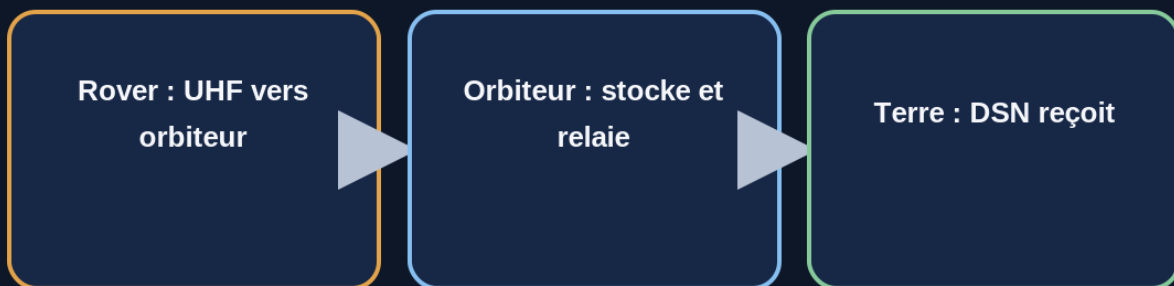


AM-10.04 — Réseau relais martien : UHF vers l'orbiteur, X-band vers la Terre

Pourquoi un rover martien envoie-t-il la majorité de ses données scientifiques à un orbiteur au lieu de viser directement la Terre ?

AM-10.04 · SPACE ACADEMY

Deux sauts plutôt qu'un seul



Delta-Sierra · Space Academy

La liaison locale rapide vers un orbiteur permet d'éviter de demander au petit rover de réaliser seul toute la liaison interplanétaire.

1 - Comprendre la scène

Un rover possède peu de puissance, une antenne relativement petite et passe environ la moitié de chaque journée martienne sans voir directement la Terre à cause de la rotation de Mars. Au-dessus de lui, un orbiteur passe régulièrement à quelques centaines ou milliers de kilomètres. Il est beaucoup plus facile d'envoyer rapidement des données à cet orbiteur, puis de laisser celui-ci utiliser une antenne et une puissance supérieures pour joindre la Terre.

NASA décrit le Mars Relay Network comme une infrastructure internationale. En 2026, après la fin de MAVEN annoncée le 3 juin 2026, la page NASA Science indique quatre engins dans le réseau opérationnel de relais. Les détails changent avec la vie des missions : une architecture durable doit donc penser remplacement et redondance.

2 - Vocabulaire essentiel

Relais - Équipement qui reçoit des données puis les retransmet vers une autre destination.

UHF - Ultra High Frequency, bande radio utilisée notamment pour des liaisons de proximité rover-orbiteur autour de Mars.

X-band - Bande micro-onde fréquemment utilisée pour les communications spatiales lointaines.

Direct-to-Earth - Liaison où le véhicule de surface communique directement avec une station terrestre, sans relais orbital.

Session de relais - Période durant laquelle rover et orbiteur sont géométriquement visibles et planifient un échange de données.

DSN - Deep Space Network : réseau NASA de grandes antennes au sol communiquant avec les missions lointaines.

3 - Mécanisme pas à pas

1. Rover vers orbiteur

Perseverance dispose d'une radio UHF autour de 400 MHz pour communiquer avec les orbiteurs. NASA indique que ce lien peut atteindre jusqu'à environ 2 Mbit/s selon les conditions, bien plus que le direct Terre du rover.

2. Orbiteur stocke et retransmet

L'orbiteur reçoit les paquets pendant son passage, les stocke, puis utilise sa liaison lointaine et sa géométrie favorable pour les transmettre vers la Terre.

3. Terre reçoit via grands réseaux

Les antennes au sol, dont le DSN, suivent les orbiteurs. Le relais dissocie ainsi la courte liaison locale Mars-surface/orbite de la liaison interplanétaire très longue.

4 - Formules et lecture

$$\text{volume} = \text{débit} \times \text{durée}$$

« volume de données égale débit multiplié par durée ».

Un passage de relais n'est pas seulement un débit instantané : la quantité transférée dépend aussi de la durée pendant laquelle la liaison est utilisable.

$$\text{temps} = \text{volume} / \text{débit}$$

« temps égale volume divisé par débit ».

Pour estimer combien de temps il faut pour vider une mémoire, on divise la quantité à transmettre par le débit utile.

5 - Unités et vérification

Le débit s'exprime en bit/s, kbit/s ou Mbit/s. Le volume s'exprime en bits ou octets ; 1 octet = 8 bits. Pour éviter les confusions, le cours recommande de convertir les deux grandeurs dans la même famille avant un calcul.

Un débit de 2 Mbit/s ne signifie pas 2 Mo/s : huit bits font un octet, et les protocoles réduisent encore le débit utile disponible pour la charge scientifique.

6 - Trois démonstrations

Exemple 1 — Passage de 10 minutes

Prenons un débit pédagogique constant de 2 Mbit/s pendant 10 min.

10 min = 600 s
volume = 2 Mbit/s $\times$ 600 s
volume = 1200 Mbit $\approx$ 150 MB

Conclusion: C'est une limite idéale avant protocoles et variations de liaison.

Exemple 2 — Mémoire à vider

Un rover a 600 Mbit à transférer et dispose d'un débit utile de 1,5 Mbit/s.

temps = 600 $\div$ 1.5
temps = 400 s
400 s $\approx$ 6 min 40 s

Conclusion: Le débit seul ne suffit pas : il faut aussi une fenêtre de visibilité d'au moins cette durée.

Exemple 3 — Direct Terre lent

Si une liaison directe n'offre pédagogiquement que 1 kbit/s pour un fichier de 80 Mbit :

```
temps = 80,000 kbit ÷ 1 kbit/s  
temps = 80,000 s  
≈ 22.2 h
```

Conclusion: Cela illustre pourquoi le relais orbital change radicalement le volume scientifique récupérable.

7 - Approfondissement

Le réseau change avec le temps

Les orbiteurs vieillissent et peuvent disparaître. La perte de MAVEN rappelle qu'une colonisation ne peut pas considérer les relais comme éternels ; il faut lancer des remplaçants avant la fin de vie des anciens.

Plusieurs partenaires

NASA et ESA coopèrent déjà autour de Mars. Une infrastructure de colonisation pourrait pousser plus loin cette mutualisation, tout en gérant priorités, standards et souveraineté des communications.

Stocker pour découpler

Le principe store-and-forward permet au rover de produire des données sans disposer en permanence d'une liaison interplanétaire. L'orbiteur devient une file d'attente volante.

Relais et sécurité

Les commandes critiques ne doivent pas dépendre d'un unique relais. Les architectures sérieuses combinent chemins alternatifs, direct Terre dégradé, plusieurs orbiteurs et autonomie locale.

8 - Pourquoi cela compte pour Mars

Le Mars Relay Network est déjà une démonstration de l'importance des infrastructures partagées : les missions de surface produisent davantage de science parce que les orbiteurs transportent une grande partie de leurs données vers la Terre.

Pour une ville martienne, le besoin ne sera plus seulement scientifique : maintenance, télémédecine différée, mises à jour logicielles, archives, synchronisation de données et coordination de flotte exigeront une capacité de relais beaucoup plus importante et redondante.

9 - Pièges fréquents

- Confondre débit du lien UHF rover-orbiteur et débit final jusqu'à la Terre.
- Supposer qu'un orbiteur est toujours visible depuis le rover.
- Confondre Mbit/s et MB/s.
- Croire que le réseau actuel suffirait tel quel à une colonie humaine.
- Concevoir un système sans mode direct Terre ou chemin de secours.

10 - Exercices guidés

Question: À 1 Mbit/s pendant 5 min, combien de Mbit idéaux ?

Réponse: 5 min = 300 s ; volume = 1 × 300 = 300 Mbit.

Question: Pourquoi un orbiteur peut-il mieux joindre la Terre qu'un rover ?

Réponse: Il dispose généralement de davantage de puissance, d'une antenne plus capable, d'une meilleure visibilité et peut consacrer une partie de sa mission au relais.

Question: Pourquoi quatre orbiteurs n'impliquent-ils pas une couverture continue parfaite ?

Réponse: Leurs orbites, priorités, pannes, géométrie et sessions planifiées limitent les fenêtres ; le nombre d'engins seul ne garantit pas la disponibilité.

11 - À savoir expliquer

- Décrire la chaîne rover UHF → orbiteur → Terre.
- Expliquer pourquoi le relais augmente le volume de données.
- Convertir Mbit/s, secondes et volume de données dans des exemples simples.
- Distinguer direct-to-Earth et relais.
- Expliquer pourquoi une infrastructure coloniale devra être redondante et renouvelée.

12 - Sources NASA / JPL

NASA Science - Mars Relay Network

<https://science.nasa.gov/mars/mars-relay-network/>

NASA Science - Mars 2020 rover components

<https://science.nasa.gov/mission/mars-2020-perseverance/rover-components/>

NASA - What is the Deep Space Network?

<https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/what-is-the-deep-space-network/>

Ressource pédagogique libre : ce cours explique les principes pour un public débutant. Il ne remplace ni la conception de mission, ni les modèles de vol opérationnels, ni les procédures, essais et validations d'une agence spatiale.