

**Assemblée générale**

Distr. générale
14 novembre 2014
Français
Original: anglais

**Comité des utilisations pacifiques
de l'espace extra-atmosphérique**
Sous-Comité scientifique et technique
Cinquante-deuxième session
Vienne, 2-13 février 2015
Point 7 de l'ordre du jour provisoire*
Débris spatiaux

**Recherche nationale sur les débris spatiaux, la sûreté des
objets spatiaux équipés de sources d'énergie nucléaire et les
problèmes relatifs à leur collision avec des débris spatiaux**

Note du Secrétariat

I. Introduction

1. Dans sa résolution 69/85, l'Assemblée générale s'est déclarée profondément préoccupée par la fragilité de l'environnement spatial et les problèmes que pose la viabilité à long terme des activités spatiales, s'agissant en particulier des dégâts que peuvent causer les débris spatiaux, qui intéressent tous les pays. Elle a jugé indispensable que les États prêtent davantage attention au problème des collisions d'objets spatiaux, en particulier ceux qui utilisent des sources d'énergie nucléaire, avec des débris spatiaux et aux autres aspects de la question des débris spatiaux et a demandé que les recherches sur cette question se poursuivent au niveau national, que les techniques de surveillance des débris spatiaux soient améliorées et que des données sur ces débris soient rassemblées et diffusées. L'Assemblée générale a également estimé que le Sous-Comité scientifique et technique devrait, autant que possible, en être informé et est convenue que la coopération internationale s'imposait pour élaborer des stratégies appropriées et abordables destinées à réduire le plus possible l'incidence des débris spatiaux sur les futures missions spatiales.

2. À sa cinquante et unième session, le Sous-Comité scientifique et technique est convenu que les recherches sur les débris spatiaux devraient être poursuivies et que les États Membres devraient communiquer à toutes les parties intéressées les

* A/AC.105/C.1/L.341.



résultats de ces recherches, notamment des informations sur les pratiques qui s'étaient révélées efficaces pour limiter la création de débris spatiaux (A/AC.105/1065, par. 103). Le Sous-Comité est également convenu que les États Membres et les organisations internationales dotées du statut d'observateur permanent auprès du Comité devraient être invités à soumettre des rapports consacrés à la recherche sur la question des débris spatiaux, la sûreté des objets spatiaux équipés de sources d'énergie nucléaire, les problèmes relatifs à leur collision avec des débris spatiaux, ainsi que les moyens utilisés pour appliquer les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux (A/AC.105/1065, par. 104), et sur cette base, une invitation à soumettre les rapports avant le 20 octobre 2014 a été diffusée dans une note verbale datée du 31 juillet 2014, pour que les informations puissent être communiquées au Sous-Comité à sa cinquante-deuxième session.

3. Le présent document a été établi par le Secrétariat à partir des informations reçues de trois États Membres, à savoir l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse, et de trois organisations non gouvernementales ayant le statut d'observateur permanent auprès du Comité, à savoir le Comité de la recherche spatiale (COSPAR), le Conseil consultatif de la génération spatiale et la Secure World Foundation. Les informations communiquées par le Conseil consultatif de la génération spatiale, qui comportent des images et des chiffres relatifs aux débris spatiaux, seront diffusées dans un document de séance à la cinquante-deuxième session du Sous-Comité scientifique et technique.

II. Réponses reçues des États Membres

Allemagne

[Original: anglais]

[27 octobre 2014]

En Allemagne, des activités de recherche liées aux débris spatiaux sont réalisées dans tous les domaines pertinents, comme la modélisation de l'environnement constitué par les débris spatiaux, l'observation des débris spatiaux, l'étude des effets des impacts à hypervitesse sur l'engin spatial et la protection des systèmes spatiaux de l'impact des micrométéoroïdes et des débris spatiaux. Des experts allemands participent à des instances internationales compétentes dans le domaine de la recherche sur les débris spatiaux, notamment au Comité de coordination interagences sur les débris spatiaux (IADC) et aux activités internationales de normalisation dans le domaine de la réduction des débris spatiaux.

Pour les projets spatiaux parrainés par l'Administration spatiale de l'Agence aérospatiale allemande (DLR), les exigences relatives à la réduction des débris spatiaux sont énoncées dans les normes d'assurance et de sûreté des produits applicables aux projets spatiaux DLR. Ces exigences garantissent l'application des mesures de réduction internationalement reconnues, notamment celles contenues dans les Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux de l'IADC et dans celles du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. Les objectifs généraux sont de limiter la création de nouveaux débris spatiaux et

partant, de limiter les risques pour les missions spatiales présentes et futures et les risques pour la vie humaine. Les mesures à adopter pour atteindre ces objectifs englobent notamment la réalisation d'une évaluation officielle de la réduction des débris spatiaux et des mesures spécifiques en matière de conception, entre autres pour empêcher le rejet d'objets liés à la mission, les fragmentations, les avaries et les collisions en orbite, ainsi que des mesures concernant la passivation, l'élimination en fin de vie et la sûreté pour la rentrée dans l'atmosphère.

Des travaux de développement ont été effectués au Centre des activités spatiales allemandes pour améliorer le système d'évitement des collisions utilisé pour les missions satellites allemandes civiles et plusieurs outils ont contribué à l'évaluation et à l'analyse des événements critiques de conjonction. À la fin de 2013, les seuils pour la constellation de satellites TerraSAR-X/Tandem-X ont été relevés, ce qui a donné jusqu'à 10 alertes par jour. Depuis août 2013, 189 événements critiques ont été analysés pour ces deux satellites et quatre manœuvres d'évitement de collisions ont été effectuées.

Une station d'observation optique des débris spatiaux a été installée à des fins scientifiques par l'Institut de physique technique de l'Agence aérospatiale allemande. Elle est équipée d'un télescope Dall-Kirkham de 17 pouces et de plusieurs systèmes de caméras haut de gamme. Depuis 2013, plusieurs objets (d'une taille pouvant n'atteindre que 0,1 mètre) sur orbite terrestre basse peuvent être passivement surveillés par des moyens optiques. L'analyse des images de traces détectées optiquement, en particulier d'objets non répertoriés, permet de déduire les orbites initiales pour un suivi précis. En mode de suivi continu, on atteint une précision bidirectionnelle de deux pouces. Un système laser permettant une télémétrie laser par mesure du temps de vol est actuellement en cours d'installation. En combinaison avec la détection optique passive, ce système permet un suivi en trois dimensions d'objets orbitaux lors de leur passage au-dessus de la station avec une précision de quelques mètres.

Des efforts sont entrepris pour développer un réseau de stations optiques mises en place par le Centre des activités spatiales allemandes en étroite coopération avec l'Institut d'astronomie de l'Université de Berne (Suisse). L'objectif est d'assurer la surveillance continue de l'anneau géostationnaire et les télescopes du réseau sont opérés par télérobotique. Les données saisies permettront d'observer et de prévoir l'orbite d'objets géostationnaires de plus de 50 centimètres environ. L'Observatoire de Sutherland (Afrique du Sud) a été choisi comme site pour le premier télescope, qui sera installé en 2015. La première campagne d'essais a été un succès et les résultats ont même été meilleurs que prévu.

Un autre projet prévu vise à établir une antenne européenne du Réseau FTN (Falcon Telescope Network). Cette antenne devrait donner aux universités la possibilité de participer à des expériences scientifiques authentiques, pratiques et constructives et devrait ainsi encourager les étudiants à se lancer dans des activités scientifiques dans le cadre de divers projets et initiatives exploitant les ressources uniques du Réseau, mener des activités de recherche dans le domaine de la connaissance de l'environnement spatial et améliorer les catalogues dans ce domaine. Le Réseau FTN, réseau mondial de télescopes de faibles ouvertures, a été mis en place par le Center for Space Situational Awareness Research du Department of Physics de la Air Force Academy des États-Unis, en collaboration avec des partenaires de l'enseignement. Il est partagé entre les partenaires universitaires aux

États-Unis d'Amérique et à l'échelle internationale pour promouvoir la recherche dans le domaine de la connaissance de l'environnement spatial et de l'astronomie et sensibiliser les étudiants à la science communautaire, la technologie, l'ingénierie et aux mathématiques.

Afin de mettre en place des capacités autonomes de surveillance de l'espace, un pays doit disposer des capacités de base pour exploiter les données issues de capteurs, par exemple pour établir un catalogue d'objets spatiaux. Pour commencer, un projet est créé visant à élaborer et mettre en place des technologies clés pour cataloguer les débris spatiaux. Un simulateur de capteur sera utilisé pour simuler des données de mesure. Ces données permettront de développer les principales fonctionnalités telles la corrélation entre les objets, la détermination de l'orbite et la mise en place d'une base de données des objets. Des méthodes complémentaires pour la détermination de l'orbite et de propagation sont à l'étude afin de pouvoir disposer de méthodes rapides et précises au sein de la chaîne du système simulé de surveillance de l'espace.

Les travaux de recherche se poursuivent à l'Institut Fraunhofer de dynamique des grandes vitesses pour améliorer la caractérisation expérimentale d'un nouvel accélérateur fondé sur un canon à gaz léger. Cet équipement est capable d'accélérer des particules d'une taille de 100 micromètres à 2 millimètres à hypervitesse. L'objectif est d'atteindre des vitesses d'impact plus élevées qu'avec un canon à gaz léger classique, et parallèlement, de réduire l'usure. Cela permettra d'améliorer les performances des essais de choc réalisés en laboratoire pour tester la capacité de composants d'engins spatiaux dans un environnement de débris spatiaux.

Comme les objets spatiaux pénètrent dans des régions plus denses de l'atmosphère, le frottement avec l'atmosphère terrestre génère de la chaleur en raison de la grande vitesse de l'objet spatial en orbite. L'énergie thermique peut faire fondre ou vaporiser l'objet spatial, entièrement ou en partie. Dans de nombreux cas, l'objet spatial se désintègre entièrement lors de la rentrée dans l'atmosphère, mais certaines parties peuvent aussi survivre au processus de rentrée et toucher le sol.

Pour mieux comprendre le processus qui s'opère pendant la fragmentation d'un objet spatial et permettre aux analystes de prévoir les risques pour les personnes et les biens au sol, un nouveau projet visant à mettre au point des méthodes de validation est actuellement en cours de développement. Il permettra d'analyser la rentrée dans l'atmosphère et le processus de fragmentation qui y est associé, et d'évaluer les risques pour les zones en ce qui concerne les parties non détruites.

Par ailleurs, un projet en cours à l'Université technique de Braunschweig étudie les effets de la désorbitation active d'engins spatiaux en fin de vie, conformément aux Lignes directrices du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique relatives à la réduction des débris spatiaux, et les effets de l'élimination active des débris sur l'évolution à long terme des débris spatiaux à venir. Dans ce contexte, des analyses sont réalisées sur la criticité des objets à haut risque eu égard à leurs effets sur l'environnement en cas de collision. Cette approche tente de cerner de manière plus précise les conséquences du processus de cascades de collision. Par ailleurs, plusieurs stratégies d'élimination d'objets en orbite terrestre moyenne sont actuellement analysées. Les risques de

collision à long terme entre les engins spatiaux de la constellation mis au rebut et d'autres objets de la constellation et objets ne faisant pas partie de la constellation présentent un intérêt particulier.

Autriche

[Original: anglais]
[20 octobre 2014]

Depuis 1982, l'Institut de la recherche spatiale de l'Académie autrichienne des sciences exploite une station de télémétrie laser sur satellite (SLR) à l'Observatoire Lustbühel à Graz. Le jour et la nuit, 7 jours sur 7, cette station mesure les distances séparant plus de 60 satellites équipés de réflecteurs, tels que des satellites géodésiques, des satellites du Système mondial de navigation par satellite (GNSS) (GALILEO, GPS, GLONASS, COMPASS, etc.), des satellites d'observation de la Terre, ainsi que différents satellites scientifiques et de recherche. Les mesures effectuées à Graz sont d'une précision d'environ 2 à 3 millimètres; on peut distinguer des différences de distance allant jusqu'à 0,2 millimètre. Avec ces résultats, la station SLR de Graz est l'une des plus précises du monde.

En 2012, la station de Graz a commencé à tester la télémétrie laser sur les débris spatiaux. De nouveaux détecteurs spécialisés de photon unique ont été mis au point et des logiciels de télémétrie laser ont été adaptés pour la surveillance des débris spatiaux. Pour la première fois, des photons réfléchis de manière diffuse par des débris spatiaux ont été mesurés pour déterminer la distance séparant ces débris. Bien que l'exactitude des mesures ne soit pas au millimètre près, compte tenu de la taille des débris en question, qui est de un à plusieurs mètres, cette méthode permet une bien meilleure détermination de l'orbite.

D'autres améliorations pourraient être apportées à la détermination de l'orbite si d'autres stations SLR étaient en mesure de détecter les photons de Graz réfléchis de manière diffuse. En 2012, la première expérience de ce type a été couronnée de succès: les photons émis à Graz ont été réfléchis de manière diffuse par des corps de satellite et détectés à la station SLR de Zimmerwald (Suisse), qui avait pour ce faire été synchronisée avec la station de Graz. Cette méthode peut sans problème être répliquée dans quelques autres stations exclusivement réceptrices.

Depuis 2013, la station de télémétrie laser de Graz participe au programme de connaissance de l'environnement spatial de l'Agence spatiale européenne. Dans les années à venir, la coopération sera renforcée aux niveaux européen et international.

Suisse

[Original: anglais]
[20 octobre 2014]

L'Institut d'astronomie de l'Université de Berne poursuit ses activités de recherche pour mieux connaître l'environnement des débris spatiaux à proximité de la Terre. Il utilise son télescope d'un mètre, ZIMLAT, ainsi qu'un petit télescope robotisé ZimSMART et le nouveau télescope ZimSpace, qui se trouvent tous à l'Observatoire astronomique de Zimmerwald, près de Berne afin de localiser et de

caractériser physiquement les débris de petite taille. L'un des principaux résultats de ces travaux a été la constitution d'un catalogue exceptionnel de débris d'un rapport surface/masse élevé, présents dans l'orbite géostationnaire et dans des orbites très elliptiques; ce catalogue est élaboré et tenu à jour en collaboration avec l'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Institut Keldysh de mathématiques appliquées de Moscou. Ce dernier anime l'International Scientific Optical Network (ISON), réseau de télescopes avec lequel l'Institut d'astronomie de l'Université de Berne entretient depuis de nombreuses années une collaboration scientifique en vue d'échanger des données d'observation. L'ISON coopère avec l'Initiative des Nations Unies pour les sciences spatiales fondamentales du Bureau des affaires spatiales. De récentes études de l'Institut d'astronomie de l'Université de Berne ont été spécifiquement consacrées à un examen approfondi des débris de petite taille présents dans les orbites très elliptiques, y compris les orbites de transfert géostationnaires et les orbites de type Molniya. Les observations révèlent la présence dans ces régions orbitales d'une population nombreuse d'objets "inconnus", c'est-à-dire d'objets ne figurant pas dans les catalogues publics d'objets orbitaux. La caractérisation de ces objets est essentielle pour identifier leurs sources et pouvoir *in fine* mettre au point des mesures d'atténuation efficaces et économiquement viables. En 2010, une étude a été entreprise visant à détecter des débris de petite taille dans la région des constellations de satellites de navigation. Cette étude est la première du genre dans cette région orbitale. Les résultats à ce jour révèlent une rupture d'un objet plus grand dans les constellations actuelles de satellites de navigation. À l'appui de la discussion sur l'élimination active des objets de grande dimension des orbites terrestres basses, l'Institut d'astronomie de l'Université de Berne mène un programme d'observation en vue d'évaluer la vitesse de rotation des débris de grande taille situés à une altitude orbitale de 700 à 1 000 kilomètres, au moyen de leurs courbes de lumière optique.

Le Swiss Space Center, Centre spatial suisse de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et ses partenaires poursuivent leurs activités de recherche-développement dans le domaine de l'élimination active des débris, dans le cadre du programme "Clean-mE". En 2014, les efforts ont été axés sur les études de système pour relever les difficultés des opérations de rendez-vous avec des objets non coopératifs. L'EPFL a travaillé dans le cadre d'un contrat de l'Agence spatiale européenne visant à évaluer les éventuelles démonstrations en orbite reposant sur les technologies CubeSat et réduire les risques pour les futures grandes missions d'élimination de gros débris. Les CubeSats sont des nanosatellites d'un volume de 1 à 10 kilogrammes. Les démonstrations en orbite CubeSat proposées portent sur les essais de capteurs de rendez-vous et de technologies de capture. Les activités de base se sont poursuivies dans le cadre du projet CleanSpace One.

III. Réponses reçues d'organisations internationales

Comité de la recherche spatiale

[Original: anglais]

[4 novembre 2014]

Plus de 55 ans d'activités de vol dans l'espace depuis le lancement de Spoutnik 1, en 1957, ont généré un nombre important d'objets produits par l'homme en orbite terrestre. Ces objets essentiellement non-opérationnels sont appelés "débris spatiaux". La population non négligeable des débris spatiaux constitue une menace croissante pour les engins spatiaux habités ou non. Ces 20 dernières années, les collisions et la désintégration d'objets spatiaux n'ont fait qu'accroître les inquiétudes concernant ce risque pour l'environnement qui deviendra un problème central dans les décennies à venir.

Bien que de nombreux acteurs du secteur spatial appliquent certaines mesures visant à réduire la création de débris spatiaux, cela ne suffira pas pour contrôler la population croissante des débris spatiaux car il y a déjà assez de débris abandonnés en orbite terrestre pour causer des désintégrations dues à des collisions à l'avenir, même sans placer de nouveaux objets sur orbite. La prévention de collisions catastrophiques, qui créent chacune des milliers de nouveaux fragments, est par conséquent l'une des principales préoccupations pour l'évolution à long terme de l'environnement. Les moyens pour éviter les collisions sont notamment la réduction des débris, l'évitement des collisions et l'élimination des débris de l'environnement, également appelée élimination active des débris. Les mesures d'évitement des collisions exigent une connaissance précise des trajectoires de tous les objets qui pourraient causer une collision catastrophique. Actuellement, de telles connaissances ne sont disponibles que pour un nombre très limité d'objets. En ce qui concerne l'élimination active des débris et l'évitement des collisions faisant intervenir des objets non opérationnels, il faut mettre au point de nouvelles technologies pour modifier les trajectoires des débris ou les désorbiter. Il est essentiel de mener d'importants travaux de recherche scientifique pour concevoir des mesures efficaces et économiquement viables visant à stabiliser la population de débris spatiaux.

Le Comité de la recherche spatiale (COSPAR) s'intéresse à la question des débris spatiaux depuis plus de 25 ans. Son Groupe sur les activités spatiales risquant d'avoir un effet nocif pour l'environnement a tenu ces dernières années plusieurs séances sur les débris spatiaux à chaque assemblée scientifique bisannuelle du Comité. Ces séances ont porté sur: a) la caractérisation de l'environnement des débris spatiaux actuels et futurs par des mesures et des modélisations; b) les risques de collision des engins spatiaux avec des débris; c) les moyens de protéger les engins spatiaux; d) des stratégies et politiques pour réduire la création de nouveaux débris spatiaux; et e) le fondement scientifique et le cadre technique pour assainir l'environnement des débris spatiaux et partant, limiter la prolifération des débris spatiaux.

Aux sessions de 2014 du Groupe sur les activités spatiales risquant d'avoir un effet nocif pour l'environnement, 38 communications ont été présentées sur le thème de l'action à mener face à l'environnement dynamique constitué par les

débris spatiaux. À la quarante et unième Assemblée scientifique du COSPAR, en 2016, les sessions du Groupe porteront sur le fondement scientifique des mesures à prendre pour lutter contre les débris spatiaux, ce qui représente un pas en avant. Quatre séances d'une demi-journée seront consacrées aux questions suivantes: les progrès réalisés en matière d'évaluation des risques de collision pour les missions spatiales, l'évaluation des risques de collision sur orbite, l'évaluation des risques associés à la rentrée dans l'atmosphère, les techniques de réduction des débris et d'assainissement de l'environnement et leur efficacité en termes de stabilité environnementale à long terme, ainsi que des thèmes traditionnels tels que les observations au sol et depuis l'espace et les méthodes à appliquer pour exploiter ces observations, les techniques de mesures *in situ*, les modèles utilisés pour décrire l'environnement des débris et des météoroïdes, les normes et lignes directrices nationales et internationales applicables à la réduction des débris, les technologies des accélérateurs en mode hypervitesse et le blindage en orbite. Les communications interdisciplinaires et multidisciplinaires sur la météorologie spatiale et les objets géocroiseurs sont particulièrement encouragées.

Les problèmes liés à la stabilisation de la population des débris spatiaux sont nombreux, mais les pays ayant des activités spatiales et les organisations scientifiques internationales comme le Comité de la recherche spatiale s'emploient très activement à promouvoir la viabilité à long terme des opérations menées dans l'espace circumterrestre dans l'intérêt de tous.

Le COSPAR continue de jouer un rôle central dans les efforts déployés pour mieux connaître la nature de l'environnement constitué par les débris spatiaux et les risques qu'il présente, et pour encourager les pays et organisations ayant des activités spatiales à agir de manière responsable dans l'espace pendant toutes les phases des missions (déploiement, exploitation et mise au rebut).

Conseil consultatif de la génération spatiale

[Original: anglais]

[7 novembre 2014]

Situation en matière de débris spatiaux

Depuis le lancement du premier satellite en 1957, l'orbite terrestre est de plus en plus encombrée. De nombreux pays et entreprises commerciales ont lancé leurs propres engins spatiaux en orbite autour de la Terre et nombre d'entre eux sont toujours en orbite. Seuls 6 % des objets spatiaux sont toujours opérationnels, et près de 60 % sont des fragments produits par des explosions et des collisions. Ces fragments incontrôlés, ainsi que d'autres pièces de débris spatiaux comme les corps de fusée abandonnés ou les satellites devenus inactifs, peuvent entrer en collision entre eux et générer de nouveaux débris. Ce cycle, appelé syndrome de Kessler, se traduit avec le temps par une croissance exponentielle de débris orbitaux et partant, par un risque accru pour les engins opérationnels en orbite.

La répartition des débris spatiaux selon l'altitude montre que la quantité de débris à une altitude de 1 000 kilomètres a plus que doublé entre le début de 2007 et avril 2012. Les fragments générés par l'essai antisatellite effectué par la Chine en 2007 et la collision entre les satellites Iridium 33 et Cosmos 2251 en 2009 ont

fortement contribué à la hausse importante des débris spatiaux. Des incidents tels que la collision Iridium-Cosmos montrent le rôle important des collisions entre débris dans l'évolution de l'environnement constitué par les débris spatiaux.

Actuellement, le nombre de débris en orbite terrestre basse n'est pas stable. Les simulations ont montré que même dans l'hypothèse d'un arrêt des lancements, le nombre de débris continuerait d'augmenter lentement. Toutefois, il s'agit là d'un scénario optimiste et irréaliste, étant donné que les lancements spatiaux ne devraient pas s'arrêter de sitôt. Avec des lancements réguliers et sans aucune mesure d'atténuation, la population de débris en orbite devrait croître de façon exponentielle.

La répartition des 500 objets spatiaux les plus volumineux en fonction de l'inclinaison et de l'altitude de leurs orbites permet de dresser la carte des altitudes de l'apogée et du périhélie par rapport à l'inclinaison des corps de fusée et des engins spatiaux existants en orbite terrestre basse dont le produit de la masse du débris et de sa probabilité d'entrer en collision est le plus élevé. Ces objets sont les plus susceptibles de causer des collisions catastrophiques et d'augmenter la quantité de débris spatiaux en orbite terrestre basse, comme on l'a vu précédemment dans le cas de la collision Iridium-Cosmos.

Engin spatial ayant à son bord des sources d'énergie nucléaire

Il existe trois scénarios généraux à envisager s'agissant des engins spatiaux ayant à leur bord des sources d'énergie nucléaire:

Scénario 1: L'engin spatial est équipé d'un générateur thermoélectrique à radio-isotope (RTG) pour l'alimentation électrique à bord et le chauffage des instruments (sondes spatiales par exemple);

Scénario 2: L'engin spatial fonctionne par propulsion nucléaire et utilise l'énergie générée pour son alimentation en énergie, notamment pendant la phase de lancement (par exemple le Projet Rover et le programme NERVA (Nuclear Engine for Rocket Vehicle Applications));

Scénario 3: L'engin spatial est conçu pour utiliser la technologie nucléaire pour la propulsion, mais pas pour son lancement. La propulsion nucléaire ne sera utilisée que lorsque l'engin spatial est en orbite.

Les scénarios 2 et 3, qui se différencient essentiellement par la phase de lancement, sont examinés dans la section suivante.

Le scénario 1, le plus courant, est utilisé principalement pour les missions dans l'espace lointain. L'énergie que les panneaux solaires peuvent tirer de la lumière du Soleil diminue conformément à la loi de l'inverse du carré de la distance: à mesure que la distance par rapport au Soleil augmente, l'énergie dont dispose un engin spatial fonctionnant à l'énergie solaire diminue. La technologie nucléaire constitue par conséquent une source fiable de chaleur et d'énergie pour les systèmes d'engins spatiaux au-delà du point où les panneaux solaires deviennent inefficaces à toutes fins pratiques. Un générateur thermoélectrique à radio-isotope convertit la chaleur dégagée par la désintégration naturelle de matières radioactives (généralement du plutonium 238) en énergie électrique, par effet Seebeck. Il convient de noter qu'il ne s'agit pas d'une réaction de fission.

Les missions telles que le Mars Science Laboratory (qui a fait atterrir le rover Curiosity sur Mars) et les sondes du système solaire, telles que Voyager 1 et 2 et Pioneer 10 et 11, ont utilisé des générateurs thermoélectriques à radio-isotope comme source d'énergie et système de gestion thermique fiables.

Quelques accidents ont été signalés par le passé faisant intervenir des engins spatiaux ayant à leur bord des sources d'énergie nucléaire. Le premier s'est produit en 1964, lorsqu'un satellite de navigation TRANSIT 5BN-3 a effectué une rentrée non contrôlée dans l'atmosphère terrestre après un dysfonctionnement matériel. Le satellite s'est complètement désintégré dans la haute atmosphère, comme prévu, mais les effets à long terme sur la population humaine sont difficiles à déterminer. Ce genre d'incident se traduit par une augmentation de la charge de radionucléides dans la haute atmosphère, qui, avec le temps, peut descendre en spirale jusqu'au niveau de la mer. Comme la période radioactive des matériaux composant le générateur thermoélectrique à radio-isotope est habituellement longue (des milliers d'années), il est possible que des dommages aient été causés à la population et à l'environnement.

Deux autres incidents illustres liés à des engins spatiaux ayant à leur bord des sources d'énergie nucléaire concernaient la mission Apollo 13, qui est rentrée dans l'atmosphère avec à son bord un générateur thermoélectrique à radio-isotope pleinement opérationnel, et le satellite de surveillance des océans, Cosmos-954 (RORSAT), qui a effectué une rentrée non contrôlée dans l'atmosphère et s'est écrasé dans une région isolée des Territoires du Nord-Ouest canadien. RORSAT est conçu pour se désintégrer lors de la rentrée dans l'atmosphère, ce qui ne s'est pas produit, provoquant une dispersion importante de combustible radioactif sur la Terre. Le générateur thermoélectrique à radio-isotope de la mission Apollo 13 est tombé dans le pacifique Sud, où il demeure à ce jour. Il a survécu à la rentrée dans l'atmosphère et à l'impact et aucun rayonnement n'a été détecté.

Ces incidents ont entraîné des changements dans la conception des systèmes d'énergie nucléaire destinés aux systèmes spatiaux. Ces systèmes nucléaires sont maintenant conçus de manière à résister à la rentrée et à l'impact, à garantir un retour intact sur Terre, et surtout, à ne pas rejeter de matière radioactive. Le générateur thermoélectrique à radio-isotope de la mission Apollo 13 avait été conçu de la sorte, ce qui démontre la validité de cette approche.

Lancement

Le lancement d'une mission faisant intervenir un engin spatial ayant à son bord des sources d'énergie nucléaire est considéré comme la phase la plus critique et celle qui constitue la plus grande menace potentielle pour la population générale.

À ce stade, il est important d'introduire la notion de "criticité". La criticité fait essentiellement référence au point où la fission est induite dans un réacteur nucléaire et où des sous-produits commencent à s'accumuler. Avant le stade de criticité, aucun sous-produit n'est présent dans le combustible nucléaire. Le combustible est relativement inoffensif comparé aux sous-produits: il constitue en effet généralement un émetteur de rayonnements alpha et ne présente un risque important pour la santé humaine que s'il est ingéré. Toutefois, lorsque la criticité est atteinte, des sous-produits de fission commencent à s'accumuler dans le système, ce qui pose un risque beaucoup plus grand pour la santé humaine, une part importante

de ces sous-produits étant des émetteurs de rayonnements beta et gamma, qui, par une simple exposition externe, peuvent causer des dommages à l'homme.

Le scénario 2 exige que la criticité soit atteinte avant le lancement et utilise la chaleur dégagée par la réaction nucléaire pour alimenter l'ascension de l'engin spatial. Ce processus a été étudié et testé au milieu du XX^e siècle dans le cadre du programme Rover-NERVA. Toutefois, dans ce scénario, toute défaillance de la fusée pourrait avoir pour conséquence le rejet de sous-produits de fission. Le scénario 3, en revanche, repose sur l'hypothèse que l'engin spatial est lancé en orbite par des méthodes de propulsion classiques. Il est évident qu'il n'est pas souhaitable que des matières nucléaires soient rejetées avant d'atteindre la criticité ou après. Cependant, afin de réduire la gravité des conséquences éventuelles, un réacteur nucléaire ne devrait idéalement pas atteindre la criticité avant d'être en toute sécurité en orbite.

Missions en orbite terrestre et risques d'impact posés par les débris

Un impact causé par des débris spatiaux doit être considéré dans le pire des cas comme catastrophique, compte tenu des énergies importantes en jeu. En outre, la situation la plus grave serait une rupture du système de confinement, avec rejet des produits de fission dans l'espace. Dans le cas d'un générateur thermoélectrique à radio-isotope, on suppose que la collision se traduit par la destruction du générateur thermoélectrique à radio-isotope et sa dispersion sous forme de particules. Cette situation n'est pas nécessairement une menace pour la population ou l'environnement terrestre, selon l'endroit où se produit la collision en orbite car la traînée atmosphérique n'entre pas en jeu et l'orbite est considérée comme stable, et on peut généralement supposer que les matières nucléaires demeureront en altitude. Toutefois, il est également possible qu'une telle collision apporte suffisamment d'énergie (provenant soit de l'impact initial ou des impacts secondaires qui en ont résulté à un stade ultérieur) à certains débris pour les déplacer vers une orbite où la traînée atmosphérique devient un facteur déterminant.

Compte tenu de ce que l'on sait sur la façon dont les débris orbitaux se propagent dans une sphère autour du foyer orbital à l'altitude de l'orbite, ce modèle aurait effectivement pour conséquence une bande de rayonnement à une certaine altitude orbitale.

Cela ne constituerait pas une menace directe importante pour les astronautes ou les engins spatiaux, même si une personne menant une activité extravéhiculaire à l'altitude en question pourrait être confrontée à un risque sanitaire immédiat. Par conséquent, il est probable qu'une collision entraînant le rejet de matières nucléaires en orbite aboutisse à des restrictions quant à l'endroit où des activités extravéhiculaires peuvent être effectuées. Il faut également tenir compte de questions de réputation, le grand public ayant tendance à se méfier de la technologie nucléaire. Un incident de cette nature pourrait effectivement mener à la clôture prématurée de programmes en cours et futurs d'engins spatiaux à propulsion nucléaire. Ainsi, un tel incident pourrait avoir des conséquences graves, même s'il n'existe pas de risque immédiat pour la santé.

La probabilité d'une collision avec des débris doit également être évaluée. Des études ont été menées pour évaluer la taille et la quantité de débris en orbite, et il est relativement facile à modéliser la probabilité de collision des débris sur cette base. La probabilité globale est généralement faible (de l'ordre de 10^{-5} par année).

Cependant, lorsque le risque est associé aux conséquences graves mentionnées ci-dessus, le classement du risque est considéré comme élevé et des garanties importantes devraient être incorporées dans les programmes d'ingénierie pour éviter un rejet de radionucléides en cas de collision.

Mise au rebut

La mise au rebut d'un engin spatial à la fin de sa mission devrait également être prise en compte. Qu'advient-il de la composante principale?

La solution la plus simple consiste à transférer l'engin spatial sur une orbite cimetièrè où il demeurera. Cela conduirait à une nouvelle augmentation du nombre de débris spatiaux en orbite, ce qui augmenterait le risque d'impact de débris spatiaux pour les missions futures. En outre, les collisions avec des systèmes spatiaux à propulsion nucléaire en fin de vie peuvent avoir d'autres conséquences, comme le rejet de matières radioactives dans l'espace.

La rentrée contrôlée du système spatial constitue une solution durable à long terme. Il faudrait toutefois que l'engin spatial et ses composantes nucléaires, en particulier, soient conçus pour résister aux températures élevées, aux frictions et aux impacts du processus de rentrée, ce qui a été fait précédemment avec les systèmes RTG utilisés pour l'exploration planétaire. Cette solution pourrait cependant se traduire par une augmentation des coûts de l'engin spatial.

La tâche est beaucoup plus compliquée en ce qui concerne les réacteurs nucléaires actifs (et leurs sous-produits de fission), étant donné qu'on ne sait pas encore clairement s'il est possible de fabriquer un réacteur capable de résister à la rentrée. Les risques associés au transfert des réacteurs usagés sur une orbite cimetièrè choisie expressément pour la mise au rebut d'engins spatiaux nucléaires compte tenu de la faible probabilité de collisions futures seraient moins importants que les risques associés à leur rentrée. Une telle orbite cimetièrè doit être choisie de manière à minimiser les collisions avec des débris et à réduire les risques futurs.

Missions d'exploration de l'espace lointain

L'utilisation d'engins spatiaux dotés de sources d'énergie nucléaire pour l'exploration de l'espace lointain est un peu plus acceptable que pour des missions en orbite terrestre. Plus la distance est grande par rapport au Soleil, plus il est justifié d'utiliser l'énergie nucléaire, les RTG étant alors d'une efficacité plus grande que les panneaux solaires. Si les missions dans l'espace lointain posent le même danger dans la phase de lancement, elles séjournent toutefois moins longtemps à proximité de la Terre. Les risques d'impact avec des débris spatiaux sont par conséquent plus faibles dans le cas des missions d'exploration de l'espace lointain.

La réalité dépend néanmoins du profil de la mission. Si l'engin spatial quitte la Terre sur une orbite de transfert directement vers sa destination (ce qui est rarement le cas) et si un accident se produit, les débris radioactifs qui en résultent restent sur une orbite qui finirait par croiser l'orbite terrestre, et des débris radioactifs entreraient finalement dans le voisinage de la Terre.

Conclusion

Plusieurs missions importantes par le passé (en particulier pour l'exploration de l'espace lointain) ont été réalisées grâce à l'utilisation de l'énergie nucléaire. Cette utilisation pourrait se poursuivre à condition de prendre les mesures de sûreté nécessaires. À cet égard, le Conseil consultatif de la génération spatiale recommande ce qui suit:

a) Si un engin spatial utilise un réacteur nucléaire, il doit transporter ce réacteur en orbite et n'induire la réaction de fission qu'une fois en orbite, plutôt que d'utiliser la propulsion nucléaire comme moyen pour atteindre l'orbite;

b) Pour tous les engins spatiaux utilisant l'énergie nucléaire, un accent particulier devrait être mis sur la robustesse et la solidité du système d'énergie nucléaire. Ce système doit être protégé contre les impacts de débris et les forces aérodynamiques et les températures extrêmes associées à la rentrée dans l'atmosphère;

c) Les missions dans l'espace lointain ayant à leur bord des systèmes d'énergie nucléaire devraient utiliser si possible des orbites de transfert indirect;

d) Après avoir atteint leur fin de vie, tous les engins spatiaux en orbite terrestre basse utilisant un système RTG devraient effectuer une rentrée contrôlée dans l'atmosphère en veillant à garder intact le système d'énergie nucléaire;

e) Après avoir atteint leur fin de vie, tous les engins spatiaux en orbite géosynchrone utilisant des réacteurs nucléaires ou un RTG devaient être transférés sur une orbite cimetière. Cette dernière devait être choisie de manière à assurer la stabilité (pas de désintégration ou de risque de collision) pour la durée de la période radioactive du combustible nucléaire ou jusqu'à ce que les rayonnements émis ne représentent plus de danger pour les populations humaines;

f) Pour chaque mission pour laquelle l'utilisation de l'énergie nucléaire est envisagée, il devrait y avoir un comité de sûreté nucléaire indépendant (semblable à l'Interagency Nuclear Safety Review Panel des États-Unis d'Amérique) pour s'assurer que toutes les procédures de sûreté sont respectées;

g) Les efforts relatifs à la sûreté devaient être axés sur la planification et la prévention plutôt que sur les enquêtes sur les accidents.

Au sujet du Conseil consultatif de la génération spatiale

Le Conseil consultatif de la génération spatiale est une organisation internationale à but non lucratif dédiée aux étudiants et aux jeunes professionnels dans le secteur spatial. Il représente les vues de la prochaine génération des responsables du secteur spatial auprès des organismes pertinents des Nations Unies et autres organisations spatiales.

Le Conseil a été créé dans le cadre des Nations Unies (à savoir la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique) et ses travaux dans le cadre de l'ONU, en particulier du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, sont d'une importance capitale pour sa mission. Le Conseil apporte une contribution régulière au Comité et sert de canalisateur pour les opinions de ses membres.

Secure World Foundation

[Original: anglais]

[20 octobre 2014]

En 2014, la Secure World Foundation a continué de s'intéresser aux questions liées aux débris spatiaux et à la sécurité en orbite dans le cadre de ses travaux sur la viabilité à long terme des activités spatiales. Dans le cadre de ses activités de sensibilisation, la Secure World Foundation a été en mesure de témoigner devant le Sous-Comité de l'espace du Comité pour la science, l'espace et la technologie de la Chambre des représentants des États-Unis d'Amérique lors de l'audition sur la menace posée par les débris spatiaux. Le témoignage écrit comprenait un aperçu complet expliquant l'importance de la réduction des débris spatiaux, de la gestion du trafic spatial, de l'enlèvement des débris spatiaux et de l'assainissement de l'espace, et de la connaissance de l'environnement spatial en vue de réduire la menace que présentent les débris spatiaux pour les activités spatiales. Le témoignage comprenait également des recommandations adressées au Sous-Comité sur la manière d'améliorer la mise en œuvre, par le Gouvernement des États-Unis, des lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux dans les réglementations nationales et de renforcer les services de surveillance de l'environnement spatial pour aider tous les opérateurs de satellites à éviter les collisions dans l'espace.

De même, le personnel de la Secure World Foundation a régulièrement appelé l'attention sur la question des débris spatiaux pendant les discussions lors de réunions et de conférences sur les utilisations de l'espace où il n'était pas prévu d'aborder la question. Il s'agissait notamment d'interventions et de présentations lors d'un atelier intitulé "Emerging space economies: next steps toward prosperity", tenu à l'occasion du forum de discussion international de Wilton Park, d'une table ronde sur la promotion de la sécurité et de la viabilité de l'espace accueillie par le Council on Foreign Relations, ainsi que d'une intervention remarquée lors du Colloque international sur les vols spatiaux privés et commerciaux concernant la responsabilité du secteur spatial commercial en pleine expansion à participer activement aux mesures de réduction des débris spatiaux.

Le personnel de la Secure World Foundation a participé au troisième atelier européen sur la modélisation des débris spatiaux et l'assainissement de l'espace, tenu à Paris du 16 au 18 juin 2014. Dans ce contexte, la Secure World Foundation a coprésidé la toute première séance sur les difficultés juridiques, politiques et autres difficultés de nature non technique liées à la réduction des débris spatiaux, et une présentation sur un projet de protocole pour déterminer comment demander la permission d'interagir avec un objet spatial pour l'enlever. Le protocole se fonde sur les principes établis dans les traités existants relatifs à l'espace pour établir une liste de mesures qu'un État peut prendre pour déterminer quel État peut exercer sa compétence et son contrôle à l'égard d'un objet spatial. Lorsqu'il n'est pas possible de déterminer l'État, le protocole propose des mesures qui peuvent être prises pour avertir la communauté mondiale de son intention d'enlever un objet spatial d'une manière sûre et responsable.

Dans le cadre de ses efforts tendant à faciliter les discussions productives, la Secure World Foundation a coopéré avec le Conseil de développement économique

de Maui et le Japan Space Forum (JSF) pour tenir deux ateliers de dialogue AMOS (Advanced Maui Optical Space Surveillance), l'objectif étant de favoriser les discussions sur les politiques liées à la coopération et au partage de données en matière de connaissance de l'environnement spatial. Le premier dialogue s'est tenu à Tokyo le 26 février 2014 juste avant le troisième colloque international du JSF sur le développement et l'utilisation durable de l'espace au service de l'humanité. Le deuxième dialogue s'est tenu sur l'Île de Maui (États-Unis) le 11 septembre 2014 pendant la conférence AMOS 2014. Ces deux dialogues ont réuni des représentants de gouvernements et du secteur privé de plusieurs pays pour examiner les moyens d'améliorer le partage de données et la coopération dans le domaine de la connaissance de l'environnement spatial.

Enfin, dans le cadre de ses efforts généraux de sensibilisation sur la question, la Secure World Foundation a de nouveau accordé une place importante aux débris spatiaux dans sa publication sur la viabilité des activités spatiales, intitulée "Space sustainability: a practical guide", qui a été mise à jour et republiée en 2014. Ce document peut être téléchargé gratuitement du site web de la Secure World Foundation (www.swfound.org/media/121399/swf_space_sustainability-a_practical_guide_2014__1_.pdf.)
