

# L'arrivée de constellations géantes de satellites

**Le progrès des techniques spatiales permet d'envisager le développement rapide des réseaux d'Internet rapide par satellites. De nombreux opérateurs se sont lancés dans ce créneau mais la rentabilité n'est pas encore acquise.**

## Un marché encore ouvert

Le besoin en Internet dans de nombreuses régions du globe non encore desservies a poussé un certain nombre d'opérateurs à entamer le développement de constellations géantes de satellites pour couvrir ce marché. Après l'abandon du projet de constellation LeoSat et la quasi-mise en faillite de OneWeb en mars 2020, on pouvait craindre l'abandon d'une grande partie des projets. Mais la reprise de OneWeb par le gouvernement britannique et le conglomérat indien Bharti confirme l'engouement actuel pour ce concept. D'un autre côté, SpaceX accélère les lancements pour sa constellation de télécommunications Starlink, en plaçant en orbite quelque 500

satellites en quelques mois. Le positionnement en orbite basse (500 à 1 200 km) permet un temps de latence beaucoup plus court que les satellites géostationnaires situés à 36 000 km. Cette faculté rend ces réseaux concurrentiels avec les réseaux terrestres câblés.

A côté de ces géants se trouvent des projets plus modestes qui visent le développement du marché de l'Internet des objets comme la constellation Kineis à l'initiative du CNES destinée au suivi des objets en mer. De nombreux projets visent des marchés précis comme la gestion des flottes, l'agriculture raisonnée ou le suivi des pêches, et peuvent en conséquence offrir un retour sur investissement plus assuré

que les projets gigantesques de SpaceX, OneWeb ou Amazon.

En multipliant le nombre de satellites, les projets de méga-constellations soulèvent des inquiétudes et critiques à travers le monde. D'une petite dizaine de milliers en 2020, ces objets seraient en effet plusieurs dizaines de milliers à moyen terme.

## Un projet ambitieux de SpaceX : Starlink.

Initié par SpaceX en janvier 2015, le projet Starlink prévoit le lancement de 12 000 puis 42 000 mini-satellites pour offrir un service Internet à haut débit partout sur la planète, surtout dans les zones qui sont peu ou pas



Photo 1 : Un empilement de satellites Starlink, juste avant leur mise sous coiffe – Crédit : SpaceX.

●●● du tout desservies par un accès Internet câblé.

Un premier déploiement massif de 60 satellites a été effectué en mai 2019 par un lanceur unique Falcon 9 portant une charge utile totale de 13 620 kg. Ces 60 satellites étaient censés permettre d'identifier les problèmes de conception résiduels en vérifiant les procédures de déploiement et de « désorbitage » ainsi que le fonctionnement opérationnel. Ils font partie de la première phase du déploiement de la constellation qui porte sur 1 584 satellites destinés à être placés sur une orbite de 550 km avec une inclinaison orbitale de 53°. Le déploiement des satellites de cette phase nécessitera l'utilisation de 24 lanceurs Falcon 9.

Aujourd'hui la constellation compte plus de 500 satellites ce qui doit lui permettre d'ouvrir un service commercial sur l'Atlantique Nord d'ici la fin de l'année 2020. Une fois cette première constellation en place, SpaceX prévoit de lancer 7 518 satellites sur une orbite plus basse de 340 km pour garantir un débit plus élevé et pouvoir entrer en compétition avec les services assurés par des réseaux câblés terrestres.

Les premiers prototypes lancés en février 2018 avaient une taille de 1,1 x 0,7 x 0,7 m et comprenaient deux panneaux solaires de 2 x 8 m. Les satellites actuels sont de structure plate de façon à pouvoir être

empilés dans le lanceur (photo 1). Ils ont une masse de 260 kg, sont équipés d'un moteur ionique à krypton de façon à les rendre manœuvrants et ne possèdent plus qu'un seul panneau solaire. Ils sont équipés d'un système anticollision développé à partir des travaux du département de la défense américain.

On est encore loin des 42 000 satellites projetés mais SpaceX poursuit son programme au rythme de 38 lancements par an. Elon Musk estime que Starlink, avec 40 millions d'abonnés vers 2025 et un coût de développement et de mise en place évalué à 10 milliards de dollars américains, peut générer un chiffre d'affaires 10 fois supé-

rieur à l'activité des lanceurs de SpaceX, soit 30 milliards de dollars et ainsi financer les voyages vers Mars.

## Un petit géant : OneWeb

OneWeb est un projet de constellation plus modeste d'environ 600 satellites de télécommunications circulant sur une orbite basse destiné à fournir aux particuliers un accès à Internet à haut débit dans les régions non desservies par des liaisons terrestres. Contrairement à Starlink, la constellation sera placée sur une orbite polaire de 1 200 kilomètres. Six satellites prototypes, de dimensions 1,0 x 1,0 x 1,3 m et de masse de 147,7 kg, ont été placés en orbite le 27 février 2019 par une fusée Soyouz décollant depuis la Guyane. Après une phase de mise au point, les autres satellites devraient être déployés jusqu'en 2021, également par des lanceurs Soyouz emportant chacune une trentaine de satellites et par des lanceurs aéroportés légers LauncherOne. Un autre lancement de 34 satellites a eu lieu depuis le cosmodrome de Baïkonour en Russie le 7 février 2020 (photo 2).

L'industrie spatiale russe bénéficie du projet qui repose sur l'utilisation de plus de 20 lanceurs Soyouz pour un contrat d'un milliard de dollars, ainsi que sur la production en masse par la société russe Fakel des dispositifs de positionnement. Cependant les responsables politiques russes auraient

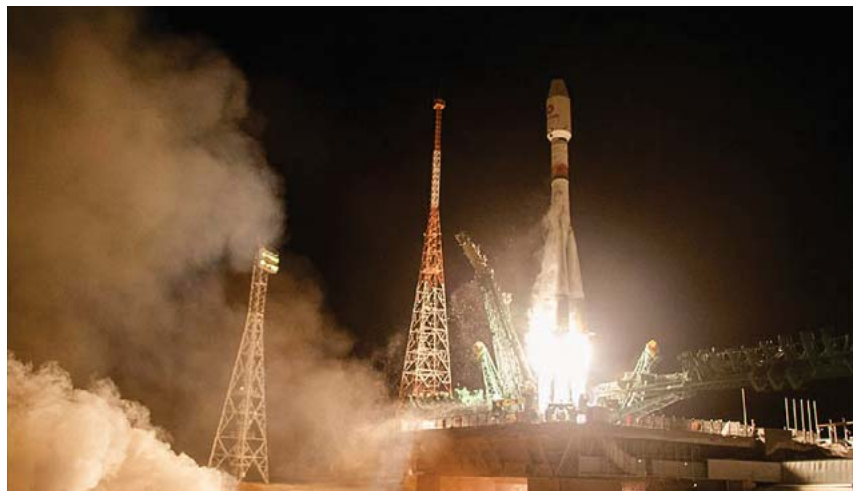


Photo 2 : Lancement des 34 satellites depuis le site de Baïkonour le 7 février 2020 – Crédits Arianespace – OneWeb.

quelque inquiétude quant à l'accès à Internet à haut débit donné à des utilisateurs situés dans des régions périphériques de la Russie.

Un joint venture entre OneWeb et Airbus Defence and Space, baptisé OneWeb Satellites, est chargé de l'assemblage des 600 satellites. Une usine consacrée à leur assemblage a été inaugurée en 2018 près du centre spatial Kennedy en Floride.

Le conglomérat s'est heurté à des difficultés financières. Le 3 juillet 2020, OneWeb a annoncé la signature d'un accord avec le gouvernement du Royaume Uni et la société indienne Bharti Global Limited. OneWeb maintient actuellement sa prévision de lancement des 648 satellites prévus à l'origine du projet.

## Amazon en embuscade

En avril 2019, Amazon a annoncé vouloir se lancer dans le développement des réseaux Internet spatiaux avec le projet Kuiper. Celui-ci vise, moyennant un investissement de 10 milliards de dollars, à placer 3 236 satellites en orbite basse entre 590 et 630 kilomètres, pour améliorer la connectivité dans les zones rurales et mal desservies, en Amérique du Nord dans un premier temps.

La demande d'autorisation en fréquences radio a été validée en juillet 2020 par la FCC, le régulateur américain du secteur des télécommunications. Aucun partenaire n'est pour le moment évoqué pour la production de la flotte de satellites mais, pour les opérations de lancement, on peut s'attendre à ce que Blue Origin, l'autre société de Jeff Bezos, soit mise à contribution. La moitié de la flotte est supposée être lancée d'ici 2026, le reste avant 2029.

## Un goulet d'étranglement : les fréquences radio

Les fréquences hertziennes constituent une ressource rare car le spectre radio est limité par la technique et par le globe terrestre. Pour éviter tout brouillage, ce

domaine est administré par l'Union internationale des télécommunications (UIT), qui répartit les fréquences entre les opérateurs de télécommunications sous l'égide des Nations Unies. Cet organisme doit faire face à l'envolée de projets de plusieurs milliards de dollars d'investissement comme ceux de SpaceX, OneWeb et Amazon.

La règle est simple : chaque attributaire peut demander l'attribution d'une bande de fréquences situées dans le domaine qui lui est réservé en fréquence et en lieu. Jusqu'à aujourd'hui les opérateurs du spatial pouvaient demander et obtenir de nombreuses bandes pour les liaisons terre-espace. On a même vu des pays ne possédant pas d'agence spatiale obtenir des fréquences pour des liaisons inexistantes. Elles étaient ensuite négociées avec les opérateurs réels. Les choses se sont gâtées avec l'apparition des constellations géantes de satellites (plusieurs dizaines de milliers) dont l'ensemble des demandes dépassent les possibilités du spectre.

L'UIT s'est dotée en conséquence de nouvelles règles du jeu plus strictes pour l'attribution des fréquences à ce type de constellations. Ces règles du jeu entrent en vigueur en 2021. L'opérateur dispose désormais d'un délai de sept ans maximum entre le dépôt de son projet et son premier lancement de satellite. Et par la suite il lui faut avoir envoyé dans les deux ans 10 % des satellites prévus, puis 50 % après cinq ans. L'idée est de construire 100 % de la constellation en sept ans maximum. Avec 74 satellites en orbite, OneWeb a franchi la première étape et a donc jusqu'à janvier 2026 pour déployer 50 % du reste de la flotte et ainsi conserver ses fréquences.

L'UIT confirme que Starlink a bien obtenu un feu vert pour mettre en l'air 30 000 satellites, tandis que Kuiper l'a reçu pour ses 3 236 satellites. Si le rôle de l'UIT n'est pas de faire le tri entre les opérateurs, il est clair qu'il n'y aura pas de bandes radio pour tout le monde. Il existe cependant une solution : la montée en fréquences pour occuper des bandes libres mais tout juste accessible à la technique.

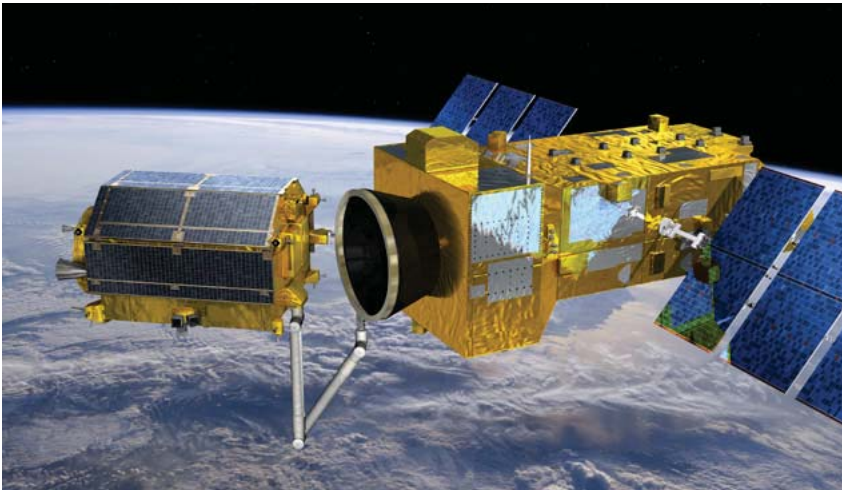
## Des risques importants de collisions en chaîne

On compte quelque 8 000 satellites mis en orbite depuis le tout premier Spoutnik soviétique en 1957 et on estime à 2 218 le nombre des satellites encore opérationnels. Les projets de méga-constellations en prévoient une petite centaine de milliers tous opérateurs confondus.

Cette augmentation exponentielle du nombre des satellites terrestres engendre un risque majeur de collisions et ainsi un nombre non maîtrisable de débris spatiaux. On parle du « syndrome de Kessler ». Une étude de ce consultant de la NASA a décrit un scénario dans lequel le volume des débris spatiaux en orbite basse atteint un seuil au-dessus duquel les objets en orbite sont fréquemment heurtés par des débris, ils se brisent en plusieurs morceaux, augmentant du même coup et de façon exponentielle le nombre des débris et la probabilité des impacts. Au-delà d'un certain seuil, un tel scénario rendrait quasi impossible l'exploration spatiale et même l'utilisation des satellites artificiels pour plusieurs générations.

L'United States Space Command tient à jour un catalogue contenant environ 15 000 objets identifiés de plus de 10 cm en orbite basse et de plus de 1 m en orbite géostationnaire. Ce nombre est très inférieur au nombre de satellites prévus dans les projets de constellations. Mais il s'agit ici d'objets parfaitement identifiés et tracés. Les estimations de l'ESA (European Space Agency) dénombrent quelque 34 000 objets de plus de 10 centimètres en orbite basse et le nombre d'objets de 1 à 10 centimètres est estimé à plus d'un million. Tous ces objets peuvent provoquer des dégâts importants s'ils percutent un satellite. D'ores et déjà, les opérateurs de satellites multiplient les manœuvres d'évitement pour faire face aux alertes de collision. Le 2 septembre 2019, l'ESA a dû manœuvrer un de ses satellites d'observation de la Terre pour éviter une potentielle collision avec un des engins de Starlink.





■ Figure 1 : Vue d'artiste d'une technique de « dé-orbitage » par bras articulé – Source : ClearSpace (ESA).

●●● L'ESA a déjà initié plusieurs projets dont la mission ClearSpace-1 qui doit être, à horizon 2025, la première mission récupératrice de débris (figure 1). L'objectif du ClearSpace-1 « chaser » sera un Vespa (*Vega Secondary Payload Adapter*) qui ressemble à un petit satellite et a été laissé depuis 2013 sur une orbite d'environ 800 par 660 km. D'autres solutions sont à l'étude et en développement comme le projet suisse CleanSpace One, initié et mis en œuvre par le Centre d'ingénierie spatial de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Son lancement est prévu en 2021-2022. Mais le coût de chaque mission est prohibitif pour envisager d'aller chercher quelques milliers de satellites un par un. Pour le moment il n'y a pas de solution dégagée pour résoudre ce problème, mais le danger est bien présent.

## Une pollution lumineuse déjà réelle

Clichés à l'appui, les astronomes professionnels ont déjà vivement protesté contre la pollution lumineuse : en traversant le ciel, les satellites Starlink laissent de longues traînées sur les images astronomiques au point de les rendre inutilisables (photo 3).

Des essais de limitation de réflectivité effectués sur un satellite appelé « DarkSat » n'ont guère été convaincants. Le modèle suivant est prévu pour être sous le seuil de visibilité à l'œil nu, ce qui est encore beaucoup trop

brillant pour les instruments ultra-sensibles capables d'observer des astres quatre milliards de fois plus faibles que ce seuil.

Pour le moment, aucune solution satisfaisante n'a été dégagée.

## Quel avenir ?

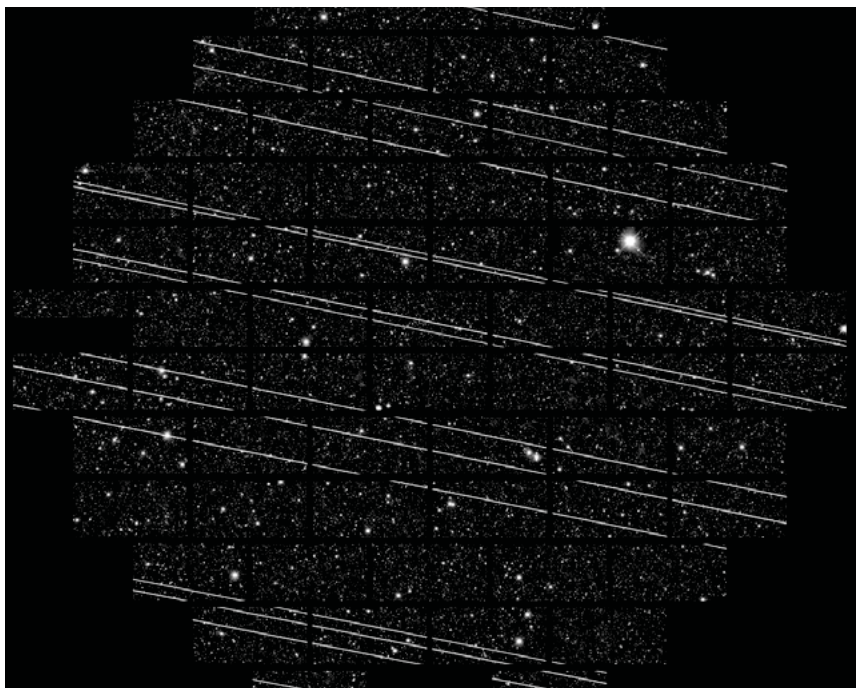
On peut s'interroger sur l'avenir de l'Internet câblé alors que se développe un In-

ternet spatial. A l'heure actuelle les projets en cours de développement ne sont pas encore concurrentiels car l'Internet spatial vise en priorité les régions à faible densité de population et le nombre de canaux est insuffisant pour alimenter une grande ville. En revanche on est en droit de se poser des questions sur le déploiement de liaisons câblées vers les zones faiblement habitées.

L'état américain a aidé SpaceX à bénéficier de l'aide de la FCC (*Federal Communications Commission*) (FCC) au point de compromettre la règle de neutralité de l'Internet dans ce pays, mais plaçant cette société en tête des opérateurs dans la course à l'Internet par satellites.

Une chose est sûre, ni le géant SpaceX ni son challenger Amazon ne comptent se limiter aux zones rurales et mal couvertes actuellement, sans exclure des partenariats avec les gouvernements. Il leur faut un déploiement rapide et des clients pour pouvoir commencer à rentabiliser ce qui s'annonce comme l'une des plus grandes infrastructures satellitaires de tous les temps.■

**André Deschamps**



■ Photo 3 : Satellites Starlink photographés par le DELVE Survey du Cerro Tololo Inter-American Observatory – Crédits CTIO-AURA.