

**Assemblée générale**

Distr. générale
24 novembre 2008
Français
Original: anglais

**Comité des utilisations pacifiques
de l'espace extra-atmosphérique****Recherche nationale sur les débris spatiaux, la sûreté des
objets spatiaux équipés de sources d'énergie nucléaires et les
problèmes relatifs à leur collision avec des débris spatiaux****Note du Secrétariat**

Table des matières

	<i>Page</i>
I. Introduction	2
II. Réponses reçues des États Membres	2
Allemagne	2
Japon	10



I. Introduction

1. Dans sa résolution 63/90 du 5 décembre 2008, l'Assemblée générale a jugé indispensable que les États Membres prêtent davantage attention au problème des collisions d'objets spatiaux, y compris ceux qui utilisent des sources d'énergie nucléaire, avec des débris spatiaux et aux autres aspects de la question des débris spatiaux, 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 établies et diffusées, a 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 les stratégies appropriées et abordables destinées à réduire le plus possible l'incidence des débris spatiaux sur les futures missions spatiales.
2. À sa quarante-cinquième session, le Sous-Comité 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 résultats de ces recherches, notamment des informations sur les pratiques qui s'étaient révélées efficaces pour limiter la production de débris spatiaux (A/AC.105/911, par. 91). Dans une note verbale datée du 5 août 2008, le Secrétaire général a invité les gouvernements à communiquer des informations sur la question avant le 30 octobre 2008, afin qu'elles puissent être transmises au Sous-Comité scientifique et technique à sa quarante-sixième session.
3. Le présent document a été établi par le Secrétariat sur la base des informations reçues de l'Allemagne et du Japon.

II. Réponses reçues des États Membres

Allemagne

[Original: anglais]

1. En Allemagne, les recherches menées sur les débris spatiaux en général portent sur divers aspects, y compris les techniques d'observation des débris spatiaux, la modélisation de l'environnement de ces débris, la physique des impacts pour mieux comprendre le phénomène des impacts à hypervitesse et les techniques permettant de protéger les systèmes spatiaux des débris et de limiter, à l'avenir, la production de débris spatiaux.
2. Ces activités sont financées soit directement par le budget spatial allemand, soit indirectement par l'Agence spatiale européenne (ESA). Les activités allemandes réalisées en vertu de contrats de l'Agence sont présentées dans le rapport de cette dernière.
3. On trouvera ci-après des informations sur les activités de recherche lancées et menées en Allemagne en 2008 à l'aide de moyens budgétaires nationaux.

Essais en soufflerie sur la rentrée atmosphérique et comparaison des méthodes ORSAT et SCARAB

4. Hyperschall Technologie Göttingen (HTG) (Allemagne) et la NASA (États-Unis) ont continué de coopérer dans le cadre d'un projet qui visait à comparer deux programmes de simulation de rentrée atmosphérique: le Modèle de désintégration des engins spatiaux sous l'effet des contraintes aérothermiques lors de leur rentrée atmosphérique (SCARAB) de HTG et l'Outil d'analyse de la résistance des objets lors de leur rentrée atmosphérique (ORSAT) de la NASA. Cette coopération a débuté en 1998. Des études ont confirmé que les deux outils donnent des résultats presque identiques pour la rentrée atmosphérique d'objets de forme simple (sphères, parallélépipèdes ou cylindres). Cependant, les analyses d'un satellite complexe ont montré qu'il existait d'importantes différences entre les risques au sol qui avaient été pronostiqués.

5. Ce projet avait pour but d'aider à mieux connaître le comportement des matériaux pendant la rentrée atmosphérique des engins spatiaux afin que l'on puisse prédire avec une plus grande exactitude les processus de fragmentation.

6. Le projet s'est concentré sur les activités suivantes, principales sources d'incertitude recensées:

a) Mise au point d'une modélisation plus réaliste de la désintégration, sous l'effet des contraintes aérothermiques, d'éléments en plastique renforcé de fibres de carbone lors de la rentrée atmosphérique et analyse plus poussée de cette désintégration. Des essais ont été réalisés dans la soufflerie à arc (LBK) de l'Agence aérospatiale allemande (DLR) à Cologne pour étudier la désintégration des matériaux lors de la rentrée atmosphérique;

b) Amélioration de l'aérodynamisme d'éléments de construction aérodynamiquement difformes (objets creux ou parallélépipédiques se déplaçant dans des directions de flux arbitraires). Des essais ont été réalisés dans les souffleries hypersoniques de la DLR à Göttingen (Allemagne) pour étudier l'échauffement aérothermique lors de la rentrée atmosphérique;

c) Comparaison des processus de fragmentation d'un satellite d'expérimentation générique simplifié dans les contextes ORSAT et SCARAB, ce qui a permis de comparer de nouveau ces méthodes.

Essais de désintégration des matériaux en soufflerie

7. La nécessité de procéder à des essais de matériaux est née de précédentes analyses de rentrée atmosphérique réalisées selon la méthode SCARAB, alors que le mécanisme de désintégration sous l'effet des contraintes aérothermiques et les données relatives aux matériaux réfractaires, y compris des alliages tels que l'invar et le cuivre, la vitrocéramique et le plastique renforcé de fibres de carbone en vrac, étaient inconnus. On a donc utilisé la soufflerie à arc de Cologne pour étudier la désintégration des matériaux lors de la rentrée atmosphérique.

8. Ces essais ont révélé que le plastique renforcé de fibres carbone se consume très lentement grâce à une réaction chimique qui se produit avec l'oxygène atomique du flux, mais qu'il se désintègre à des températures de surface très élevées (supérieures à 2 000 K), assurant ainsi un refroidissement radiatif efficace. Le plastique renforcé de fibres de carbone assure ainsi une protection thermique

ablative très résistante pour les composants d'engins spatiaux. Ces résultats ont été utilisés dans le contexte SCARAB, mais seulement à titre préliminaire, en se fondant sur le mécanisme de désintégration standard des matériaux pour les métaux. Les mécanismes de désintégration chimique, comme l'oxydation, n'ont pas été pris en compte.

9. L'industrie spatiale utilise de plus en plus des structures alvéolaires composées de plastique renforcé de fibres de carbone dans les missions satellites. On les trouve, par exemple, dans le satellite scientifique de l'ESA qui étudie la gravité et la circulation océanique en régime stable et dans le satellite radar allemand TerraSAR-X, ainsi que dans d'importants composants des étages supérieurs d'Ariane 5. Afin de mieux prédire la désintégration de ces éléments lors de la rentrée atmosphérique, il faut procéder à d'autres essais de matériaux. Ce n'est qu'à la lumière des résultats de ces essais que l'on pourra intégrer de nouveaux mécanismes de désintégration dans la méthode SCARAB afin d'atténuer les grandes incertitudes qui entourent la prédiction des risques au sol lors de la rentrée atmosphérique.

10. Des essais de désintégration des matériaux ont été effectués dans la soufflerie à arc de Cologne. Quatorze échantillons de matériaux et une sonde servant à mesurer le flux thermique ont été testés dans des conditions de rentrée atmosphérique. Les comparaisons avec la méthode SCARAB ont montré que les conditions utilisées en soufflerie sont similaires à celles que l'on trouve à 53,6 km d'altitude à une vitesse de 3,6 km/s. Le flux qui est alors généré par le mur froid s'établit à environ 1,4 MW/m².

11. Sept échantillons étaient des structures sandwich alvéolaires d'aluminium munies de peaux en plastique renforcé de fibres de carbone, représentatives de l'adaptateur de charge utile SYLDA d'Ariane 5 fourni par l'ESA.

12. Trois autres échantillons provenaient du projet d'étude de la gravité et de la circulation océanique en régime stable. L'un était de nouveau une structure sandwich alvéolaire d'aluminium munie de peaux en plastique renforcé de fibres de carbone, utilisée pour le panneau solaire de la mission. Les deux autres étaient des matériaux carbone-carbone utilisés dans le gradiomètre de la mission, fourni par Alenia Spazio (Italie).

13. Les quatre échantillons restants étaient un nid d'abeilles en aluminium muni de peaux en fibre de verre et résine époxydique, un alliage en titane ordinaire et le même alliage recouvert d'une couche de plastique renforcé de fibres de carbone censé représenter les réservoirs en titane à haute pression enveloppés de plastique renforcé de fibres de carbone utilisés dans les étages supérieurs d'Ariane 5, et un modèle en cuivre en deux parties, dont la moitié était recouverte d'alliage nickel-chrome pour l'étude de la catalycité de surface.

14. Tous les modèles alvéolaires d'aluminium munis de peaux en plastique renforcé de fibres de carbone ou en fibre de verre se sont désintégrés de façon similaire. Généralement, la désintégration commençait lorsque la première peau cédait. Il a été constaté des degrés de résistance très divers. Le matériau carbone-carbone s'est révélé très résistant. Le modèle en titane ordinaire ne s'est pas désintégré; après les essais, il était uniquement couvert d'une couche d'oxyde poreuse. Cependant, le même alliage en titane se désintégrait lorsqu'il était

recouvert de plastique renforcé de fibres de carbone. Le revêtement de nickel-chrome du modèle en cuivre n'a subi aucun dommage.

15. Pour pouvoir comparer ces résultats aux simulations numériques, on a utilisé la méthode SCARAB selon un mode de soufflerie nouveau et expérimental. Le but était principalement de reproduire les conditions en soufflerie, en particulier le flux thermique utilisé pour les essais effectués dans la soufflerie à arc de Cologne.

16. Ces essais comparatifs ont permis de tirer les conclusions générales suivantes:

a) Les résultats de la méthode SCARAB et les mesures réalisées dans la soufflerie à arc de Cologne donnent un pronostic général de désintégration globalement concordant (aucune destruction du titane, taux similaire d'ablation du plastique renforcé de fibres de carbone, et séquence similaire de désintégration des structures sandwich alvéolaires d'aluminium et de plastique renforcé de fibres de carbone) et présentent certaines similitudes en ce qui concerne l'évolution thermique;

b) On a noté, en ce qui concerne les détails de l'évolution thermique, d'importants écarts qui résultent de carences de la méthode SCARAB. Il n'y avait, par exemple, aucune désintégration chimique (oxydation et ablation de surface, par exemple), et la surface radiative, pour les modèles en couches, était inexacte;

c) Il faudrait quantifier la perte thermique causée par la thermoconduction du support du modèle.

Essais de contrainte aérothermique en soufflerie

17. Les satellites et la plupart des éléments d'engins spatiaux n'ont généralement pas une forme aérodynamique. Lors de la rentrée atmosphérique, toutes les attitudes de vol sont, en principe, possibles. Dans la plupart des cas, les composants des satellites ont la forme de cylindres creux (tuyaux), de parallélépipèdes, de pylônes comportant plusieurs sections ou de plaques et d'enveloppes à paroi mince.

18. Pour ces objets non aérodynamiques, il existe peu de données expérimentales que l'on puisse utiliser pour vérifier les méthodes d'analyse numérique. C'est pourquoi il est nécessaire de procéder à des études expérimentales sous tous les angles d'incidence.

19. La plupart de ces objets étant arrondis, on peut calculer avec suffisamment d'exactitude les coefficients aérodynamiques en se fondant sur la théorie de Newton modifiée. Cependant, le calcul de la répartition des flux thermiques et du flux thermique global qui en résulte sur l'ensemble de l'objet reste très problématique. En outre, bien que les objets creux, culbutant et ouverts, puissent donner lieu à un flux interne à certaines altitudes, il est très difficile d'analyser numériquement ce phénomène. Or, ces objets entrent très souvent dans la composition d'engins spatiaux.

20. Les essais de transfert thermique réalisés sur 22 objets de formes différentes ont permis de recueillir un précieux ensemble de données sur le rapport qui existe entre le taux d'échauffement global des objets et l'angle d'incidence.

21. Pour les essais, les objets ont été placés dans l'un de deux groupes: le groupe A et le groupe R. Ceux du groupe A ont été utilisés pour tester les angles

d'incidence situés entre -90° et $+90^\circ$, et ceux du groupe R pour tester les modèles en rotation. Les deux groupes comprenaient des objets pleins et creux.

22. On a comparé les résultats des essais réalisés sur les objets pleins et creux, qui permettent également un flux et un échauffement internes. Par rapport à un objet plein présentant une zone frontale similaire, un objet dont la partie creuse était dirigée dans le sens du flux donnait lieu à un flux et à un échauffement internes importants. Lorsque l'angle d'incidence augmente, le flux interne et la température diminuent tandis que la température externe s'élève parce qu'une zone externe plus importante est exposée au flux. Combinés, ces deux effets contradictoires lissent l'évolution du taux d'échauffement en fonction de l'angle d'incidence.

23. Certains résultats relatifs aux flux thermiques subis par les objets pleins ont été comparés à ceux obtenus par la méthode SCARAB. Celle-ci prédit de manière raisonnable le taux d'échauffement, qui dépend de l'angle d'incidence normalisé. Il est prévu d'effectuer une comparaison plus poussée avec la méthode SCARAB dans le cadre de la vérification de la nouvelle version 3.1L de cette méthode, qui est en cours d'élaboration.

Comparaison des méthodes ORSAT et SCARAB

24. Afin de mieux coordonner les systèmes logiciels d'ORSAT et de SCARAB et de les adapter aux conditions réelles de la rentrée atmosphérique des engins spatiaux, on a utilisé un satellite expérimental générique simplifié pour comparer les résultats de la simulation numérique des processus de fragmentation et les prédictions. Dans le passé, ces comparaisons étaient très difficiles à réaliser, du moins pour les satellites complexes.

25. Le satellite expérimental a été mis au point conjointement par les équipes de la NASA et de HTG. Il pesait environ 400 kg et n'était pas nécessairement réaliste, sa vocation principale étant d'aider à déterminer les différents processus de désintégration qui se produisent pendant la rentrée atmosphérique et qui aboutissent à différents résultats au sol.

26. La principale différence entre les méthodes ORSAT et SCARAB tient à la façon dont elles traitent la fragmentation. La méthode ORSAT a présumé une altitude de désagrégation de 78 km. À cette altitude, tous les objets modélisés ont été soumis au flux, puis analysés séparément. La méthode SCARAB a analysé la connectivité (contact) entre les objets modélisés afin d'identifier les fragments qui se détachaient en se fondant à d'autres parties de l'engin spatial. Ces fragments ont été analysés séparément. Avec la méthode ORSAT, on a obtenu une fragmentation instantanée unique à 78 km d'altitude, tandis qu'avec la méthode SCARAB, on a obtenu une fragmentation plus continue, qui a culminé à une altitude de 60 à 80 km.

27. Les deux méthodes ont donné des résultats globalement concordants pour ce qui est de la trajectoire. Les empreintes d'impact au sol présentaient des formes similaires et ne déviaient que de 70 km le long de la trace.

28. Les comparaisons des capacités de résistance ont également donné des résultats assez concordants. De manière surprenante, cependant, la méthode ORSAT a prédit légèrement plus de fragments ayant résisté à la rentrée que la méthode SCARAB, et une zone d'impact plus vaste que celle prédite par cette dernière.

29. Une comparaison détaillée des fragments ayant résisté à la rentrée a révélé que les principales différences, en ce qui concerne le risque au sol, tenaient aux différentes fragmentations du caisson contenant la batterie. Dans le cas ORSAT, lorsque la fragmentation se produisait à 78 km d'altitude, tous les composants internes se détachaient séparément et résistaient à la rentrée atmosphérique. Il en résultait un plus grand nombre d'impacteurs. Dans le cas SCARAB, les composants internes de la batterie restaient attachés les uns aux autres et résistaient à la rentrée en un seul fragment. Le nombre plus élevé de fragments touchant le sol selon la méthode ORSAT augmentait considérablement le risque au sol. Globalement, les deux scénarios étaient possibles et l'un ne semblait pas plus probable que l'autre.

30. Il est trop tôt pour dire quels résultats, de la méthode ORSAT ou de la méthode SCARAB, ont le mieux décrit le processus réel de fragmentation de l'engin spatial lors de la rentrée atmosphérique. Il faudra mener d'autres recherches, notamment valider ou vérifier les programmes de simulation de la rentrée atmosphérique par l'observation de rentrées réelles.

Amélioration des essais d'impact à hypervitesse

Mise au point d'un accélérateur pour la simulation en laboratoire d'impacts de particules millimétriques de débris spatiaux à une vitesse de 10 km/s

31. Ce projet a pour but d'évaluer et d'améliorer le fonctionnement des bancs d'essai de l'Institut Ernst-Mach (EMI) (Allemagne) en vue de simuler des impacts à hypervitesse de débris spatiaux millimétriques sur les structures et les composants d'engins spatiaux à une vitesse d'environ 10 km/s. Pour simuler ces impacts, l'Institut utilise un canon à gaz léger, qui permet de tirer des particules multiples sans modifier leurs propriétés physiques. Le projet vise aussi à réduire le coût des essais en diminuant les charges du canon.

32. Dans un premier temps, on a évalué les limites de fonctionnement du canon à l'aide de théories analytiques, puis des simulations numériques ont permis d'identifier les modifications géométriques à apporter pour le rendre plus performant. Il a été observé que, pour accroître la performance, il fallait augmenter la pression du gaz léger. L'étude des modifications géométriques apportées à un canon à gaz léger à deux étages de 4 mm (dit "canon miniature") a montré qu'il était possible d'améliorer le cycle d'accélération. Enfin et surtout, on a redessiné la section haute pression pour l'allonger en lui donnant une forme concave.

33. Pendant les six premiers mois de la période considérée, on a achevé les préparatifs du tube de lancement. L'achat des matériaux nécessaires avait été entrepris. Une nouvelle section haute pression était en production. Le scellage entre la section haute pression et le tube de lancement avait été modifié. Le fonctionnement a été testé par simulation numérique.

Le TwinGun, nouveau concept d'accélérateur

34. Au début de 2008, un nouveau projet a été lancé par l'Agence spatiale allemande et l'Institut Ernst-Mach en vue de mettre au point un nouveau concept d'accélérateur pour la simulation expérimentale de l'impact à hypervitesse de débris spatiaux. Dans le cadre de ce projet, on a testé la faisabilité d'un nouveau concept d'accélérateur appelé "Twin-Gun". Ce concept visait à faire en sorte que les particules millimétriques se déplacent plus rapidement qu'avec le canon à gaz léger,

mais de manière reproductible et en limitant l'usure. Il se fondait sur la technique du canon à gaz léger, mais avait pour but d'accroître la vitesse des particules en utilisant deux pistons situés dans deux tubes guidés parallèles, reliés à la même chambre d'explosif et conduisant à un même tube de lancement.

35. En combinant correctement les paramètres opérationnels, on peut produire, à l'embouchure du tube de lancement, une onde de pression plus large que celle d'un canon à gaz léger classique. Grâce à ce "façonnage" de l'onde de pression et à l'amélioration de l'efficacité de l'accélération, un projectile peut atteindre des vitesses plus élevées. En outre, les limites de pression critique ne seront pas dépassées.

36. Des études sur la performance et la conception du TwinGun sont en cours.

Position de l'Allemagne sur les mesures de réduction des débris spatiaux à prendre des points de vue de l'économie et de la durabilité

37. La présente analyse vise à appuyer la position de l'Allemagne en ce qui concerne les mesures de réduction des débris spatiaux à prendre dans le contexte des débats scientifiques et techniques relatifs à l'économie et à la durabilité. Elle vise également à appuyer la position de la délégation allemande auprès de l'ESA et de comités internationaux tels que le Comité de coordination interinstitutions sur les débris spatiaux et le Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique.

38. Bien que s'appuyant sur des analyses coûts-avantages déjà réalisées dans le cadre du projet de "Service 'débris spatiaux' de bout en bout", les analyses ci-après sont plus poussées. Des aspects tels que l'examen de l'expérience acquise dans le cadre des mesures de réduction des débris spatiaux, déjà intégrés dans la conception et le fonctionnement d'engins spatiaux, ainsi que l'évaluation de propositions visant à éliminer les débris spatiaux approfondissent cette analyse.

39. Les travaux publiés sur cette question apportent des précisions sur les caractéristiques de base des modèles de coûts et sur l'applicabilité des modèles du milieu formé par les débris spatiaux pour ce qui est de déterminer le risque de perte d'engins spatiaux. Les modèles de coûts existants ont été étudiés, ce qui a conduit à utiliser un modèle modifié pour déterminer le coût des dommages que les impacts à hypervitesse ont causés à toutes les missions satellites passées.

40. En utilisant les données relatives aux flux de particules de la version 2005 du Modèle de référence des météoroïdes et débris spatiaux dans l'environnement terrestre, également appelé "MASTER-2005", on peut quantifier l'influence du milieu formé par les débris spatiaux et l'évolution temporelle du risque en conjuguant les estimations du coût des satellites aux analyses de risques. L'analyse systématique de l'influence des impacts à hypervitesse sur les missions satellites passées a pour but d'évaluer l'évolution temporelle du risque que présentent les débris spatiaux pour les missions spatiales et le risque qui en résulte pour les exploitants de satellites. En tout, ce sont les résultats d'analyses menées sur 3 893 satellites qui ont été examinés. La durée de vie, pour tous les satellites, a été fixée à sept ans. Leurs orbites et leurs dimensions ont été prises en compte. D'autres paramètres tels que la conception et les dimensions de la paroi et le nombre et les types de charges utiles ont été présumés identiques pour tous les satellites. Pour chacun d'eux, les coûts ont été évalués en fonction de la masse en début de vie. À

l'aide du logiciel MASTER-2005, on a créé un fichier très complet sur le milieu formé par le flux de particules de chaque satellite. En s'appuyant sur les équations de dommage applicables aux structures de la paroi, on s'est attaché à déterminer lesquelles de ces particules percutantes pourraient pénétrer la paroi du satellite. La probabilité d'une défaillance a été déterminée pour chaque satellite. Enfin, les coûts liés aux risques ont été calculés en fonction du coût des satellites et de la probabilité de défaillance.

41. Ces coûts indiquent la perte que risque d'entraîner, pour l'investisseur, la défaillance précoce du satellite du fait des dommages causés par les impacts de particules. La perte d'amortissement indique les coûts que risquent de générer les impacts de particules sur un satellite. En additionnant ces coûts, on peut déterminer la perte économique totale résultant des dommages à un moment donné. La simulation est très complexe, car elle impose d'effectuer, pour environ 4 000 satellites, une analyse des risques consistant notamment à déterminer la répartition des sous-systèmes, la probabilité de défaillance et les coûts prévisionnels. Le coût global des dommages oscille entre 200 et 700 millions de dollars selon le modèle de vulnérabilité retenu. Cette fourchette correspond à la perte de deux à cinq satellites. Comme il fallait grandement simplifier la définition de la vulnérabilité des satellites, ces chiffres ne donnent, bien entendu, qu'un ordre de grandeur. Ces travaux montrent qu'il est possible d'analyser le risque et le coût de l'interaction de débris spatiaux avec un grand nombre de satellites.

42. Dans le cadre de ce projet, on a étudié les travaux publiés sur diverses méthodes proposées pour éliminer les débris spatiaux. Pour l'essentiel, ces méthodes se fondaient sur la réorbitation ou la désorbitation des objets à l'aide du laser, de filins ou de la robotique. On dispose d'une liste des propositions connues, mais elles n'ont pas toutes été évaluées.

Application des lignes directrices nationales relatives à la réduction des débris spatiaux aux missions spatiales allemandes

*Environmental Monitoring and Analysis Program**

43. Le programme EnMAP de surveillance et d'analyse de l'environnement est une mission allemande qui utilise un satellite hyperspectral composé de 200 canaux, entre 420 et 2 450 nanomètres, avec une résolution spatiale de 30 mètres. EnMAP sera exécuté par un petit satellite construit avec la technologie bus la plus avancée, qui sera mis en orbite à environ 650 km de la Terre. Les principales tâches d'EnMAP sont liées à la détermination des paramètres des écosystèmes et de variables biophysiques, biochimiques et géochimiques à l'échelle mondiale. EnMAP permettra aussi de faire des analyses des catastrophes naturelles et de la pollution des sols et de l'eau. Les données seront utilisées et préparées en vue de la mise en place d'un service opérationnel et commercial.

44. On étudie actuellement la possibilité d'appliquer les lignes directrices nationales relatives à la réduction des débris spatiaux, adaptées du Code européen de conduite pour la réduction des débris spatiaux, aux besoins d'EnMap. Les travaux consistent notamment à analyser les mesures de fin de vie (en particulier les

* On trouvera le document original soumis en anglais par l'Allemagne sur le site Web du Bureau des affaires spatiales du Secrétariat (<http://www.unoosa.org/oosa/natact/sdnps/2008/index.html>).

mesures de passivation et d'élimination) et de sûreté pour la rentrée dans l'atmosphère (notamment l'évaluation des risques d'impact de débris de l'engin spatial sur la surface de la Terre, de pertes humaines et matérielles au sol, et de contamination de l'environnement terrestre) (A/AC.105/918, par. 4 à 7).

Porteur d'essai technologique

45. L'objectif de ce programme est de trouver de nouvelles technologies qui puissent être appliquées aux projets spatiaux. Il consiste essentiellement à réaliser des démonstrations en vol et à tester des composants et des sous-systèmes d'engins spatiaux destinés, entre autres, à la production d'électricité, à l'orientation, à la navigation et au contrôle.

46. L'Agence aérospatiale allemande offre des possibilités d'essai en vol de nouvelles technologies sur divers types de plates-formes et de satellites. Le programme repose sur l'utilisation du satellite allemand TET, qui a une masse de 120 kg et une capacité de charge d'environ 50 kg.

47. Un satellite TET sera placé en orbite basse. La durée prévue de la mission est d'un an. Outre l'assemblage, l'intégration et l'essai du système, l'Agence aérospatiale allemande exploitera le satellite et fournira toutes les données recueillies aux utilisateurs intéressés.

48. La possibilité d'appliquer les lignes directrices nationales relatives à la réduction des débris spatiaux, adaptées du Code européen de conduite pour la réduction des débris spatiaux, aux besoins du projet sera examinée dans le cadre du programme TET. L'accent sera placé sur les mesures de prévention (objets liés aux missions et fragmentation, par exemple), les mesures de fin de vie (passivation, désorbitation et élimination, par exemple) et la sûreté de la rentrée dans l'atmosphère (A/AC.105/918, par. 8 à 11).

Japon

[Original: anglais]

1. Les activités d'étude des débris spatiaux menées au Japon, principalement par l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale et par l'Université de Kyushu, ont porté sur les domaines décrits ci-après.

Observation des débris spatiaux depuis le sol

2. Des télescopes optiques sont systématiquement utilisés pour observer des objets dans la région de l'orbite géosynchrone et déterminer leurs caractéristiques orbitales. Des recherches sont menées afin de mettre au point un logiciel capable de détecter automatiquement les objets plus petits en orbite géosynchrone. Les objets en orbite terrestre basse sont observés au moyen de télescopes radars. Des recherches visant à améliorer cette observation sont effectuées au moyen de télescopes optiques permettant le suivi des objets à grande vitesse. En outre, les courbes de lumière de certains engins spatiaux ont été observées et leurs caractéristiques de basculement analysées (voir les informations présentées par le Japon dans le document A/AC.105/918, par. 2).

Outils de modélisation et d'analyse

3. Le Modèle d'évolution de l'environnement des débris en orbite terrestre basse mis au point par l'Université de Kyushu et par l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale ainsi que les outils d'appui aux normes de réduction des débris (DEMIST) sont en cours de perfectionnement. Un outil d'analyse des risques de collision est également en cours d'élaboration. À ce jour, il n'a été possible d'analyser que la probabilité d'impact de débris, mais on évalue également les dommages qui pourraient être causés en utilisant des équations de limite balistique.

Modèles d'évolution des débris orbitaux

4. L'Université de Kyushu prévoit de contribuer, au nom de l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale, aux "bienfaits d'une élimination active des débris présents en orbite terrestre basse", mesure qu'étudie le Groupe de travail 2 du Comité de coordination interinstitutions sur les débris spatiaux. Par cette mesure, le Groupe de travail 2 vise à dégager un consensus en ce qui concerne la stabilité et l'instabilité des débris orbitaux présents en orbite terrestre basse. Il sera réalisé une étude paramétrique des effets de l'élimination des débris actifs et une comparaison des résultats de différents outils. La NASA (États-Unis) dirigera cette étude, à laquelle participeront également l'Agence spatiale italienne (ASI), le Centre spatial national britannique, l'Organisation indienne de recherche spatiale et l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale. Elle en fera connaître les premiers résultats avant la prochaine réunion du Comité de coordination interinstitutions, qui doit se tenir en avril 2009.

5. La communauté spatiale mondiale a préconisé de placer les engins spatiaux géosynchrones en fin de vie sur des orbites de dérive à des altitudes plus élevées afin qu'ils ne perturbent pas le fonctionnement des engins spatiaux opérationnels. Au cours des huit dernières années, plus de 80 % des engins spatiaux géosynchrones en fin de vie ont été réorbités au-delà de l'altitude géosynchrone nominale. Certains d'entre eux, cependant, n'ont pu atteindre l'altitude recommandée par le Comité de coordination interinstitutions sur les débris spatiaux.

6. L'Université de Kyushu a prédit, en projetant dans l'avenir les pratiques actuelles de réduction des débris, ce que sera la population des débris présents en orbite géosynchrone au cours des 100 prochaines années. De ces projections, il est ressorti que pour préserver l'orbite géosynchrone, il fallait éliminer les débris à l'issue des missions conformément aux recommandations de la communauté spatiale internationale, et adopter des procédures de sauvegarde de tous les corps de fusée et engins spatiaux une fois la mission terminée. Ces projections ont également aidé à identifier les problèmes techniques que pose le placement des engins spatiaux âgés (en fin de vie) sur des orbites de dérive à des altitudes plus élevées: la difficulté d'évaluer la consommation de combustible (combustible résiduel) et l'absence de fiabilité des systèmes des engins spatiaux en fin de vie (défaillances).

7. L'Université de Kyushu et l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale prévoient de mettre au point, de l'orbite basse à l'orbite géosynchrone, un modèle détaillé destiné à prendre en compte tous les objets présents sur orbite terrestre. Sur cette base, l'Université de Kyushu a commencé à actualiser son modèle d'orbite géosynchrone en utilisant des techniques de modélisation plus réalistes que celles adoptées pour le modèle d'orbite basse.

Essais d'impacts à hypervitesse

8. Des essais d'impacts à hypervitesse ont été effectués sur des plaques d'aluminium et des plaques de plastique renforcé de fibres de carbone à l'aide des canons à gaz à deux étages mis au point par l'Université de Tohoku (Japon) et l'Université de Padoue (Italie). Au cours de ces tests, on a observé la rupture de la cible à l'aide d'une caméra à grande vitesse. On a observé des différences dans l'ampleur des dommages et des nuages de débris causés par les alliages d'aluminium et par le plastique renforcé de fibres de carbone à base d'époxyde. Pour faciliter l'acquisition de données supplémentaires, l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale vient de mettre en service un canon à gaz à deux étages.

9. On a également utilisé l'outil d'impact à charge creuse pour effectuer des essais d'impacts à hypervitesse consistant à utiliser des projectiles ayant une masse de plus de 1 g et se déplaçant à des vitesses supérieures à 10 km/s. Un dispositif d'enlèvement de jets a été mis au point afin de n'obtenir des résultats que pour une collision causée par le jet principal.

Essais d'impact sur des microsattellites

10. L'Université de Kyushu et le Bureau de la NASA chargé du programme relatif aux débris spatiaux ont collaboré à une série d'essais d'impact sur des microsattellites. Deux microsattellites recouverts d'un isolant multicouches et munis d'un panneau solaire ont servi de cibles. Ils mesuraient 20 cm sur 20 cm sur 20 cm et pesaient environ 1 500 g. Ces essais d'impact avaient pour but d'étudier les éléments de panneau solaire et ceux dotés d'isolant multicouches. On a ensuite comparé les résultats avec le modèle standard de désintégration de la NASA. La vitesse d'impact était d'environ 1,7 km/s et le rapport de l'énergie cinétique de l'impact à la masse du satellite d'environ 40 J/g pour les deux essais. Les phénomènes induits par les impacts ont été enregistrés avec une caméra à très grande vitesse de la Société japonaise de radiotélédiffusion. Les résultats permettront de mieux comprendre les objets dont le rapport de la surface à la masse est élevé et d'améliorer les modèles de désintégration et, partant, la modélisation du milieu formé par les débris orbitaux.

11. Il importe de mieux connaître les formes de fragments si l'on veut améliorer l'évaluation du rapport de la surface à la masse de chacun d'eux. Cela importe également, cependant, si l'on veut évaluer de manière fiable la probabilité de non-pénétration d'un engin spatial comme la Station spatiale internationale. Tous les fragments recueillis lors d'essais d'impact antérieurs (A/AC.105/918) ont été analysés en fonction de leurs dimensions orthogonales x , y et z , x représentant la dimension la plus longue, y la dimension la plus longue dans le plan perpendiculaire à x , et z la dimension la plus longue perpendiculaire à x et y . Deux groupes peuvent être observés dans la répartition des fragments x/y contre y/z : les fragments ayant des valeurs x/y élevées, représentés par une aiguille, et ceux ayant des valeurs x/y faibles, représentés par une plaque. Les fragments ayant des valeurs x/y faibles peuvent avoir une grande diversité de valeurs y/z et avoir la forme d'une boîte (lorsqu'ils ont des valeurs y/z faibles), une forme d'aiguille (lorsqu'ils ont des valeurs y/z élevées), et la forme d'une plaque (lorsqu'ils ont des valeurs y/z intermédiaires).

Filin électrodynamique destiné à accélérer le déclin d'orbite des engins spatiaux inutilisés

12. Il ne suffit pas de réduire la quantité de débris produits pour préserver l'environnement orbital, une réaction en chaîne de collisions entre débris ayant déjà été observée dans certaines régions orbitales. Le meilleur moyen d'améliorer l'environnement serait d'éliminer les grands objets des régions orbitales encombrées. Une solution technique, pour faire en sorte que ces missions d'élimination soient économiques, serait d'utiliser le système de filin électrodynamique, qui ralentit les objets spatiaux inutilisés et réduit leur durée de vie en orbite. Des activités de recherche-développement portant sur ces systèmes ont été menées par l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale. Actuellement, on s'efforce de mettre au point un petit système de filin électrodynamique en vue de démonstrations sur orbite à l'aide d'un petit satellite.

Taux de succès des missions faisant usage d'un filin électrodynamique pour éliminer des débris actifs

13. Le Comité de coordination interinstitutions sur les débris spatiaux a fait de l'étude des éventuels bienfaits et risques de l'utilisation de filins électrodynamiques pour la désorbitation en fin de vie des engins spatiaux sur orbite basse l'un de ses domaines d'action. Bien que mince, le filin est suffisamment long pour présenter une surface exposée aux petites particules. Cette vulnérabilité pourrait être la principale faiblesse d'un système de filin face aux débris orbitaux. Pour surmonter cette faiblesse, il a été proposé un système prometteur à double filin, où deux cordages sont noués ensemble à intervalles réguliers pour former des boucles également espacées. Afin de contribuer à cette entreprise, l'Université de Kyushu a mis au point un modèle mathématique qui doit permettre d'évaluer la probabilité de résistance du système à double filin.

14. L'Université de Kyushu a ensuite étendu le modèle mathématique qu'elle avait mis au point une fois l'action achevée. Le modèle qui en résulte peut renseigner sur le taux de succès maximum que peut atteindre un système à double filin à dégagement restreint, quel que soit le nombre de boucles. L'Université de Kyushu utilise ce nouveau modèle pour évaluer le taux de succès d'un système de filin électrodynamique proposé par l'Agence japonaise d'exploration aérospatiale. De plus amples informations sur ce point seront publiées dans le *Journal of Advances in Space Research*.