

Canadian  
Forces  
College

Collège  
des  
Forces  
Canadiennes



## **DROIT, DANGERS, RESSOURCES : L'ÉQUILIBRE À ATTEINDRE POUR PROTÉGER LES CAPACITÉS SPATIALES**

**MAJOR JULIEN LETARTE**

**JCSP 46**

**Service Paper**

**Disclaimer**

Opinions expressed remain those of the author and do not represent Department of National Defence or Canadian Forces policy. This paper may not be used without written permission.

© 2020 Her Majesty the Queen in Right of Canada,  
as represented by the Minister of National Defence.

**PCEMI 46**

**Étude militaire**

**Avertissement**

Les opinions exprimées n'engagent que leurs auteurs et ne reflètent aucunement des politiques du Ministère de la Défense nationale ou des Forces canadiennes. Ce papier ne peut être reproduit sans autorisation écrite.

© 2020 Sa Majesté la Reine du Chef du Canada,  
représentée par le ministre de la Défense nationale.



CANADIAN FORCES COLLEGE – COLLÈGE DES FORCES CANADIENNES

JCSP 46 – PCEMI 46  
2019 – 2020

SERVICE PAPER - ÉTUDE MILITAIRE

**DROIT, DANGERS, RESSOURCES : L'ÉQUILIBRE À ATTEINDRE  
POUR PROTÉGER LES CAPACITÉS SPATIALES**

**Major Julien Letarte**

*“This paper was written by a candidate attending the Canadian Forces College in fulfillment of one of the requirements of the Course of Studies. The paper is a scholastic document, and thus contains facts and opinions which the author alone considered appropriate and correct for the subject. It does not necessarily reflect the policy or the opinion of any agency, including the Government of Canada and the Canadian Department of National Defence. This paper may not be released, quoted or copied, except with the express permission of the Canadian Department of National Defence.”*

Word Count: 2,979

*« La présente étude a été rédigée par un stagiaire du Collège des Forces canadiennes pour satisfaire à l'une des exigences du cours. L'étude est un document qui se rapporte au cours et contient donc des faits et des opinions que seul l'auteur considère appropriés et convenables au sujet. Elle ne reflète pas nécessairement la politique ou l'opinion d'un organisme quelconque, y compris le gouvernement du Canada et le ministère de la Défense nationale du Canada. Il est défendu de diffuser, de citer ou de reproduire cette étude sans la permission expresse du ministère de la Défense nationale. »*

Nombre de mots : 2.979

# DROIT, DANGERS, RESSOURCES : L'ÉQUILIBRE À ATTEINDRE POUR PROTÉGER LES CAPACITÉS SPATIALES

## BUT

1. La politique de défense du Canada *Protection Sécurité Engagement* (PSE), publiée en 2017, émet les lignes directrices de la stratégie des Forces armées canadiennes (FAC) dans le domaine spatial. Il y est stipulé que la Défense doit « défendre et protéger les capacités spatiales militaires<sup>1</sup> » en utilisant l'environnement spatial de façon responsable<sup>2</sup>. L'importance des capacités militaires spatiales, qui comprend habituellement des satellites, constitue un fait bien établi. Définir la tâche de protéger ces capacités nécessite une étude du droit et des dangers de l'environnement orbital. L'objectif de ce document est double : analyser l'ampleur du travail à accomplir pour ensuite proposer une démarche applicable au sein de l'Aviation royale canadienne (ARC).

## INTRODUCTION

2. Un morceau d'aluminium — matériel commun dans la fabrication d'engins spatiaux — d'un centimètre cube, possède une masse de 2,7 grammes<sup>3</sup>. S'il entre en collision en orbite, ce cube détiendra un potentiel énergétique 4 000 fois supérieur par centimètre carré à celui d'une camionnette Ford F150 roulant à 100 kilomètres à l'heure sur Terre<sup>4</sup>. Selon la NASA, on estimait à plus de 500 000 le nombre d'objets naturels et artificiels plus gros qu'une bille en orbite en 2013<sup>5</sup>. Il devient donc évident qu'opérer dans la zone orbitale de la Terre présente d'énormes dangers. Les probabilités d'accident augmentent lorsqu'on y ajoute les facteurs environnementaux, comme les tempêtes solaires, et les facteurs humains, comme les armes antisatellite (ASAT). Les directives de protection des atouts spatiaux décrites dans PSE ne sont donc pas simples à mettre en œuvre. Une question doit être posée : le ministère de la Défense peut-il garantir la disponibilité de satellites soutenant ses opérations ?

---

<sup>1</sup> Ministère de la Défense nationale, *Protection, sécurité, engagement — la politique de défense du Canada* (Ottawa : 2017), p. 72.

<sup>2</sup> *Ibid.*, p. 71.

<sup>3</sup> En se basant sur sa masse atomique bien connue de 26,98 u.

<sup>4</sup> En utilisant l'équation d'énergie cinétique  $K = \frac{mv^2}{2}$  et en la divisant par la surface de contact  $a$ , où  $m$  est une masse de 2,7 g pour le cube d'aluminium et de 2 111 kg pour un F150 (selon le site Web <https://fr.ford.ca/trucks/f150/models/f150-xl/>),  $v$  est la vitesse en m/s basé sur une vitesse orbitale allant jusqu'à 7 823 m/s selon le site [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/news/orbital\\_debris.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html) et 120 km/h pour le F150. La surface de contact d'un cube d'aluminium est de 1 cm<sup>2</sup> et d'environ 39 626,37 cm<sup>2</sup> pour un F150 en utilisant les données du site Web de Ford ci-dessus.  $K$ , est mesurée en joules qui sont définis comme des kg \* m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>. Nous obtenons ainsi 82 620 j/cm<sup>2</sup> pour le cube d'aluminium et approximativement 21 j/cm<sup>2</sup> pour le Ford F150. Ceci est une énergie cinétique répartie sur toute une face du cube d'aluminium ou sur une surface représentant le devant du Ford F150. Tous les sites ont été consultés le 20 octobre 2019. Mark Garcia, « Space Debris and Human Spacecraft », NASA, modifié le 13 avril 2015, [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/news/orbital\\_debris.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html).

<sup>5</sup> Mark Garcia, « Space Debris and Human Spacecraft », NASA, modifié le 13 avril 2015, [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/news/orbital\\_debris.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html).

3. Il est probablement impossible de garantir que les équipes de la Défense disposeront en tout temps des avancées de l'ère spatiale pour atteindre leurs objectifs. Il faut néanmoins prendre des précautions pour comprendre cet environnement, éviter d'être ciblé dans l'espace, protéger les capacités spatiales et atténuer les effets des attaques. Pour offrir une vue d'ensemble du sujet et en arriver à des propositions tangibles, ce document expliquera le cadre juridique permettant une utilisation responsable de l'espace. Il précisera ensuite la menace du point de vue des utilisateurs du domaine spatial et il décrira les défenses les plus appropriées. Finalement, il offrira une piste de solutions pour les FAC et l'ARC en particulier. Le terme satellite s'appliquera à tout objet naturel ou artificiel en orbite autour de la Terre et le terme effets spatiaux désignera les bénéfices qu'en tirent les FAC.

## DISCUSSION

### Le cadre juridique

4. Toute analyse des interactions entre États dans l'espace doit se baser sur le cadre juridique. Dans la rubrique de « l'utilisation responsable de l'espace<sup>6</sup>, » les auteurs de PSE énumèrent plusieurs articles de loi et des traités internationaux auxquels doivent adhérer les membres de la Défense. Le *Traité sur les principes régissant les activités des États en matière d'exploration et d'utilisation de l'espace extra-atmosphérique, y compris la Lune et les autres corps célestes* constitue la base du cadre juridique spatial. Il influença les résolutions et les lois subséquentement adoptées par plusieurs pays.

5. Ce traité fut adopté par le conseil des Nations unies en 1967 et ratifié par le Canada la même année. Ses lignes directrices régissent encore les activités spatiales des États. Il ne stipule aucune restriction sur les armes conventionnelles en orbite, mais plusieurs de ses articles limitent les activités militaires dans l'espace. Par exemple, le premier article stipule que l'espace et les corps célestes<sup>7</sup> « doivent [être exploités] pour le bien et dans l'intérêt de tous les pays<sup>8</sup>. » Il n'existe ici aucune distinction entre les pays. Le traité renchérit en déclarant que personne ne peut s'approprier l'espace en partie ou au complet et que les activités doivent s'y dérouler en respectant le droit international<sup>9</sup>.

6. Les articles 7 et 8 encadrent la propriété des satellites artificiels. Ils confirment que la responsabilité des dommages causés par ces objets<sup>10</sup> revient à l'État d'où ils ont été lancés. Par contre, l'État-lanceur garde le contrôle sur ses biens spatiaux qu'ils soient en orbite ou qu'ils reviennent sur Terre<sup>11</sup>. Des compagnies telles SpaceX et Virgin

---

<sup>6</sup> Ministère de la Défense nationale, *Protection, sécurité, engagement - la politique de défense du Canada*, p. 71.

<sup>7</sup> Tels que la Lune.

<sup>8</sup> Nations Unies et Bureau des affaires spatiales, *DROIT INTERNATIONAL DE L'ESPACE: INSTRUMENTS DES NATIONS UNIES*, (New York, 2017), p. 4.

<sup>9</sup> *Ibid.*, p. 4-5.

<sup>10</sup> Objets, car ils peuvent être des satellites artificiels intacts ou en morceaux ou bien des pièces provenant du lancement de ceux-ci.

<sup>11</sup> Nations Unies et Bureau des affaires spatiales, *DROIT INTERNATIONAL DE L'ESPACE: INSTRUMENTS DES NATIONS UNIES*, p. 6.

Galactic compliquent l'application du droit, mais il importe de retenir que ce sont les États d'où sont lancés les satellites qui en gardent la responsabilité juridique.

7. Depuis 1967, d'autres documents sont venus clarifier les positions internationales sur les dommages causés par des engins et débris spatiaux. C'est le cas de la *Convention sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux* de 1972 dans lequel *État de lancement* est défini pour inclure les États qui procèdent à leurs propres lancements et ceux d'où l'objet est lancé<sup>12</sup>. Les *Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique*, publiées en 2007, s'intéressent plus à la congestion orbitale. La ligne directrice 4 de ce dernier incite à « éviter la destruction intentionnelle et les autres activités dommageables<sup>13</sup>, » mais semble accepter la nécessité de tels événements tout en recommandant qu'ils se produisent à des altitudes moins élevées pour limiter la durée de vie des débris<sup>14</sup>. Un État restera donc responsable des dommages causés par une attaque sur un satellite par un objet lancé de son territoire. De même, un État doit minimiser le nombre de débris, ce qui pourrait limiter les options disponibles pour défendre ses possessions spatiales.

8. Malgré tous ces accords, il est possible que certains pays, même ceux qui ont signé les traités, en fassent une interprétation qui diffère largement de celle qu'en fait le Canada. C'est le cas de la Chine. De plus en plus d'« influential Chinese authors [are] advancing the principle that China's sovereign territorial airspace extends through outer space<sup>15</sup>. » Cette position s'explique par l'absence de définition précisant la démarcation entre l'atmosphère et l'espace. Les FAC ne peuvent adhérer à cette vision aux niveaux opérationnels et tactiques puisque la politique détaillée dans PSE exige le respect du *Traité sur l'espace extra-atmosphérique*<sup>16</sup>.

9. Le cadre juridique force donc l'opérateur qui veut utiliser l'espace de façon responsable à suivre une certaine ligne de conduite qui peut être résumée en quelques lignes :

- a. L'utilisation de l'espace doit être faite dans l'intérêt de tous les pays.
- b. Un État ne peut pas s'approprier l'espace extra-atmosphérique.
- c. Les objets spatiaux sont la propriété des États d'où ils ont été lancés.
- d. Les États devraient minimiser les débris dans l'espace.

---

<sup>12</sup> *Ibid.*, p. 17.

<sup>13</sup> *Ibid.*, p. 94.

<sup>14</sup> En raison de la friction avec l'atmosphère à ces altitudes, les débris perdront de l'altitude et brûleront dans l'atmosphère ou retomberont sur Terre.

<sup>15</sup> Christopher Stone, « The Implications of Chinese Strategic Culture and Counter-Intervention upon Department of Defense Space Deterrence Operations », *Comparative Strategy* 35, n° 5 (19 octobre 2016): p. 336. Traduction : « Des auteurs chinois influents proposent que l'espace aérien national de la Chine s'étende jusque dans l'espace. »

<sup>16</sup> Ministère de la Défense nationale, *Protection, sécurité, engagement - la politique de défense du Canada*, p. 71.

10. Ces règles, non exhaustives, ne prennent pas en considération certains articles qui importent peu aux FAC dans le contexte actuel. Par exemple, il ne s'avère pas nécessaire pour le moment de discuter de l'article 6 du *Traité sur l'espace extra-atmosphérique* de 1967 qui interdit les armes de destruction massive en orbite<sup>17</sup> puisqu'il serait étonnant que le Canada exploite de telles armes. Les règles énumérées ci-dessus seront toutefois amplement suffisantes pour poursuivre la discussion.

## Les dangers

11. Ayant défini ce que veut dire *utilisation responsable* de l'espace, la prochaine étape est d'identifier les menaces. La note de doctrine *Space Power* l'exprime bien : « the sanctuary of space is no longer the secure domain [sic] it was a decade ago.<sup>18</sup> » Nommer toutes les menaces auxquelles font face les satellites artificiels canadiens deviendrait fastidieux, mais deux grandes catégories se démarquent. La première regroupe les dangers naturels parmi lesquels se trouvent les astéroïdes, l'activité solaire et le vent solaire. L'activité humaine constitue la deuxième catégorie et ses dangers peuvent être de nature électromagnétique ou physique. Tous peuvent mener à la perte partielle ou totale des effets spatiaux.

12. Connus depuis longtemps, les dangers naturels font maintenant partie de la planification des missions spatiales. Les impacts d'astéroïdes sont similaires à ceux entre satellites artificiels et seront donc décrits dans la section des dangers liés à l'activité humaine. Par contre, la météo de l'espace, dont la source principale est le Soleil, provoque des effets précis sur les systèmes spatiaux et même sur les opérations terrestres<sup>19</sup>. L'activité solaire peut, entre autres, réchauffer l'atmosphère et lui faire prendre de l'expansion<sup>20</sup> ce qui augmente la friction affectant les satellites moins élevés, diminuant du coup leur durée de vie. Les vents solaires, présents en permanence et composés de particules chargées appelées plasma<sup>21</sup>, induisent des courants électriques dans les matériaux conducteurs. Elles affectent les pièces électroniques ainsi que tout ce qui utilise le spectre électromagnétique comme les systèmes de communications et certains senseurs. Les systèmes terrestres utilisant des matériaux conducteurs sont aussi affectés par les flux de plasma solaire et galactique. Comme sur Terre, des modèles de prévision sont utilisés pour prévoir la météo spatiale et ses impacts sur effets spatiaux. Il est d'ailleurs possible d'accéder aux prévisions sur le site de Ressources naturelles Canada<sup>22</sup>.

13. Puisque les FAC connaissent et peuvent prévoir la majorité des dangers naturels, ceux liés aux activités humaines méritent une attention particulière. Plusieurs de ces

---

<sup>17</sup> Bureau des affaires spatiales, *DROIT INTERNATIONAL DE L'ESPACE: INSTRUMENTS DES NATIONS UNIES*, p. 5.

<sup>18</sup> Ministère de la Défense nationale, RCAF DN 17/01 *Space Power*, (Ottawa : MDN Canada, 2017), p. 9.

<sup>19</sup> Ressources naturelles, « Qu'est ce que la météo spatiale? », consulté le 21 octobre 2019, <https://spaceweather.gc.ca/sbg-fr.php>.

<sup>20</sup> Ministère de la Défense nationale, *Space Power*, p. 7.

<sup>21</sup> John Cullerne et John Daintith, *The Penguin dictionary of physics*, 3rd ed (London ; New York: Penguin, 2000), p. 325.

<sup>22</sup> <https://spaceweather.gc.ca/>

dangers sont associés au spectre électromagnétique, dont les cyberattaques, l'utilisation de lasers éblouissants et le brouillage ou l'altération des signaux<sup>23</sup>. Une cyberattaque, définie comme une « malicious and deliberate attempt by an individual or organization to breach the information system of another individual or organization<sup>24</sup> », pourrait compromettre les données ou même faire perdre le contrôle de satellites. Moins subtils, les lasers éblouissants affectent les senseurs optiques de la même façon qu'un faisceau lumineux est dirigé la nuit vers un observateur affecte sa vision<sup>25</sup>. Finalement, le brouillage ou l'altération des signaux peut avoir des conséquences désastreuses puisque « les Canadiens dépendent des technologies de positionnement, de navigation et de synchronisation (PNS), comme le GPS<sup>26</sup>. » Toutes ces activités électromagnétiques ont en commun de modifier les transmissions entrantes ou sortantes d'un satellite artificiel. Il est important de comprendre que les données recueillies par un satellite de renseignement font partie des informations transmises à l'aide d'ondes électromagnétiques. Elles peuvent donc être trafiquées ou interrompues comme les transmissions de communication<sup>27</sup>. Il peut être difficile d'identifier les attaques électromagnétiques. Les signaux et l'information reçus de satellites doivent être surveillés continuellement pour détecter les anomalies potentiellement désastreuses.

14. Les attaques physiques, par contre, provoquent souvent des pannes de services évidentes. Un contact, intentionnel ou non, entre des satellites voyageant à des vitesses orbitales est fatal. L'espace orbital de la Terre déborde d'objets naturels et artificiels qui risquent régulièrement de frapper les satellites canadiens. Le commandant de Space Command, le général John Raymond, indiquait récemment dans une entrevue que la United States Air Force (USAF) agissait comme contrôleur aérien de l'espace<sup>28</sup> et que tous les trois jours en moyenne, un satellite doit manœuvrer pour éviter une collision<sup>29</sup>. Il existe aussi de nombreuses façons de causer des collisions intentionnelles. Ainsi, il est possible de cacher un satellite agresseur dans une orbite similaire à celle du satellite ciblé<sup>30</sup>. Une étude récente parue dans le Chinese Journal of Aeronautics prouve qu'il est

---

<sup>23</sup> Ministère de la Défense nationale, *Space Power*, p. 12.

<sup>24</sup> Cisco, « What Are the Most Common Cyber Attacks? », consulté le 13 octobre 2019, <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/common-cyberattacks.html>.

<sup>25</sup> Hubert, N., D. Vincent, A. Dieterlen, and P. Raymond, "Analysis and Quantification of Laser-Dazzling Effects on IR Focal Plane," 2010, p.1.

<sup>26</sup> Ressources naturelles, « Stratégie de positionnement géospatial », modifié le 9 juillet 2018, [https://www.rncan.gc.ca/sciences-de-la-terre/geomatique/strategie-de-positionnement-geospatial/21253?\\_ga=2.226706397.134984333.1571794125-525498933.1571794125](https://www.rncan.gc.ca/sciences-de-la-terre/geomatique/strategie-de-positionnement-geospatial/21253?_ga=2.226706397.134984333.1571794125-525498933.1571794125).

<sup>27</sup> Plusieurs exemples existent dont la modification du signal GPS pour truquer des jeux ou même pour faire dévier des bateaux militaires. « POKÉMON GO: UNBELIEVABLE GPS HACK », vidéo YouTube, 2:49, publié par « jdsika », 25 juillet 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=9mC71c6zRUE>; National Post, « U.S. says Iran is interfering with ships' GPS in Gulf waters, and sending 'spoof' messages pretending to be U.S. warships », modifié le 8 août 2019, <https://nationalpost.com/news/world/u-s-says-iran-is-interfering-with-ships-gps-in-gulf-waters-and-sending-spoof-messages-pretending-to-be-u-s-warships>.

<sup>28</sup> Utilisation du terme contrôleurs aériens de l'espace et non contrôleurs spatiaux pour confirmer que l'USAF emploie des contrôleurs qui utilisent des écrans radars et des moyens de communication tout comme les contrôleurs aériens conventionnels.

<sup>29</sup> « Watching the Skies, with the US Space Command », *Star Talk Radio*, consulté le 22 octobre 2019, <https://www.startalkradio.net/show/watching-the-skies-with-the-us-space-command/>. 20:06

<sup>30</sup> Nicholas Deschenes, « Enabling Leaders to Dominate the Space Domain », *Military Review*, juin 2019, p. 112.

théoriquement possible d'utiliser un satellite caché pour intercepter une cible et, qu'à moyens<sup>31</sup> égaux, il sera impossible pour la cible de s'évader<sup>32</sup>. Les ASAT<sup>33</sup>, habituellement des fusées propulsant directement un projectile balistique vers un satellite, peuvent aussi provoquer des collisions. Plusieurs États possèdent déjà un potentiel d'ASAT puisqu'un « Scud missile developed by the Soviet Union in the 1960s is capable of intercepting the International Space Station in less than ten minutes<sup>34</sup>. » La Chine a même déjà testé avec succès ses capacités ASAT en 2007 en détruisant un de ses satellites désuets<sup>35</sup>. De plus, il est impossible d'éviter les attaques en augmentant l'altitude, car même les orbites les plus éloignées, les orbites géostationnaires (GEO), peuvent être atteintes<sup>36</sup>. Les collisions, accidentelles ou intentionnelles, peuvent survenir à n'importe quel moment. Une collision empêchera presque assurément l'utilisation totale ou partielle des effets spatiaux.

15. Certains diront que la perte d'un satellite peut être compensée par la résilience déjà établie des constellations<sup>37</sup> actuelles. Il est à noter que la constellation GPS américaine, qui comprend 31 satellites, a comme objectif d'avoir 24 satellites opérationnels afin qu'en tout temps et en tout lieu, il soit possible d'obtenir une localisation GPS<sup>38</sup>. Cette résilience permet une continuité du service en cas de collision d'un satellite, mais l'effet Kessler prévoit que les fragments d'une collision ou d'une explosion peuvent entraîner une série d'impacts allant jusqu'à causer un anneau de débris empêchant l'utilisation de plusieurs altitudes orbitales<sup>39</sup>. Cet effet serait particulièrement accentué si un ASAT venait à toucher un satellite en orbite moyenne (MEO) ou en GEO, car les débris ne seraient pas freinés par l'atmosphère et resteraient donc en orbite indéfiniment. La destruction du satellite chinois en 2007 dispersa « approximately 3,000 discrete pieces of debris [that] remain in orbit<sup>40</sup>. » Éviter de tels impacts s'avère primordial.

## Les défenses

16. La meilleure défense face à toutes ces menaces demeure une coopération internationale menant à la mise en commun des ressources et un cadre juridique cohérent et respecté par tous les États. Cette approche respecterait l'intention du traité de 1967 sur

---

<sup>31</sup> Carburant, énergie, senseurs, capacité à manœuvrer.

<sup>32</sup> Dong Ye, Mingming Shi, et Zhaowei Sun, « Satellite Proximate Interception Vector Guidance Based on Differential Games », *Chinese Journal of Aeronautics* 31, n° 6 (juin 2018): p. 1352-61.

<sup>33</sup> Défini dans l'introduction, ASAT est une arme antisatellite. Il peut s'agir d'un missile capable d'intercepter un objet en orbite. Ce missile n'est pas nécessairement capable de placer une charge en orbite, mais simplement d'acquérir assez d'altitude pour croiser la trajectoire d'un satellite.

<sup>34</sup> Deschenes, « Enabling Leaders to Dominate the Space Domain », p. 116. Traduction : « missile SCUD conçu par l'Union soviétique dans les années 60 est capable d'intercepter la Station spatiale internationale en moins de dix minutes. »

<sup>35</sup> Joint Chiefs of Staff, *Space Operations* (Washington, D.C.: Joint Chiefs of Staff, 2018), p. I-12.

<sup>36</sup> Matthew T. King et Laurie R. Blank, « International Law and Security in Outer Space: Now and Tomorrow », *AJIL Unbound* 113 (2019): p. 127.

<sup>37</sup> Un groupe de satellites coordonnés.

<sup>38</sup> « GPS.gov: Space Segment », consulté le 23 octobre 2019, <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>.

<sup>39</sup> Donald J. Kessler et Burton G. Cour-Palais, « Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt », *Journal of Geophysical Research* 83, n° A6 (1978): p.1.

<sup>40</sup> Joint Chiefs of Staff, *Space Operations*, p. I-12.

l'utilisation de l'espace « dans l'intérêt de tous les pays<sup>41</sup> » et peut être très efficace, surtout pour prévenir les accidents. Naturellement, en temps de guerre, les cadres juridiques ne sont pas toujours respectés et les FAC ne disposent pas de toutes les ressources nécessaires pour protéger les satellites canadiens. Des alliances internationales qui mettent à profit les forces de différentes nations pour défendre des intérêts communs constituent un puissant élément dissuasif pour quiconque voudrait empêcher l'utilisation canadienne des effets spatiaux<sup>42</sup>.

17. Comme mentionné précédemment, la météo spatiale peut être prévue, quoiqu'imparfaitement. Les satellites sont blindés contre la radiation et les effets des vents solaires. En cas d'activité accrue, certains peuvent être mis en mode de protection<sup>43</sup> pour traverser la tempête. Il en résulte une interruption des services temporaire, mais prévisible.

18. Les cyberattaques sont maintenant du domaine d'une nouvelle spécialisation des FAC<sup>44</sup> et l'utilisation des émissions électromagnétiques appartiendra au *Projet de soutien de la guerre électronique des Forces canadiennes*<sup>45</sup>. Les FAC préparent donc leurs défenses dans ces domaines. Il demeure néanmoins important pour les utilisateurs des effets spatiaux d'être en mesure de reconnaître les symptômes des attaques et d'y remédier avec des moyens alternatifs comme des systèmes de communications à longue portée et des systèmes de navigation qui n'utilisent aucun satellite.

19. Il demeure impossible pour les FAC d'assumer seuls les coûts du développement de capacités d'évitement des astéroïdes, des satellites et des projectiles. Même la doctrine interarmées des États-Unis met en évidence l'importance des alliances pour garantir un accès au domaine spatial<sup>46</sup>. L'interception d'un satellite, d'un projectile ou d'un astéroïde qui se dirige vers un atout canadien créerait un champ de débris allant à l'encontre du cadre juridique et rien n'indique que ceci est même réalisable. Il ne reste donc que la possibilité de manœuvrer pour éviter toute collision. Puisqu'un satellite artificiel a besoin d'une réserve de carburant pour maintenir sa position dans le ciel, chaque manœuvre d'évitement diminue sa durée de vie utile<sup>47</sup>. L'ajout de carburant à un satellite coûte 10 000 USD par livre<sup>48</sup>. Le recours au carburant pour éviter une collision dépend du temps disponible, de la grosseur du satellite et de l'efficacité des moteurs. Une manœuvre

---

<sup>41</sup> Nations Unies et Bureau des affaires spatiales, *DROIT INTERNATIONAL DE L'ESPACE: INSTRUMENTS DES NATIONS UNIES*, p. 4.

<sup>42</sup> Ministère de la Défense nationale, *Space Power*, p. 10.

<sup>43</sup> « Predicting Space Weather, Protecting Satellites », Eos, consulté le 23 octobre 2019, <https://eos.org/research-spotlights/predicting-space-weather-protecting-satellites>.

<sup>44</sup> Ministère de la Défense nationale, « Cyber Operator | Canadian Armed Forces », consulté le 23 octobre 2019, <https://forces.ca/en/career/cyber-operator/>.

<sup>45</sup> Ministère de la Défense nationale, « Projet de soutien de la guerre électronique des Forces canadiennes - Programme des capacités de la Défense », modifié le 30 mai 2018, <http://dgpaapp.forces.gc.ca/fr/programme-capacites-defense/projet-details.asp?id=1782>.

<sup>46</sup> Joint Chiefs of Staff, *Space Operations*, p. I-5.

<sup>47</sup> *Ibid.*, p. I-12,II-14.

<sup>48</sup> « NASA - Advanced Space Transportation Program Fact Sheet », consulté le 23 octobre 2019, <https://www.nasa.gov/centers/marshall/news/background/facts/astp.html>.

peut ne nécessiter que 70 g, mais ce nombre peut augmenter de façon exponentielle<sup>49</sup>. Maintenir une bonne connaissance de la situation spatiale devient donc crucial pour savoir quand manœuvrer. C'est dans cette optique que le Canada contribue au *Space Surveillance Network* américain avec son satellite Sapphire qui suit les autres satellites en orbite<sup>50</sup>. C'est à la Cellule des opérations spatiales (COSC) que revient la tâche importante de maintenir une bonne compréhension de la situation spatiale avec ses alliés<sup>51</sup>.

20. Dans tous les cas, l'obtention d'informations, la préparation du personnel et l'atténuation des effets négatifs s'avèrent primordiales. En tant que chef de file du domaine spatial et utilisatrice d'effets spatiaux, l'ARC doit être prête à faire face aux dangers. Son personnel doit prendre conscience de l'environnement spatial, des caractéristiques des effets spatiaux et de la situation à l'aide de la COSC.

## CONCLUSION

21. L'environnement spatial est dangereux. Le cadre juridique en place depuis 1967 incite tous les États à coopérer dans l'espace pour le bien-être de l'humanité en maximisant les ressources et minimisant les débris. La doctrine de l'ARC affirme que l'espace extra-atmosphérique est « congested, contested and competitive<sup>52</sup>. » Astéroïdes, satellites et débris y abondent et mettent en péril non seulement les satellites artificiels, mais aussi la possibilité même d'exploiter cet environnement. La météo spatiale est relativement prévisible, mais peut affecter les systèmes. Les communications peuvent être interrompues, modifiées ou bloquées. Les attaques d'États voyous feront de plus en plus partie du quotidien du personnel qui opère dans le domaine spatial.

22. Puisque chaque manœuvre de satellite écourte sa durée de vie utile, il importe de maintenir les capacités de la COSC à demeurer au fait de la situation spatiale. Chaque nouveau projet spatial doit inclure des aspects de résilience et pouvoir affronter la dure réalité des vents solaires. Ces possibilités viennent souvent avec un prix exorbitant. C'est pourquoi il est primordial de continuer à renforcer les relations internationales et de maximiser l'expertise du personnel de l'ARC dans les domaines qui optimisent l'utilisation des ressources actuelles comme la détection d'objets en orbite. Les équipages et le personnel de l'ARC doivent aussi obligatoirement comprendre les effets que peuvent engendrer les différentes menaces sur leurs systèmes et être capables d'y remédier.

## RECOMMANDATION

23. L'ARC devrait, autant que possible, inclure la COSC dans la planification et l'exécution des exercices et des opérations auxquels son personnel participe. Cette

---

<sup>49</sup> « Satellite manoeuvres — EUMETSAT », consulté le 23 octobre 2019, <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/LaunchesandOrbits/SatelliteOrbits/Satellitemanoeuvres/index.html>.

<sup>50</sup> Ministère de la Défense nationale, « Article | Sapphire Satellite in Space », modifié le 1 juillet 2013, <http://www.forces.gc.ca/en/news/article.page?doc=sapphire-satellite-in-space/hj9odjxf>.

<sup>51</sup> Ministère de la Défense nationale, « Article | Le soutien des opérations par l'espace », 25 mars 2014, <http://www.forces.gc.ca/fr/nouvelles/article.page?doc=le-soutien-des-operations-par-l-espace/ht6x4r56>.

<sup>52</sup> Ministère de la Défense nationale, *Space Power*, p. 13.

recommandation vise à augmenter les connaissances spatiales du personnel navigant et de soutien.

24. Les membres d'équipage des aéronefs et leur personnel de soutien doivent être entraînés et équipés pour détecter toute anomalie et y remédier. Il demeure crucial de ne pas délaisser complètement les systèmes de navigation traditionnels comme les aides radio à la navigation<sup>53</sup> et les cartes de navigation au profit du système mondial de navigation par satellite (GNSS). Il en est de même pour les systèmes de communications haute fréquence (HF) qui sont de moins en moins offerts<sup>54</sup>.

---

<sup>53</sup> Les aides radio à la navigation, de nos jours, incluent principalement les VOR, TACAN, ILS et autres systèmes au sol qui indiquent aux équipages où ils se trouvent sur la planète. Les cours de pilotage, maximisant la production, ont nécessairement incorporé la gestion des systèmes électroniques des aéronefs, ce qui laisse moins de temps consacré à l'instruction des tâches classiques comme la navigation. Les officiers de systèmes de combats aériens s'appelaient autrefois navigateurs. Ce changement de nom reflète l'importance de leurs nouvelles tâches.

<sup>54</sup> Les stations côtières de communications militaires ne sont plus continuellement en service.

## BIBLIOGRAPHIE

- Canada. Ministère de la Défense nationale. « Article | Le soutien des opérations par l'espace », modifié le 25 mars 2014.  
<http://www.forces.gc.ca/fr/nouvelles/article.page?doc=le-soutien-des-operations-par-l-espace/ht6x4r56>.
- Canada. Ministère de la Défense nationale. « Article | Sapphire Satellite in Space », modifié le 1 juillet 2013.  
<http://www.forces.gc.ca/en/news/article.page?doc=sapphire-satellite-in-space/hj9odjxf>.
- Canada. Ministère de la Défense nationale. « Cyber Operator | Canadian Armed Forces ». Consulté le 23 octobre 2019. <https://forces.ca/en/career/cyber-operator/>.
- Canada. Ministère de la Défense nationale. « Projet de soutien de la guerre électronique des Forces canadiennes - Programme des capacités de la Défense », modifié le 30 mai 2018. <http://dgpaapp.forces.gc.ca/fr/programme-capacites-defense/projet-details.asp?id=1782>.
- Canada. Ministère de la Défense nationale. *Protection, sécurité, engagement - la politique de défense du Canada*, Ottawa : 2017.
- Canada. Ministère de la Défense nationale. RCAF DN 17/01, *Space Power*. Ottawa : MDN Canada, 2017.
- Canada, Ressources naturelles. « Qu'est ce que la météo spatiale? » Consulté le 21 octobre 2019. <https://spaceweather.gc.ca/sbg-fr.php>.
- Canada. Ressources naturelles. « Stratégie de positionnement géospatial », modifié le 9 juillet 2018. [https://www.rncan.gc.ca/sciences-de-la-terre/geomatique/strategie-de-positionnement-geospatial/21253?\\_ga=2.226706397.134984333.1571794125-525498933.1571794125](https://www.rncan.gc.ca/sciences-de-la-terre/geomatique/strategie-de-positionnement-geospatial/21253?_ga=2.226706397.134984333.1571794125-525498933.1571794125).
- Cisco. « What Are the Most Common Cyber Attacks? », consulté le 13 octobre 2019, <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/common-cyberattacks.html>.
- Cullerne, John, et John Daintith. *The Penguin dictionary of physics*. 3rd ed. London ; New York: Penguin, 2000.
- Deschenes, Nicholas. « Enabling Leaders to Dominate the Sapce Domain ». *Military Review*, juin 2019, p. 109-18.
- Eos. « Predicting Space Weather, Protecting Satellites ». Consulté le 23 octobre 2019. <https://eos.org/research-spotlights/predicting-space-weather-protecting-satellites>.

- États-Unis. Joint Chiefs of Staff. *Space Operations*. JP3-14 Washington, D.C.: Joint Chiefs of Staff, 2018.
- Garcia, Mark. « Space Debris and Human Spacecraft ». NASA, modifié le 13 avril 2015. [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/news/orbital\\_debris.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html).
- « GPS.gov: Space Segment ». Consulté le 23 octobre 2019. <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>.
- Hubert, N., D. Vincent, A. Dieterlen, et P. Raymond. “Analysis and Quantification of Laser-Dazzling Effects on IR Focal Plane,” 2010, p.1.
- Kessler, Donald J., et Burton G. Cour-Palais. « Collision Frequency of Artificial Satellites: The Creation of a Debris Belt ». *Journal of Geophysical Research* 83, n° A6 (1978).
- King, Matthew T., et Laurie R. Blank. « International Law and Security in Outer Space: Now and Tomorrow ». *AJIL Unbound* 113 (2019): p. 125-29.
- « NASA - Advanced Space Transportation Program Fact Sheet ». Consulté le 23 octobre 2019. <https://www.nasa.gov/centers/marshall/news/background/facts/astp.html>.
- National Post. « U.S. says Iran is interfering with ships' GPS in Gulf waters, and sending 'spooof' messages pretending to be U.S. warships ». Modifié le 8 août 2019, <https://nationalpost.com/news/world/u-s-says-iran-is-interfering-with-ships-gps-in-gulf-waters-and-sending-spoof-messages-pretending-to-be-u-s-warships>
- Nations Unies. Bureau des affaires spatiales. *Droit international de l'espace: instruments des Nations unies*. New York, 2017.
- « Pokémon Go: Unbelievable GPS Hack », vidéo sur YouTube, 2:49, publié par « jdsika », 25 juillet 2016, <https://www.youtube.com/watch?v=9mC71c6zRUE>.
- « Satellite manoeuvres — EUMETSAT ». Consulté le 23 octobre 2019. <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/LaunchesandOrbits/SatelliteOrbits/Satellitemanoeuvres/index.html>.
- Stone, Christopher. « The Implications of Chinese Strategic Culture and Counter-Intervention upon Department of Defense Space Deterrence Operations ». *Comparative Strategy* 35, n° 5 (19 octobre 2016): p. 331-46.
- « Watching the Skies, with the US Space Command », *Star Talk Radio*, 16 août 2019. <https://www.startalkradio.net/show/watching-the-skies-with-the-us-space-command/>.

Ye, Dong, Mingming Shi, et Zhaowei Sun. « Satellite Proximate Interception Vector Guidance Based on Differential Games ». *Chinese Journal of Aeronautics* 31, n° 6 (juin 2018): p. 1352-61.