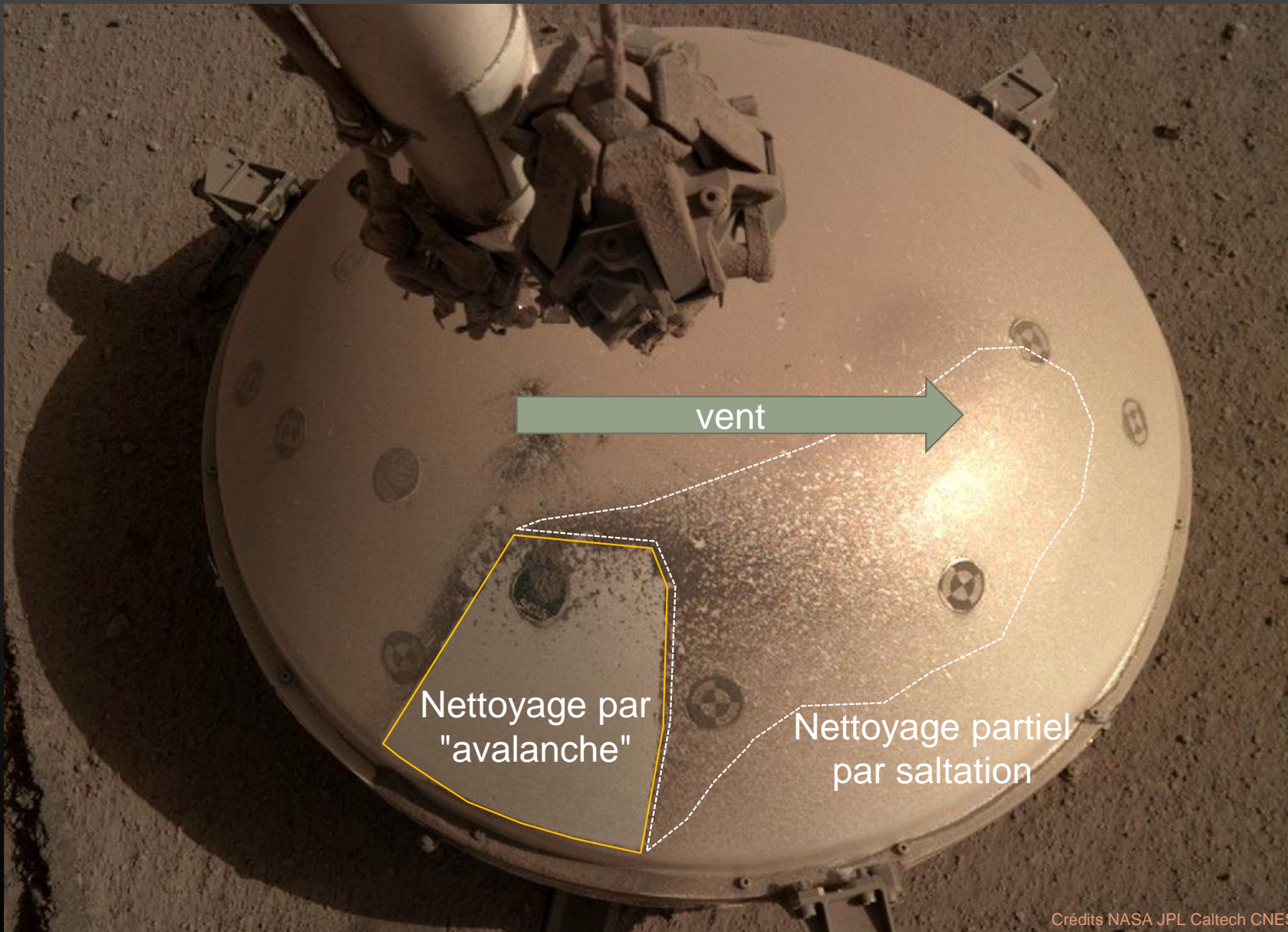


Refermer puis redéployer les panneaux solaires



# Il y a quelques mois...



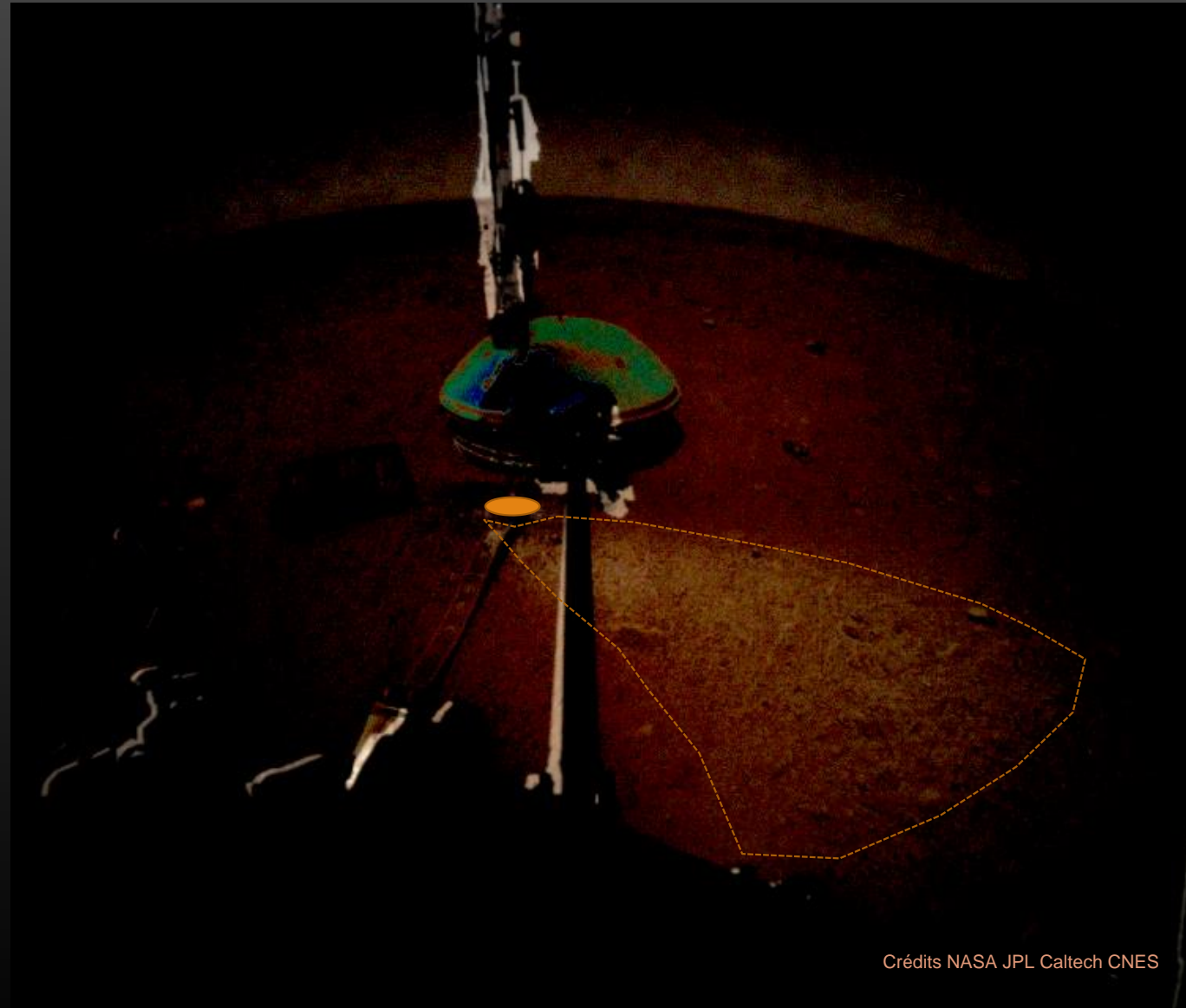


- Le nettoyage par "avalanche" semble très efficace sur le WTS quand la pente est forte (elle est de 45° au bord)
- Malheureusement il est impossible de reproduire directement cet effet avec des panneaux horizontaux, qui ne peuvent s'incliner.
- Néanmoins, un autre effet est notable : celui du nettoyage partiel du WTS sous l'action de grains de régolithe emportés par le vent.

# L'effet du vent sur le regolithe libéré de la pelle



- Pendant l'activité d'enfouissement du harnais de SEIS, il a été décidé de désoptimiser l'heure idéale du dépôt de regolithe.
- Cette heure était habituellement choisie pour bénéficier de conditions dans lesquelles le vent souffle le moins fort possible, sans bourrasque (vers 16-17 h LMST)
- Il a été décidé de faire les deux derniers dépôts sur le harnais à 11h LMST, un moment où le vent souffle assez fort (~10 m/s) depuis le sud-est.
- L'idée est de concéder un peu d'efficacité de l'enfouissement (un peu de regolithe va être dispersé) pour gagner de la connaissance sur le comportement de ce regolithe et ainsi préparer une audacieuse opération...

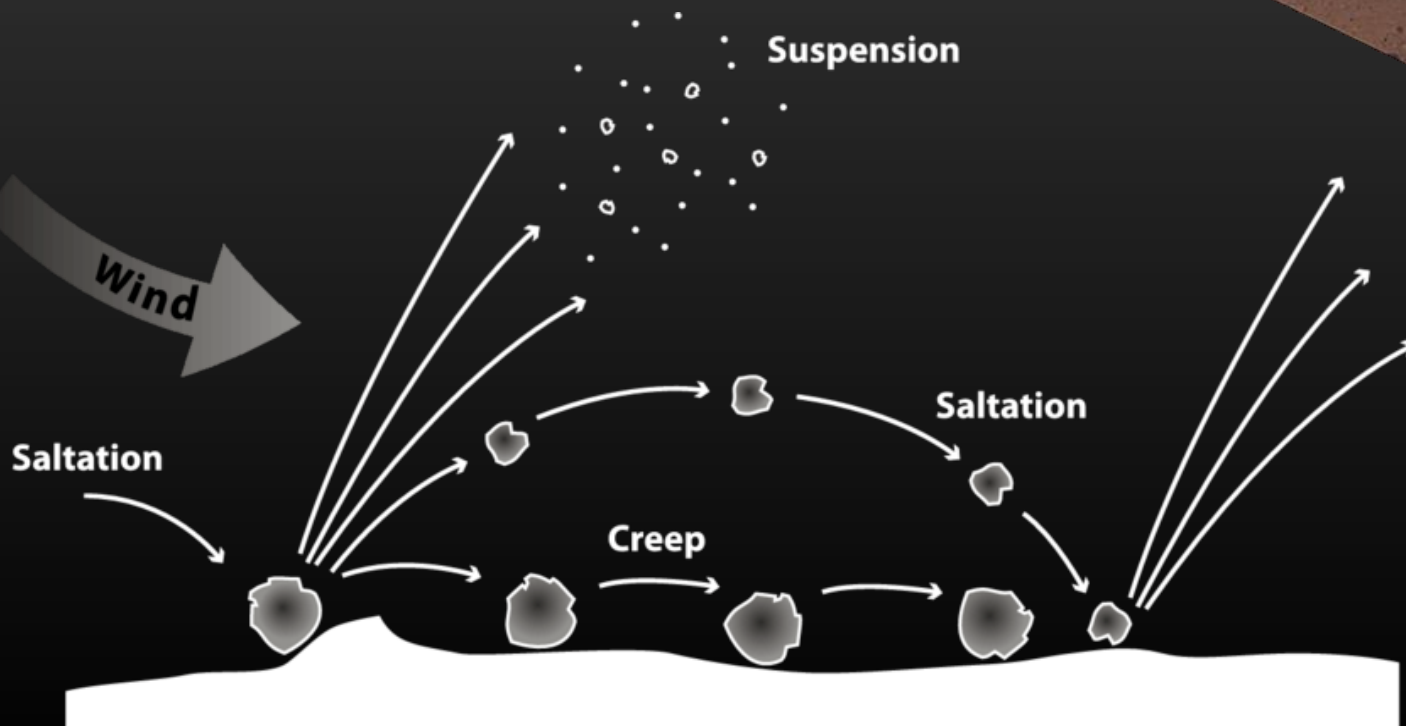
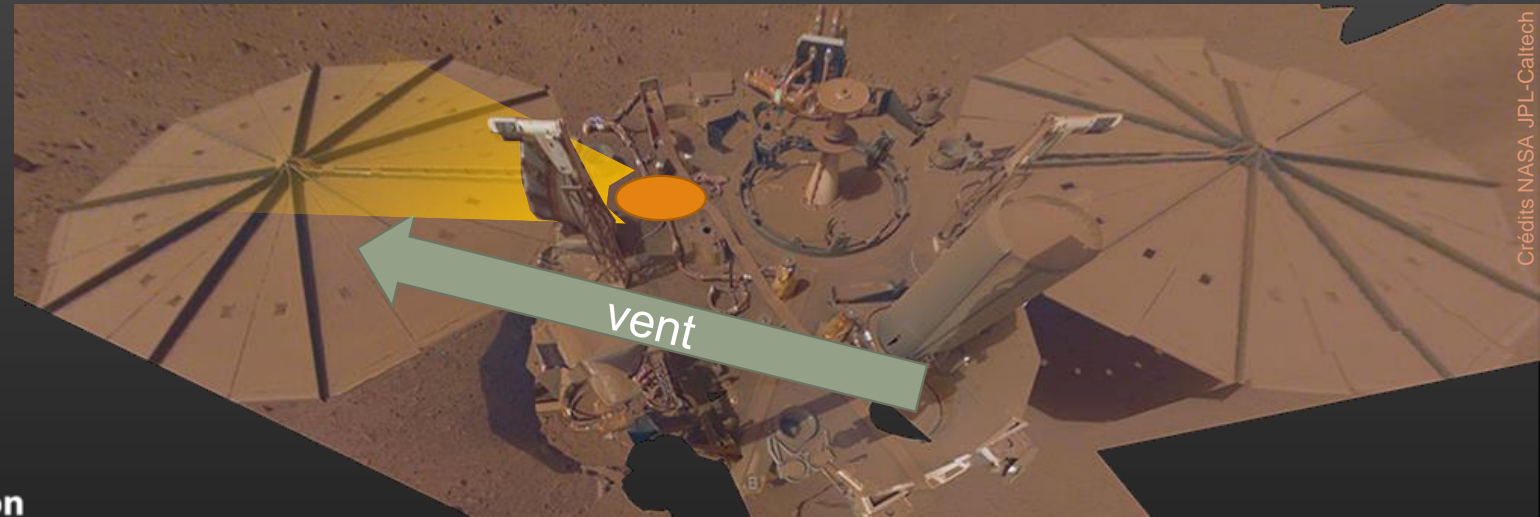


Crédits NASA JPL Caltech CNES

# Le nettoyage de panneaux solaires par saltation de grains

Principe : utiliser le vent pour que les grains de régolithe acquièrent de l'énergie cinétique.

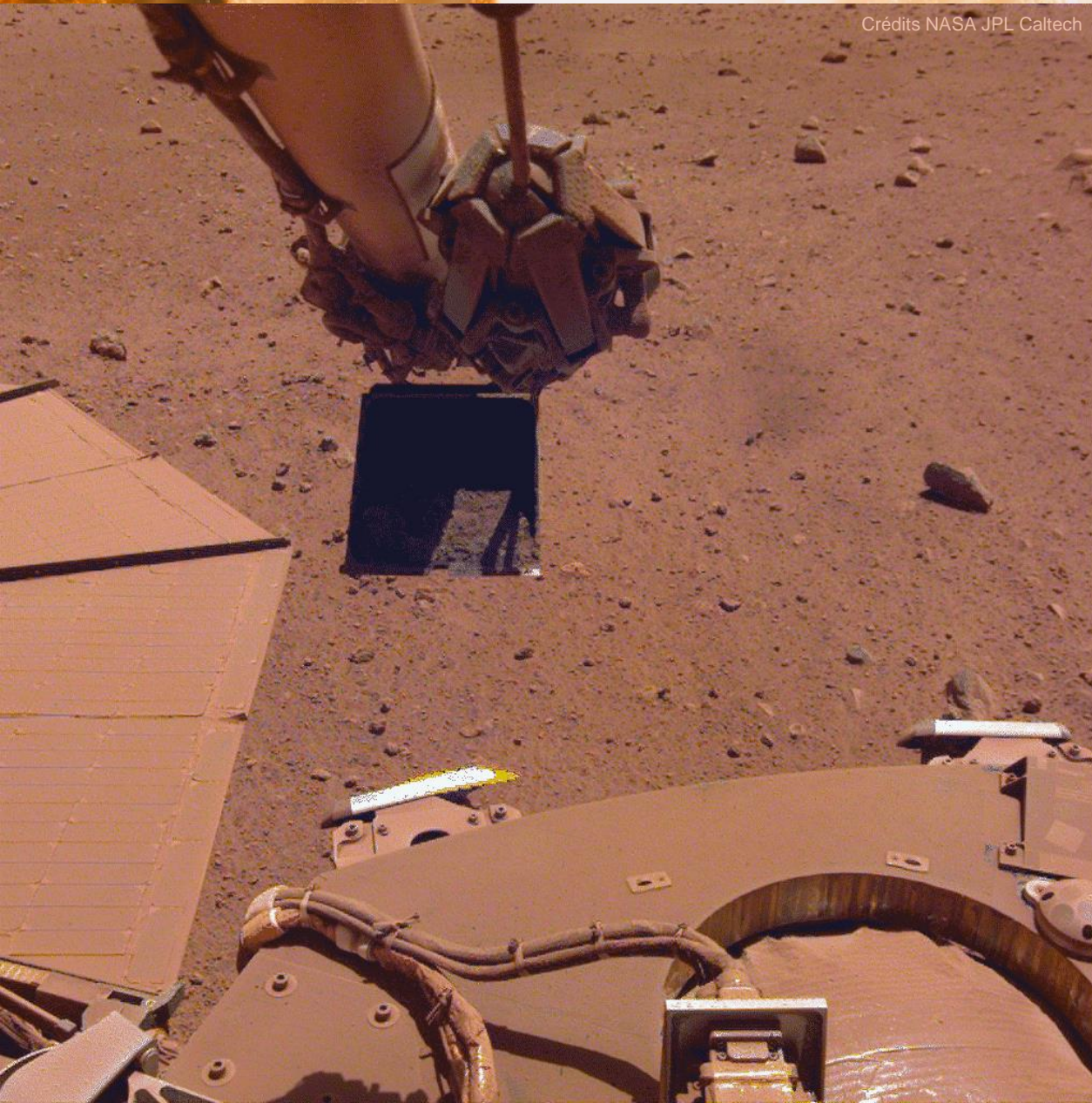
En impactant le panneau solaire, chaque grain doit mettre en mouvement plusieurs autres grains.



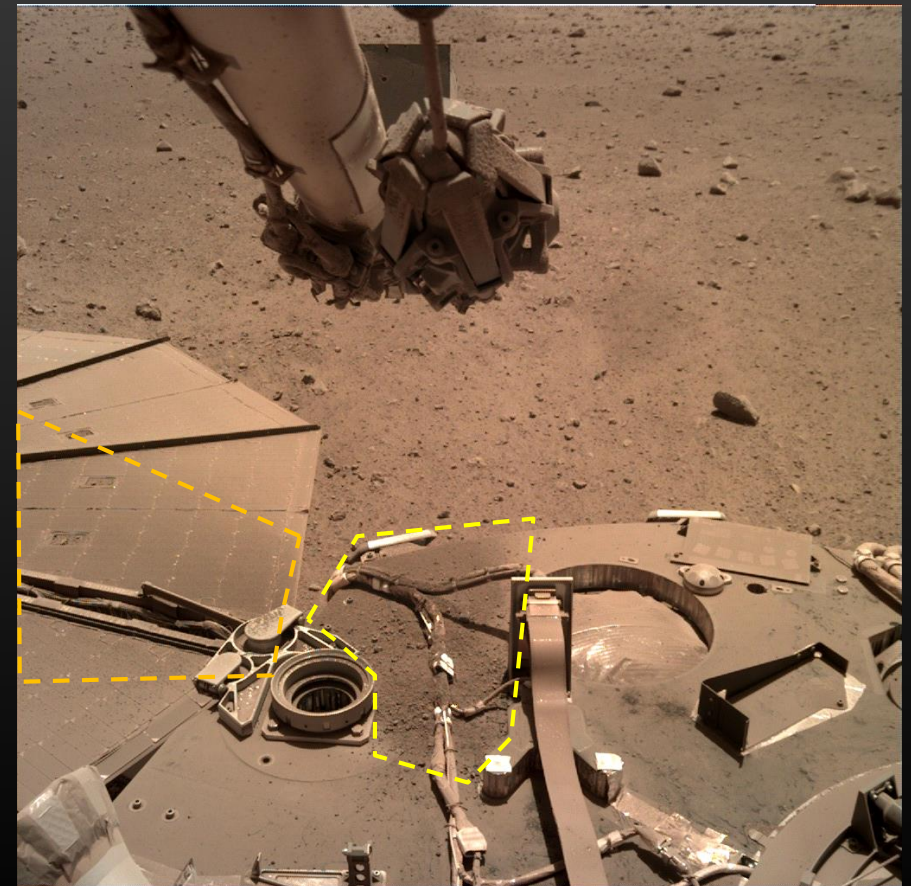
Certes, du régolithe va se rajouter sur le panneau, mais il est attendu que plus de grains soient mis en suspension, aboutissant à un effet global bénéfique

# Aperçu de l'opération (première tentative)

Crédits NASA JPL Caltech



35 Whr / sol gagnés avec cette opération !





# Aperçu de l'opération (dernière tentative)

Crédits NASA JPL Caltech

0 Whr / sol... on ne gagne pas à tous les coups !

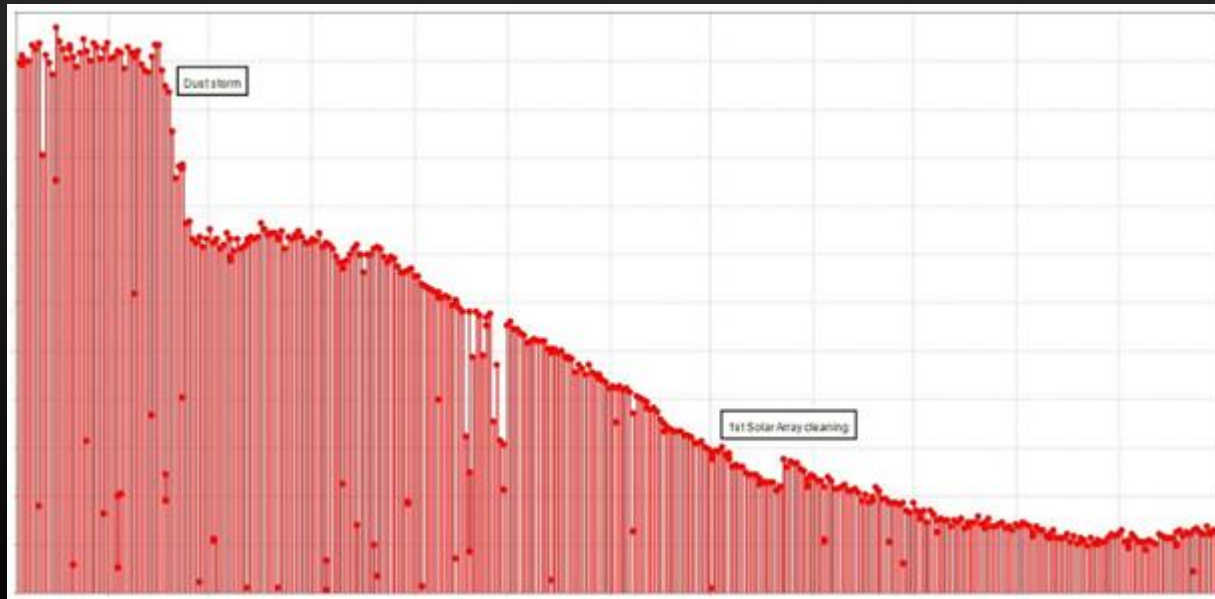
La raison pour laquelle ce nettoyage n'a pas fonctionné semble être liée au vent, qui était calme au moment du dépôt de régolithe.

# Bilan du nettoyage des panneaux solaires

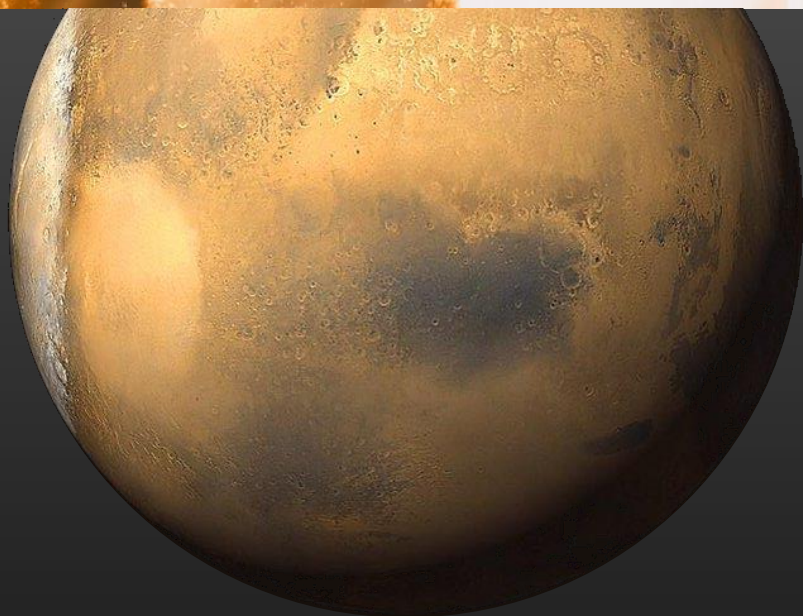
C'est un succès mesuré :

Si l'on observe bien l'effet de la première tentative de nettoyage de panneau sur la génération de courant des panneaux solaires, les tentatives suivantes ne semblent pas avoir eu autant d'effet.

Au global, même si l'effet a été bénéfique, il ne change pas le destin de la mission mais la prolonge de quelques sols.



Au final, entre l'enfouissement du harnais et le nettoyage des panneaux solaires, on laisse un joli trou à côté de SEIS !



*Mars à 1 mois d'intervalle, en 2001.  
Voici à quoi ressemble une tempête globale.*



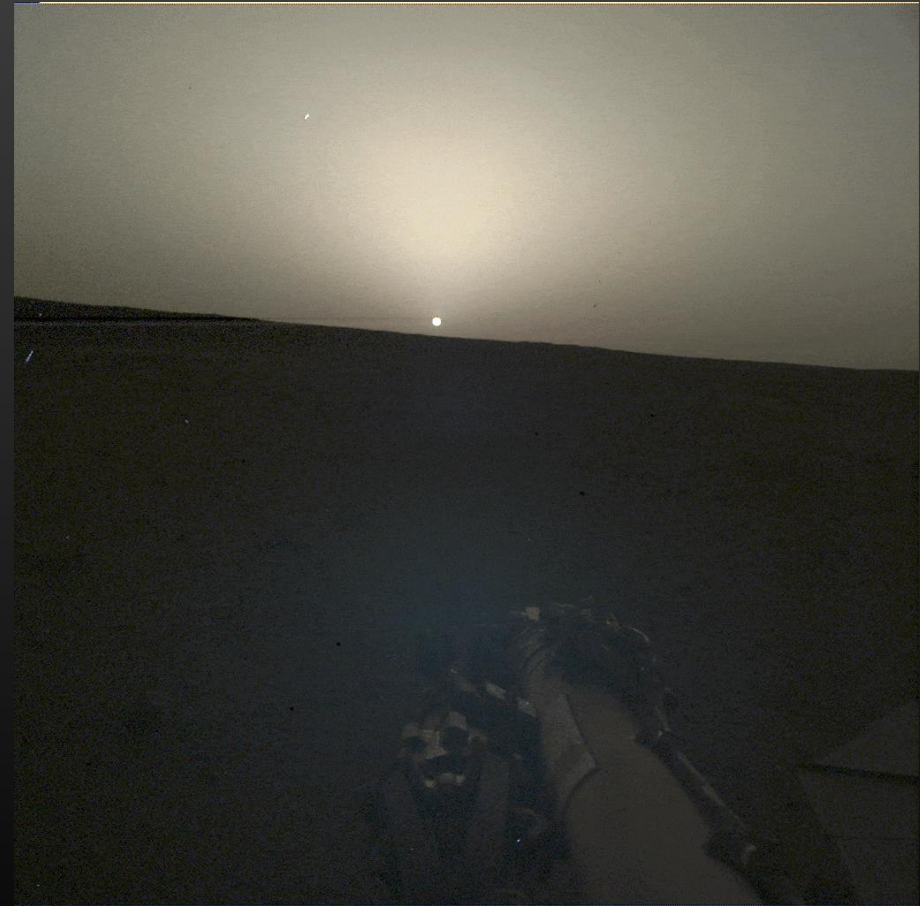
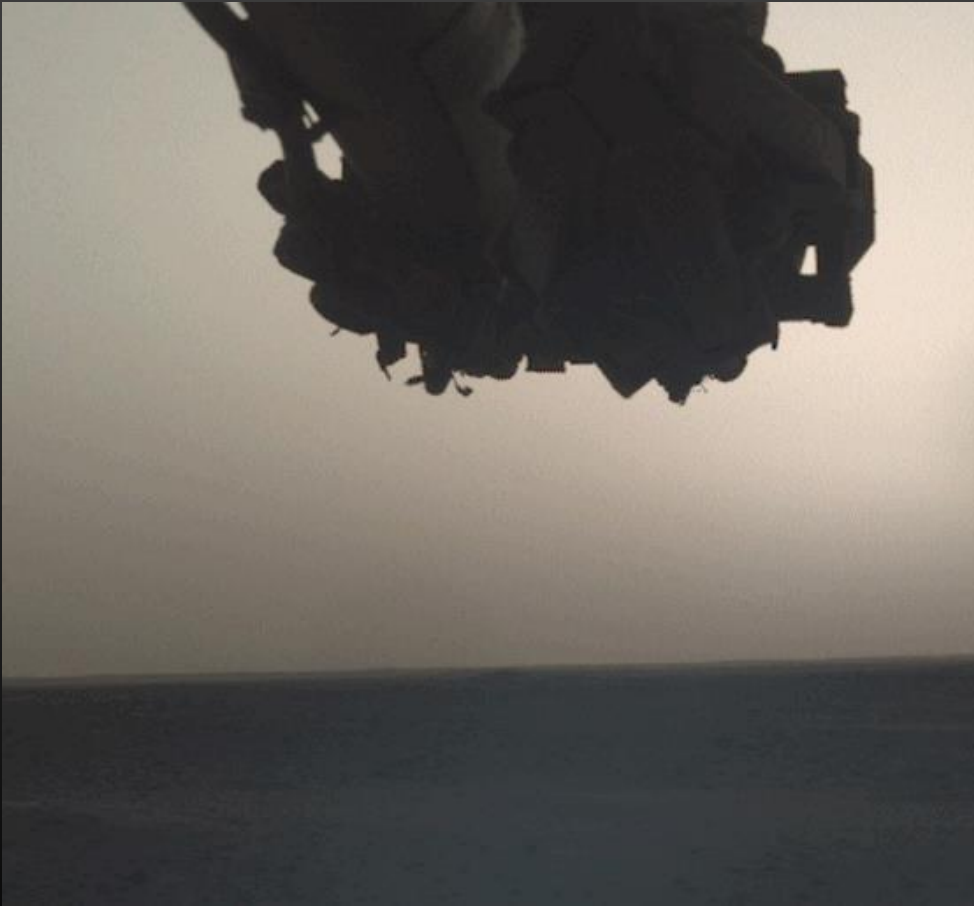
- La mission rentrera en sommeil et n'aura bientôt plus assez d'énergie pour communiquer. Dès sa conception, cette fin était déjà tracée.
- Il faut se souvenir que la mission aurait dû s'achever après 709 sols... et que nous en sommes à plus de 1250.
- Les efforts déployés depuis des mois ont permis de **prolonger la mission de plusieurs mois** : c'est un succès retentissant dont il convient de se féliciter.
- La fin de la mission InSight va libérer des ressources humaines, matérielles, financières qui vont permettre d'envisager d'autres missions d'exploration du système solaire, y compris de sismologie !
- Et bien que ce soit improbable, l'avenir peut nous réserver quelques surprises...

# A l'écoute d'un hypothétique réveil

- Des tests sont en cours pour étudier l'effet de la balise InSight sur des passages de communications initialement prévus pour MSL.
- L'idée est de bénéficier des passages de MRO supportant MSL pour écouter un éventuel réveil d'InSight dans les mois / années qui viennent.



*Si on écoute Curiosity depuis l'orbite de Mars, si InSight parle, on l'entendra.*





InSight

Merci pour votre attention

