

La remédiation des débris spatiaux

Les obstacles juridiques et techniques

JOSHUA TALLIS*

L'espace. Le mot en dit long : une étendue vierge au potentiel illimité et assez de place pour tout ce que nous pourrions y lancer. Les mots peuvent pourtant être trompeurs. L'espace est peut-être sans limite mais le voisinage que nous occupons ne l'est pas. Environ 500 satellites opérationnels sont actuellement en orbite terrestre basse (OTB), 80 environ en orbite terrestre moyenne (OTM) et 400 environ en orbite géosynchrone (OTG)¹. À ceux-ci viennent s'ajouter 17.000 débris catalogués en OTB, 1.000 en OTM et 1.000 en OTG². Chacun de ces objets spatiaux mesurables sont lancés autour du globe à la vitesse stupéfiante de 7 à 12 kilomètres par seconde, dépassant des vitesses à l'échelle impériale de 15.000 miles par heure³. Il suffit d'effectuer une recherche cartes satellites sur Google pour se rendre compte que l'espace, du moins la partie qui nous occupe, est loin d'être illimité. En outre, la menace des débris spatiaux en orbite a des implications importantes en termes de sécurité nationale.

Ces débris non seulement mettent en danger la vie sur la planète mais représentent un champ de mines saturé, qui peut, en un instant, entraîner une perte inimaginable d'infrastructures critiques. Pourtant, peu de progrès ont eu lieu dans la remédiation de débris spatiaux. Cet article met en évidence certains obstacles juridiques et technologiques significatifs à la mise en œuvre d'une telle remédiation, considérant l'entremêlement de la politique pour les deux cas, concluant que l'allègement des restrictions légales est le meilleur moyen d'encourager toute focalisation constructive sur cette question.

Les débris orbitaux traçables est un terme fourre-tout pour n'importe quel élément non opérationnel en orbite. Ces éléments peuvent aller d'une vis détachée à l'ensemble d'un booster délogé. Les plus petits particules (de un à dix centimètres), restes de nombreux satellites désintégrés et déflagrer, se comptent par millions et, en dépit de leur taille d'écaillés de peinture, ils peuvent facilement tuer un astronaute faisant une sortie dans l'espace ou perforer la station spatiale internationale (ISS). En

*L'auteur est directeur de recherche et d'analyse à Security Management International (SMI), un cabinet de renseignement à Washington, DC. Il a co-écrit avec des collaborateurs de SMI des articles dans le *Journal of Counterterrorism and Homeland Security International*. Josh a contribué fréquemment à *Spaceflight Insider*, un site web de nouvelles de l'air et de l'espace. Il est doctorant au *Centre for the Study of Terrorism and Political Violence* de l'*University of St. Andrews*.

outre, bien que moins nombreux, les plus gros débris spatiaux tels que les satellites désaffectés ou les sections abandonnées de véhicules spatiaux représentent un risque considérable en OTB et aux constellations de satellites en OTG. Les plus gros débris présentent un risque potentiel de fragmentation plus grand ; ainsi, leur destruction bénéficie d'une façon disproportionnée la stabilité orbitale.

Les tests de missiles antisatellites (ASAT), tels le procès au Chinois Fengyun ; les collisions orbitales, telles l'accident *Iridium 33* et *Cosmos-2251* ; et les capsules larguées sont parmi les principales sources de ces débris. Alors pourquoi les États-Unis devraient-ils se soucier ?

En premier lieu, des débris rentrant dans l'atmosphère menacent les infrastructures et les gens, laissant potentiellement un sillage de destruction sur la terre, ce qui, bien que cela ressemble à de la science-fiction, se produit beaucoup plus fréquemment qu'on ne le croit. Par exemple, en 1978, un satellite espion russe, *Cosmos 954*, n'a pas pu se séparer de son réacteur nucléaire avant sa rentrée, polluant l'Arctique canadien de débris radioactifs lorsqu'il s'est écrasé. En 1979, la station spatiale américaine *Sky-lab* s'est écrasée, frappant certaines régions de l'Australie occidentale. Plus récemment, quatre moteurs-fusée à propergol solide se sont écrasés en Uruguay, en Arabie Saoudite, en Thaïlande et en Argentine depuis 2001⁴. Ensuite, la Station spatiale internationale risque souvent d'être endommagée mettant en danger la vie des astronautes à bord et en transit. Selon certaines évaluations, au cours d'une mission typique, les navettes spatiales ont une chance sur 250 de subir des dégâts catastrophiques causés par un micrométéorite ou un débris à grande vitesse⁵. Dans le cours de 100 missions, ce risque atteint une probabilité cumulée de 33 pour cent, une évaluation certes dramatique mais illustrative⁶. Finalement, les débris spatiaux pourraient désactiver une multitude de satellites indispensables au commerce mondial, à la défense nationale, à la navigation internationale et à l'agriculture.

Alors pourquoi ne pas tout simplement lancer des aspirateurs spatiaux et de nettoyer le gâchis que nous avons créé ? Comme avec beaucoup de crises internationales, la solution de ce problème est beaucoup plus compliquée que les circonstances qui l'ont créé. Une multitude de considérations juridiques, politiques et techniques persiste à faire des débris spatiaux un sujet de frustration. Tout le monde convient qu'il faut faire quelque chose mais très peu sont d'accord sur ce qu'est exactement ce quelque chose. Prévenir la création de futurs débris a servi de point de ralliement à un certain nombre de nations spatiales. Ce n'est pourtant qu'un remède de fortune pour un problème grandissant, bien qu'il encourage un plus grand recours à la technologie et à la responsabilité personnelle entre les organismes du monde entier. Pourtant, aussi longtemps que les débris continueront d'encombrer l'espace, le risque qui pèse pour la sécurité nationale et l'économie persistera. Certains observateurs, comme le physicien de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), Donald Kessler, suggèrent même une instance de masse critique au moment où l'abondance de

débris en orbite terrestre basse pourrait cascader en perpétuelles réactions en chaîne d'accidents, un phénomène connu comme le syndrome de Kessler⁷. Des rapports distribués par le *Johnson Space Center* de la NASA soutient au moins en partie cette hypothèse ; même si tous les lancements avaient cessé en 2005, le dépotoir orbital pré-existant était alors suffisamment vaste pour continuer à produire des débris plus vite que la friction causée par l'atmosphère terrestre ne pourrait les détruire⁸. Ainsi, bien que les tentatives de réduction des débris spatiaux soient essentielles pour avoir un certain effet sur les sources des débris à long terme des explosions et des éjections de modules de la ASAT, ces efforts limités n'offrent pas une solution au problème plus vaste. L'encombrement global de débris catalogués continuerait de s'accumuler même si nous arrêtons demain de lancer des satellites. De toute évidence, il faut faire quelque chose, mais quoi ?

Les obstacles juridiques

La perception populaire considère la technologie comme une industrie en expansion exponentielle et, tout comme l'indique la loi de Moore, poussant continuellement ses propres frontières. Une telle croissance rapide est rarement, sinon jamais, compensée par une évolution équivalente dans le cadre juridique qui la régit. En conséquence, et à bien des égards, la loi et les traités de contrôle de l'espace sont des obstacles à la résolution des problèmes contemporains en raison de leur nature importunément périmée. En 1967, les États-Unis signèrent le Traité sur l'espace extra-atmosphérique (OST), qui définit globalement les objectifs les plus importants de la Guerre Froide, ce qui était alors un concours cosmique bipolaire. En 1968, les États-Unis et l'URSS ont ajouté un Accord sur le sauvetage des astronautes et en 1972 la Convention sur la responsabilité est devenue un autre *addendum*. En 1979, la Convention sur l'immatriculation et l'Accord sur la Lune étaient devenus les réserves finales à ce corpus de droit international⁹. Depuis, les gouvernements ont nécessairement orientés le droit spatial autour de ce paradigme, produisant des résultats qui n'ont pas toujours été favorables à faire face aux défis grandissants contemporains.

D'abord et surtout, à partir de 2006, aucun accord international ni document de l'ONU n'avaient utilisé ni défini le terme *débris spatial*¹⁰. Il est impossible de résoudre un problème qui n'est ni identifié ni institutionnellement reconnu. Certes, l'Article IX de l'OST condamne la contamination dangereuse du Traité sur l'espace extra-atmosphérique, bien qu'il le fait d'une manière rhétorique et sans mécanisme d'application ou de compréhension claire de ce que signifie la contamination¹¹. Aidant la réticence des états à s'engager dans un débat sur ce sujet est l'inclusion des Articles VI et VII de l'OST. Ensemble, ils forment une large conceptualisation de responsabilité dans laquelle un état est responsable non seulement de la matière qu'il lance mais également pour tout engin orbital lancé par des entités non gouvernementales au sein

de ses frontières nationales¹². Lorsque, en 1967, les États-Unis et l'Union Soviétique étaient les deux seuls pays ayant des capacités spatiales dignes de ce nom et leurs gouvernements respectifs fournissaient des sites de lancement et une vision globale à l'industrie spatiale, cette clause était une question mineure. Aujourd'hui, avec la technologie spatiale devenant une composante croissante des activités commerciales mondiales et la communauté spatiale devenant de plus en plus commerciale, et éventuellement privatisée, les Articles VI et VII font peser une responsabilité écrasante sur les états, étant donné la prévalence de sociétés opérants dans le secteur spatial.

Ironiquement, la Convention de 1972 sur la responsabilité, tout aussi dépassée, a encore plus compliqué la question de l'infraction. Cette Convention a tenté de définir la négligence d'une façon qui encourageait la communauté internationale à adopter un comportement responsable dans l'espace. Cependant, pour qu'un tel accord ait un effet notable sur la remédiation des débris, ses principes doivent être à la fois directs et exécutoire. Tel n'est pas le cas. La détermination première et la plus critique à faire en exposant la responsabilité est l'identification des objets impliqués dans une collision donnée. En 1972, les équipements de dépistage qui pouvait avoir un impact technologique significatif sur ces pourparlers n'existaient pas. En outre, bien que l'actuel *Space Surveillance Network* du *US Strategic Command* (USSTRATCOM) a une bien plus grande capacité de détecter et de surveiller les débris orbitaux, il est loin d'être parfait et reste mondialement inaccessible. Pourtant, même si un plaignant pouvait identifier avec précision la partie impliquée dans une collision orbitale, la question de la négligence reste à déterminer. Légalement, décider des paramètres orbitaux est la dernière action positive prise par un état lors du lancement d'un satellite (sans manœuvres standards de maintien en position), le simple fait de lancer un satellite ne constitue pas une négligence¹³. Certains croient que les lignes directrices du *Inter-Agency Space Debris Coordination Committee* sur les débris spatiaux, l'enregistrement élargi de l'*International Telecommunication Union* ou la pratique courante de stimuler les charges utiles à destination des orbites cimetières, offrent des possibilités d'attribuer des blâmes à ceux qui ne respectent pas ces normes à l'avenir. À ce jour, cependant, aucun système à base de règles, n'a atteint un consensus mondial.

Enfin, la Convention sur la responsabilité nous laisse sans réponse claire à la question de savoir ce qui constitue la causalité. Nous n'avons pas de règle de la route dans l'espace, aucun moyen de savoir qui conduisait dans la mauvaise voie ou qui a grillé un feu rouge (seuls les créneaux OTB exigent l'enregistrement avec l'*International Telecommunication Union*). En outre, les satellites fonctionnels peuvent souvent manœuvrer sur de courtes distances. Si un débris non opérationnel heurte un satellite opérationnel qui n'a pas essayé d'éviter cet objet, est-ce une négligence contributive ? Jusqu'à présent, parce que ces questions n'ont pas de réponses fermes, les événements catastrophiques comme Fengyun continuent de polluer les orbites terrestres, et la communauté internationale ne sent aucune contrainte légale d'agir. En réalité, la

Convention sur la responsabilité ne s'est pas assemblée avec l'intention de protéger l'espace, mais c'était plutôt un traité politique destiné à consolider les intérêts nationaux clés dans les domaines techniques et juridiques encore mal compris¹⁴. Cependant, sans une contrainte légale (et donc économique), la motivation de patrouiller l'espace, la remédiation des déchets continuera à être purement une question d'intérêt de pure forme pour la plupart des états.

Pour soutenir le débat, supposons que les états veulent vraiment résoudre ce problème et décide de s'attaquer de manière uniforme à toutes les questions soulevées à ce jour. Seule une poignée de nations (principalement les États-Unis et la Russie) peut effectivement éliminer les débris des orbites basse, moyenne et géosynchrone. Imaginons, dans le cadre d'un projet commun, ces États développent un mécanisme d'élimination de débris pour la remédiation de moyens et grands matériaux non opérationnels. Malgré ces efforts, à la fois selon le Traité sur l'espace extra-atmosphérique et la Convention sur l'immatriculation, les droits de sauvetage en orbite n'existent pas. Tout ce qui est lancé dans l'espace reste la propriété de l'entité qui l'a lancé, même si cette propriété éclate en 5.000 mille morceaux. Par conséquent, il est illégal de déplacer ou d'enlever n'importe quel objet dans l'espace qui n'appartient pas à l'état de lancement ou à l'état d'enregistrement exécutant l'action, du moins pas sans autorisation¹⁵. Les dispositions de l'Article VIII du Traité sur l'espace extra-atmosphérique, qui incarne cette règle, peuvent donc interdire les efforts russes ou américains à nettoyer les débris dans ce scénario, en supposons bien sûr que les États-Unis peuvent même identifier le propriétaire d'un certain morceau de débris, ce qui n'est pas une tâche simple. En outre, ne l'oublions pas, si dans l'effort de nettoyer des débris, nous en créons d'autres ? Dans ce cas, nous retournons à la discussion circulaire de la responsabilité¹⁶.

Comme nous pouvons le voir, la remédiation des débris spatiaux rencontre son premier obstacle majeur dans le mystérieux régime juridique qui rend la stimulation à l'action à travers des lois sur la responsabilité et la propriété ambiguës et difficile à appliquer. Pour être sûr, certaines solutions sont actuellement envisagées alors que monte la pression pour résoudre ce problème inquiétant. Des fonds d'indemnisation, une répartition des dommages-intérêts basés sur la responsabilité de part de marché et des normes à base d'infraction pour des dégâts ont tous été suggérés¹⁷. Aucun n'a atteint un consensus, mais le simple fait que ces questions sont en discussion est une indication prometteuse que l'examen de la question de la remédiation de l'espace gagne du terrain. Toutefois, jusqu'à ce que la responsabilité, la propriété, la causalité, les règles de la route et la négligence sont clarifiés et les débris orbitaux officiellement codifiés comme un problème, la motivation pour une plus grande action continuera à languir.

Cette réticence de la part des états à interagir dans un système juridique inadéquat délimitant l'environnement spatial, exprimée dans la léthargie de l'action inter-

nationale, trouve aussi ses racines dans des considérations de politique intérieure et de défense nationales. Toute conversation sur le régime législatif ne peut être dissociée du raisonnement des acteurs étatiques. Pour de nombreux pays, la réticence à aborder ce sujet est conduite en grande partie par l'appareil de défense. Aux États-Unis, la NASA et le Département de la défense (DOD) ont historiquement coopéré dans le domaine de la réduction des débris et d'adhérer à des directives strictes comme un moyen d'aide à la réduction de débris spatiaux¹⁸. De même, de tels efforts ont été approuvés par l'Assemblée générale des Nations Unies pour des raisons assez simples : tout le monde peut être d'accord que la création de plus de rebut spatial est une mauvaise idée. En outre, bien que la *US National Space Policy* de 2010 a instruit la NASA et les forces armées à poursuivre la recherche et le développement sur la remédiation des débris, cette demande n'avait reçu aucun calendrier, rendant l'instruction fonctionnellement inutile¹⁹. De plus, le gouvernement n'a pas sérieusement chargé une agence à l'enlèvement de débris ajoutant à la confusion à Washington²⁰.

L'une des raisons de ce désintérêt pour la remédiation de l'espace découle des types de technologie que le nettoyage de l'espace produirait. Semblable aux préoccupations sur les véhicules d'entretien de satellites, la capacité d'amarrage et de manipulation d'un autre satellite, ou un fragment de celui-ci, conduit inévitablement à des questions techniques spatiales à double usage (civil et militaire d'un matériel connexe) en technologie spatiale. Par exemple, un véhicule capable de patrouiller et de recueillir des petits débris pourrait de même être chargé de désorbiter des éléments de satellites appartenant à un autre pays ou à une entité concurrente. Le DOD et ses homologues dans les principales nations spatiales, telles que la Russie et la Chine, n'ont aucun intérêt dans la promotion de la croissance de ces capacités, non parce qu'ils favorisent l'encombrement orbital, mais parce qu'une technologie civile qui permettrait de remédier à ce problème porte toujours avec elle des ramifications de sécurité nationale. Au fur et à mesure que le dépotoir spatial approche une masse critique, ces priorités peuvent changer. Jusqu'à ce moment, ceux en faveur de l'investissement dans la technologie et la législation en matière de débris spatiaux vont continuer à rencontrer une forte opposition de la part des gouvernements.

Les obstacles techniques

Que pouvons-nous, donc, faire au sujet des débris existants ? La réponse, au niveau du matériel, est une certaine méthode d'élimination active des débris, un sobriquet dans l'industrie qui veut dire « quelque chose ». Des événements récents tels que l'essai antisatellite chinois en 2007 et la collision entre des satellites russe (*Cosmos 2251*) et américain (*Iridium 33*) en 2009, ont attiré une attention accrue (et des déchets) sur le sujet de la remédiation des débris²¹. On ne peut sous-estimer l'importance du problème des débris à la suite de ces deux événements. Ensemble, ils ont

augmenté par près d'un tiers la traçabilité des débris. En réaction, la communauté technique a été chargée, en dépit des obstacles considérables mentionnés dans la section précédente, d'explorer certains systèmes d'élimination active des débris qui seraient réalistes et économiques pour le déploiement dans un délai raisonnable, bien que non précisé. Pourtant, quelque chose d'apparemment aussi simple que la requête de modèles pour l'élaboration de concepts pour de tels systèmes est inévitablement liée à des considérations techniques et politiques multiples. Cette section décrit certains des obstacles à l'innovation technologique dans ce domaine, avec un accent sur l'impact des choix politiques sur le développement de la technologie.

Les développements techniques dans des domaines qui projettent, peu ou pas, d'avantages économiques à court ou moyen terme tendent à ne pas attirer les capitaux privés. Certaines personnes croient que les subventions de recherche du gouvernement devraient combler cette lacune, une croyance impliquant, pour le meilleur ou pour le pire, des considérations politiques influant directement sur la migration de la technologie dans ces industries. Les effets de cette corrélation sont évidents dans les débats hautement politisés sur le changement climatique ou la recherche sur les cellules souches. En outre, malgré un profil plus discret, cette corrélation joue un rôle tout aussi significatif dans l'investissement consacré à l'élimination active des débris. Parce que les préoccupations de défense et les incertitudes juridiques motivent les gouvernements à défendre le *statu quo*, aucun effort gouvernemental vigoureux n'a conduit à des développements technologiques. De plus, même si des motivations politiques devraient converger pour produire un mandat perceptible pour la recherche sur l'élimination active des débris, les ingénieurs vont inévitablement faire face à des paramètres contraignants imposés par des organismes de défense, concernées par les applications à double usage. Par exemple, une suggestion réelle d'un laser géant, conçu pour chauffer un côté d'un débris causant sa chute de l'orbite, est essentiellement un pistolet géant à rayons. S'il peut désorbiter un satellite désaffecté, il peut tout aussi facilement désactiver un qui est opérationnel. En outre, en supposant que la communauté de défense, un climat juridique favorable et la volonté politique sont tous présents, la question se pose toujours de savoir exactement quel type de projets d'élimination active de débris mérite les ressources limitées mises à la disposition de la *Defense Advanced Research Projects Agency* et de la NASA. Cela exigerait de donner la priorité soit à l'élimination des plus petits débris, ce qui contribue à la sauvegarde de satellites opérationnels existants, ou la remédiation de plus gros débris, ce qui contribue à la stabilité à long terme des systèmes orbitaux²². Les arguments en faveur de la première solution soulignent l'utilisation de ressources limitées pour résoudre des problèmes immédiats. Les petits débris sont difficiles à tracer et le nombre de pièces s'élève à des millions. La difficulté de catalogage et le suivi de tant de débris signifient que les objets comme des vis desserrés ou des écailles de peinture présentent la plus grande menace à court terme aux satellites opérationnels. Les arguments en faveur de

cette déclaration souligne que la suppression, même de pas plus de cinq des gros débris peut considérablement stabiliser l'environnement orbital²³. Parce que les acteurs peuvent facilement cataloguer les gros débris, ces matériaux présentent une menace immédiate plus limitée. Cependant, comme noté ci-dessus, la fragmentation potentielle d'un gros morceau de rebut orbital présente un risque démesuré à long terme. Cette vulnérabilité devrait être inévitablement abordée bien que la nature nécessairement myope de la politique, et la présence de considérations plus pressantes, rendent la tâche apparemment simple d'enlever une poignée seulement de débris difficile. De même, les décideurs sont confrontés à un choix entre les technologies de ciblage et de drège, chacune offrant des avantages et des problèmes²⁴. Les drèges sont particulièrement utiles après une catastrophe pour nettoyer les amas de débris avant leur propagation, en capturant une grande quantité de matériau semblable à un chalutier draguant le fond océanique. Cependant, les drèges comme les dragues ne sont pas précises dans ce qu'ils ramassent. Les techniques de ciblage peuvent être plus équipées pour limiter les risques de collisions. Ainsi, en supposant que nous pouvons répondre à tous les domaines politiques, juridiques, de la sécurité, économiques et les problèmes de priorisation, quelle technologie est actuellement disponible pour l'investissement de recherche ?

La première étape pour répondre à cette question implique une amélioration de la conscience situationnelle au sujet de l'espace. À ce jour, seul STRATCOM surveille les débris spatiaux en appliquant ce qui ressemble à une méthode compréhensive, soulevant en soi une multitude de questions éthiques. Par exemple, les États-Unis sont-ils obligés d'avertir une société ou un pays étrangers d'une collision imminente ? Cependant, cette tâche particulière de surveillance s'appuie pourtant sur une technologie vieillissante qui ne peut suivre que quelques dizaines de milliers parmi des millions de débris d'origine humaine dans l'espace. En 2013, des contraintes de séquestration ont forcé le gouvernement américain à abandonner un système de radar de S-bande connu comme *Space Fence*, représentant une tentative de modernisation de certaines infrastructures des forces interarmées pour suivre les débris. En juin 2014, le gouvernement a relancé le programme en attribuant un contrat de près d'un milliard de dollars à Lockheed Martin pour reprendre le travail sur le projet. L'ancien système de traçabilité peut suivre les débris de la taille d'un ballon de basket en orbite terrestre basse alors que le *Space Fence* proposé pourra suivre les débris de la taille d'un ballon de baseball ou moins²⁵. Cette capacité accrue pourrait entraîner le nombre de débris catalogués de près de 20.000 à près de 200.000²⁶. Pourtant, peu importe si *Space Fence* survit les réductions budgétaires futures, toute tentative de remédiation des débris exigera la mise à la disposition du STRATCOM de ressources pour continuer de ratisser avec des logiciels de modélisation prédictives renforcés par une capacité croissante de contrôle ponctuel de plus de débris. Une telle capacité est une condition préalable à toute tentative de remédiation puisque nous ne pouvons pas éliminer ce

que nous ne pouvons pas trouver. De même, une meilleure conscience situationnelle contribuera à atténuer un certain nombre de questions techniques qui affligent le débat sur la responsabilité.

Pourtant, à terme, la remédiation des débris spatiaux exigera leur élimination physique, ou leur désorbitation, et nous ne manquons pas de propositions sur la façon de le faire. Un concept populaire en circulation est celui de l'emploi d'une longe utilisant l'électromagnétisme ou l'échange d'énergie cinétique. Ces dispositifs visent généralement les plus gros débris, provoquant de tels matériaux d'abandonner leur orbite terrestre basse ou en les jetant dans des orbites cimetières au-dessus d'une orbite géosynchrone, de la même manière qu'un objet attaché à une corde peut être lancé dans l'air. La variante électrodynamique a récemment gagné en importance, comme le montra une subvention de 1,9 million de dollars accordée par la NASA à *Star Technology and Research* qui a fait la une en mars 2012²⁷. Tel qu'annoncé par la société *ElectroDynamic Debris Eliminator*, utilisant une flotte de douze véhicules lancés en orbite terrestre basse, opérant de concert pour saisir des débris et les attirer sur des orbites de courtes durée avant de les faire cascader et retirer de la circulation. D'après les prévisions de la société, qui a reçu d'autres subventions gouvernementales dans le passé, une flotte de cette taille pourrait éliminer tous les débris de plus de deux kilos actuellement en orbite terrestre basse en sept ans²⁸. Par conséquent, bien que ce système ciblé offrant les avantages de la précision et du contrôle, il est conçu pour chorégraphier de telle manière qu'il produit les avantages à long terme d'une approche de drège. Si ce système peut vraiment faire face à l'accroissement naturel des débris, si le matériel désorbité court le risque d'atteindre la surface et si une telle flotte grande et mobile augmente encore plus les risques de collision, ce sont des questions qui ont encore besoin de réponse, laissant ce système comme l'un parmi de nombreux prétendants sans titre à la couronne de panacée. Il grossit les rangs des lasers et des harpons dans le club en croissance constante de modèles en lice pour une tranche de la manne inévitable que la crise produirait probablement. Bien qu'un exemple parmi d'autres, l'*ElectroDynamic Debris Eliminator* démontre la complexité à tous les niveaux de développement technique, ainsi que les coûts associés aux prototypes, même non opérationnels.

L'espace est un environnement incroyablement hostile. L'absence d'atmosphère, les niveaux de radiation élevés, les températures extrêmes et l'aspect des opérations à distance font de la remédiation un problème technique de la plus grande complexité. En outre, avec des coûts exorbitants, des résultats si incertains, des priorités si ambiguës et des technologies encore non testées, l'élimination active des débris continuera d'être à la merci des caprices des politiciens. Seulement après la résolution de toutes ces incertitudes que le processus ardu des essais techniques et des erreurs commence. Le nettoyage de l'espace ne sera pas une solution rapide et les scientifiques concernés par l'immédiateté de la crise continueront sans aucun doute de voir les solutions re-

poussées jusqu'à ce que ceux qui contrôlent le flux du financement soient persuadés de faire les investissements politiques et économiques nécessaires.

Enfin, toute discussion sur le rôle de l'industrie aérospatiale commerciale ne peut ignorer la réalité que le secteur privée est un segment en croissance du marché de lancement et de charge utile. La NASA dépend de plus en plus des partenaires commerciaux (*Orbital Sciences Corporation* et *Space Exploration Technologies Corporation*, ce dernier communément appelé *SpaceX*) pour satisfaire ses obligations d'approvisionnement pour l'*International Space Station*. La *Boeing Company*, les *Space Systems* de la *Sierra Nevada* et *SpaceX* sont aussi en concurrence pour fournir un accès commercial en Amérique à l'orbite terrestre basse, une capacité que les États-Unis a manqué depuis la terminaison du programme de la navette spatiale en 2011. *SpaceX* a annoncé en août 2014 qu'il a choisi Brownsville, Texas, comme le site d'un port spatial commercial privé, d'où la société a l'intention de mener plus d'une douzaine de lancements commerciaux annuellement. Compte tenu de ces développements en toile de fond, il est évident que les sociétés privées ne peuvent pas seulement regarder la remédiation spatiale comme une simple vache à lait. Les entreprises aérospatiales doivent être incluses dans un régime qui distribue équitablement les responsabilités de la prévention des débris et de la remédiation d'une manière qui répond à leurs rôles dans le système moderne. La mise à jour de la *Liability Convention* pourrait fournir un cadre pour aider à élargir les responsabilités juridiques et financières internationales des entreprises de lancements commerciaux. Des organismes internationaux tels que l'*International Telecommunications Union* (affiliée aux Nations unies) offrent une autre piste où les responsables politiques peuvent discuter cette question décidément multinationale. Toutefois, peu importe la méthode pour aborder les droits et les responsabilités des entreprises privées, toute discussion sur les obstacles juridiques et techniques à la remédiation des débris spatiaux doit reconnaître que cette question n'est plus seulement gouvernementale.

Conclusion

Évidemment, le sujet des débris spatiaux est complexe et intrinsèquement international, ayant des ramifications directes pour la sécurité nationale. Cependant, avec le matériel et la responsabilité répartis entre plusieurs nations, et la responsabilité d'une cause majeure de préoccupation pour tous les participants, des solutions ne peuvent provenir que dans un forum mondial. Les décideurs politiques peuvent résoudre les problèmes techniques avec le financement de ces projets provenant de l'establishment politique, et cet establishment écoute les avocats et les généraux. La meilleure façon d'apaiser ce noyau de circonscription électorale est de parvenir à un consensus multilatéral sur un ensemble international de normes et de programmes éliminant l'incertitude et la crainte de représailles judiciaires contre ceux qui cherchent

à résoudre le problème. C'est la pierre angulaire des obstacles à la remédiation des débris spatiaux. Si les nations pouvaient concourir sur les principes fondamentaux de négligence et des règles de responsabilité dans ce contexte, tout en s'unissant technologiquement (comme ils l'ont fait dans la station spatiale internationale) pour répondre à la question, alors les conflits qui subsistent ne disparaissent pas, mais ils deviendraient beaucoup plus gérables.

Dans une coentreprise, le département de la Défense pourrait surveiller ouvertement les capacités des organismes participants. En outre, il est inévitable que la plupart des communautés militaires finisse par voir les débris comme une menace incontournable à la sécurité nationale. Le *statu quo* ne survivra pas avec la communauté de la défense à bord, le soutien politique pour l'élimination active des débris devient durable, ouvrant par conséquent le financement dans le processus budgétaire, que les grandes entreprises et les entrepreneurs peuvent manipuler pour le gain de subventions d'aide à la recherche dans le domaine de l'élimination active des débris. En outre, étant donné un accord sur des normes exécutoires de responsabilité et de causalité sera de même suivi d'investissements dans des moyens renforcés de surveillance et de conscience situationnelle. En établissant un ensemble cohérent de règles de base motivantes, nous exposons les enchevêtrements de la remédiation de débris spatiaux à des solutions réalistes. Si la communauté internationale peut s'unir, le nettoyage des débris spatiaux devient une entreprise beaucoup plus prometteuse.

Notes

1. Secure World Foundation, *Space Sustainability: A Practical Guide*, Washington, DC : Secure World Foundation, 2013, p. 8, http://swfound.org/media/121399/swf_space_sustainability-a_practical_guide_2014__1_.pdf.

2. *Id.*

3. Les débris non catalogués sont estimés à être chiffrés en millions. Les débris catalogués consistent de matériau que les capteurs actuels peuvent mesurer et contrôler inopinément.

4. NASA, « Reentry of U.S. Rocket Stage Above South America », *Orbital Debris Quarterly News* 15. no. 3, 2011, p. 3. Dans aucun de ces cas des vies ont été perdues, mais ils représentent des incidents potentiels, périodiques et peu fréquents, lors des rentrées dangereuses.

5. MATSON, John, « U.S. Taking Initial Steps to Grapple with Space Debris Problem » *Scientific American*, 31 août 2011, www.scientificamerican.com/article.cfm?id=orbital-debris-space-fence.

6. *Id.*

7. Les calculs de Kessler ont été mal appliqués dans la culture populaire, mais la théorie reste à la fois viable et acceptable dans un scénario théorique. En 2010, Kessler a expliqué sa position mise à jour sur ce syndrome et son soutien général pour le modèle qu'elle produit dans l'article suivant : KESSLER, Donald, JOHNSON, Nicholas, LIU, J. C., et MATNEY, Mark, « *The Kessler Syndrome: Implications to Future Space Operations* », essai, 33e Annual American Astronomical Society Guidance and Control Conference, Breckenridge, CO, 6–10 février 2010, <http://webpages.charter.net/dkessler/files/Kessler%20Syndrome-AAS%20Paper.pdf>.

8. NASA Orbital Debris Program Office, « Orbital Debris Remediation », Johnson Space Center website, 21 août 2009, www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/remediation/remediation.html. Une étude citée par la NASA conclue que la collision des satellites déjà en orbite d'ici 2005 serait finalement assez pour remplacer et dépasser la quantité de débris de plus de dix centimètres qui seraient perdus à la friction atmosphérique. Autrement dit, pour chaque

morceau de débris qui a brûlé dans l'atmosphère terrestre, de nouveaux accidents créeraient aux moins un nouveau morceau de débris même si nous n'avons jamais lancé une autre charge dans l'espace.

9. Secure World Foundation, *Space Security Index, Space Security 2010: Executive Summary*, Washington, DC : Secure World Foundation, p. 12, <http://swfound.org/media/29036/ssi2010executivesummary.pdf>.

10. TAYLOR, Michael W., « Orbital Debris: Technical and Legal Issues and Solutions », thèse du L.L.M., McGill University, 2006, pp. 39–40.

11. *Id.*, p. 76.

12. *Id.*, p. 42.

13. *Id.*, p. 77.

14. La *Convention on International Liability for Damage Caused by Space Objects* (ou simplement *Liability Convention*) est entrée en vigueur en 1972, cinq ans après l'adoption du *Outer Space Treaty*. La provision la plus fondamentale de la convention est que toute la responsabilité pour un lancement est détenu par l'état du lancement. Par conséquent, seuls les états peuvent porter plainte l'un contre l'autre sous les directives de la Convention ; les individus et les sociétés sont empêchés de le faire. En 1972, ces concepts ont été relativement peu discutés puisque seules les superpuissances pouvaient penser à lancer des satellites en orbite. Toutefois, dans une industrie de plus en plus commercialisée et considérablement élargie, les entreprises privées jouent un rôle indéniable dans les lancements des charges utiles et de la propriété et de l'exploitation de satellites en orbite. En conséquence, le système international est peu enclin d'adopter un régime juridique qui tient les états entièrement responsable de l'impact des sociétés ou des individus du lancement de l'intérieur de leurs frontières. De même, un régime qui marginalise une communauté de plus en plus importante dans le lancement aérospatial, les opérateurs de lancements commerciaux, est voué à l'échec. En fait, malgré les 89 signatures, la convention n'a été utilisée qu'une seule fois avec succès, dans le cas de l'accident du *Cosmos 954* mentionné précédemment.

15. TAYLOR, « *Orbital Debris* », p. 80.

16. Il est important de noter que, peu importe la manière dont nous abordons la façon significative les insuffisances du régime juridique, l'action collective restera toujours un obstacle à la remédiation des débris. Comme avec la lutte contre le changement climatique, la remédiation des débris spatiaux est un projet coûteux avec peu de perspectives immédiates de gain financier pour les acteurs qui paient y remédier. L'auteur estime que le cadre juridique mis à jour rend les questions de l'action collective plus facile à discuter. Néanmoins, le fait demeure que les projets d'origines collectives et de rectification sont des issues politiques profondément difficiles qui, par définition ne se prêtent pas facilement à des solutions simples.

17. TAYLOR, « *Orbital Debris* », p. 85.

18. BAIOCCHI, Dave et WELSER, William IV, *Confronting Space Debris: Strategies and Warnings from Comparable Examples Including Deepwater Horizon*, Santa Monica, CA : RAND Corporation, 2010, p. 83.

19. MATSON, « U.S. Taking Initial Steps », www.scientificamerican.com/article.cfm?id=orbital-debris-space-fence.

20. NASA Orbital Debris Program Office, « Orbital Debris Remediation », www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/remediation/remediation.html.

21. *Id.*

22. *Id.*

23. *Id.*

24. BAIOCCHI et WELSER, *Confronting Space Debris*, p. 46.

25. La nouvelle *Space Fence* remplacera neuf radars dans la *VHF-band* avec les radars au sol positionnés sur le Kwajalein Atoll aux îles Marshall. Les nouveaux détecteurs utiliseront un *S-band* comprimé pour cataloguer et vérifier ponctuellement les objets de la taille d'une balle de baseball ou moins en orbite terrestre basse.

26. TALLIS, Joshua, « Lockheed Wins Contract to Track Space Trash », *Spaceflight Insider*, 4 juin 2014, www.spaceflightinsider.com/space-flight-news/lockheed-wins-contract-track-space-trash/.

27. MESSIER, Douglas, « Company Gets \$1.9 Million from NASA to Develop Debris Removal Spacecraft », *Parabolic Arc* (blogue), 12 mars 2012, www.parabolicarc.com/2012/03/12/company-gets-1-9-million-from-nasa-to-develop-debris-removal-spacecraft/.

28. STAR, Inc., « ElectroDynamic Debris Eliminator (EDDE) Vehicle », n.d., www.star-tech-inc.com/id121.html.