

# La Conquête de MARS :

## L'Homme sera devancé par ses réseaux de télécommunication

Jérémie BENOIST<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CNES (Centre National d'Etudes Spatiales)  
18 avenue Edouard Belin 31401 Toulouse Cedex 4, France

Jeremie.Benoist@cnes.fr

**Résumé** – Ce papier traite de la réalisation d'un standard de communication pour les missions martiennes du futur (dès 2001), lesquelles prépareront la conquête de MARS par l'homme. Le CNES participe à l'élaboration du premier standard de télécommunication « extra planétaire » en collaboration avec les autres agences spatiales. C'est la première tentative de standardisation inter agence dans le domaine de l'exploration spatiale pour ce qui est des communications « in situ » interplanétaires.

**Abstract** – This document presents the future space telecommunication standard which is under study for Martian missions that will prepare MARS human exploration. The CNES collaborate to the elaboration of the first extra-planetary telecommunication standard with other space agencies. This is the first interagency standardization try relating to proximity links between extra-planetary orbiters and landers.

### 1. Introduction



Pour beaucoup la conquête par l'homme de notre planète sœur, MARS, sera l'événement majeur du XXI<sup>e</sup> siècle.

Cette conquête se prépare dès aujourd'hui, au CNES y compris, car l'homme sera précédé d'une multitude d'engins automatiques qui, mission après mission, feront avancer nos connaissances de ce milieu hostile, glacé et lointain qu'est MARS. En effet, peu d'analogies sont envisageables avec les quelques sauts de puces qu'ont constitués il y a aujourd'hui 30 ans les missions APOLLO sur la LUNE : durée courte des missions (retour d'urgence envisageable à tout moment), liaisons radio directes depuis la TERRE, etc..

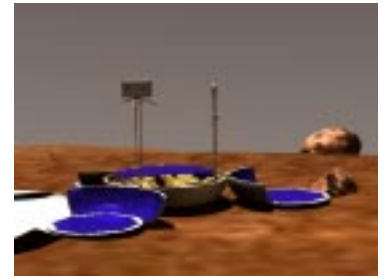
Dans le cas de MARS, tout devra être prêt à l'avance : relais radio, signaux de navigation, ravitaillement, carburant produit sur place. En effet, on ne sait pas imaginer avec les techniques actuelles une mission inférieure à 3 ans (9 mois sur le sol de MARS).

### 2. La conquête de MARS (étapes)

#### 2.1 Phase 1

Exploration automatique de la planète avec comme principal objectif de mieux connaître MARS, sa géologie, son atmosphère, sa formation, sa géographie, etc..

Ex : VIKING 1 & 2 (USA, 1975), MARS GLOBAL SURVEYOR (USA, 1996), BEAGLE2 (GB, 2003), NETLANDER (France, 2005), MARS SAMPLE RETURN (USA-France, 2005-2007).



#### 2.2 Phase 2

Exploration automatique en vue de préparer la survie de l'homme à la surface de MARS (climatologie, présence d'eau, tests de technologies, etc...)

Ex : MARS SURVEYOR (USA, 2001), MARS EXPRESS (ESA, 2003)

#### 2.3 Phase 3

Analyse du comportement humain dans le milieu spatial que ce soit au niveau physiologique que psychique sachant que les missions envisageables dureront au moins deux ans.

Ex : MIR (Russie), ISS (USA, RUSSIE, 1999)

## 2.4 Phase 4

Installation des infrastructures en vue d'accueillir l'homme sur MARS (relais radio, satellites de navigation, unités de production d'ergols)

Ex : Satellites aérostationnaires MARSAT 1 & 2 (USA, 2005 & 2007), microsatellites relais ASAP (USA, 2003)

## 2.5 Phase 5

Expéditions humaines d'exploration.

Ex : « Reference Mission » (USA, 2009)

L'homme sur MARS sera précédé par ses technologies de l'information.

## 3. Les besoins en terme de télécommunication

Ce défi colossal qu'est la conquête de MARS ne se fera pas sans une entière collaboration entre toutes les nations spatiales, autant au niveau financier que technique. Les liens que sont en train de tisser Américains et Russes à bord de l'ISS en sont un parfait exemple. En ce qui concerne plus particulièrement MARS, l'orbiteur européen MARS EXPRESS (2003) servira de relais de communication autant aux atterrisseurs américains (MSR), anglais (BEAGLE2) que français (NETLANDER). C'est pour ces raisons que les spécialistes de chaque agence sont en train d'élaborer ensemble un standard répondant aux besoins d'harmonisation des liaisons de télécommunications.

La multiplication des missions, le nombre croissant d'instruments embarqués, font que les besoins en terme de débit entre MARS et la TERRE seront croissants. Ils décupleront quand l'homme posera le pied sur MARS.

### 3.1 Les missions automatiques

La prochaine décennie verra l'envoi d'un certain nombre de missions automatiques sur le sol de MARS, qui représentent relativement peu d'atterrisseurs, certains ayant des liaisons redondantes directes avec la TERRE. Les besoins en terme de débit restent relativement faibles : quelques mégabits de données par jour. La taille de ces stations ne permettant pas d'embarquer de système de communication directe avec la Terre, des orbiteurs doivent assurer le relais des signaux avec la Terre.

Dans un second temps, les besoins s'exprimeront par un nombre toujours plus grand de stations sol (réseau de stations météo ou de production d'ergols), lesquelles auront toujours plus de données à transmettre (images) ainsi que par des besoins de positionnement et radionavigation. En effet, il deviendra nécessaire, d'une part, de repérer les sites intéressants (présence d'eau ou d'échantillons) et, d'autre part, d'y guider ultérieurement de futures missions. Des liaisons intersatellites sont même envisageables afin d'optimiser le retour des données vers la TERRE à travers un satellite relais passerelle.

## 3.2 L'exploration humaine

On peut imaginer nombre d'informations à échanger entre la TERRE et MARS lors de cet événement. La NASA compte sur des transmissions optiques à base de LASER pour atteindre des débits de l'ordre de quelques 100 Mbit/s (à 2.5 unités astronomiques = 400 millions de km). Toute l'infrastructure de radiocommunication sera mise en place et opérationnelle pour cet événement.

## 4. Embryon du futur standard

Dès aujourd'hui, les différentes agences spatiales impliquées préparent les standards de communication qui permettront dès les missions martiennes 2003 d'interopérer les différents orbiteurs avec les missions au sol.

### 4.1 Synoptiques des différentes liaisons envisagées

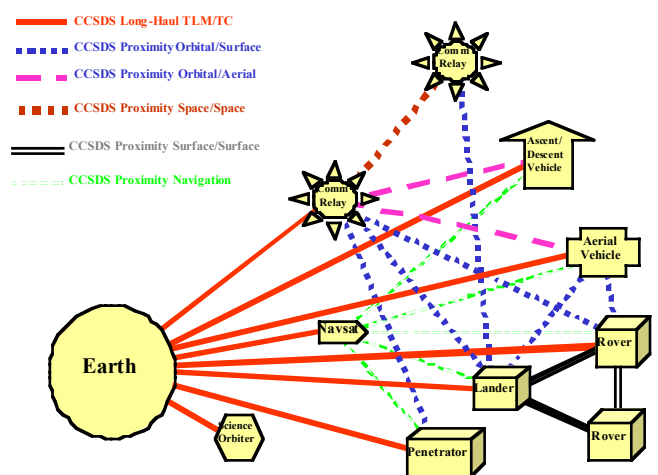


FIG. 1 : Différents types de liaisons (source JPL)

L'organisme international chargé de la standardisation des liaisons de télécommunications spatiales est le CCSDS (« Consultative Committee for Space Data Systems »). Il regroupe toutes les agences spatiales qui fournissent à chaque commission ou « panel » les spécialistes correspondant.

Les différentes liaisons « longue distance » avec la Terre sont basées sur les infrastructures terriennes bien connues : le DSN (« Deep Space Network » des USA) ou son équivalent européen. Cela implique que les communications de ce type utilisent les standards existants de TM/TC. Des améliorations sont envisagées sur ces standards afin, notamment, de prendre en compte les besoins des missions vers MARS :

- liaisons de TM/TC haut débit (choix des bandes de fréquence, des débits et modulations nécessaires),
- liaisons à haute efficacité spectrale (Turbo-Codes),
- problèmes liés à la collocalisation des relais de TM/TC vus de la TERRE.

Le standard en cours d'élaboration porte sur les liaisons de proximités ou « in situ » entre les éléments de surface et des orbiteurs relais.

D'ores et déjà, des études portent sur les signaux de navigation qui dès 2007 devraient permettre de repérer des éléments au sol très précisément.

## 4.2 Liaisons de proximité Orbiteurs / Surface

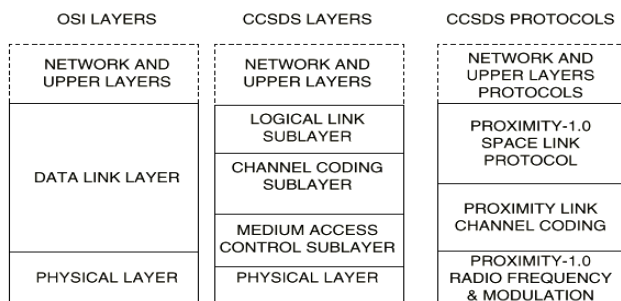


FIG. 2 : lien avec le modèle OSI

Les travaux portent sur les différentes couches définies par le CCSDS pour à la fois garantir l'efficacité de chaque transmission et assurer la compatibilité entre les différents réseaux (figure 2).

### 4.2.1 Couche physique (Physical Layer)

Le contexte économique difficile qui favorise le rapprochement des agences spatiales afin de faire concourir les moyens financiers pousse également les ingénieurs à trouver des solutions simples, moins onéreuses mais éprouvées. Ainsi les couches physiques établies pour les missions MARS96 et MARS ORSERVER (MARS BALLOON RELAY du CNES) sont retenues pour les liaisons de proximité (surface à orbiteurs). Le codage canal est constitué du très classique VITERBI (7 ;  $\frac{1}{2}$ ) dont les performances sont très appréciables compte tenu de sa simplicité de mise en œuvre (composants codeurs / décodeurs commerciaux).

TAB.1 : Caractéristiques couche physique

	Liaison montante (télémétrie)	Liaison descendante (télécommande)
Fréquences	401,4 à 407,1 MHz (20 canaux de 300kHz)	432,9 à 439,2 MHz 4 canaux de 2,1MHz
Modulation	BPSK (indice de modulation de 60°)	
Codage source	Biphase-L (Manchester)	
Codage canal	Codage convolutionnel VITERBI (7 ; $\frac{1}{2}$ )	
Rythme	8, 16, ..., 256 kbit/s	8 kbit/s
Polarisation	Polarisation circulaire droite	

Les besoins en terme de débit restent relativement restreints, cependant le standard prévoit une extension des rythmes télémétrie jusqu'à 2096 kbit/s. L'utilisation d'une modulation de phase à porteuse résiduelle présente comme principal intérêt la simplicité des architectures récepteurs (identique à celle des balises ARGOS actuelles, 1976). De plus, les préoccupations d'occupation spectrale n'existant pas pour le moment, d'autres types de modulation ne sont pas requis.

### 4.2.2 Couche de contrôle des accès (Medium Access Control Sublayer)

Le protocole doit être assez souple pour assurer les différents types de liaisons orbiteur / surface qui peuvent être rencontrés. En effet, certaines missions ont des capacités de télécommunication très faibles et ponctuelles (stations météo fonctionnant toujours en mode simplex) alors que d'autres nécessitent une très haute interactivité (Rover du JPL en mode full-duplex).

TAB. 2 : classification des équipements radio au sol

Catégorie	Description
L1	Emetteur seul
L2	Emetteur et récepteur
L2n	Emetteur et récepteur exclusivement non cohérents (transceiver)
L2c	Emetteur et récepteur cohérents (transponder)
L2d	Emetteur et détecteur de signal

Les stratégies d'accès retenues sont très simples du fait que le nombre d'éléments au sol sera relativement restreint durant la prochaine décennie tout du moins. Cela n'empêche pas qu'il y aura des visibilité simultanées entre un satellite relais et différents atterrisseurs.

#### 4.2.2.1 Catégorie L1

Les systèmes simplex ne sont pas accessibles, ils émettent de manière indépendante suivant un plan prédéfini.

#### 4.2.2.2 Catégorie L2d

Ce type de système s'apparente aux système simplex, en effet, c'est un émetteur simplex auquel est adjoint un détecteur de tons ou de puissance qui autorise l'émission. Le satellite relais commande l'émission par l'envoi simple d'un ton ou d'une série prédéfinie de tons pour adressage.

#### 4.2.2.3 Catégories L2, L2n et L2c

Du point de vue de l'accès ces systèmes duplex (full- ou half-duplex) sont similaires. L'initiative d'une liaison vient toujours d'un satellite relais qui « hèle » l'élément au sol avec lequel il doit établir la liaison. Parmi les 4 canaux définis pour la liaison descendante seul le canal 437.1 MHz est aujourd'hui envisagé. D'autre part les élément au sol ne peuvent et ne doivent émettre qu'à la stricte condition qu'ils y soient autoriser par le relais. La directive d'appel adresse non seulement l'élément au sol mais définit également quel doit être son canal d'émission, le débit utilisé, etc...

### 4.2.3 Couche protocole

Le formatage proposé est largement inspiré de celui des liaisons télécommande spatiales terrestres. Il assure pour la liaison la protection des données, leur aiguillage et, surtout, présente l'avantage d'être connu et reconnu dans le domaine spatial et donc facilement transposable. Des composants spatiaux, i.e. résistant à l'environnement spatial, existent aujourd'hui « sur étagère » pour gérer le formatage / déformatage des données, le codage / décodage, etc...

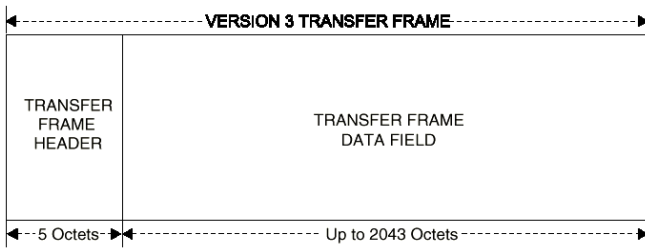


FIG. 3 : Structure des trames de transfert

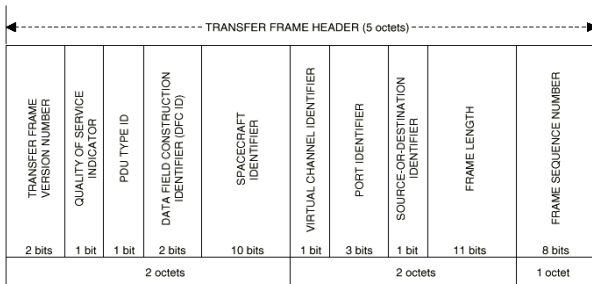


FIG. 4 : Structure de l'entête des trames

Les trames définies sont précédées par un mot de synchronisation de longueur 24 bits (0xFAF320). Il doit être long de 32 bits (TBD) dans le cas de l'utilisation du codage de bloc REED-SOLOMON.

Un mot de redondance CRC (Cyclic Redundancy code) de 32 bit est appliqué et accolé en fin de chaque trame, utilisant le polynôme générateur suivant :

$$x^{32} + x^{23} + x^{21} + x^{11} + x^2 + x \quad (1)$$

Ce mot de redondance n'est pas requis si un codage de REED-SOLOMON est appliqué.

### 4.3 Evolutions futures du standard extraplanétaire

Le standard va évoluer sur cette base afin de répondre aux besoins qui apparaîtront au fil du temps : positionnement (objectif : 20 m), radionavigation temps réelles (objectifs : 200 m), hauts débits (100 Mbit/s), accès multiples (plusieurs satellites relais et de multiples éléments au sol).

La NASA, par exemple, a proposé de faire de MARS un des nœuds de la « pieuvre » Internet. Cela serait l'émergence d'une nouvelle version du standard TCI/IP, dédié aux liaisons spatiales et donc résistant à de longs délais de transmission (jusqu'à 23 minutes entre la TERRE et MARS). Ces travaux portent sur les couches « réseau » et supérieures du modèle OSI (voir figure 2). Les protocoles existants, FTP (File Transfert Protocol), TCP (Transmission Control Protocol) et IP (Internet Protocol), ont fait l'objet de proposition de spatialisation nommée SCPS (Sample CCSDS Protocols Specification). En outre, cela impliquerait de rajouter un suffixe à l'adresse Internet qui correspondrait à la planète. Par exemple [www.cnes.fr.earth](http://www.cnes.fr.earth) ou bien [www.netlander1cnes.fr.mars](http://www.netlander1cnes.fr.mars).

## 5. Conclusion : MARS, un laboratoire pour le traitement du signal et de l'image

MARS sera un terrain d'application formidable pour les technologies des télécommunications en général mais aussi pour les techniques de traitement du signal et de l'image :

- pour les systèmes de communication : mise en œuvre du turbo codage, compression des données, etc.
- pour les systèmes de prise de vue : compression, traitement des images, etc.
- pour les robots : reconstruction 3D, intelligence artificielle, reconnaissance de formes,
- pour les systèmes orbitaux : intelligence artificielle, logiciels résistants aux fautes,
- pour les scientifiques : séparation de sources, filtrage, etc.

## Références

[1] CCSDS. *Proximity-1.0 Space Link Protocol*. CCSDS 211.0-W-3, White Book, April 1999.  
 [2] <http://www.jpl.nasa.gov>  
 [3] <http://cnes.fr>  
 [4] [http://netlander@www-projet.cst.cnes.fr:8060/](mailto:netlander@www-projet.cst.cnes.fr:8060/)  
 [5] <http://www.multimania.com/labrot/main.html>