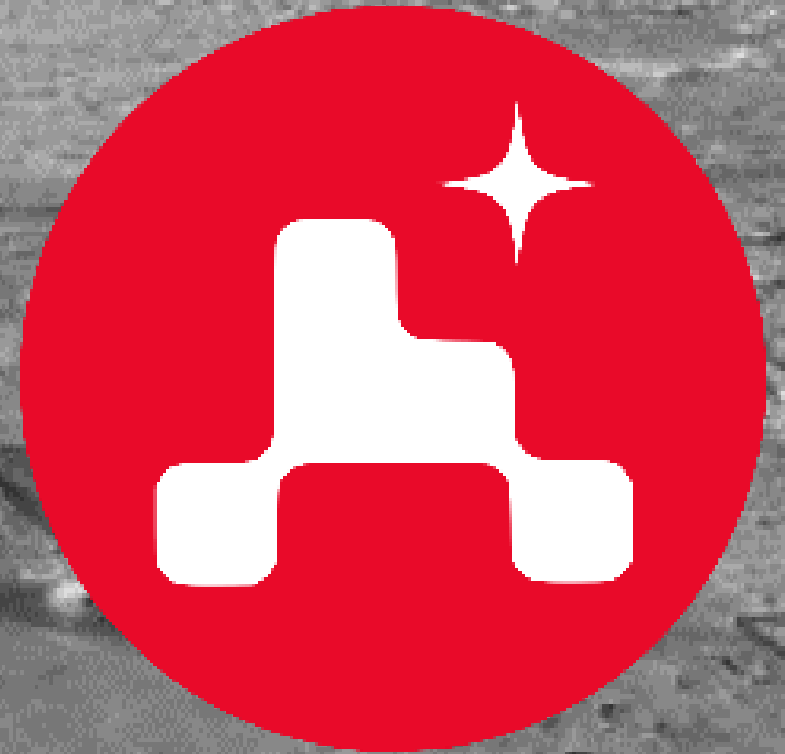


L'exploration de Mars avec Perseverance

Agnès Cousin
Astronome adjoint
PI de SuperCam



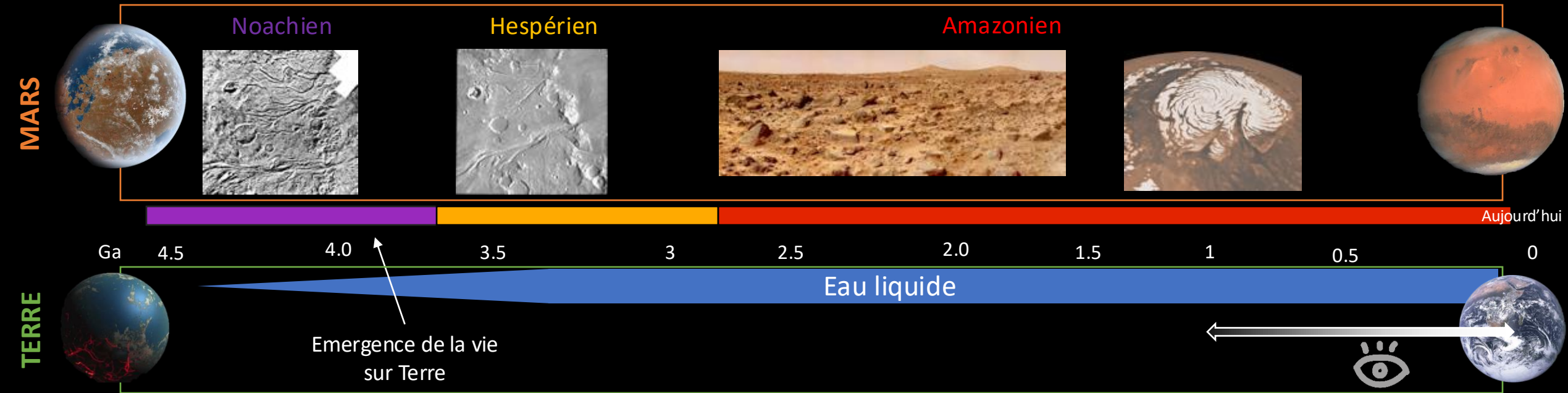
Journées SF2A 2025 - Mercredi 2 Juillet - Toulouse

Contexte

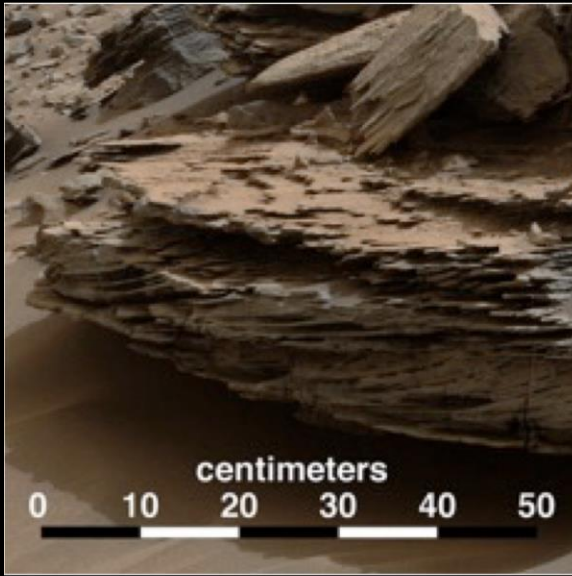
> 3.6 Ga - Noachien
2.8 – 3.6 Ga - Hespérien
< 2.8 Ga - Amazonien



- 80 % de la surface est très ancienne > 2.8 Ga (2 % sur Terre)
- Changement climatique martien --> disparition de l'eau liquide
- Est-ce que la vie a pu émerger sur Mars également ?

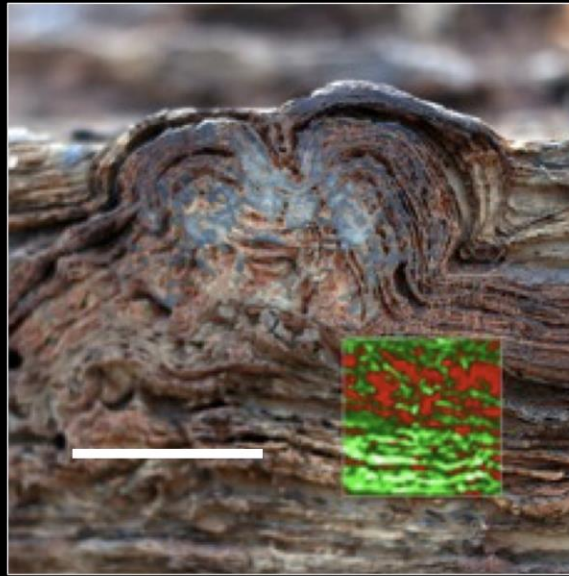


Objectifs de la mission Mars2020 avec Perseverance



Exploration géologique

- Explorer environnement ancien
- Processus de formation, et d'altération



Habitabilité passée Et Biosignatures

- Évaluer l'habitabilité passée
- Rechercher des traces de vie passées



Echantillonnage

- Collecter 38 échantillons
- Documenter leur contexte géologique

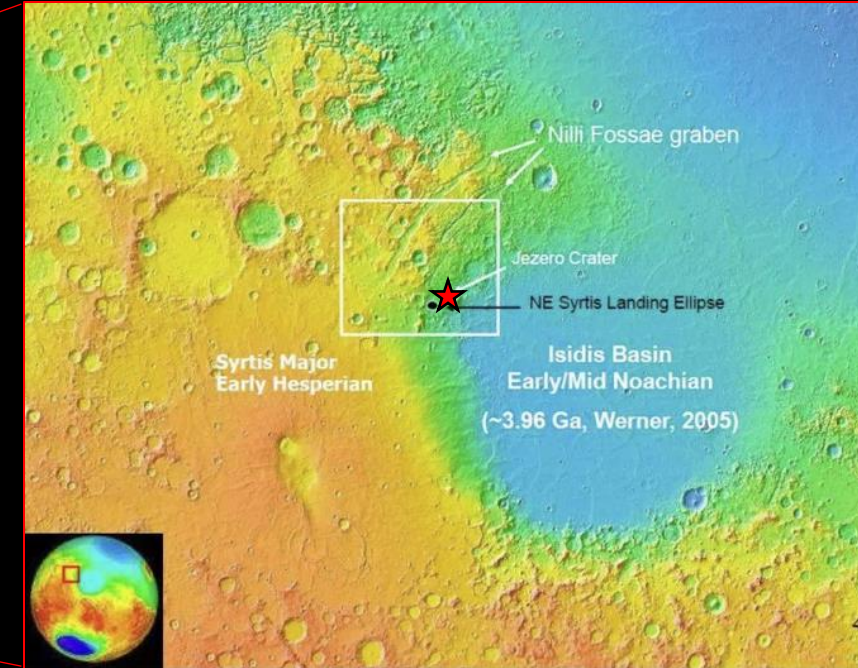
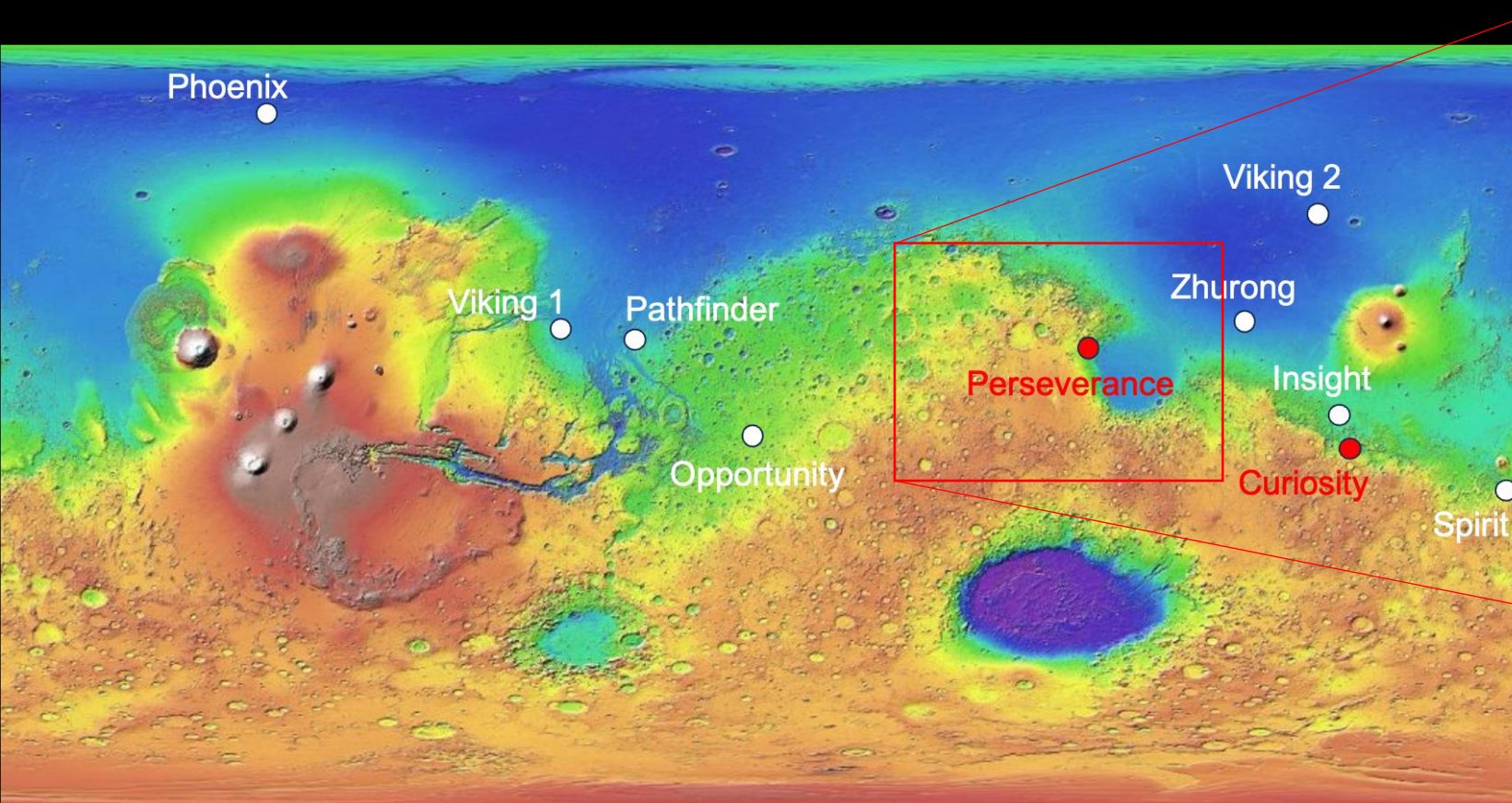


Environnement moderne

- Température, humidité, vent, poussière, radiations
- Conversion $\text{CO}_2 \rightarrow \text{O}_2$



Site d'atterrissage: cratère Jezero

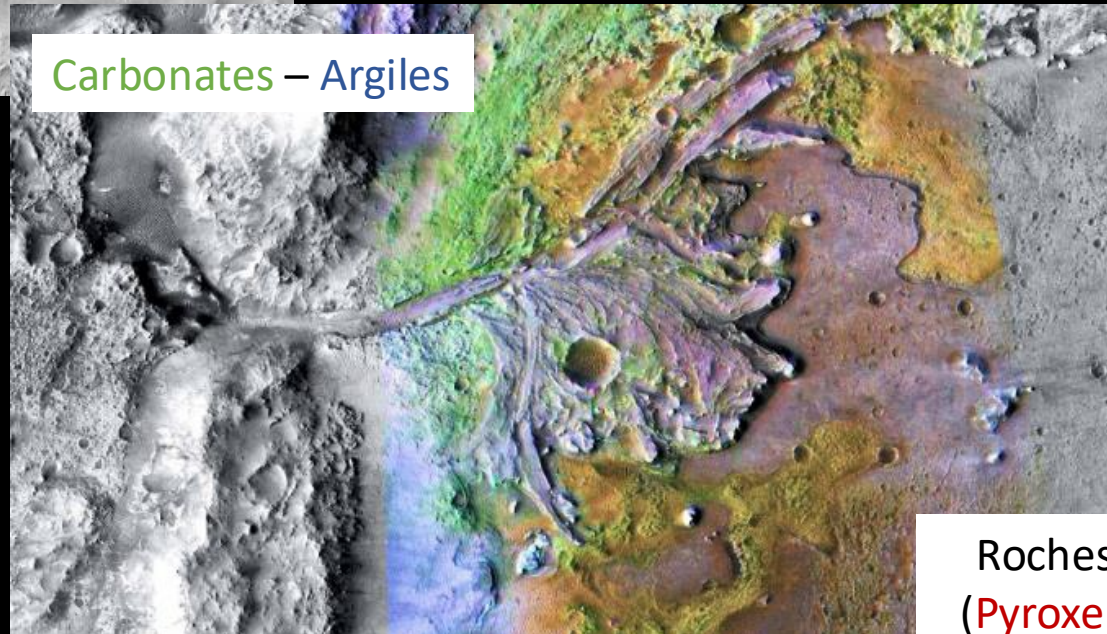
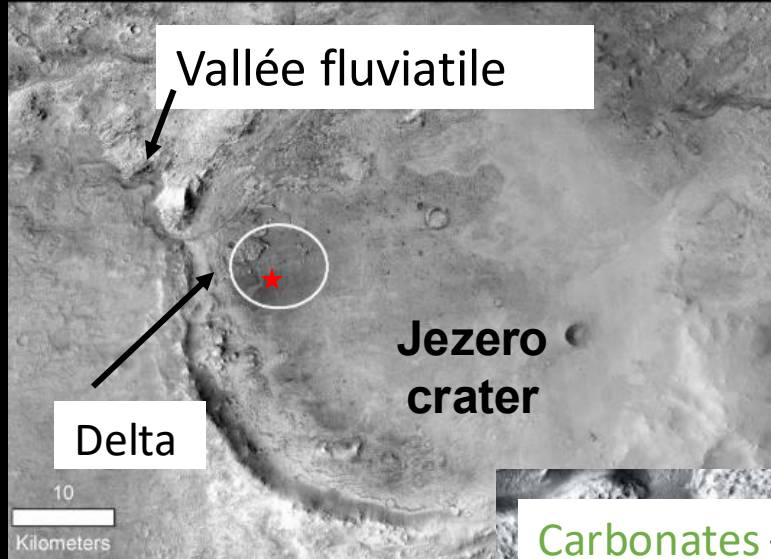


Carte altimétrique - NASA/GSFC/

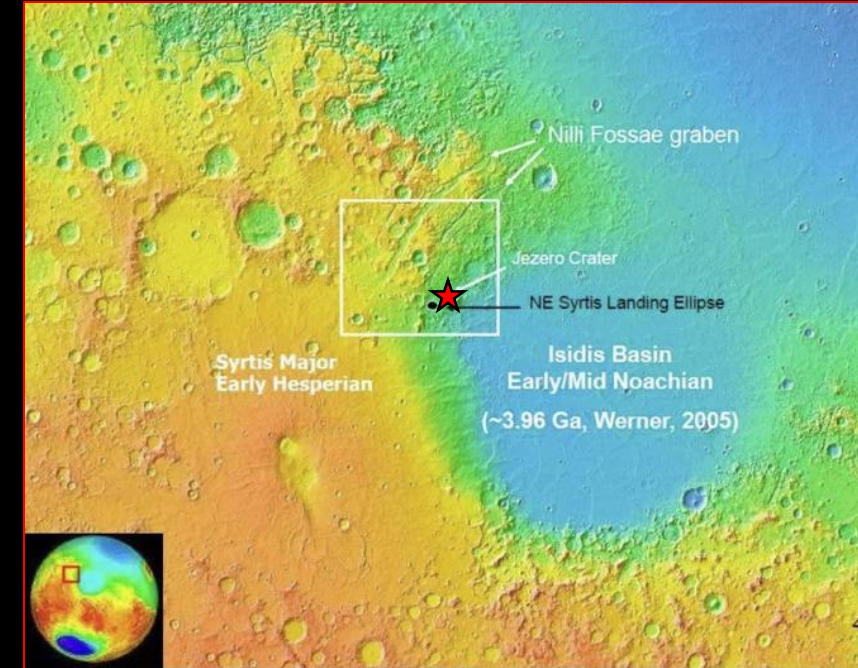
Atterrissage le 18 février 2021



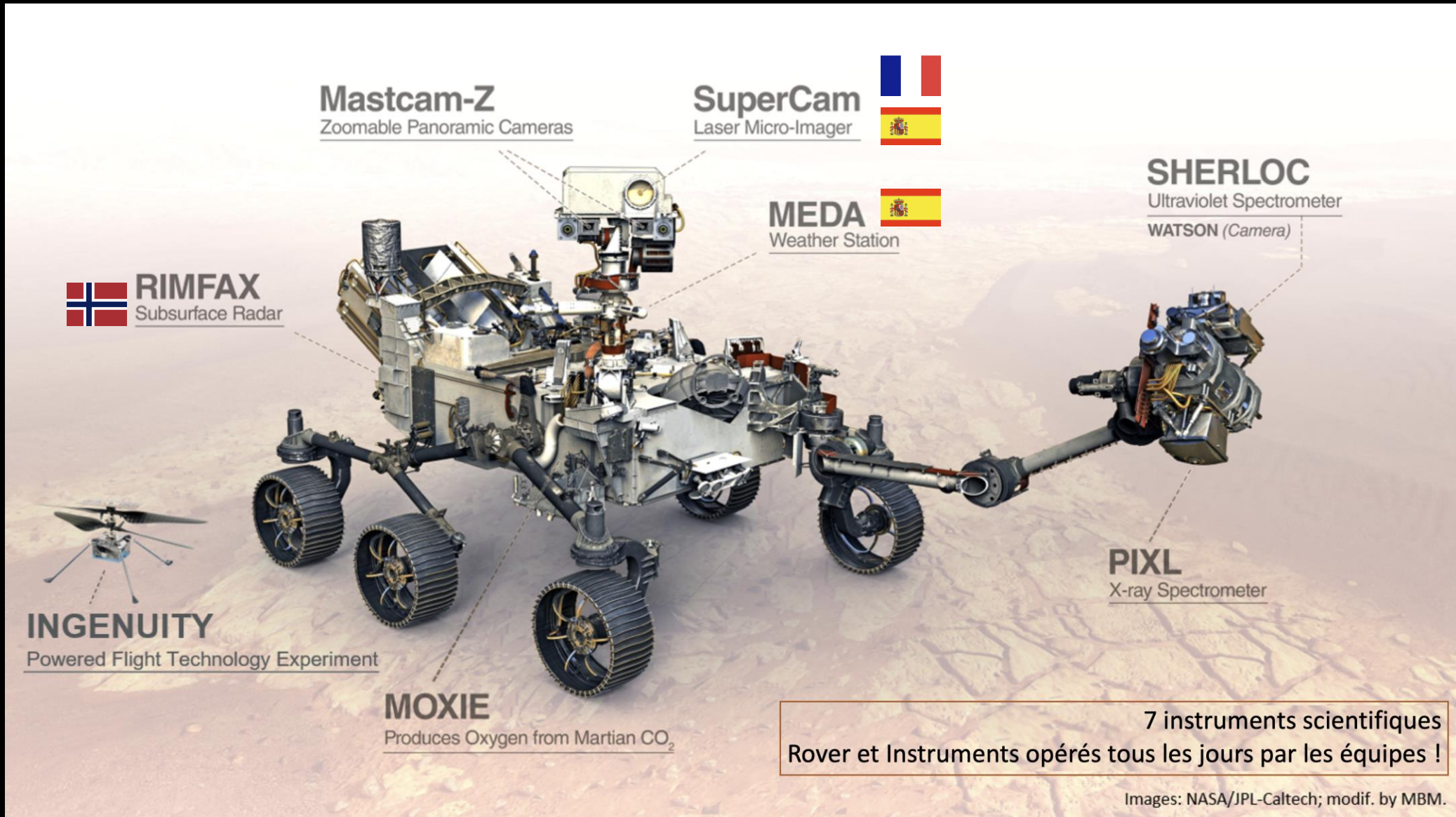
Site d'atterrissage: cratère Jezero



Roches mafiques
(Pyroxene, olivine)



Perseverance



1^{er} vol motorisé extraterrestre



LD_heli_82

Sol 0082
d>62460 mm
Natural Colors
Fusion Stitch

LRVIM

- Démonstrateur – Objectif: 5 vols
→ 72 vols effectués
- ~17 Km parcourus – record 700 m en 1 vol

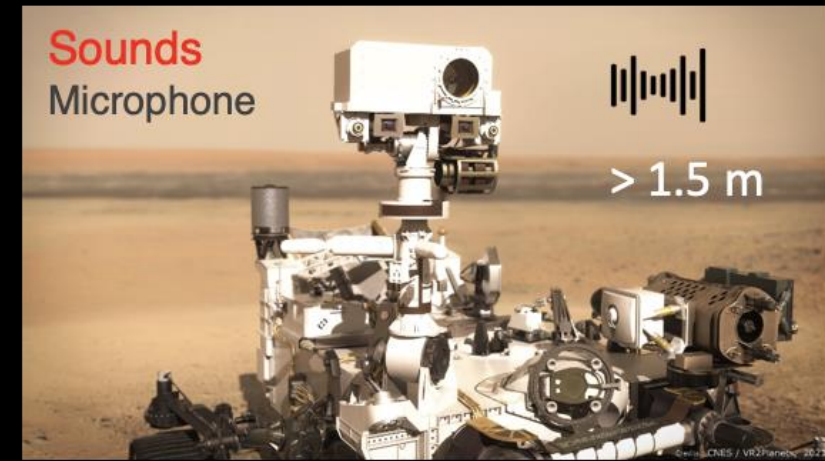
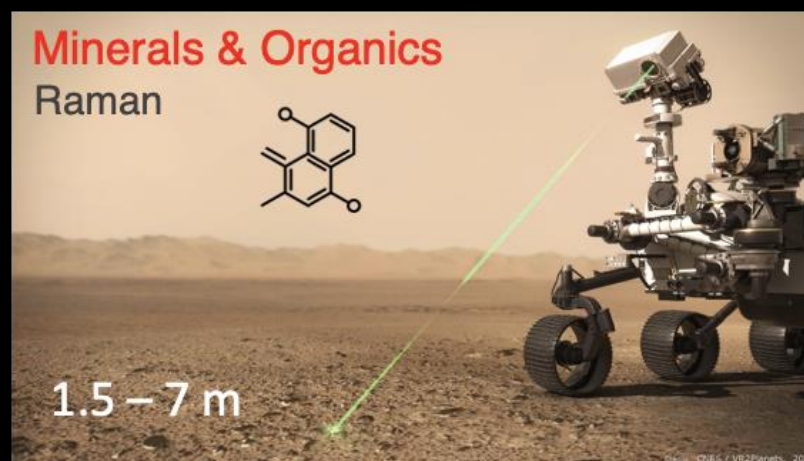
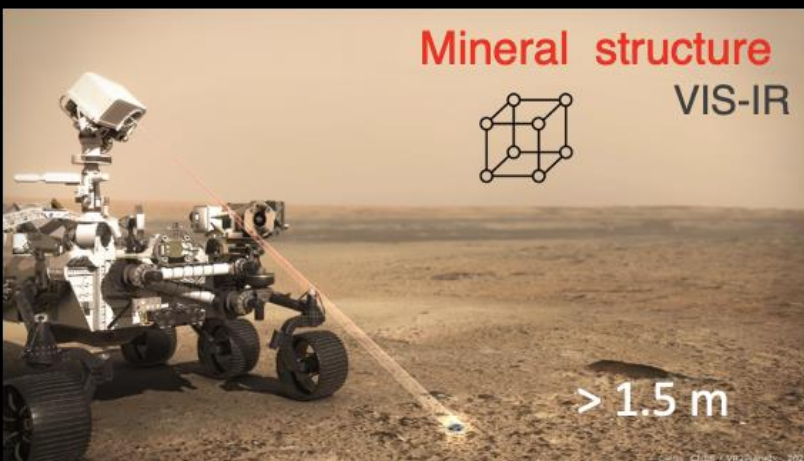
Précurseur de Mars Chopper
*(future mission d'exploration dans des zones
inaccessibles ou plus grandes)*

Image prise par SuperCam à ~60m





- Roches et sols
- Atmosphère



Objectifs

- ✓ Caractériser l'habitabilité
- ✓ Rechercher des traces de vie

Collecte d'échantillons

- ✓ Trouver les échantillons les + pertinents
- ✓ Caractériser leur env. géologique

14 laboratoires impliqués (IRAP, LIRA, LATMOS, IAS, IMPMC, Georessources, LGL, IPAG, IsTerre, LAB, CELIA, LPG, ISAE, IMFT + CNES)
+ de 20 industriels

La traverse

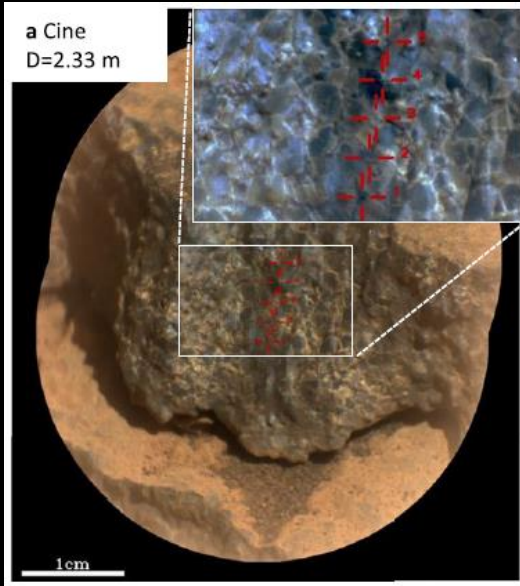


- 1552 sols à la surface
- Statut du rover
 - 35.5 Km parcourus
 - Statut nominal

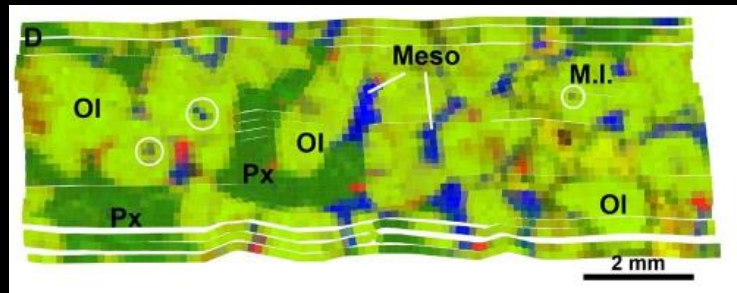


Contexte Géologique – fond du cratère

- Màaz:
 - Coulées de lave successives
 - Relativement peu altérées mais diverses phases secondaires
 - Altération à faible température, après mise en place des coulées
- Seítah:
 - Cumulat riche en olivine

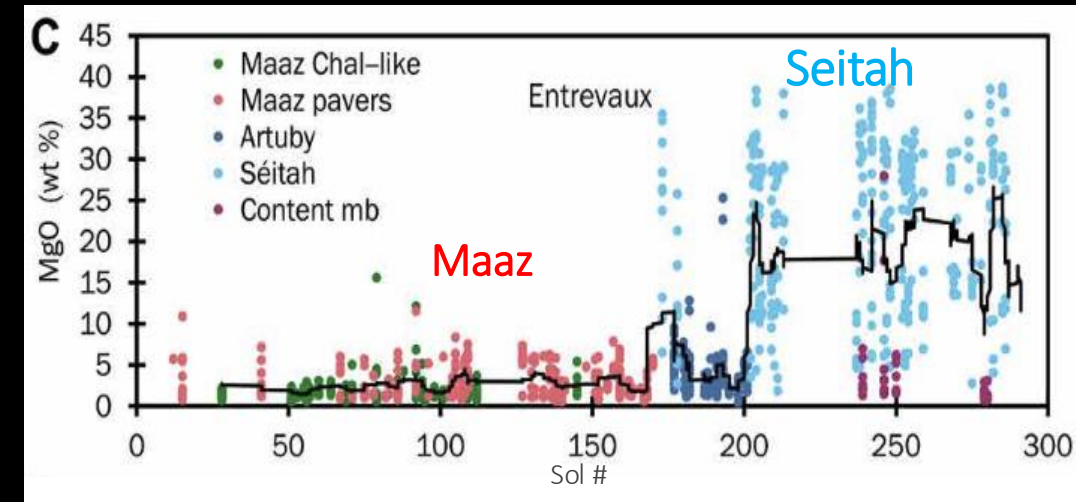


PIXL X-Ray Fluorescence map



Poikilitic texture with pyroxene grain that encloses olivine grains

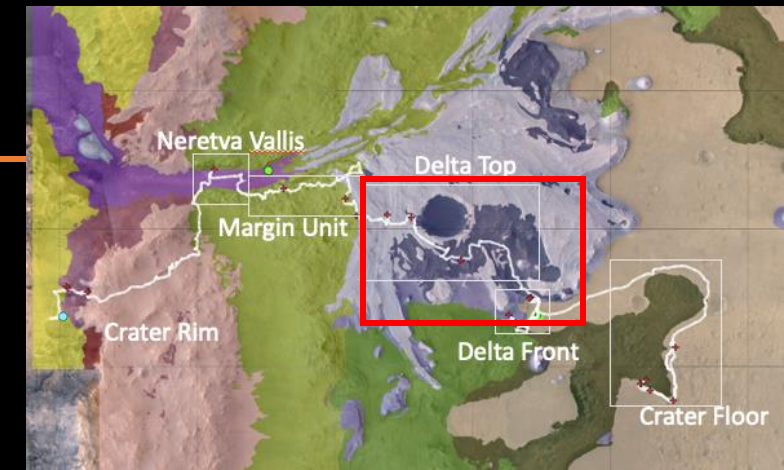
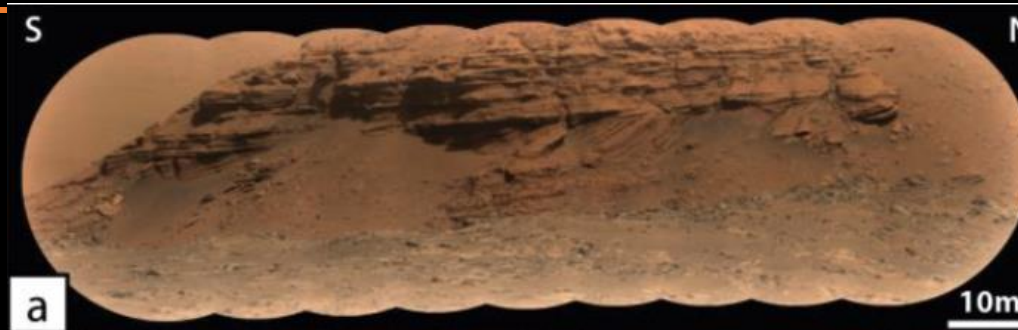
Liu et al., 2022



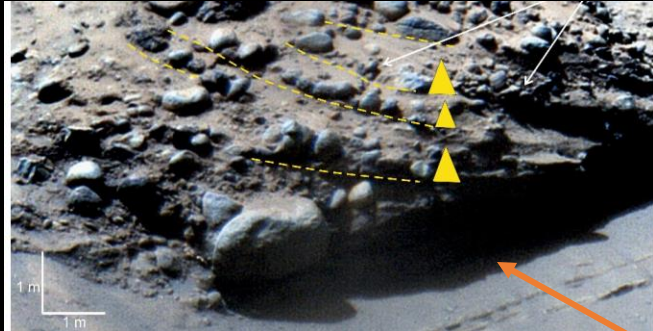
Wiens et al., 2022

Contexte Géologique - delta

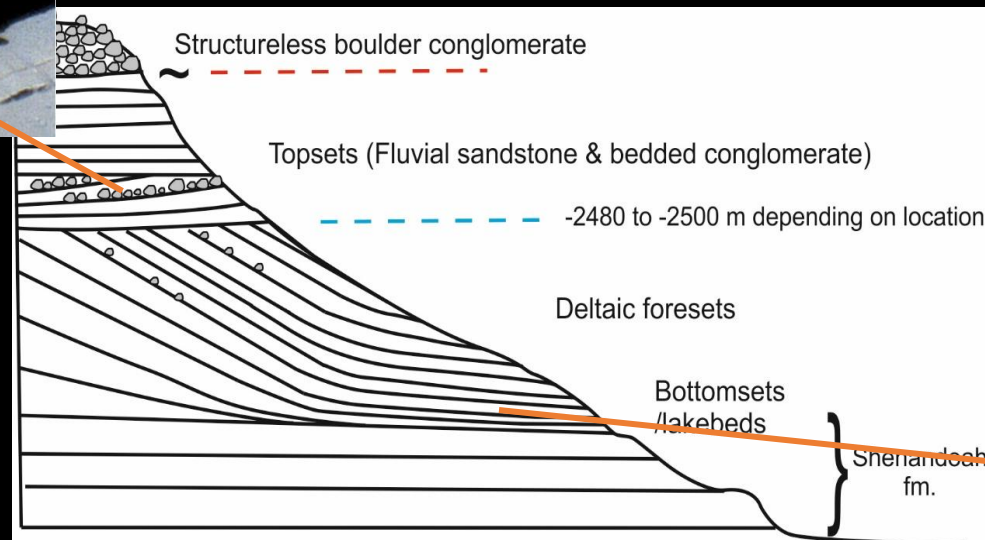
- Similarité avec les deltas terrestres bien documentés



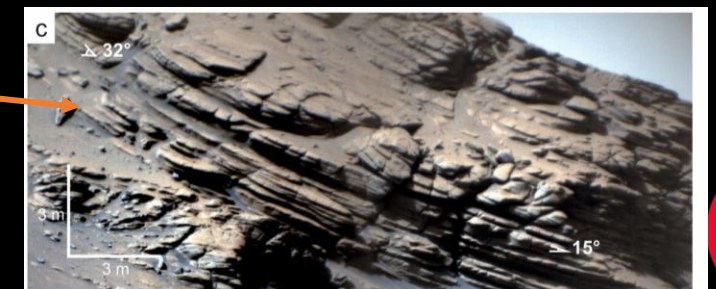
Mangold et al., 2021; Caravaca et al., 2022



- Partie inférieure: dépôts lacustres
- Partie supérieure: dépôts fluviaux
- Apports fluviaux très variables



- Forte diversité minéralogique au pied du delta

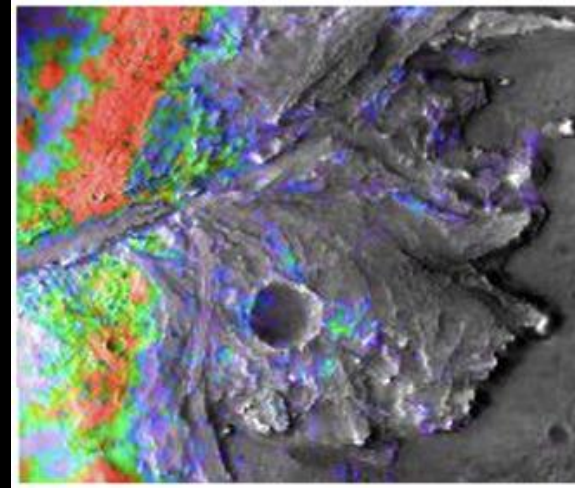


Mangold et al., 2022



Contexte Géologique – margin unit

- Confirmation de la présence de carbonates
- Roches à grains relativement grossiers
 - Carbonates omniprésents
 - Intimement mélangés aux minéraux primaires et à la silice



Horgan et al., 2020

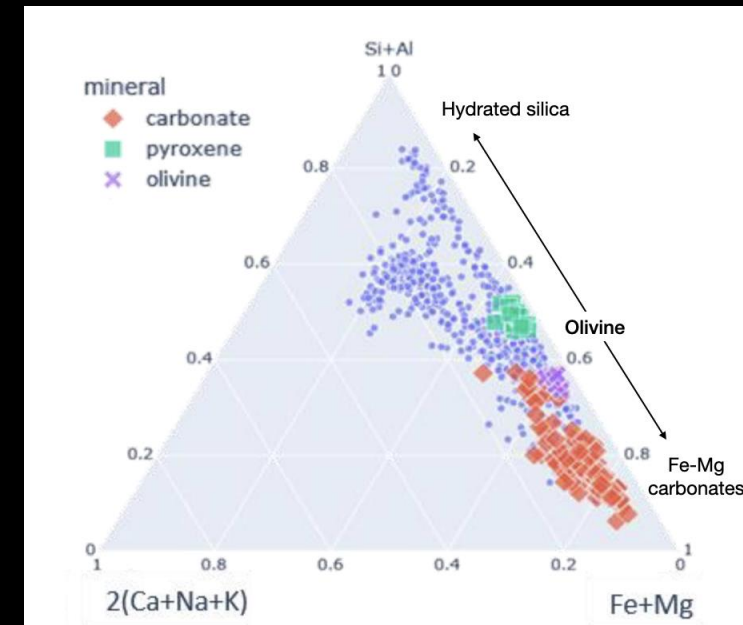


- Formation des carbonates: altération des roches volcaniques
 - => Carbonates
 - => Silice hydratée

=> *Assemblage minéral similaire au fond du cratère*

=> *Origine magmatique ou sédimentaire ?*

Structure encore très énigmatique



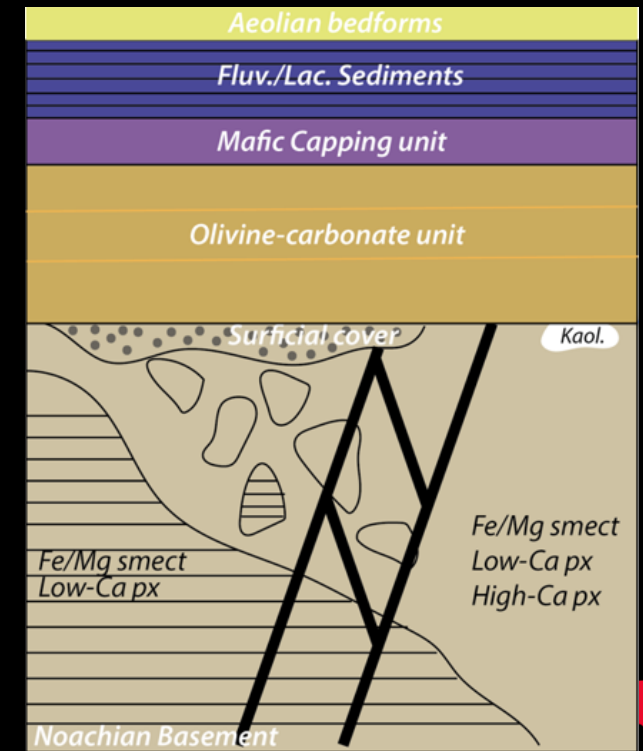
Clavé et al., Mars10th



Contexte Géologique – bord du cratère

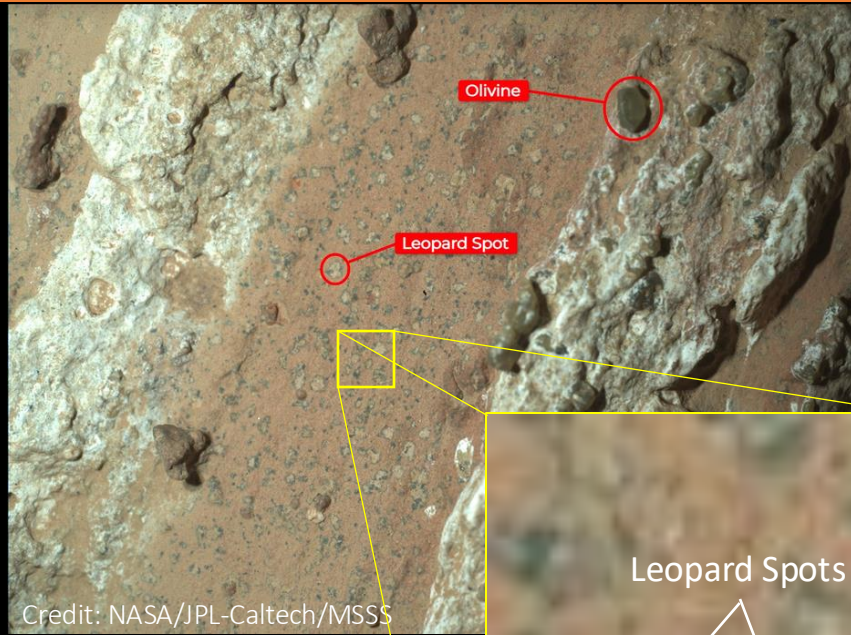
- Terrains du Noachien (>3.6 Ga) - pour la 1^{ère} fois *in situ*
- Evolution planétaire (formation de la croûte, processus ignés, ..)
- Habitabilité passée et biosignatures (hydrothermalisme, ..)
- Datation des terrains (roches magmatiques, ..)
- Processus sédimentaires les plus anciens (climat ancien, paléo-environnements, ..)
- Effets des impacts à l'échelle d'Isidis (impact-melt, ..)
- Socle Noachien
 - Matériel pre-Jezero divers
 - Matériel pre-Isidis: Mega-brèches très diverses
- Unités régionales accessibles
 - **Unité riche en olivine (et carbonates)**
 - **Unité riche en minéraux primaires**

=> Lien avec les unités volcaniques globales
=> Lien avec les unités du fond du cratère

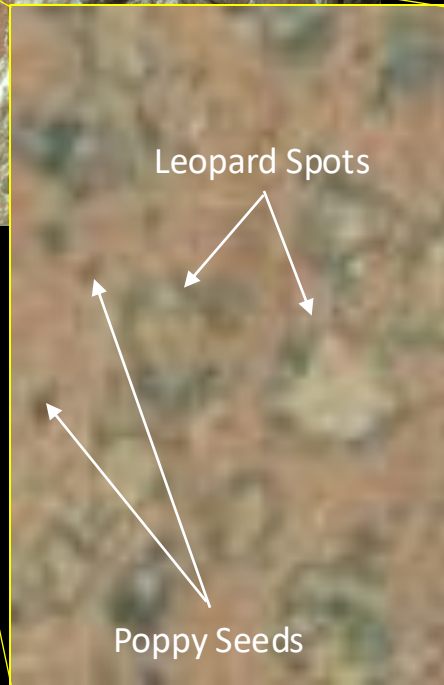


Scheller et al., 2020

Potentielles Biosignatures / Habitabilité passée



Credit: NASA/JPL-Caltech



Hurowitz et al., 2025

- Sédiment à matrice très fine dans Neretva Vallis
- Poppy Seeds: grains sombres de 100-200 microns
- Leopard Spots: zones claires avec bordure + sombre
- Signatures possiblement organiques d'après SHERLOC
- Poppy Seeds et bordures de Leopard Spots sont enrichies en Fe^{2+} et P.
- Le coeur des Leopard Spots sont enrichis en Fe^{3+} , Ni et S.

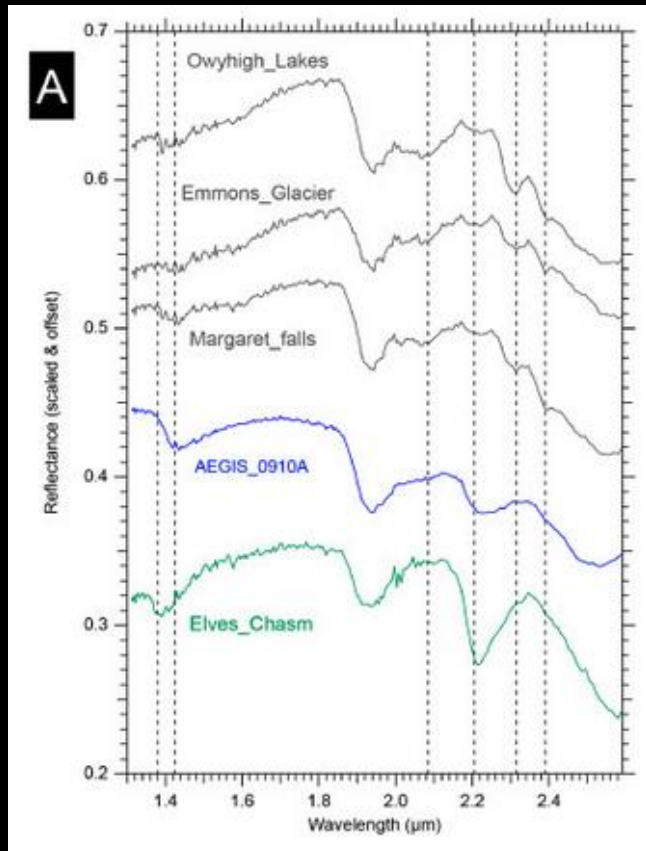
=> Phénomènes d'oxydo-réduction, pouvant être sources d'énergie pour la matière organique



Potentielles Biosignatures et habitabilité passée

- Détection de différentes roches dominées par de la silice, +/- cristallisées
- 1^{ère} détection non ambiguë de Quartz à la surface de Mars
- Précipitations à partir du même système hydrothermal, à différentes profondeurs

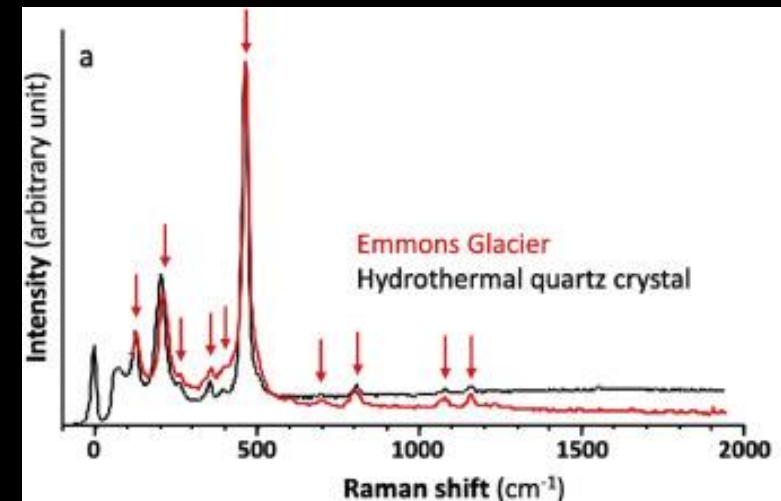
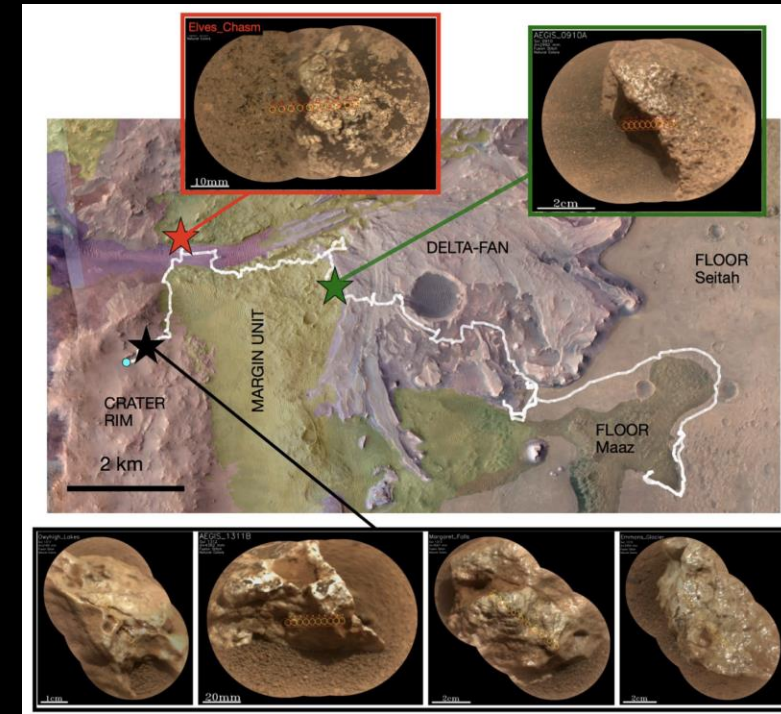
=> fort potentiel astrobiologique
(silice hydratée préserve les organiques)



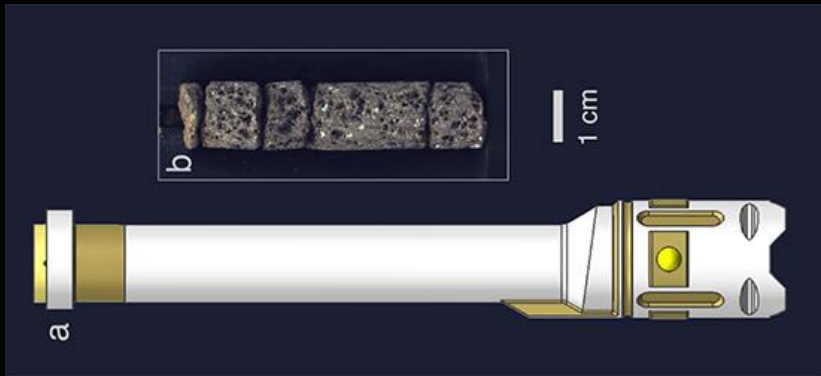
Emmons_Glacier
Sol 1315
d=3350 mm
Fusion Stitch
Natural Colors



Beck et al., 2025



- Système de bras complexe



NASA/JPL-Caltech

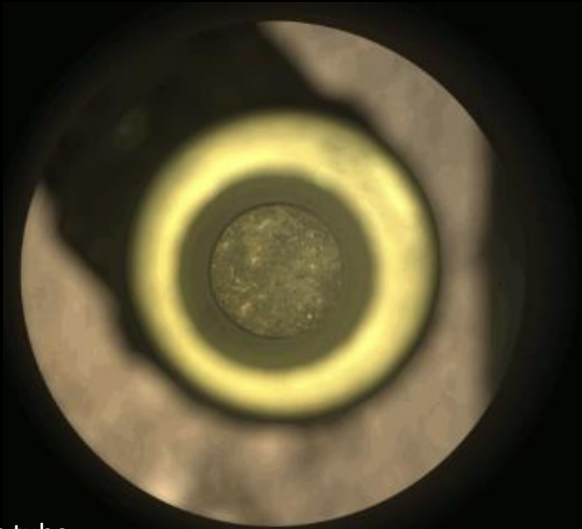


Image de l'échantillon dans le tube

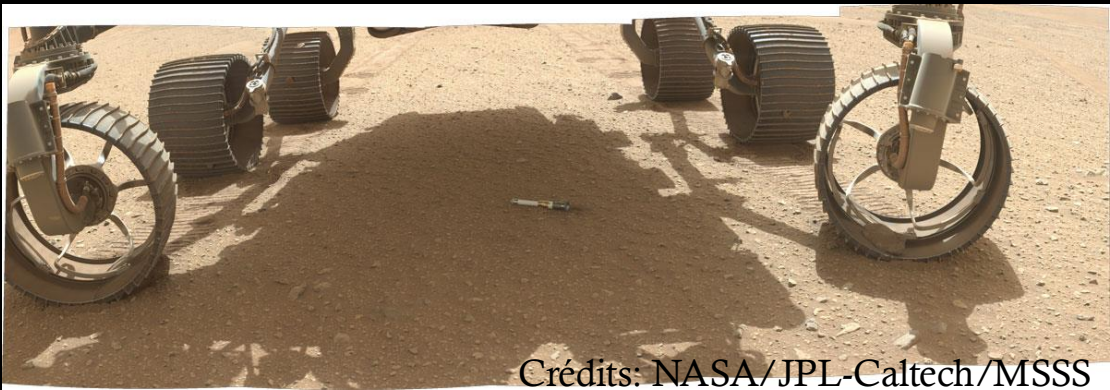


Echantillonnage

Dépôt du Backup à Three Forks:

=> 21 Decembre 2022 (Sol 653) – 31 Janvier 2023 (sol 696)

=> 10 Tubes



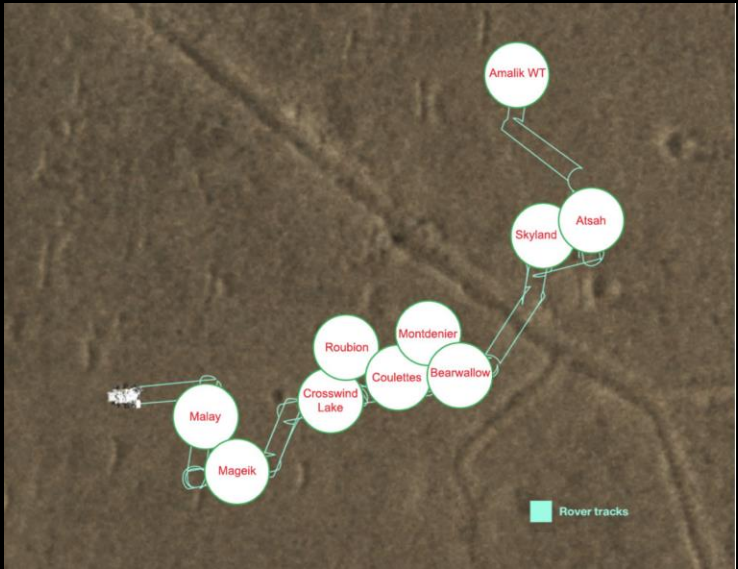
Crédits: NASA/JPL-Caltech/MSSS



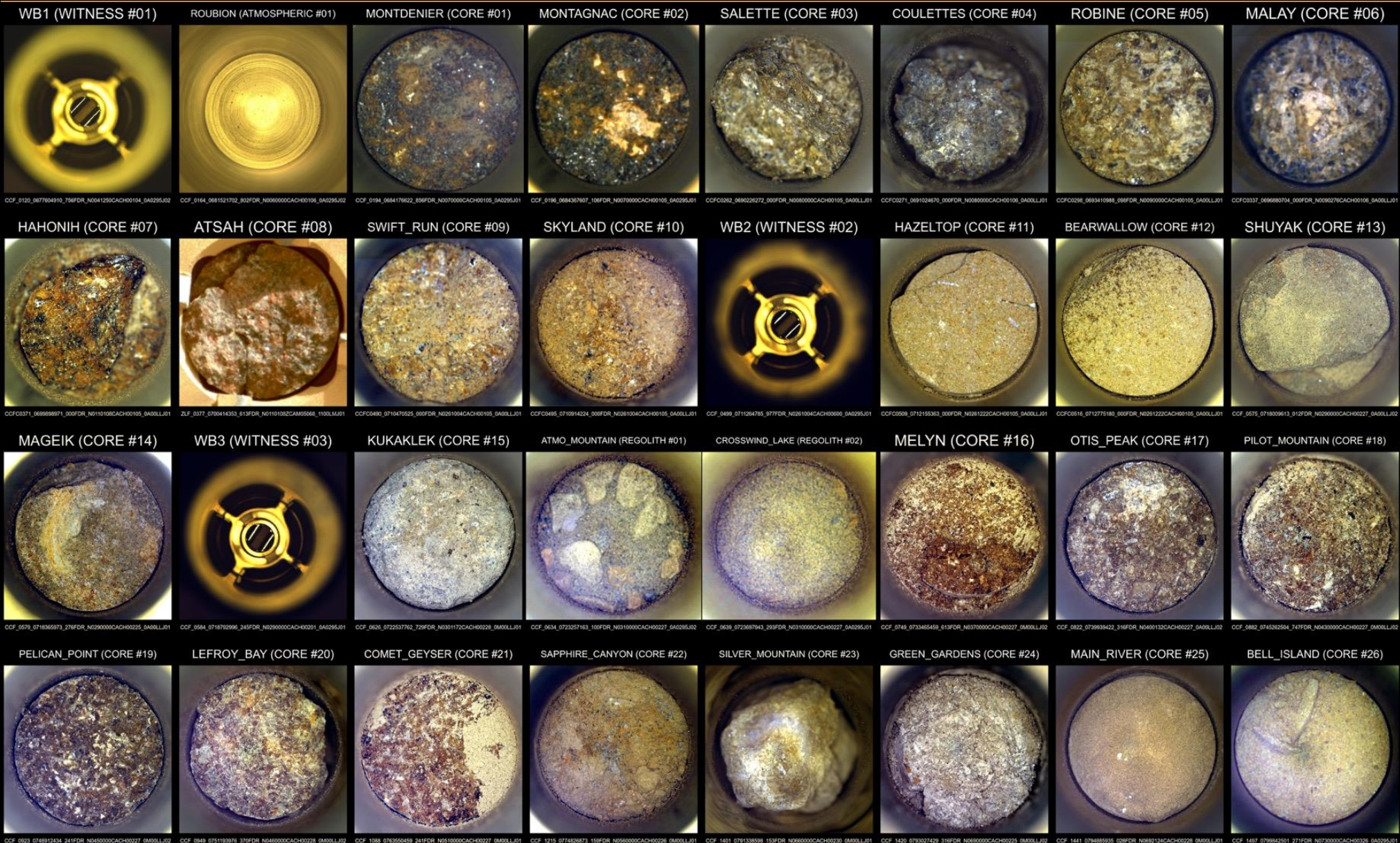
Three Forks	Description	Campaign
<u>Roubion</u>	Atmosphere	Crater floor
<u>Montdenier</u>	Igneous: basalt	Crater floor - Mâaz
<u>Coulettes</u>	Igneous: olivine cumulate	Crater floor - Séítah
<u>Malay</u>	Igneous: olivine cumulate	Crater floor - Séítah
<u>Atsah</u>	Igneous: basalt	Crater floor - Mâaz
<u>Skyland</u>	Sedimentary: Fine to medium-grained sandstone	Delta Front
<u>Bearwallow</u>	Sedimentary: Fine-grained sulfate bearing	Delta Front
<u>Mageik</u>	Sedimentary: olivine-bearing coarse mudstone	Delta Front
<u>Crosswind Lake</u>	Regolith	Delta Front

+ 1 witness

Diversité des échantillons



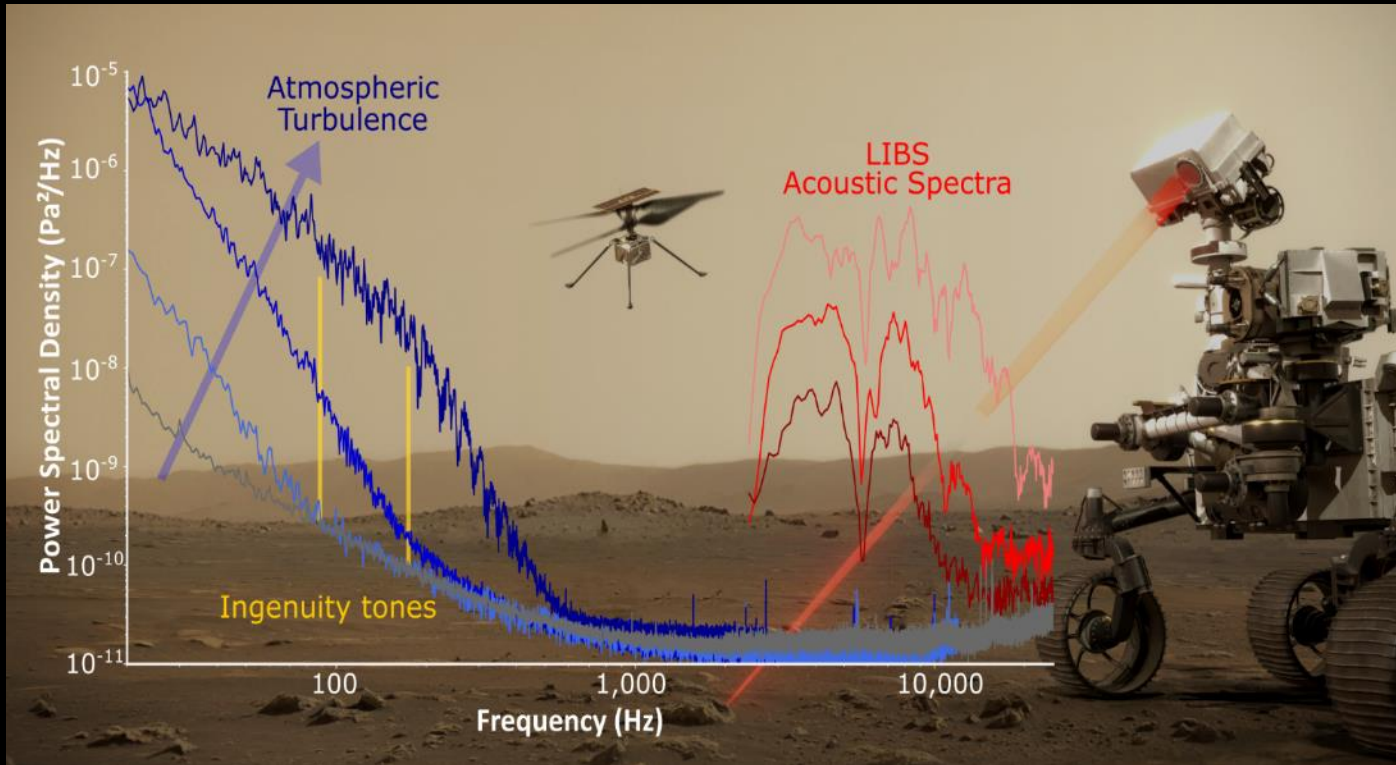
Echantillonnage – photo de famille



Diversité des échantillons

- A bord:
 - 19 tubes de roche
 - 1 régolithe
 - 2 témoins
 - 7 tubes et 2 témoins vides





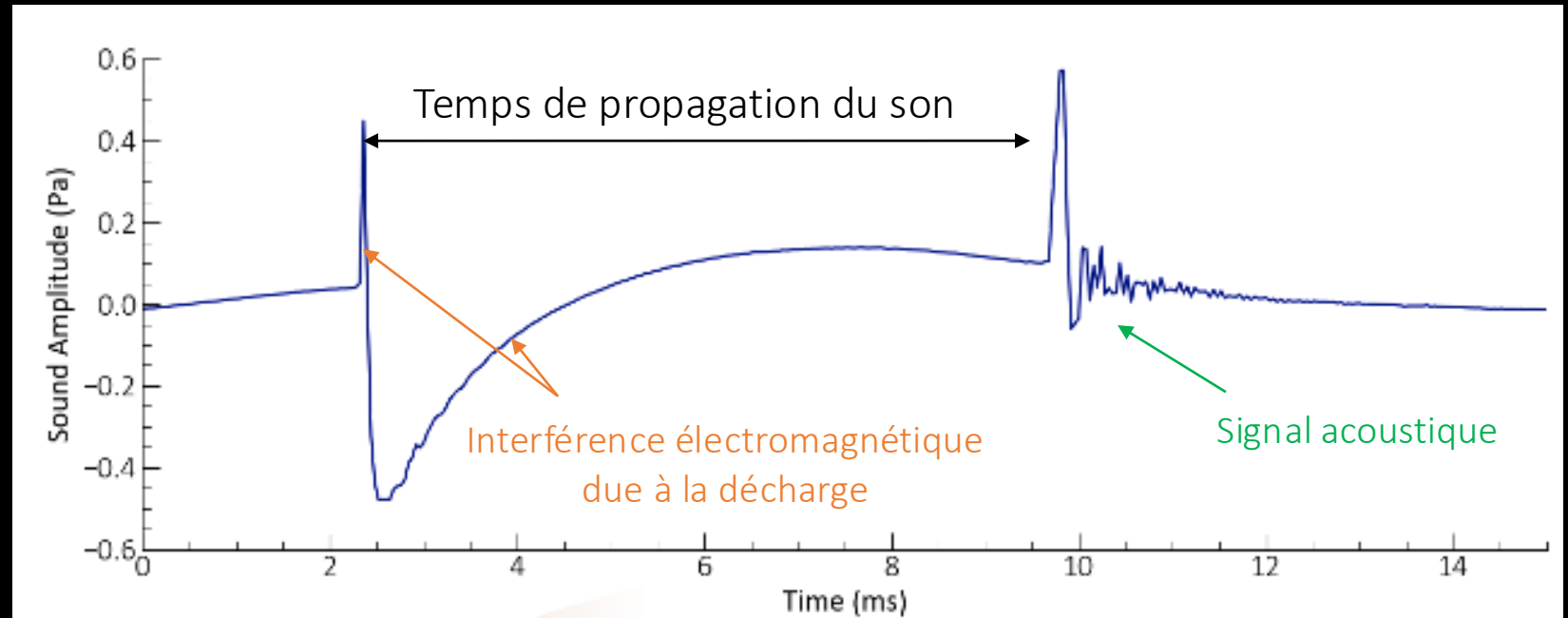
Maurice et al., 2022

- 1^{eres} analyses du régime dissipatif proche de la surface
- Vitesse du son variable selon la fréquence :
 $\sim 250 \text{ m/s} > 240 \text{ Hz}$, $\sim 240 \text{ m/s} < 240 \text{ Hz}$.

➔ Découverte de l'environnement sonore martien par le microphone de SuperCam, grâce au LIBS et les vols d'Ingenuity



Enregistrement d'un dust devil passant sur le rover



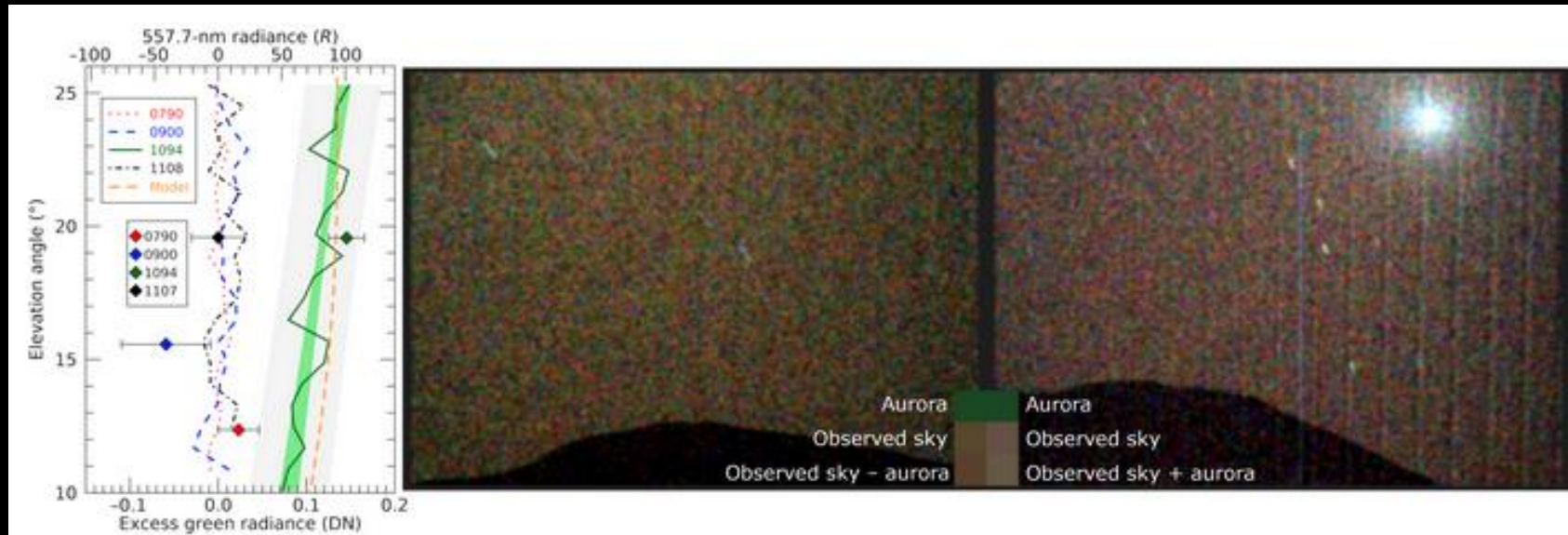
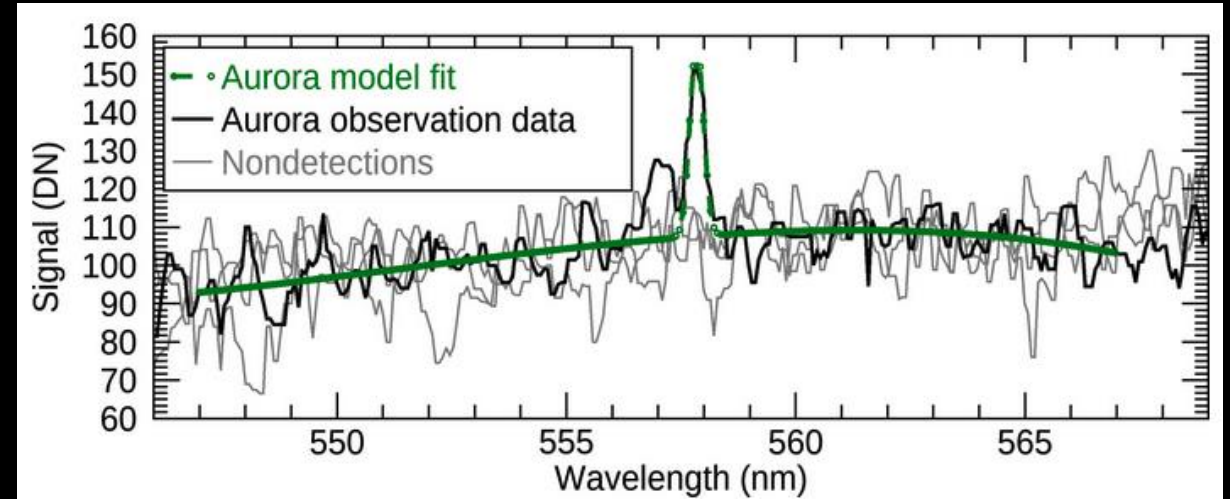
- ✓ Premières détections de décharges électriques qui prouvent l'existence de champs électriques sur Mars dans les dust devils et les tempêtes de poussières.
- ✓ Longtemps suspectées, jamais mises en évidence.
- ✓ Implications majeures pour la chimie de la surface et de l'atmosphère:
 - ✓ Production d'oxidants puissants (H_2O_2)
 - ✓ Destruction des organiques à la surface
 - ✓ Accélération de la destruction du méthane atmosphérique

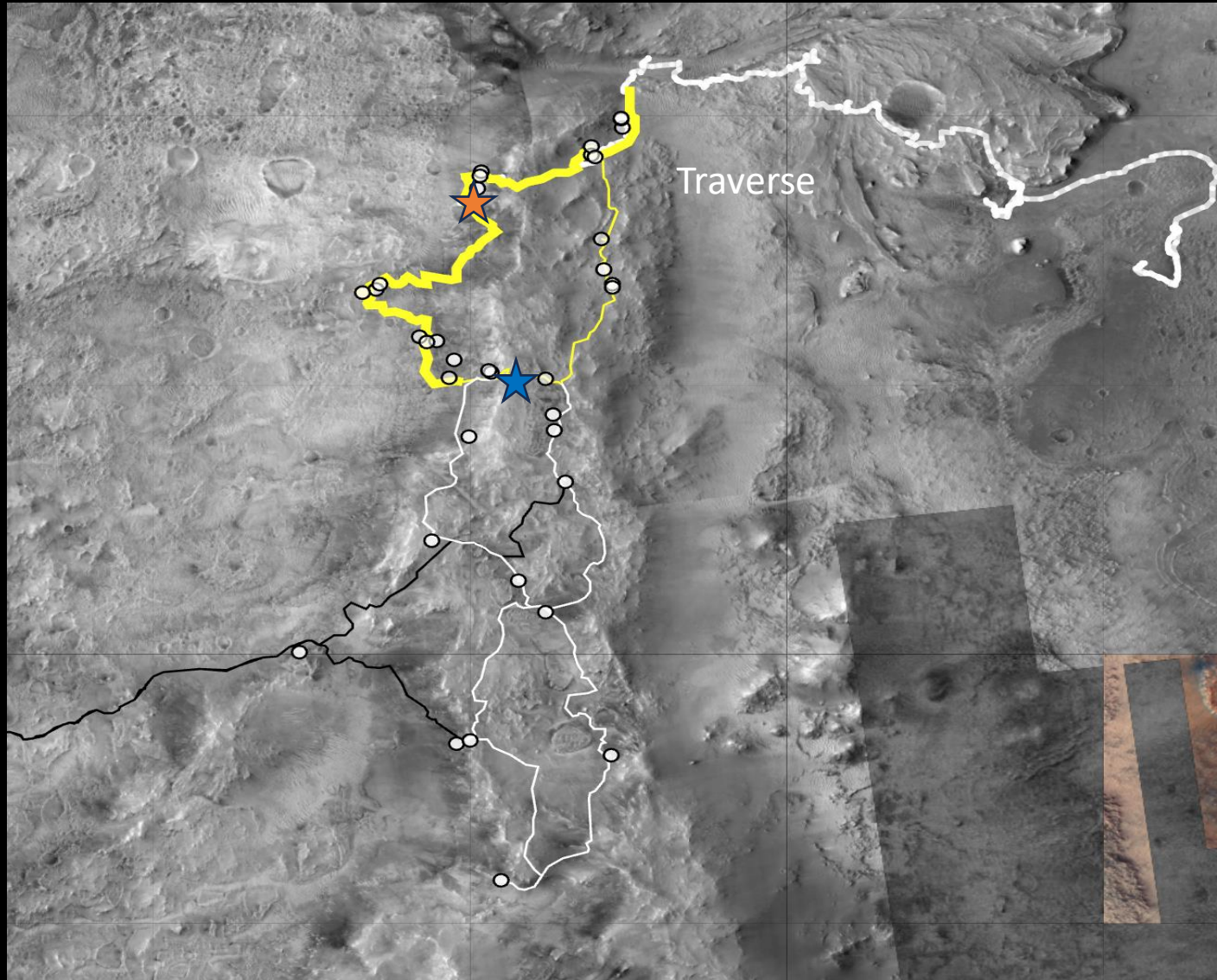


Environnement

- 1^{ère} aurore diffuse observée in-situ dans le visible
- Belle collaboration entre MastCam-Z et SuperCam
- Démontre l'existence de telles aurores sur Mars

=> Prédiction des aurores grâce à la météo de l'espace
=> Etude de l'atmosphère (composition, pression) via différentes longueurs d'onde





- Exploration du bord du cratère continue
Ce n'est que le début !



Merci de votre attention

