



ENFOUISSEMENT DU CÂBLE DE SEIS

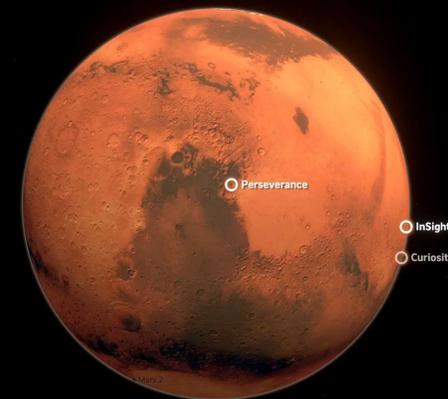
Définir des opérations spatiales par l'approche expérimentale



InSight

LA MISSION INSIGHT

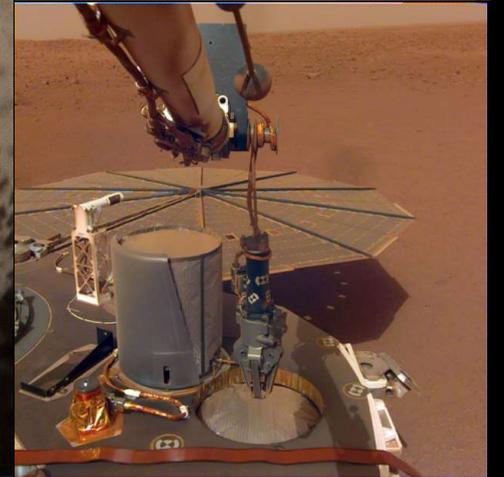
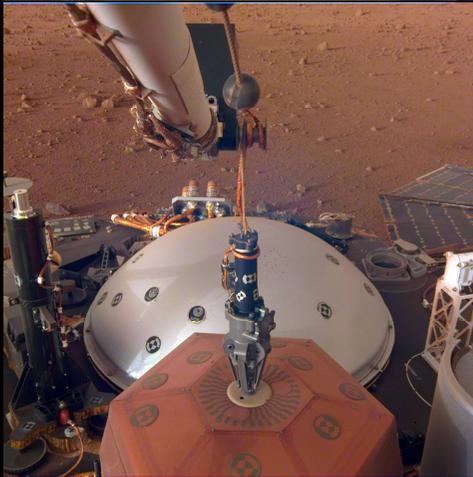
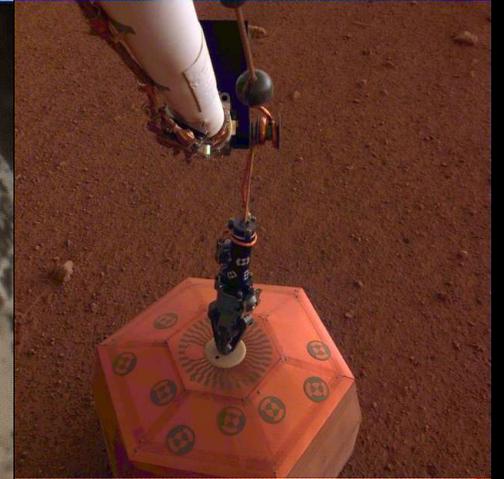
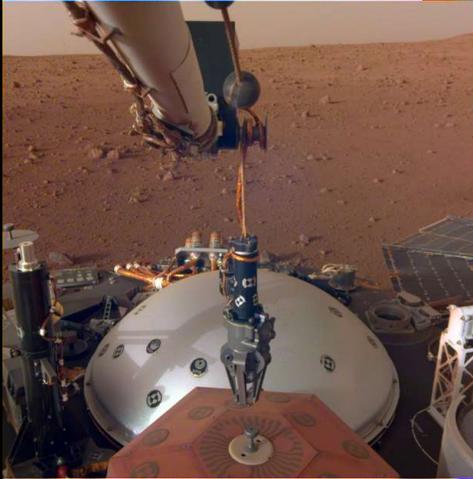
- InSight est une mission de la NASA (JPL) lancée le 5 mai 2018
- Atterrissage à la surface de Mars a eu lieu le 26 novembre 2019
- L'objectif de la mission est de caractériser la structure interne de la planète.
- L'instrument principal de la mission, SEIS, est un ensemble de sismomètres ultra précis. La conception de l'instrument a été faite conjointement par l'Institut Physique du Globe de Paris et le CNES.
- A ce jour, plus de 1000 séismes ont été détectés.
- Initialement prévue pour durer une année martienne, la mission est actuellement étendue jusqu'en 2023.



Credits : CNES, NASA/JPL

Developed by VR2Planets

DÉPLOIEMENT SUR MARS

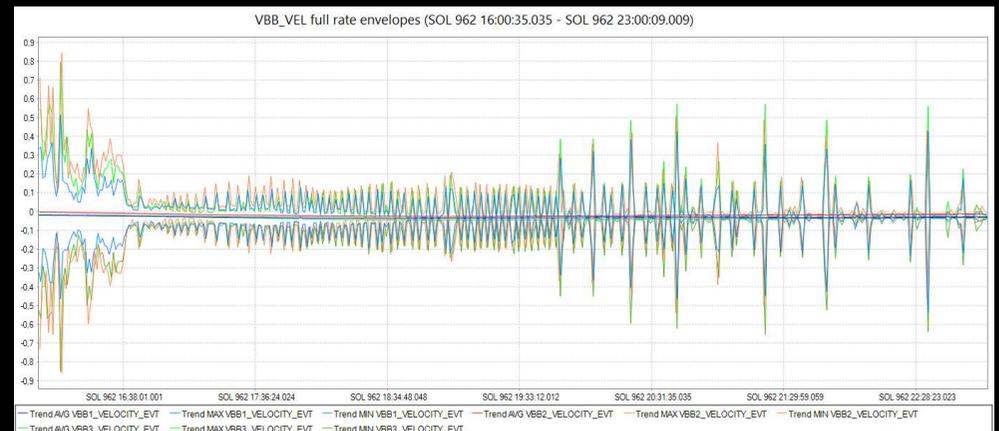
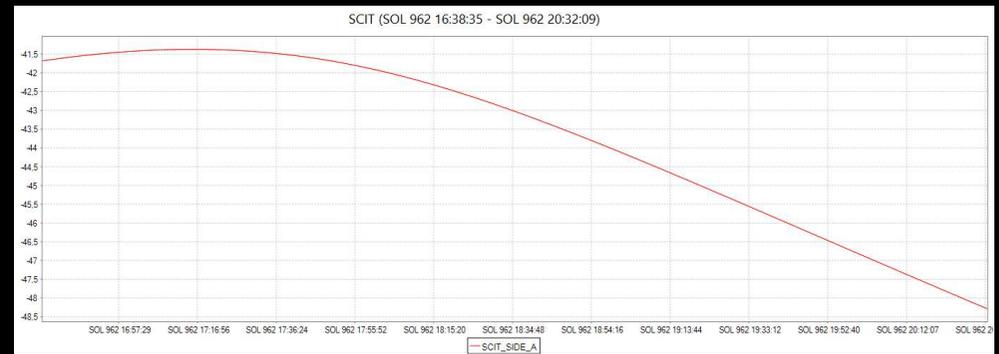
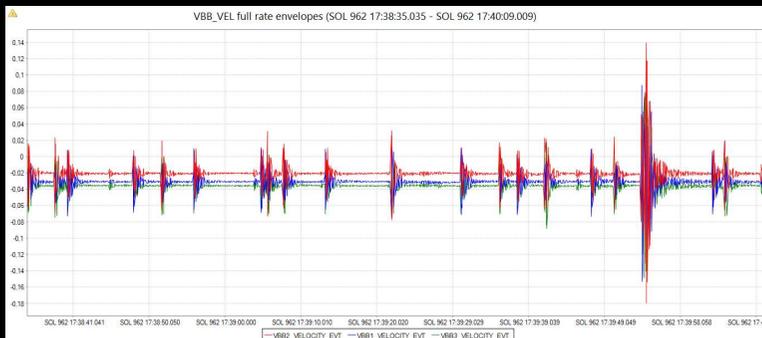


InSight - Enfouissement du câble de SEIS

Credits : NASA/JPL Caltech - Animation CNES

OBJECTIF DE L'ENFOUISSEMENT

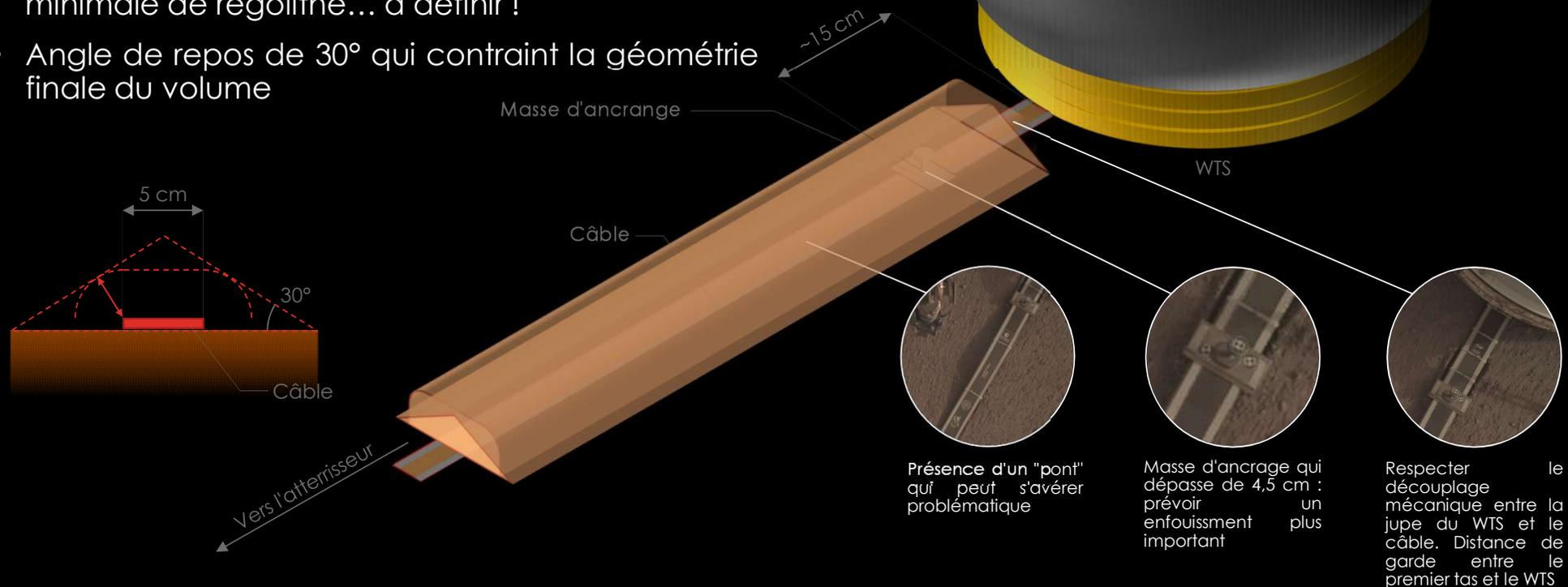
- A la demande de l'équipe scientifique, recouvrir au mieux le câble reliant SEIS à l'atterrisseur avec le régolithe disponible.
- L'effet escompté est d'amortir la baisse de température brutale du câble en fin de journée martienne, source suspectée des *glitches* observés dans les mesures.



Credits : Waveforms by MSDS, sonification by CNES

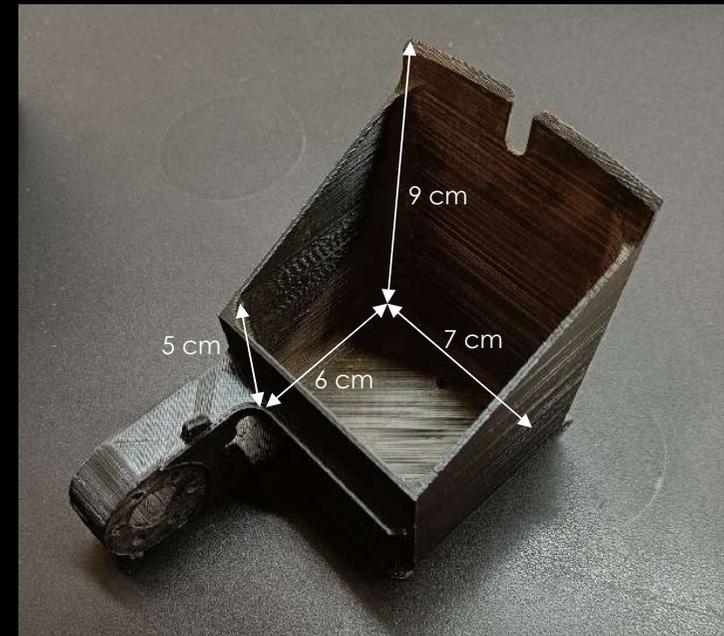
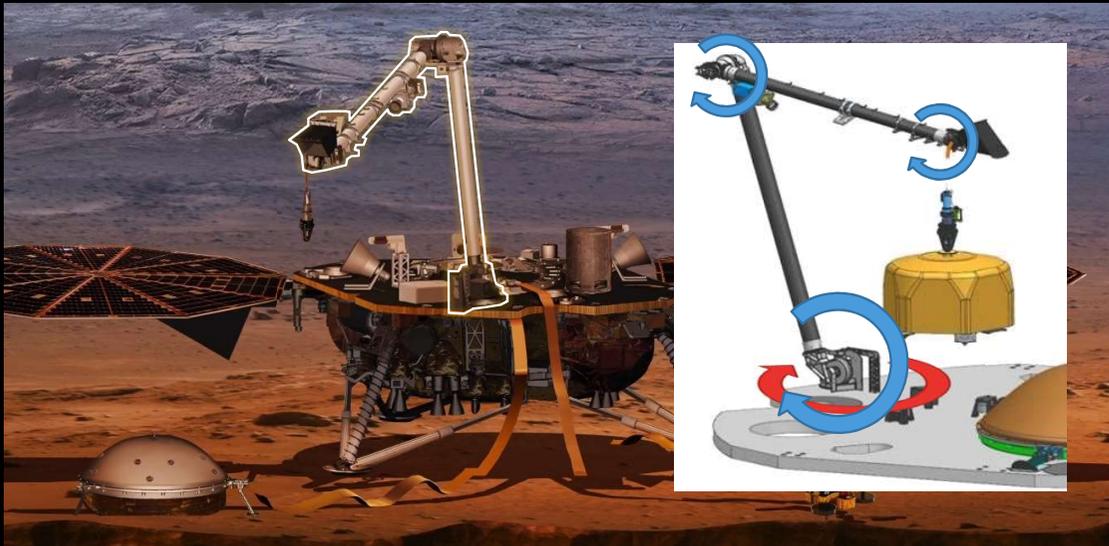
VOLUME D'ENFOUISSEMENT

- Afin d'augmenter l'inertie thermique de l'environnement du câble : une épaisseur minimale de régolithe... à définir !
- Angle de repos de 30° qui contraint la géométrie finale du volume



LE BRAS ET LA PELLE

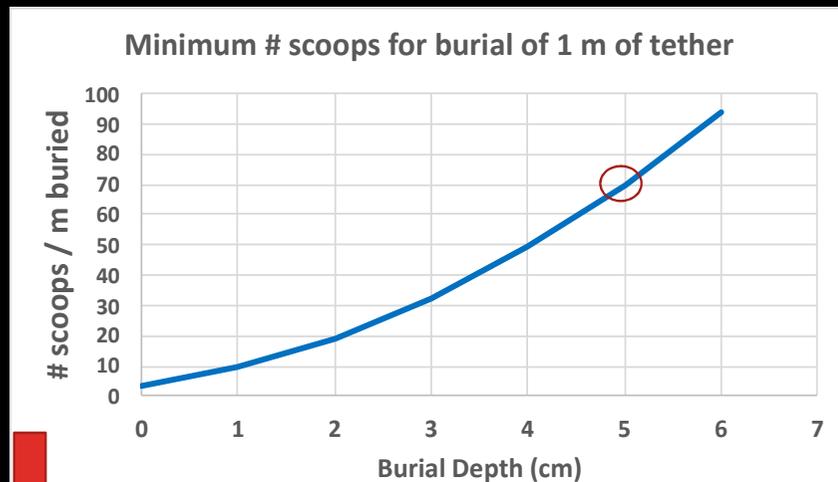
- Seul outil sur place pour effectuer l'opération : une pelle au bout d'un bras robotique opéré par le JPL.
- Un axe d'azimut, trois axes d'élévation sur 3 joints: épaule, coude et poignet



- Initialement, nous ne disposions pas de la CAO finale de la pelle et avons travaillé avec un modèle obsolète, pour lequel il avait été estimé un écopage moyen de 130 cm³.

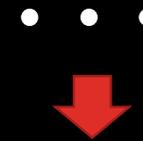
DIMENSIONNEMENT

- En estimant chaque pelletée à 130 cm³, et considérant que l'on veut enterrer 1m de câble, on a une relation entre la profondeur d'enfouissement souhaitée et le nombre de pelletées requis pour le réaliser.



50 - 100 pelletées

- De l'autre côté, le JPL fait son estimation de ce que le bras est en mesure de faire compte tenu des contraintes liées au cycle de programmation, à l'énergie disponible et au regolithe supposé collectable dans la zone de travail du bras.



6 - 8 pelletées

APPROCHE EXPÉRIMENTALE

- La décision est prise de faire le mieux possible (épaisseur d'enfouissement, longueur d'enfouissement) avec un plan mettant en œuvre **8 pelletées**.
- Il devient donc crucial de se figurer ce que produit une unité (une pelletée) en termes d'enfouissement.
- Cela revient à étudier la géométrie d'un tas formé par dépôt avec la pelle.
- En utilisant une réplique de la pelle obtenue par fabrication additive et du sable de roche pour simuler le regolithe martien, des essais de dépôts sont effectués au CNES.



70 cm³ déposés sur le modèle de qualification du câble, de 30 cm de hauteur

DÉFINITION DE LA STRATÉGIE (1/2)

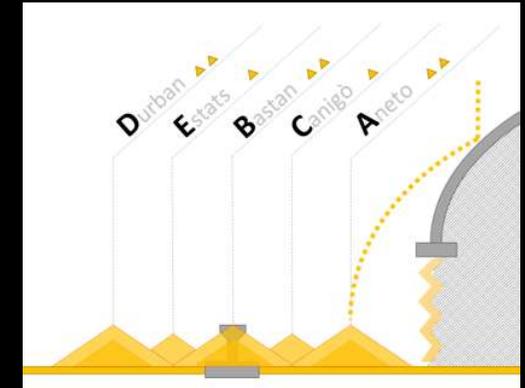
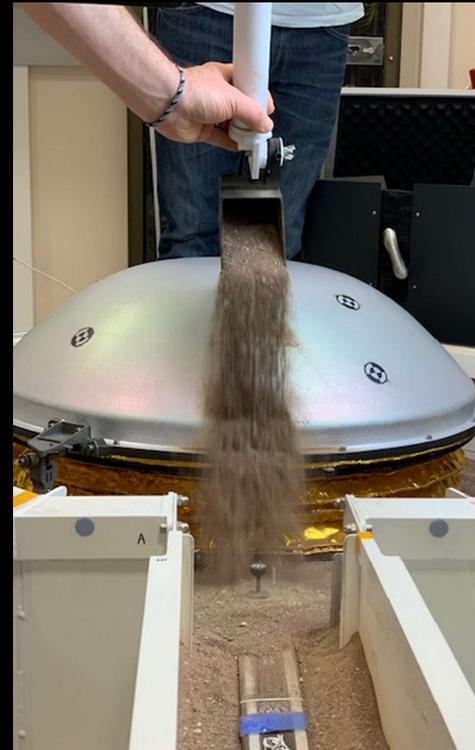
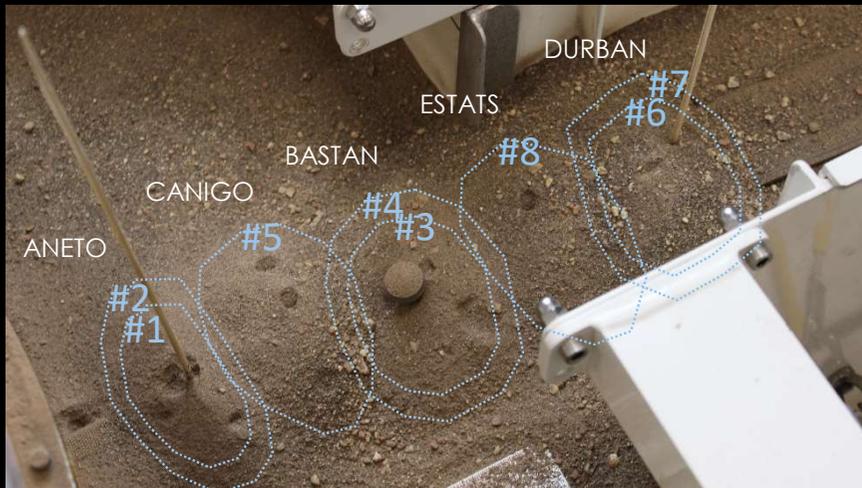


SEIS tether burial activity

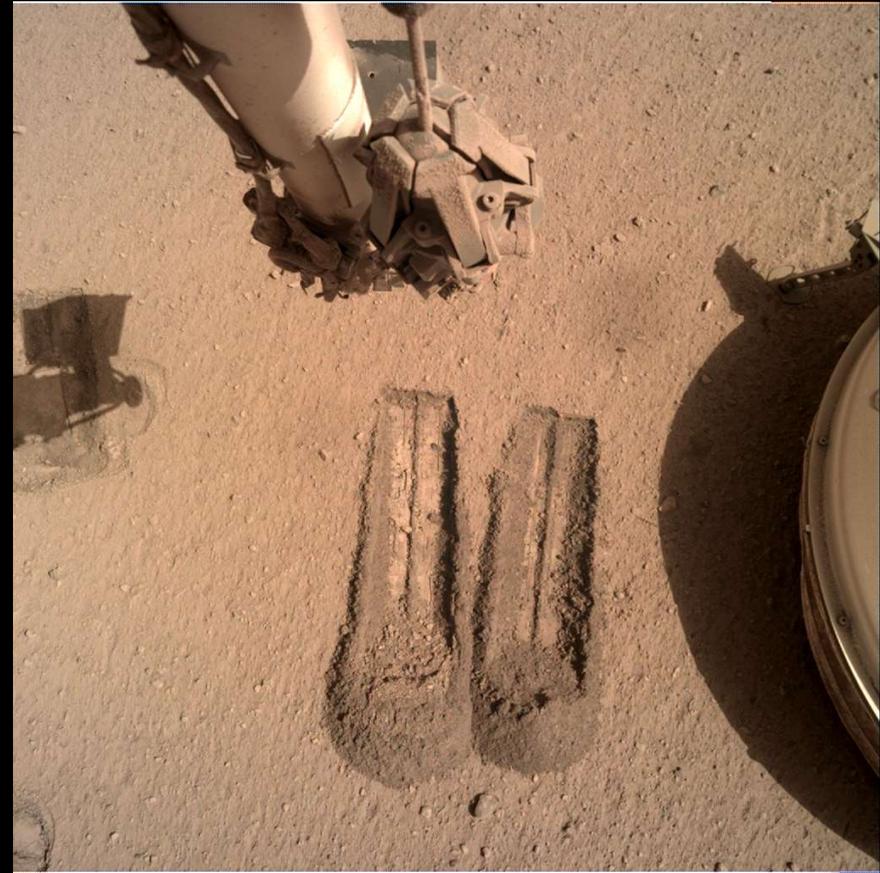
Tests in sandbox #3
february 18th, 2021

DÉFINITION DE LA STRATÉGIE (2/2)

- Cette solution alternant double-dépôts et simple dépôts permet de couvrir environ 25 cm de câble avec une épaisseur comprise entre 1,5 et 2,5 cm.
- L'ordre des dépôts est modifié légèrement lors de la dernière itération expérimentale (dépôt indirect en 1^{er})



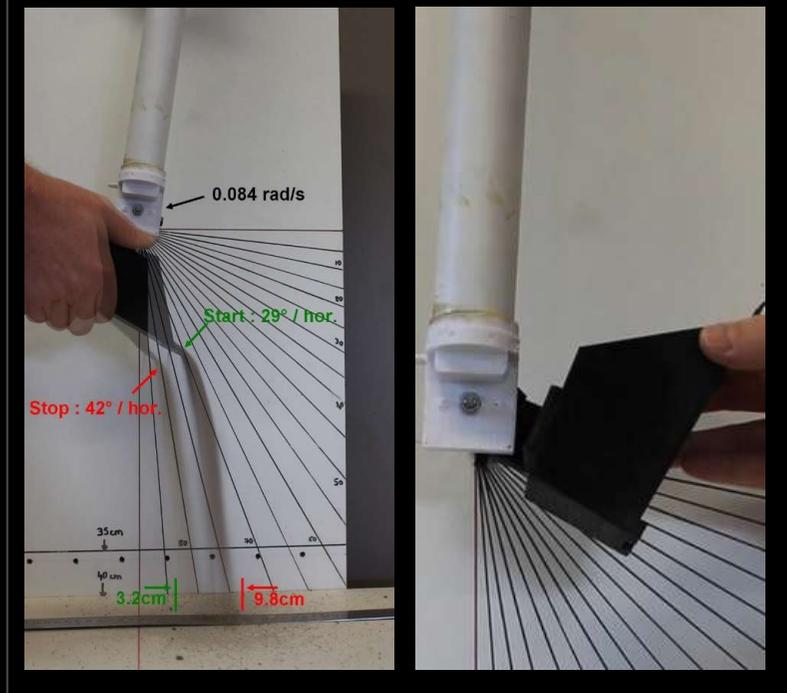
COLLECTE PAR RACLAGE



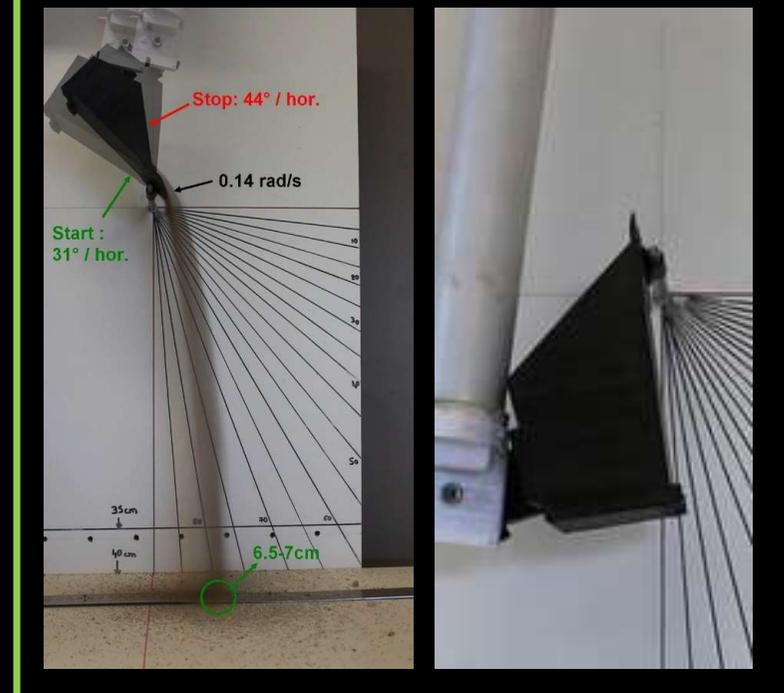
Insight - Enfouissement du câble de SEIS

MOUVEMENT DE LA PELLE

- Rotation simple du joint de poignet

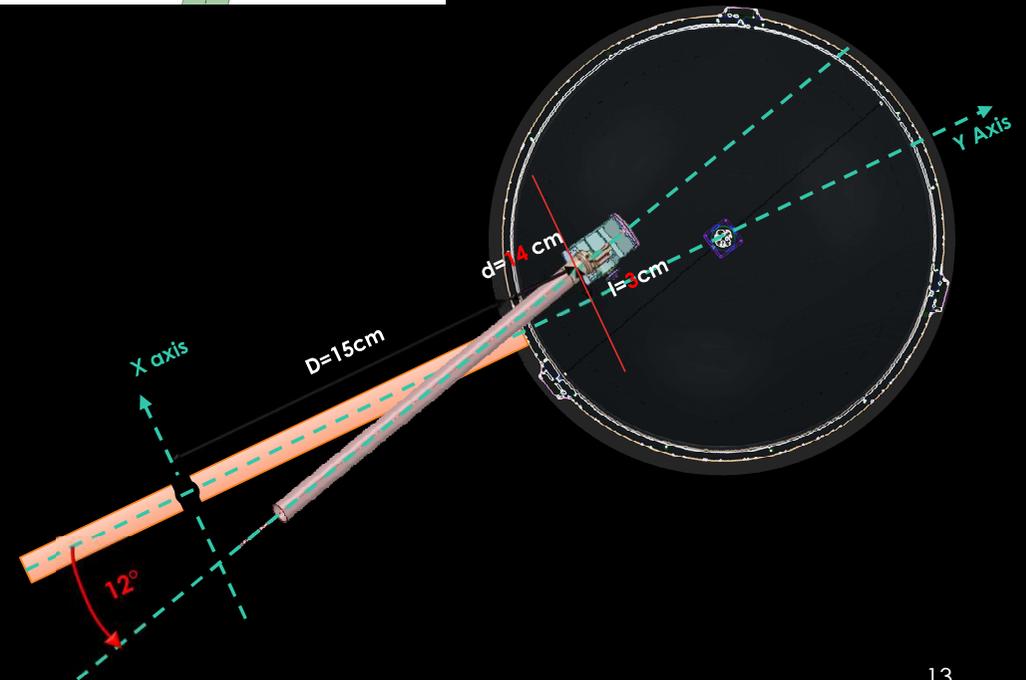
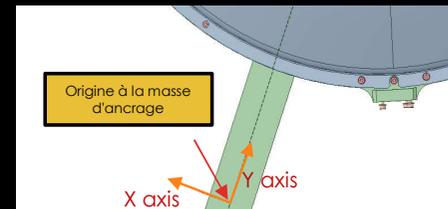


- Rotation composée des joints



DÉSIGNATION DE LA CIBLE

- Le JPL était demandeur du calcul des positions cibles de la pointe de la pelle. Cela nécessite la définition d'un référentiel propre à l'activité.
- La hauteur du dépôt est contrainte par les marges de sécurité d'opération du bras robotique, et est fixée à 45 cm minimum (55 cm au-dessus du bouclier)
- Il s'agit donc de remonter de la position souhaitée du dépôt à la position de la pointe de la pelle en considérant une trajectoire parabolique du régolithe en sortie de pelle.
- Le bras n'est pas dans l'alignement du câble, c'est à prendre en compte dans le calcul du positionnement.



UN WEEK-END D'ATTENTE



- 01 - DITCH THAT GLITCH
- 02 - DUSTY TEST
- 03 - MOTION OF THE ARM
- 04 - BURIAL AT SUNSET
- 05 - REGOLITH
- 06 - 6 DUMPS ON MARS
- 07 - TETHER THAN EVER
- 08 - SALTATION
- 09 - UNDER THE BRIDGE
- 10 - UNDEAD GLITCHES
- 11 - *BONUS*- ENTER SANDMAN

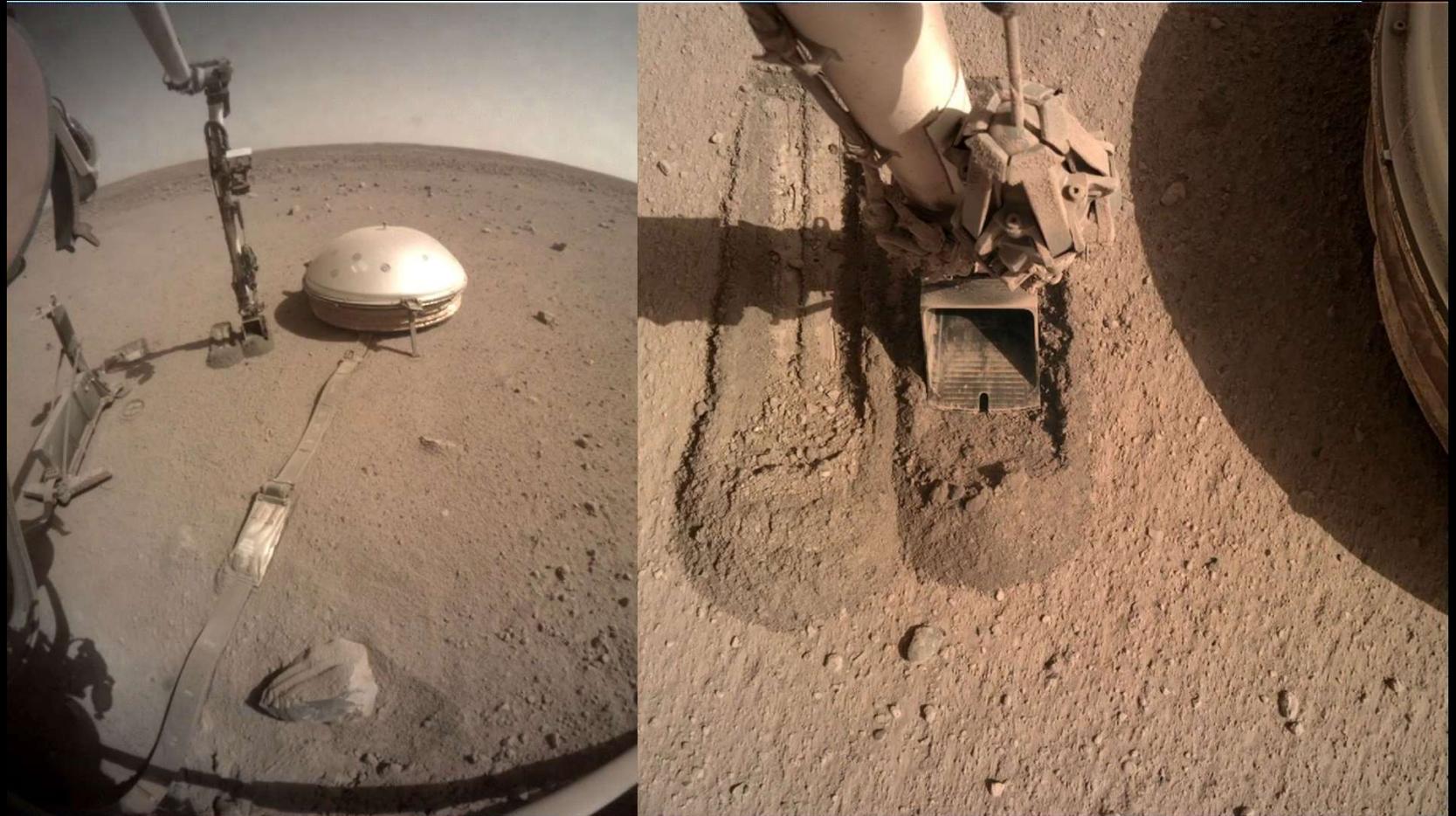


PREMIER DÉPÔT SUR MARS

SOL 816

14/03/2021

Aneto #1





InSight

SOL 816 - Acquisition



15:15:39 LMST



15:19:35 LMST



15:23:05 LMST



15:13:06 LMST



15:18:01 LMST



15:21:31 LMST



InSight

SOL 816 - Aneto #1



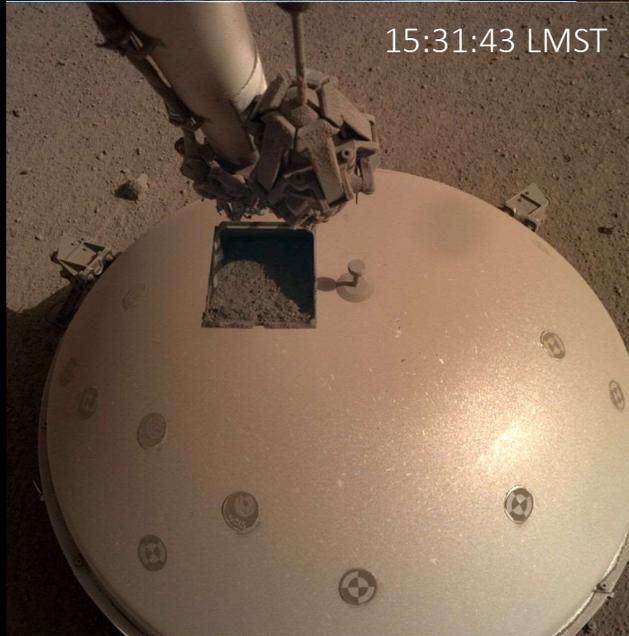
15:33:15 LMST



15:37:09 LMST



16:14:59 LMST



15:31:43 LMST



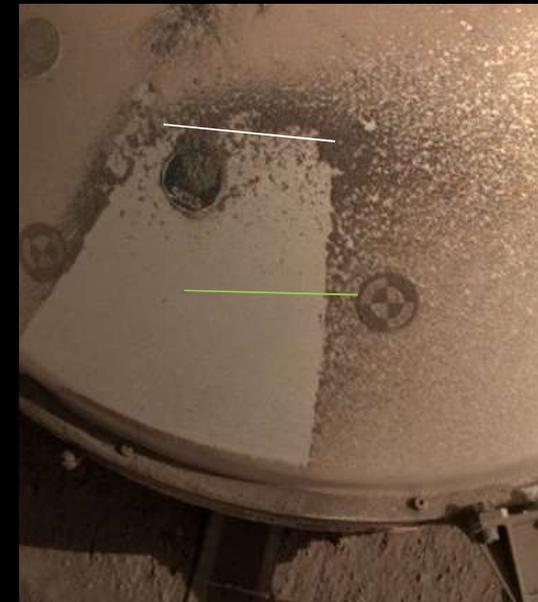
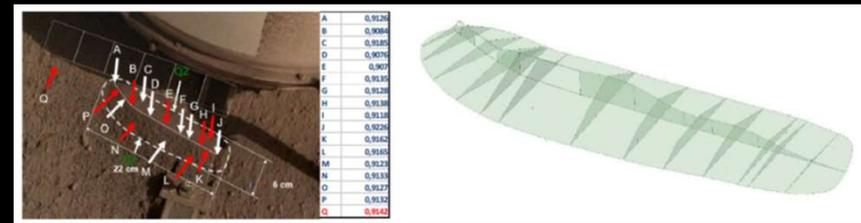
15:35:36 LMST



15:39:12 LMST

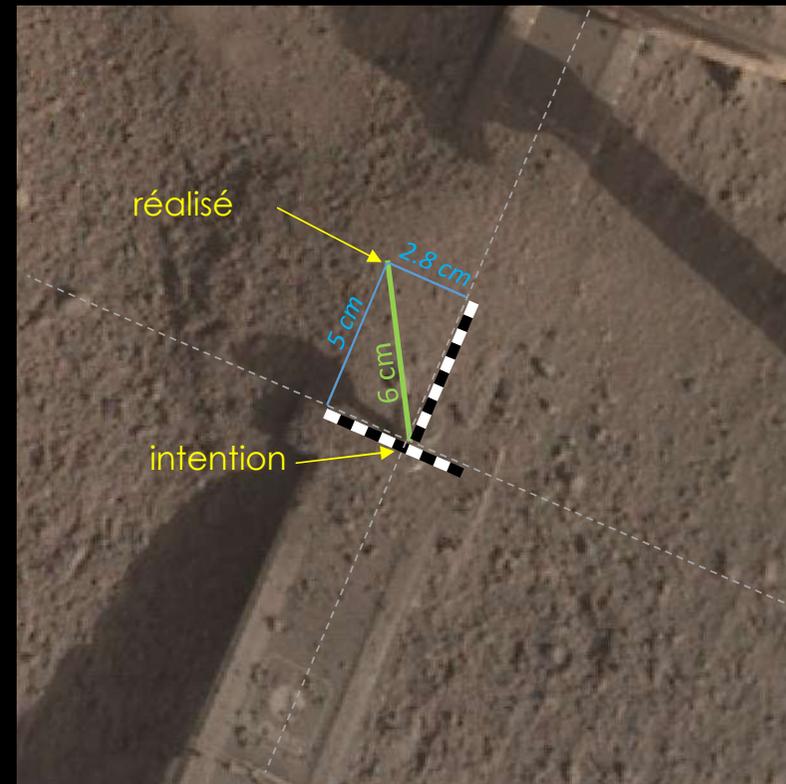
AMÉLIORATION CONTINUE

- Ce premier dépôt permet de valider un certain nombre d'hypothèses et de soulever des points d'attention.
- Le volume d'écope est effectivement de l'ordre de 70 cm³ (comparaison photographique, estimation du volume par différence de modèles de terrain...)
- L'heure du jour était bien choisie : dispersion par le vent limitée.
- Une précision de visée à améliorer, et qui restera un sujet pendant plusieurs dépôts encore.



CYCLE DE PROGRAMMATION

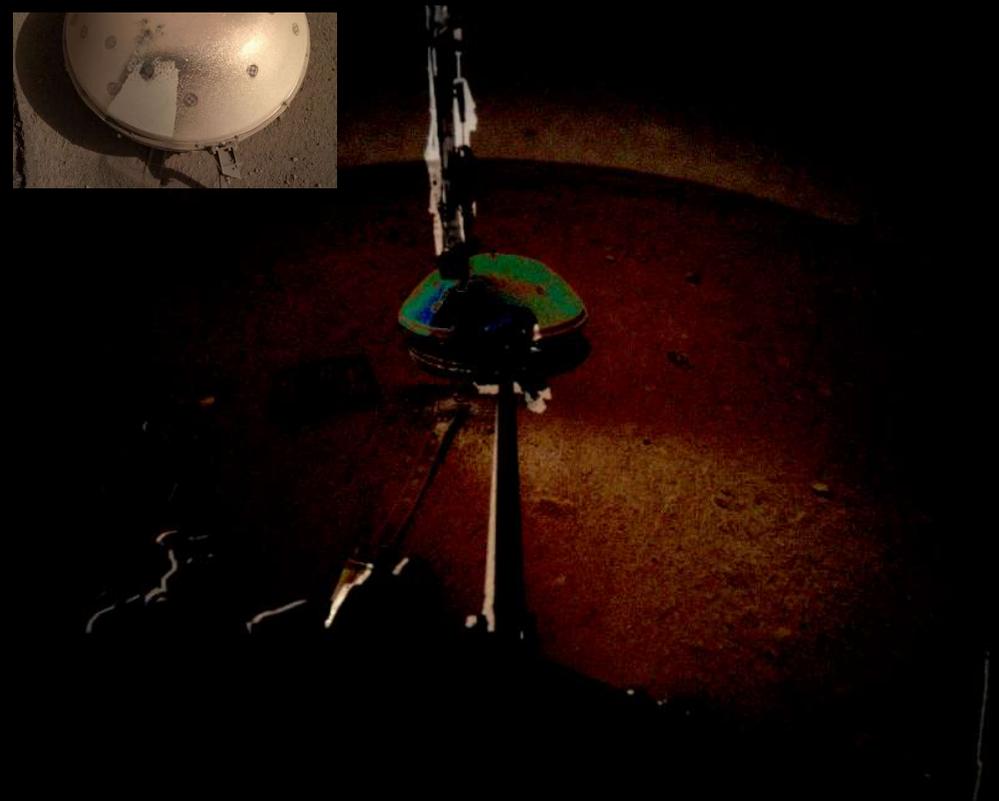
- La programmation des activités InSight est faite une fois par semaine, le week-end.
- La construction de cette programmation prend toute la semaine qui précède, et le calcul des mouvements du bras sur la semaine encore avant !
- Les activités d'enfouissement ont lieu le premier jour de la programmation, le dimanche.
- Il n'y a donc pas assez de temps pour effectuer une boucle de réajustement complète de la visée : il faut jouer avec un coup d'avance !
- Seul un réajustement marginal peut être fait après l'analyse des images le lundi (<1 cm)



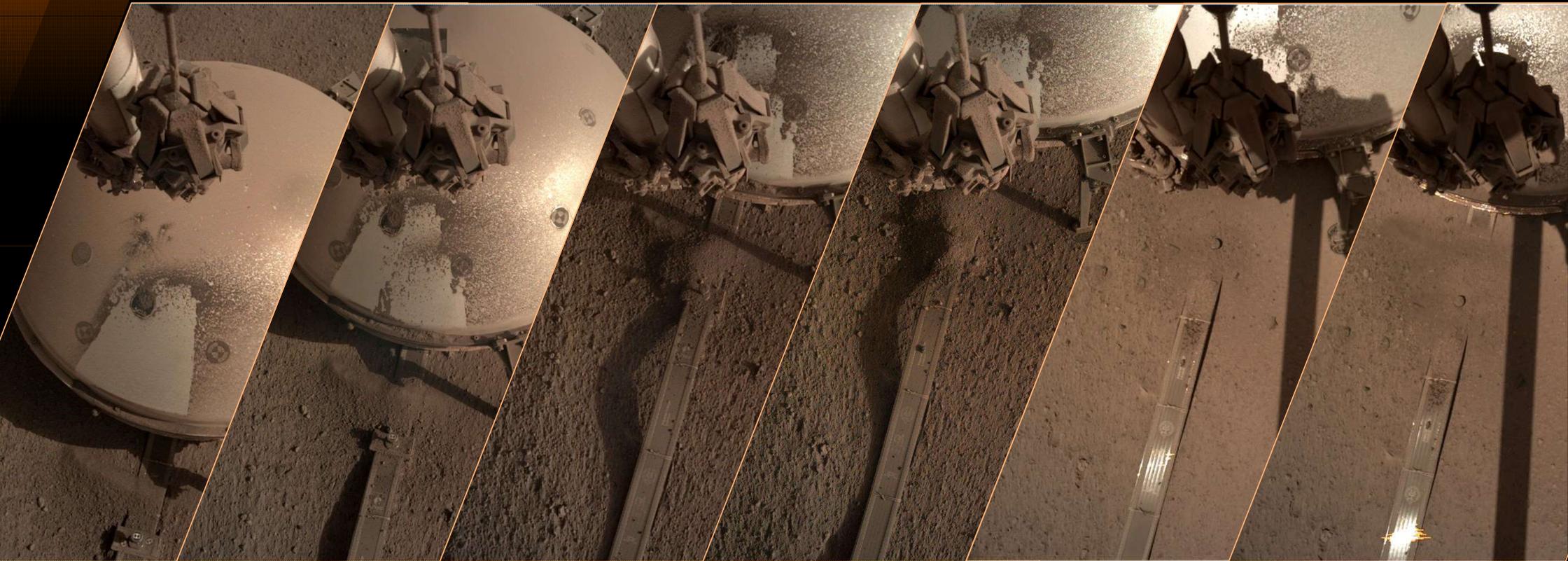
Exemple d'écart important sur le premier dépôt visant la masse d'ancrage : cet offset a été compensé pour les dépôts suivants

LE VIRAGE SCIENTIFIQUE

- Le dépoussiérage observé sur le WTS lors du premier dépôt donne du poids au projet de nettoyage des panneaux solaires.
- Les dépôts intègrent dès lors une dimension scientifique pour étudier l'effet de la dispersion du régolithe par le vent.
- Ainsi, certains dumps sont programmés dans les heures les plus venteuses des sols (typiquement 11h LMST)

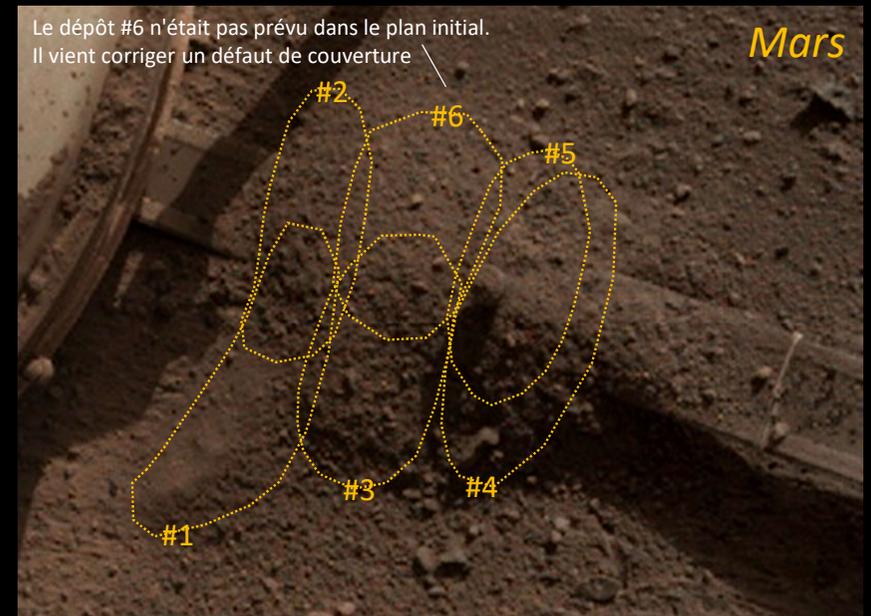
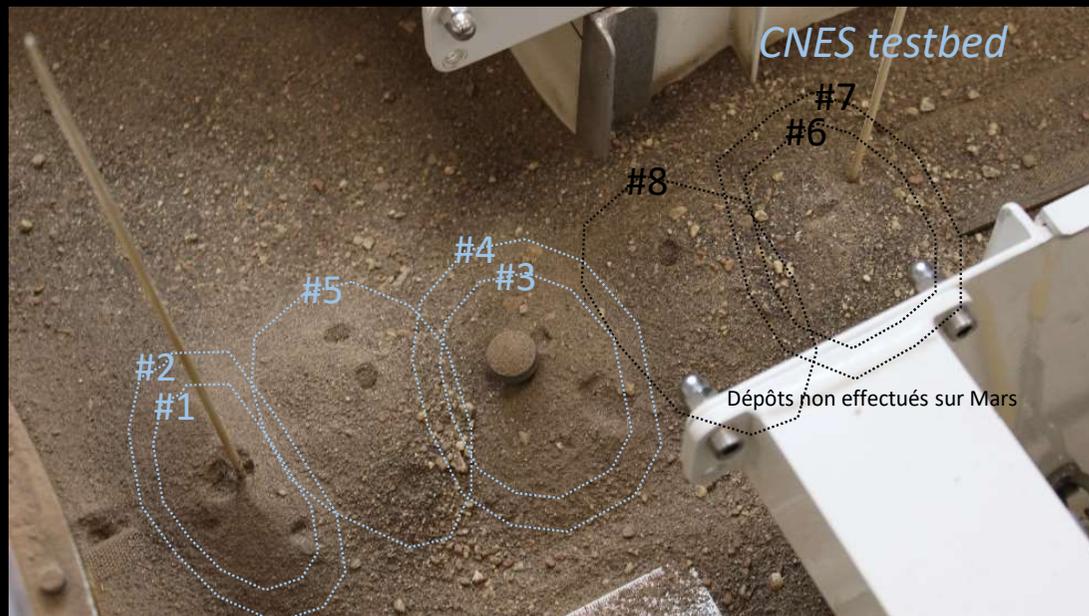


6 DÉPÔTS SUR MARS



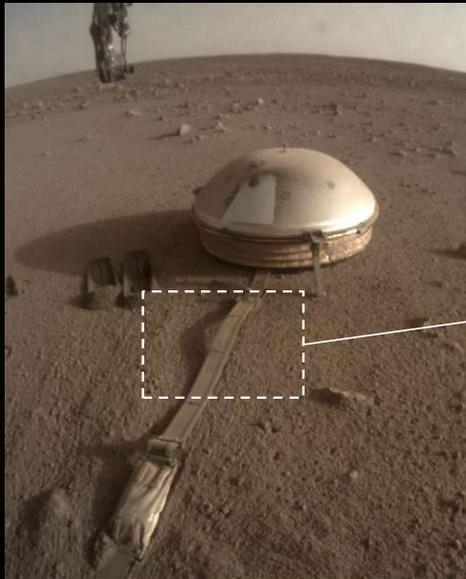
SITUATION ACTUELLE

- 6 dépôts ont été effectués sur le câble sur les 8 prévus dans le plan initial.
- La couverture du câble est variable (entre 1 et 1,5 cm sur la portion visée)



UNE NOUVELLE PHASE

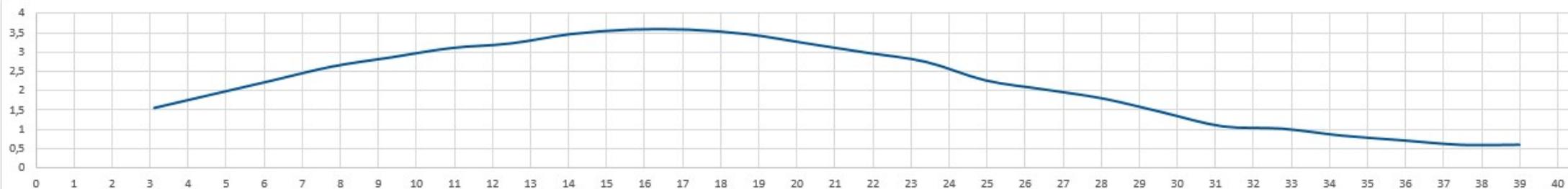
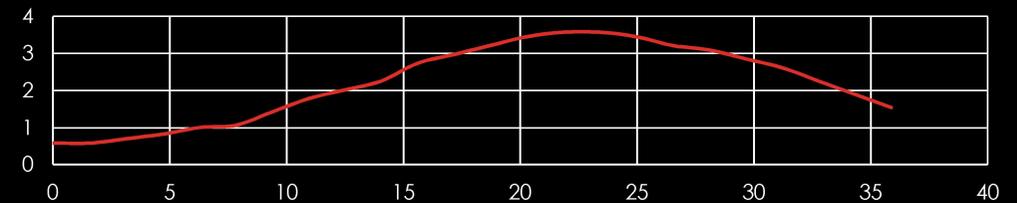
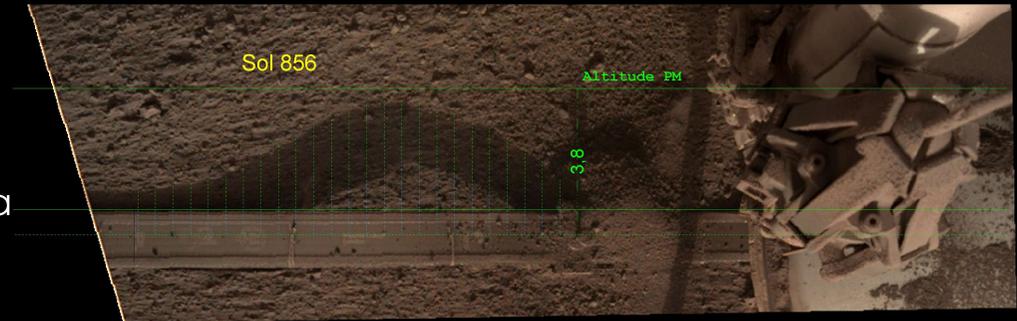
- En attendant un regain d'énergie, il faut anticiper la suite de l'opération.
- Les photos montrent clairement une partie suspendue du câble : un « pont »
- Ecraser ce pont, c'est prendre le risque de faire glisser le câble en direction de SEIS, et de recoller les plaques du système LSA, introduisant plus de bruit.



Insight - Enfouissement du câble de SEIS

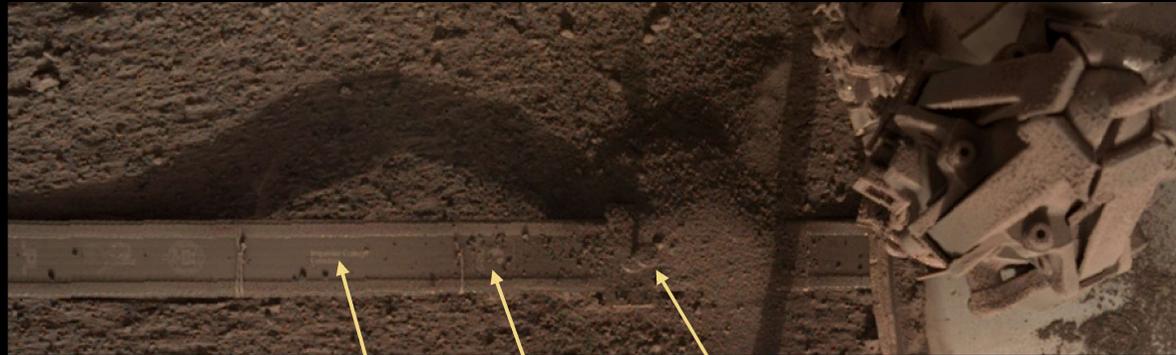
COUVRIR LE PONT (1/3)

1. Récupération d'une image récente, en lumière rasante
2. Repérage de 25 points de mesures de l'ombre portée du câble, +1 point de référence (l'ombre de la masse d'ancrage, dont la hauteur est connue).
3. Mise à l'échelle de la hauteur des points par rapport à la masse d'ancrage.
4. Mise à l'échelle horizontale des points pour impression échelle 1.



COUVRIR LE PONT (2/3)

Sur Mars



Sur Terre



COUVRIR LE PONT (3/3)

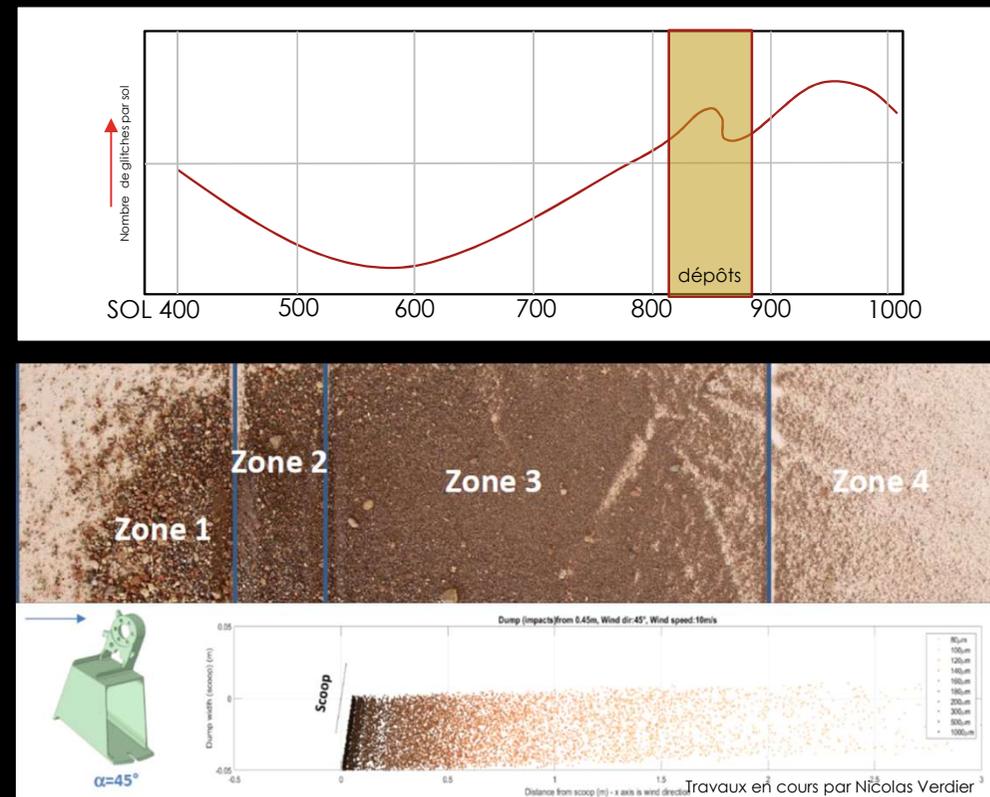
Risque majeur : couvrir le pont pourrait produire une translation du câble vers SEIS et ainsi refaire coller la boucle d'isolement mécanique (LSA).



Elaboration d'une stratégie de couverture tenant compte de cette contrainte.

BÉNÉFICES TIRÉS DE L'ACTIVITÉ

- Nous n'avons pas pu mettre clairement en évidence une diminution des glitches en l'état actuel de l'activité.
- Ceci est cependant à mettre en regard de la faible portion couverte (20 cm sur 1,50m) et la faible épaisseur de couverture
- Certains dépôts ont été effectués dans des conditions venteuses, permettant par opportunité des travaux scientifiques, de granulométrie par exemple.



POINTS REMARQUABLES

- Une activité "génératrice" puisqu'en découlent de nouveaux travaux scientifiques, une autre activité décisive (nettoyage des panneaux solaires)
- Un environnement expérimental disponible au CNES qui a permis de tester des hypothèses avec une très forte réactivité
- Utilisations d'outils numériques innovants pour la prise de vues
- Un sujet de communication vers les étudiants et le public



SEIS Tether burial
Experiment on test bed - June 4th 2021