



# Tendances technologiques

Systèmes de satellites en orbite basse

Architecture d'entreprise, Direction générale du dirigeant principal  
de la technologie

Version 0.1  
Date 2019-5-9



Shared Services  
Canada

Services partagés  
Canada

Canada

## Table des matières

<b>Sommaire opérationnel .....</b>	<b>3</b>
<b>Sommaire technique .....</b>	<b>3</b>
<b>Utilisation par l'industrie .....</b>	<b>4</b>
<b>Utilisation par le gouvernement du Canada .....</b>	<b>6</b>
<b>Répercussions pour Services partagés Canada (SPC).....</b>	<b>7</b>
Proposition de valeur .....	7
Problèmes .....	7
Considérations .....	10
<b>Références .....</b>	<b>11</b>

## Sommaire opérationnel

La catégorie orbite basse (LEO) s'applique à l'équipement électronique qui tourne autour de la Terre aux latitudes inférieures, en général entre 200 et 2 000 kilomètres (km) au-dessus de la surface de la Terre, contrairement aux objets en orbite géosynchrone haute, situés en général à 35 786 km au-dessus de la Terre. En comparaison, la Station spatiale internationale (SSI) est un objet LEO qui évolue à environ 400 km au-dessus de la surface de la Terre.

Les objets en orbite géosynchrone haute, comme les satellites, suivent la rotation de la Terre et semblent stationnaires, et ce, même s'ils peuvent dériver vers le nord ou vers le sud<sup>1</sup>. Les objets LEO, quant à eux, se déplacent à très grandes vitesses et ne restent pas à un endroit fixe par rapport à la surface de la planète<sup>2</sup>. De plus, les satellites géosynchrones suivent la rotation de la Terre à une vitesse orbitale d'environ  $3,06 \times 10^3$  mètres par seconde (m/s), tandis qu'un satellite LEO peut se déplacer à  $7,78 \times 10^3$  m/s, et faire plusieurs révolutions par jour autour de la Terre. Un objet LEO est plus près de la Terre, ce qui le fait évoluer plus rapidement en raison de la gravité terrestre. La SSI fait le tour de la Terre à une vitesse de 28 000 km/h; elle exécute un tour complet en 90 minutes, soit 16 révolutions par jour au total; et elle couvre de nombreuses régions de la Terre à divers moments<sup>3</sup>.

Par contre, les objets LEO tendent à être des satellites, et ils sont surtout utilisés pour les communications de données, comme les courriels, les vidéoconférences et la radiomessagerie. Les satellites LEO servent aussi à la reconnaissance militaire, à l'espionnage et à d'autres applications d'imagerie<sup>4</sup>. De surcroît, grâce aux systèmes de télécommunications en orbite basse, les territoires peu peuplés et les pays en développement peuvent obtenir des services téléphoniques par satellite dans des régions où il serait trop coûteux, voire impossible, d'installer des tours de télécommunication ou des lignes terrestres<sup>5</sup>.

En 1998, les premiers systèmes de satellites LEO ont commencé à fournir des services. Grâce à la technologie LEO, les utilisateurs peuvent faire des appels téléphoniques et en recevoir partout dans le monde au moyen d'un seul petit émetteur portatif. Contrairement aux satellites géostationnaires (GEO) traditionnels qui restent au-dessus d'un point fixe par rapport à la Terre, les systèmes LEO fournissent une couverture mondiale en utilisant de nombreux satellites en orbite autour de la Terre à une altitude relativement basse. De plus, la plupart des objets artificiels actuellement en orbite autour de la Terre sont en LEO.

## Sommaire technique

En pratique, un satellite LEO nécessite le moins d'énergie pour la mise en orbite puisqu'il est plus près de la Terre que les satellites en orbite haute. Pour maintenir une LEO, un satellite doit avoir une vitesse orbitale suffisante, généralement de 7,8 km/s. Il restera en orbite jusqu'à l'épuisement de son carburant. La dernière réserve de carburant est en

fait utilisée pour les ralentir. De cette façon, il sortira de l'orbite et brûlera dans l'atmosphère<sup>6</sup>. La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), la NASA et d'autres organismes américains et internationaux effectuent le suivi de tous les satellites dans l'espace. Lorsqu'un satellite est lancé, il est placé sur une orbite spécifique pour éviter les collisions avec les autres satellites. Mais les collisions sont inévitables, et il arrive parfois qu'un satellite quitte son orbite et puisse entrer en collision avec un autre.

Comme l'orbite basse est beaucoup plus près de la Terre, le satellite LEO fournit une meilleure puissance de signal et une grande largeur de bande, car le signal se propage moins loin et peut donc atteindre le récepteur prévu beaucoup plus rapidement. Il élimine aussi la latence de communication puisque le signal a le moins de délais de propagation par rapport au signal émis depuis d'autres orbites en raison de la proximité de la LEO par rapport à la Terre. Sa latence plus courte permet de l'utiliser dans des applications critiques en temps réel. En raison de leur proximité par rapport à la Terre, les satellites LEO sont également utilisés pour l'observation de la Terre et l'espionnage.

En revanche, comme la LEO est moins éloignée de la surface de la planète, les communications des satellites LEO couvrent moins de surface ou de région de la Terre. Pour couvrir toute la surface de la Terre, il faut un groupe de satellites, appelé constellation, pour assurer une couverture continue et une certaine redondance en même temps. En général, lorsqu'un satellite devient hors de portée, un autre satellite peut capter le signal et continuer à l'envoyer dans la chaîne de satellites jusqu'à ce que le récepteur soit à portée. De surcroît, la capacité de transmission des signaux d'un satellite vers un autre est beaucoup plus rapide puisque chaque satellite est très près de ses voisins, ce qui permet une transition en douceur et une latence moindre.

## Utilisation par l'industrie

Le marché spatial mondial a évolué et s'est développé au cours de la dernière décennie. Il a pris de l'ampleur par rapport aux 176 milliards de dollars qu'il valait en 2006, et on estime qu'il dépassait 345 milliards de dollars en 2018. L'illustration la plus claire de l'intérêt croissant du secteur privé pour les activités spatiales est sans doute la croissance des investissements de capital risque au cours des deux dernières décennies. Songeons qu'entre 2000 et 2014, les jeunes pousses dans le secteur spatial ont reçu un total de 1,1 milliard de dollars en investissements de capital risque, soit environ 73 millions de dollars par an. En 2015 seulement, plus de 1,8 milliard de dollars ont été investis en capital risque. En 2016, plus de 100 investisseurs ont versé 2,8 milliards de dollars à 43 jeunes pousses du secteur spatial dans le cadre de 49 ententes, pour un montant moyen de 57,1 millions de dollars. En 2017, plus de 120 investisseurs ont investi 3,9 milliards de dollars dans des entreprises spatiales commerciales, soit une augmentation de près de 40 % en un an<sup>7</sup>.

Grâce à sa bande passante élevée et à sa faible latence, un satellite LEO peut être utilisé pour les télécommunications, comme la téléphonie et les données. La constellation de satellites Iridium est un exemple de système de satellites de

communication en LEO. Ce système compte 66 satellites de communication actifs en plus de satellites de rechange autour de la Terre. Il permet des communications vocales et de données partout dans le monde à l'aide d'appareils portatifs. De plus, le réseau Iridium est unique en ce sens qu'il couvre toute la planète, y compris les pôles, les océans et les couloirs aériens. Par ailleurs, ces satellites sont souvent visibles dans le ciel nocturne sous forme d'éclairs lumineux de courte durée, connus sous le nom de flash Iridium.

Des sociétés comme Oneweb et SpaceX déploient actuellement un grand nombre de satellites qui formeront, à terme, des mégaconstellations pour fournir un accès Internet partout dans le monde.

Toutefois, de nombreuses entreprises ont l'intention de lancer leur propre flotte de satellites de ce type, de sorte que des examens appropriés seront bientôt facilement accessibles. Théoriquement parlant, les satellites LEO sont censés améliorer la technologie offerte par les satellites géostationnaires sans les remplacer. Ils sont tout bonnement censés offrir des capacités supplémentaires aux services de communications, les deux types de satellites travaillant ensemble. Éventuellement, ils pourraient permettre à quelques entreprises de passer complètement aux satellites LEO, mais, pour la plupart d'entre elles, la complexité de gestion d'une flotte complète en tout temps rend cette idée peu attrayante.

Grâce à la couverture mondiale, il est désormais possible de disposer d'une véritable « autoroute de l'information » mondiale grâce aux satellites LEO. Les applications possibles de la technologie LEO présentent des avantages potentiels pour la communauté internationale ou les pays en développement, tels que l'infrastructure instantanée pour les pays en développement, l'amélioration de l'éducation et des soins de santé, la promotion de la mondialisation politique, le contrôle des problèmes de santé mondiaux et les communications d'urgence.

## Utilisation par le gouvernement du Canada

Dans le budget de 2019, le gouvernement fédéral a annoncé un financement de 1,7 milliard de dollars canadiens pour le programme Brancher pour innover ainsi que pour la création d'un nouveau Fonds pour la large bande universelle. Une partie du nouveau Fonds sera consacrée à l'acquisition d'une capacité satellitaire LEO à faible latence pour l'Internet à large bande<sup>8</sup>. L'initiative vise à offrir un accès universel à une connectivité haute vitesse à large bande abordable et fiable aux Canadiens, depuis n'importe quel l'endroit, pour leur permettre d'accéder à Internet.

En juillet 2019, le gouvernement du Canada (GC) s'est associé à Télésat pour mettre au point une constellation de satellites LEO qui fournira une connectivité Internet haute vitesse partout au Canada, en particulier dans les collectivités rurales et éloignées dans le Nord. Le gouvernement du Canada s'est engagé à verser 85 millions de dollars canadiens par l'entremise du Fonds stratégique pour l'innovation pour permettre à Télésat de développer et de mettre à l'essai sa future constellation LEO<sup>9</sup>. Il propose aussi de verser à Télésat une contribution sur 10 ans pouvant atteindre 600 millions de dollars canadiens afin d'appuyer les efforts de déploiement de l'entreprise<sup>10</sup>. La constellation sera déployée à une altitude approximative de 1 000 km et comptera près de 120 satellites<sup>11</sup>.

L'Agence spatiale canadienne (ASC) a amélioré ses capacités de surveillance de la Terre grâce au lancement de la Constellation RADARSAT : un trio de satellites à une altitude de 600 km qui prennent des images de la Terre et sont munis d'une technologie radar et de détection des navires pour surveiller les côtes du Canada<sup>12</sup>. La constellation est surtout utilisée pour surveiller l'environnement, les océans et l'état des glaces dans les collectivités nordiques, ainsi qu'appuyer les équipes d'intervention d'urgence lors de catastrophes naturelles.

Le GC a utilisé les satellites LEO pour les services voix et données, les services de géolocalisation et de poursuite et les services de données en brèves rafales (Short-Burst Data) et de données par routeur Iridium par l'intermédiaire des fournisseurs de constellations de satellites Iridium. Grâce aux satellites Iridium, les gardiens de parc et les gardiens d'incendie de Parcs Canada utilisent les téléphones satellites et les téléavertisseurs Iridium pour signaler les situations d'urgence possibles, comme les incendies. Environnement et Changement climatique Canada possède des bouées pourvues d'émetteurs-récepteurs Iridium. Ces bouées servent à transmettre, entre autres, les données sur les courants de surface et les températures de surface de la mer et à fournir le positionnement GPS des bouées en mer. Le ministère de la Défense nationale utilise l'équipement et les services de poursuite et de messagerie des systèmes Iridium afin d'effectuer des poursuites et d'envoyer des messages à son personnel pour les opérations<sup>13</sup>.

# Répercussions pour Services partagés Canada (SPC)

## Proposition de valeur

Actuellement, Services partagés Canada (SPC) utilise déjà les systèmes de satellites LEO d'Iridium, d'Inmarsat, de MSAT et de Globalstar<sup>14</sup> pour offrir des services téléphoniques, de télécopie, de données et de géolocalisation par satellite qui sont accessibles partout dans le monde. En 2017, SPC a octroyé trois contrats de service par satellite Iridium pour un montant total de 13,2 millions de dollars à MetOcean Telematics et à Track24 Canada afin de poursuivre la prestation par le gouvernement du Canada de services par satellite <sup>15</sup>.

La croissance observée sur le marché des satellites LEO peut être mise à profit pour compléter les services déjà offerts par SPC. En tant que fournisseur de services du gouvernement du Canada, l'équipe satellite de SPC sera en mesure d'offrir un accès Internet haute vitesse à un coût moindre aux autres ministères ayant des bureaux dans des collectivités rurales et éloignées. De plus, les partenariats avec des entreprises de communication par satellite que SPC a déjà consolidés pourraient apporter une aide précieuse pour la prestation de services.

Le fait d'être plus près de la Terre présente un avantage évident pour de nombreux types de satellites d'observation de la Terre en augmentant la résolution des détails des petits objets.

Les satellites LEO conçus pour les communications bénéficient d'un délai de propagation du signal plus court. Ce délai plus court réduit la latence de transmission de données<sup>16</sup>. De plus, en raison de leur orbite plus basse, les satellites LEO sont généralement moins coûteux à mettre en orbite, car ils nécessitent beaucoup moins de puissance de fusée à cette fin. Par rapport aux satellites géosynchrones à 36 000 km, les satellites LEO se déplacent dans une atmosphère beaucoup plus dense, et ils ont donc une traînée aérodynamique beaucoup plus importante. En conséquence, ils ont besoin de plus de puissance pour se déplacer à des vitesses plus élevées et faire des corrections pour maintenir leurs orbites plus basses<sup>17</sup>.

## Problèmes

En mettant davantage de satellites en orbite, le gouvernement du Canada (GC) et, par extension, SPC, contribueront au problème des débris spatiaux. Par ailleurs, en

raison de la multiplication des objets lancés dans l'espace au fil des ans, les satellites désactivés et les « déchets » provenant des essais se sont accumulés et sont devenus des dangers qui risquent de nuire aux infrastructures actives.

L'Agence spatiale européenne estime que près de 166 millions d'objets, d'une taille allant de moins de 1 mm à celle d'un réfrigérateur, tournent autour de la Terre à une vitesse moyenne de 10 km/s ou 36 000 km/h<sup>18</sup>. N'importe lequel de ces objets pourrait causer des dommages considérables s'il frappait des satellites actifs ou même la Station spatiale internationale, et ces impacts pourraient même engendrer d'autres débris.

Une situation théorique appelée « syndrome de Kessler » suppose qu'une réaction en chaîne de débris spatiaux explosifs pourrait créer une barrière mortelle autour de la planète qui empêcherait de futurs efforts spatiaux<sup>19</sup>. Donald J. Kessler (d'où le nom de l'effet), un scientifique de la NASA, a averti que les lancements continus en LEO pourraient créer un environnement dense au-dessus de la planète pouvant causer une probabilité accrue de collision d'objets entre eux et de création d'une quantité exponentielle de débris spatiaux.

Le lancement prévu d'environ 120 satellites pour la constellation de Télésat, ainsi que l'ensemble des 12 000 satellites proposés pour la constellation Starlink de SpaceX et la constellation de 648 satellites de OneWeb, vont ajouter encore beaucoup d'objets en LEO. La liste des projets énumérés ici n'est pas exhaustive, et d'autres entreprises ont manifesté leur intérêt pour lancer leurs propres constellations. L'augmentation du trafic de satellites crée des défis nouveaux et uniques là où aucun cadre réglementaire n'a été mis en place auparavant. À l'heure actuelle, lorsqu'une organisation demande l'autorisation de lancer des satellites, elle communique avec les organismes de réglementation de son propre pays<sup>20</sup>.

La Federal Communications Commission (FCC) des États-Unis a déployé des licences pour des constellations LEO comme celles de OneWeb et de Starlink, mais cela soulève la question suivante : la FCC, une entité nationale ou tout autre organisme national ont-ils le pouvoir d'accorder l'accès à une ressource internationale? L'Union internationale des télécommunications (UIT), un organisme des Nations Unies, attribue l'utilisation des radiofréquences et des positions orbitales sur l'orbite des satellites géostationnaires, mais elle ne le fait pas encore pour l'orbite basse<sup>21</sup>. Des discussions ont eu lieu quant à la possibilité d'élargir le mandat de l'UIT pour inclure cette orbite, mais l'UIT n'a pas encore ce pouvoir.

À l'heure actuelle, aucun organisme international ne surveille les débris spatiaux. Cette tâche est actuellement effectuée par le 18<sup>e</sup> Escadron spatial de l'U.S. Air Force, qui exploite le Space Surveillance Network (SSN), peut suivre des objets plus gros qu'une balle molle en LEO et peut prévoir les approches rapprochées, les rentrées et la probabilité de collision<sup>22</sup>. Le SSN informe les organisations par courriel<sup>23</sup> si des satellites se trouvent sur des trajectoires de collision, mais le système est en cours d'automatisation



alors que les satellites actuels n'ont pas de capacités de détection automatique des collisions. De plus, il n'existe en ce moment aucune loi sur le trafic spatial ni aucun protocole de communication approprié pour les satellites qui se trouvent sur une trajectoire sans collision. En 2019, un satellite de Starlink récemment déployé était sur une trajectoire de collision très probable avec un satellite de l'Agence spatiale européenne (ASE). Bien que les deux organisations fussent conscientes du problème, seule l'ASE a pris des mesures pour éviter la collision et a modifié la trajectoire de son satellite. Cette quasi-collision aurait pu être évitée si Starlink avait répondu à l'urgence et assuré la coordination avec l'ASE<sup>24</sup>.

Les satellites en orbite basse sont suffisamment près de la Terre pour être affectés par la traînée atmosphérique, de sorte qu'ils finissent par s'écraser si leur trajectoire n'est pas corrigée. Les plans actuels d'élimination des satellites LEO consistent simplement à les faire rentrer dans l'atmosphère pour qu'ils brûlent à leur rentrée<sup>25</sup>. Bien que ce soit une norme de l'industrie, les satellites ne sont pas toujours complètement brûlés, et ils s'écrasent alors à la surface de la planète. Le point Nemo, une zone éloignée et inhabitée de l'océan Pacifique, a été désigné comme « cimetière d'engins spatiaux », et de gros satellites sont dirigés à cet endroit pour s'écraser dès leur rentrée<sup>26</sup>. On peut toutefois difficilement prédire où les morceaux tomberont, car des fragments des gros engins spatiaux se détachent tout au long du processus de rentrée et tombent à des endroits inattendus. De plus, même avec cette zone désignée, aucun cadre réglementaire n'existe pour faire respecter les cibles de rentrée et protéger les zones habitées contre la chute de débris.

Selon les normes actuelles d'élimination des satellites, il faudrait désorbiter les satellites 25 ans après leur date de fin de vie utile<sup>27</sup>. Ce délai constitue une lacune réglementaire, car le nombre de satellites placés en orbite basse est plus grand que le nombre de satellites qui descendent. De plus, des propositions ont été avancées en matière de viabilité de l'espace, qui mettent en avant le concept « un vers le haut, un vers le bas ». Ainsi, pour chaque satellite lancé, un satellite inactif est désorbité. Par ailleurs, des expériences<sup>28</sup> sont en cours en orbite pour tester diverses méthodes de capture et d'élimination des débris. Il serait aussi possible de recycler des pièces d'anciens satellites dans l'espace. Toutefois, aucune norme officielle n'est en place.

Enfin, les communautés des astronomes et des observateurs d'étoiles craignent que l'augmentation du nombre de satellites dans l'espace perturbe la vue du ciel nocturne. Lorsqu'ils traversent le ciel, les panneaux solaires d'un satellite peuvent réfléchir la lumière du soleil vers la Terre et créer une strie visible<sup>29</sup>. En raison de l'augmentation du nombre de satellites, les astronomes devront corriger les images captées pour éliminer les traînées de lumière réfléchie. De plus, il n'y a encore eu aucune étude sur l'impact de milliers de sources lumineuses non naturelles sur la vie nocturne. De surcroît, les satellites fonctionneront à des fréquences proches de celles utilisées par les radioastronomes qui surveillent les objets célestes lointains et nuiront possiblement aux activités de surveillance<sup>30</sup>.

## Considérations

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le GC et les Canadiens ont beaucoup à gagner des systèmes de satellites LEO. SPC, en particulier, a déjà de l'expérience dans l'offre de services par satellite et est bien placé pour gérer les nouveaux services que la technologie par satellite peut offrir. Bon nombre des ministères partenaires bénéficieraient de l'accès à la puissance accrue offerte par les satellites LEO par rapport au système actuel en place. Nombre d'entre eux ont besoin de vitesses Internet rapides, mais ils ne se sont pas encore dotés de telles promesses en raison du manque de capacités des technologies actuelles.

SPC devra aussi envisager l'avenir.

Pour la plupart des opérations des systèmes de satellites LEO, il faudra des compétences en matière de maintenance et de gestion du service par satellite LEO. Certaines compétences devront peut-être être transférées à des tiers pour combler les lacunes dans l'expertise de SPC. En conséquence, SPC devrait tenir compte des talents dont il a besoin pour continuer d'offrir des services de systèmes de satellites LEO, ainsi que pour intégrer et harmoniser les nouveaux services par satellite LEO avec l'ancien équipement existant, les infrastructures et réseaux plus récents, et ses stratégies ministérielles globales.

SPC devrait aussi veiller à ce que la future stratégie d'infrastructure comprenne une instruction ou une orientation politique et opérationnelle sur l'exploitation de l'infrastructure des satellites LEO. Les divers besoins opérationnels des ministères partenaires dicteront les différentes offres de systèmes de satellites LEO et les besoins de stockage. SPC devra également avoir en place un plan de gestion des besoins futurs en infrastructure et en réseau si les ministères partenaires souhaitent exploiter davantage les systèmes de satellites LEO.

SPC et le GC doivent examiner attentivement tous les défis. Les préoccupations concernant la viabilité, la pollution, la réglementation et les relations internationales devront être délicatement conciliées avant que le Canada n'aille de l'avant avec des investissements importants sur le marché des objets en orbite basse.

SPC devrait envisager d'évaluer le catalogue des services actuel afin de déterminer où les satellites LEO peuvent être exploités davantage pour améliorer l'efficacité, réduire les coûts et améliorer les services du catalogue des services. En outre, il devrait déterminer comment les systèmes de satellites LEO continueront à s'intégrer de manière cohérente aux services existants. Tout nouvel achat d'appareils ou de plateformes devrait avoir une valeur

marchande élevée, et il peut être facilement intégré à la politique et aux opérations actuelles de SPC relatives aux satellites. De plus, SPC devrait maintenir les services basés sur les satellites LEO dans les projets pilotes, ainsi que faire avancer l'offre de services dans les groupes de test et en accroître le succès. Grâce à l'ajout de toutes les nouvelles technologies en nuage aux capacités de SPC, l'accent devrait d'abord être mis sur un ensemble restreint d'objectifs et sur l'obtention du succès.

## Références

[En anglais seulement]

- <https://www.techopedia.com/definition/8044/low-earth-orbit-leo>
- Williams, Matt. « What is Low Earth Orbit? », janvier 2017 <https://www.universetoday.com/85322/what-is-low-earth-orbit/>
- Boucher, Marc. « 2019 Canadian federal budget provides new funding for low earth orbit satellite capacity », mars 2019. <https://spaceq.ca/2019-canadian-federal-budget-provides-new-funding-for-low-earth-orbit-satellite-capacity/>
- Dev, Rishabh. « LEO, MEO & GEO Satellite Systems : A Comparison », janvier 2012 <http://durofy.com/leo-meo-geo-satellite-systems>
- Arellano, Nestor. « Two communications firms bag \$13.2-M Shared Services Canada satellite contract », juillet 2017 <http://www.canadait.com/index.php/smb/2226-two-communications-firms-bag-13-2-m-shared-services-canada-satellite-contract>
- <https://pdfs.semanticscholar.org/2847/b9967d9608f680d27642a6b5f3a538bac918.pdf>
- <https://www.n2yo.com/satellites/?c=15>
- <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/269-artificial-satellites>

---

<sup>1</sup> <https://whatis.techtarget.com/definition/low-earth-orbit-LEO-satellite>

<sup>2</sup> <https://www.techopedia.com/definition/8044/low-earth-orbit-leo>

<sup>3</sup> <https://www.forbes.com/sites/quora/2017/10/03/how-does-the-iss-travel-around-the-earth/#1aedf536141f>

<sup>4</sup> <https://whatis.techtarget.com/definition/low-earth-orbit-LEO-satellite>

<sup>5</sup> <https://www.techopedia.com/definition/8044/low-earth-orbit-leo>

<sup>6</sup> <https://spaceplace.nasa.gov/spacecraft-graveyard/en/>

<sup>7</sup> [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/news/b4h-3rd/ev-emerging-commercial-market-in-leo](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/b4h-3rd/ev-emerging-commercial-market-in-leo)

- 8 <https://www.budget.gc.ca/2019/docs/nrc/infrastructure-infrastructures-internet-fr.html>
- 9 <http://www.ic.gc.ca/eic/site/smt-gst.nsf/fra/sf11543.html>
- 10 <https://www.telesat.com/news-events/government-canada-and-telesat-partner-bridge-canadas-digital-divide-through-low-earth>
- 11 <https://toronto.citynews.ca/2019/07/24/canada-invests-85m-into-advanced-satellites-to-connect-rural-remote-regions/>
- 12 <http://www.asc-csa.gc.ca/fr/satellites/radarsat/quest-ce-que-mcr.asp>
- 13 <https://www.canada.ca/fr/services-partages/nouvelles/2017/07/attribution-de-contrats-des-services-parsatellite-iridium.html>
- 14 <http://service.ssc-spc.gc.ca/fr/services/infrastructure/infra-reseau/satellite-admin>
- 15 <https://www.canada.ca/fr/services-partages/organisation/transformation-telecommunications/consultation-industrie.html>
- 16 <https://whatis.techtarget.com/definition/low-earth-orbit-LEO-satellite>
- 17 <https://whatis.techtarget.com/definition/low-earth-orbit-LEO-satellite>
- 18 <https://www.cbc.ca/news/technology/space-debris-1.4545467>
- 19 <https://bigthink.com/paul-ratner/how-the-kessler-syndrome-can-end-all-space-exploration-and-destroy-modern-life>
- 20 <https://www.theglobeandmail.com/business/commentary/article-canada-enters-the-communications-space-race/>
- 21 <https://www.itu.int/fr/ITU-R/information/Pages/mission-statement.aspx>
- 22 <https://aerospace.org/article/space-debris-and-space-traffic-management>
- 23 <https://www.cbc.ca/news/technology/esa-spacex-starlink-1.5269613>
- 24 <https://www.sciencedirect.com/esa-satellite-forced-to-move-aside-for-spacex-s-starlink-for-fear-of-collision>
- 25 <https://arstechnica.com/information-technology/2017/10/spacex-and-oneweb-broadband-satellites-raise-fears-about-space-debris/>
- 26 <https://gizmodo.com/this-watery-graveyard-holds-161-sunken-spaceships-1703212211>
- 27 <https://arstechnica.com/information-technology/2017/10/spacex-and-oneweb-broadband-satellites-raise-fears-about-space-debris/>
- 28 <https://www.theverge.com/2019/2/15/18226051/satellite-spear-space-debris-harpoon>
- 29 <https://www.nationalgeographic.com/science/2019/05/elon-musk-starlink-internet-satellites-trouble-for-astronomy-light-pollution/>
- 30 <https://www.nationalgeographic.com/science/2019/05/elon-musk-starlink-internet-satellites-trouble-for-astronomy-light-pollution/>