

# RFC 9717 : A Routing Architecture for Satellite Networks

Stéphane Bortzmeyer  
<stephane+blog@bortzmeyer.org>

Première rédaction de cet article le 29 janvier 2025

Date de publication du RFC : Janvier 2025

<https://www.bortzmeyer.org/9717.html>

---

Tout le monde connaît aujourd'hui l'utilisation de constellations de satellites en orbite basse pour les télécommunications et, par exemple, pour l'accès à l'Internet. Contrairement à l'ancienne technique de communication via des satellites en orbite géostationnaire, la communication directe entre satellites y joue un rôle important. Les satellites se déplacent les uns par rapport aux autres, changeant en permanence la topologie de ce réseau. Alors, comment se fait le routage ? Ce RFC décrit une méthode possible, reposant largement sur le protocole IS-IS.

Ce n'est pas forcément la technique réellement utilisée. Les constellations existantes, dont la plus connue est Starlink, sont des entreprises privées, très secrètes, et qui ne décrivent pas leur configuration interne. Ce RFC est donc un travail de réflexion, mené à partir des rares informations publiques. Il ne peut pas spécifier une solution complète. Si vous envisagez de créer une constellation, il vous restera du travail pour avoir une solution de routage.

D'abord, il faut voir les particularités de ce réseau de satellites. Il est bien moins fiable qu'un réseau terrestre (l'espace est agité, un satellite en panne n'est pas facile à réparer) et il est tout le temps en mouvement. Ce rythme important de changement est un défi pour les protocoles de routage. Sauf si les satellites sont exactement sur la même orbite, leur mouvement relatif fait qu'on a une possibilité de communiquer à certains moments seulement, voire quasiment jamais. Si deux satellites se déplacent en direction opposée, leur vitesse relative, de l'ordre de dizaines de milliers de km/h, ne permettra guère de communication entre eux.

Par contre, un point qui va faciliter les choses est que ces mouvements, et donc l'établissement et la coupure du lien, sont prévisibles. On peut compter sur Kepler et Newton !

La section 1.2 du RFC rappelle le vocabulaire important. Notons le sigle ISL, pour *"Inter-Satellite Link"*, la liaison directe entre satellites, typiquement via un faisceau laser. (Le RFC cite ce très vieil article de Bell, « *"On the Production and Reproduction of Sound by Light"* <<https://zenodo.org/records/>

1450056> ».) Si vous ne le connaissez pas, il faut aussi apprendre le sigle LEO, pour "Low Earth Orbit", désignant les satellites qui orbitent à moins de 2 000 km de la surface de la Terre. On utilisera aussi SR ("Segment Routing"), la technique du routage par segments, décrite dans le RFC 8402<sup>1</sup> et SID ("Segment Identifier"), qui vient de cette technique. Et IS-IS ("Intermediate System to Intermediate System")? Ce protocole de routage est normalisé par l'ISO (et donc la spécification n'est normalement pas librement disponible) mais il est aussi décrit dans le RFC 1142 et le RFC 1195 explique comment s'en servir pour IP. Attention : c'est un vieux RFC, datant d'une époque où on pensait encore que les protocoles OSI avaient peut-être un avenir (aujourd'hui, ils n'ont même pas de page Wikipédia). Le RFC 1195 se concentre donc sur la possibilité d'utiliser IS-IS pour router à la fois OSI et TCP/IP. Aujourd'hui, il ne sert plus qu'aux protocoles Internet.

La section 2 de notre RFC rappelle les points essentiels des satellites LEO, qui vont impacter les choix techniques. Quand deux satellites se parlent via un ISL ("Inter-Satellite Link"), la liaison ne peut avoir qu'une durée limitée, les deux satellites ne restant pas visibles l'un par l'autre éternellement, s'ils sont sur des orbites différentes. Par contre, les périodes de visibilité et de non-visibilité peuvent être calculées à l'avance, on peut compter sur les lois de la physique.

Les constellations peuvent être de grande taille. En 2021, déjà, celle du milliardaire d'extrême-droite représentait un tiers du total des satellites en orbite <<https://www.cnn.com/2021/02/11/tech/spacex-starlink-satellites-1000-scn/index.html>>. Aujourd'hui, des constellations de dizaines de milliers de satellites sont prévues (occupant l'espace public et bloquant la visibilité sans vergogne). Les protocoles de routage traditionnels peuvent gérer des réseaux de grande taille mais à condition qu'ils soient relativement statiques, avec juste une panne ou une addition d'un lien de temps en temps, ce qui n'est pas le cas pour des réseaux de satellites en mouvement. L'IETF a sous la main deux protocoles de routage normalisés pour les réseaux mono-organisation, OSPF (RFC 2328 et RFC 5340) et IS-IS (RFC 1195). (Il existe d'autres protocoles pour ces réseaux mais convenant plutôt à des réseaux plus petits.) Tous les deux sont à état des liaisons et, pour passer à l'échelle, tous les deux permettent de partitionner le réseau en zones ("areas") à l'intérieur desquelles l'information de routage est complète, alors qu'entre zones, on ne passe qu'une partie de l'information. Dans OSPF, il y a forcément une zone spéciale, l'épine dorsale ("backbone", la zone de numéro 0). Rien que pour cela, le RFC estime qu'OSPF ne serait pas un bon choix : contrairement aux réseaux terrestres, les constellations n'ont rien qui pourrait servir d'épine dorsale. IS-IS repose sur un système différent, où des zones dites « L1 » (de niveau 1) regroupent des parties du réseau qui ne servent pas au transit entre zones, qui est assuré par des zones « L2 ». La machine individuelle peut aussi bien être dans L1 que dans L2 ou même dans les deux. Si on adoptait le système simple de mettre chaque satellite dans une zone L2 (puisque tout satellite peut servir au transit), on perdrait tous les avantages du partitionnement. L'utilisation de IS-IS va donc nécessiter des ajustements.

La section 3 du RFC expose le mécanisme de transmission des paquets choisis. Elle propose d'utiliser MPLS (RFC 3031), en raison de sa souplesse (puisque la topologie change tout le temps), avec le SR ("Segment Routing") du RFC 8402 (et RFC 8660 pour son adaptation à MPLS). Dans cette vision, il n'y a pas de transmission au niveau IP et donc un traceroute ne montrerait pas le trajet entre les satellites.

Reste le choix de l'IGP. La section 4 décrit la préférence de l'auteur pour IS-IS. Dans cette hypothèse, tous les satellites seraient des nœuds L1L2 (appartenance aux deux types de zones). Le passage à l'échelle serait assuré grâce au système des relais, normalisé dans le RFC 9666. Un réseau de 1 000 zones L1, chacune comportant 1 000 satellites, n'aurait besoin que de mille entrées (et pas un million) dans ses tables de routage, aussi bien L1 que L2. Idem pour la table des étiquettes MPLS.

---

1. Pour voir le RFC de numéro NNN, <https://www.ietf.org/rfc/rfcNNN.txt>, par exemple <https://www.ietf.org/rfc/rfc8402.txt>

La section 5 introduit le concept de bande ("*stripe*"). La bande est un ensemble de satellites dont les orbites sont suffisamment proches pour que la connectivité entre eux change peu.

On l'a dit, une particularité importante des réseaux de satellites est la prévisibilité des coupures. Un calcul de mécanique céleste permet de dire quand deux satellites ne pourront plus communiquer. On peut bien sûr router comme s'il s'agissait de pannes imprévues, mais on améliorera certainement la qualité du routage (et on diminuera le nombre de pertes de paquets lorsque la topologie change) si on prévient les satellites à l'avance. Par exemple, une fois informés d'un changement proche, les routeurs peuvent annoncer une métrique très élevée pour les ISL qui vont bientôt être coupés, comme on le fait sur les réseaux terrestres quand une maintenance est prévue. Il y a une proposition concrète d'un mécanisme d'information dans le brouillon `draft-ietf-tvr-schedule-yang`.

Quelques lectures recommandées par notre RFC :

- une étude de 2023 de la documentation disponible, « *LEO Satellite Networking Relunched : Survey and Current Research Challenges* » <<https://arxiv.org/pdf/2310.07646.pdf>> »,
- une précédente analyse de l'utilisation de protocoles de routage à état des liens pour les satellites, « *Dynamic Routings in Satellite Networks : An Overview* » <<https://www.mdpi.com/1424-8220/22/12/4552/pdf?version=1655449925>> »,
- et une autre, « *ASER : Scalable Distributed Routing Protocol for LEO Satellite Networks* » <<https://doi.org/10.1109/LCN52139.2021.9524989>> ».