



Assemblée générale

Distr. LIMITÉE

A/AC.105/C.1/L.217

12 janvier 1998

FRANÇAIS

Original : ANGLAIS

COMITÉ DES UTILISATIONS PACIFIQUES
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHÉRIQUE
Sous-Comité scientifique et technique
Trente-cinquième session
Vienne, 9-20 février 1998
Point 9 de l'ordre du jour

DÉBRIS SPATIAUX

**Document de travail présenté
par l'Académie internationale d'astronautique**

INTRODUCTION

1. En quelques années, l'espace est devenue une ressource capitale pour la science tout comme pour le secteur public et le secteur privé. Or, les activités spatiales sont de plus en plus menacées par la production incontrôlée de débris spatiaux artificiels. L'on a répertorié à ce jour plus de 8 600 objets spatiaux en orbite autour de la Terre, dont environ 500 seulement peuvent être considérés comme étant encore en service. Un millier d'autres objets ont été détectés sans pour autant avoir été répertoriés. L'analyse d'un échantillon statistique de l'environnement a permis d'établir qu'un nombre bien plus élevé d'objets mesurant au moins 1 cm sont également en orbite. En cas de collision avec un engin spatial, l'un de ces objets risque de causer des dégâts, voire la perte fonctionnelle de l'engin, en raison de l'importance de l'énergie cinétique en cause. La population répertoriée constitue un paramètre observable de grande importance pour la prédiction de l'état de l'environnement orbital. Le graphique I rend compte de l'augmentation du nombre de débris de 1960 à nos jours. La majorité des objets répertoriés (42 %) proviennent de la fragmentation de satellites et d'étages supérieurs de fusées (par explosion). Il apparaît donc que l'une des mesures de correction les plus importantes consistera à réduire le taux des explosions.

Graphique I. *Accroissement de la population répertoriée.* La population répertoriée en orbite autour de la Terre s'est accrue de manière quasi linéaire, avec des variations importantes dues à des désintégrations et aux cycles d'activité solaire. a : Nombre total d'objets, y compris ceux non officiellement répertoriés; b : Nombre total d'objets officiellement répertoriés; c : Débris par fragmentation; d :Engins spatiaux; e : Étages supérieurs de fusées; f : Débris fonctionnels.

2. À plus long terme, la fragmentation résultant de collisions entre des objets répertoriés risque de contribuer à l'accroissement de cette population. Si leur nombre continue d'augmenter, le taux de fragmentation par collision pourrait dépasser celui de fragmentation par explosion. Plusieurs études ont été réalisées, qui examinent l'éventualité d'un effet en cascade en orbite basse, lequel surviendrait si le taux de fragmentation par collision était tel que le nombre des débris créés augmenterait plus vite que celui des débris évacués par effet de la traînée atmosphérique. Ce phénomène pourrait à son tour donner lieu à une progression du taux d'accroissement des débris en orbite en dépit des mesures de réduction prises pour limiter dans l'avenir le taux des explosions. Le graphique II illustre le taux d'accroissement possible sur le long terme des débris mesurant plus de 1 cm.

Graphique II. *Évolution, sur le long terme, du nombre des débris spatiaux mesurant plus de 1 cm (maintien du statu quo). L'accroissement de la population est imputable à diverses sources : a : Satellites, étages supérieurs de fusées et autres objets en rapport avec des missions spatiales; b : Fragments résultant d'explosions; c :Fragments résultant de collisions.*

3. Le scénario de maintien du *statu quo* fait apparaître que le nombre des débris en orbite continuera de progresser. À court terme, cette progression sera essentiellement imputable à des explosions; à plus long terme, l'on assistera à une forte augmentation de la population du fait de désintégrations dues à des collisions aléatoires entre gros objets (effet collisionnel en cascade). Les opérations spatiales en seront fortement entravées à certaines altitudes. Il importe donc d'éviter l'accumulation de gros objets dans des régions à forte densité de population afin que les collisions ne deviennent pas une source majeure de création de débris.

4. Les études précédemment réalisées portaient de l'hypothèse que les populations de satellites se répartissaient de façon plutôt égale sur des centaines de kilomètres; or, la mise en place de constellations, telles que les systèmes Iridium et Teledesic, risquent de changer la donne. Les constellations regroupées sur des bandes d'altitude restreintes risquent d'être bien plus exposées à des densités de population susceptibles d'entraîner des collisions suivies de désintégrations. Il importe que les divers concepteurs et exploitants de systèmes de satellites se préoccupent non seulement du déploiement, de l'exploitation et de l'élimination en fin de mission de leurs propres systèmes mais aussi des activités d'autres utilisateurs dans les régions spatiales avoisinantes.

5. L'évolution du nombre des débris en orbite ne peut être prévue avec précision dans la mesure où l'on pourrait assister à une progression du nombre de lancements et d'utilisateurs, compte tenu notamment des nouvelles techniques permettant de recourir à des petits satellites et de la mise en place de constellations de satellites de télécommunications. Cette évolution est d'autant plus aléatoire que l'on ne peut prédire la fréquence des explosions

et collisions qui se produiront. Le nombre et la taille des fragments engendrés par la collision de deux objets dépendent de facteurs variés, parmi lesquels la masse des objets en collision et leur vitesse.

6. Les mesures de réduction doivent agir sur deux aspects : d'une part la protection contre l'impact des débris (éviter de collisions) et, de l'autre, les moyens d'éviter la création de débris spatiaux. L'on se penchera ici sur les mesures de contrôle des débris. Dans la mesure où il n'existe pas, à ce jour, de moyen rentable de déblayer l'espace, ces mesures de contrôle devront être axées sur les moyens d'éviter la création de débris.

MOYENS DE CONTRÔLE DES DÉBRIS

7. La nécessité de recourir, dans le cadre des missions spatiales, à de nouvelles modalités de lancement, de déploiement, d'exploitation et de cessation d'activité des engins a été longuement débattue. Toutes les études relatives à l'évolution sur le long terme des débris en orbite aboutissent à la conclusion selon laquelle, si l'on ne modifie pas le mode de déroulement des missions spatiales, certaines régions de l'espace proche seront si encombrées de débris que les exploitations courantes deviendront plus chères. Les moyens qu'il est possible d'envisager pour freiner la multiplication des débris sont en grande mesure fonction de l'altitude à laquelle se déroule la mission, de la conception du matériel et de l'empressement des utilisateurs.

Moyens de contrôle des débris

8. Le nombre de débris peut être maîtrisé de deux façons : par la prévention ou par l'évacuation. Les débris peuvent être évacués soit immédiatement soit au bout d'un certain temps; l'on peut à cet effet les transférer sur une orbite intermédiaire dont la durée de vie ne devra pas dépasser un maximum préalablement fixé. Le tableau 1 récapitule les différentes techniques pouvant être retenues pour chaque catégorie.

Tableau 1. Méthode de prévention ou d'évacuation des débris

| <i>Prévention</i> | <i>Évacuation</i> |
|--|--|
| Conception et exploitation | Récupération |
| Passivation | Manœuvre propulsive |
| Conservation des calottes et dispositifs de séparation | Désatellisation par filin, dispositif d'accroissement de la traînée ou voile solaire |
| Transfert vers une orbite de garage | Laser |

9. Si certains utilisateurs consentent déjà à recourir à ces techniques, il n'en faut pas moins poursuivre les travaux de recherche. Il importe avant tout de dégager des moyens efficaces pouvant être mis en œuvre de façon réaliste. Parmi les moyens de prévention déjà utilisés, l'on citera les suivants :

- Passivation des étages supérieurs;
- Recours à des capteurs pour les boulons destructibles;
- Utilisation d'un nombre moindre de pièces détachables;
- Transfert sur orbite de garage (orbite géosynchrone);
- Augmentation du nombre de charges utiles par lancement.

10. Il a été fait à quelques reprises usage de techniques d'évacuation des débris : évacuation par la navette spatiale américaine, ou désatellisation, par exemple par le vaisseau ravitailleur Progress.

Passivation

11. La passivation du matériel afin d'éviter sa désintégration par explosion constitue une méthode de prévention des débris importante. Elle consiste à vider l'engin spatial ou l'étage supérieur de toute l'énergie stockée en épuisant ou en vidangeant les propergols et les gaz de pressurisation et en déconnectant les batteries de manière à le rendre inerte. La récupération d'épaves de grande taille peut être coûteuse et difficile, mais certainement moins que la récupération des débris résultant de leur fragmentation. S'agissant des corps de fusées en orbite basse, l'expulsion des propergols et des gaz de pressurisation a déjà été utilisée avec succès et constitue un dispositif de sécurité appréciable pour l'avenir. Plusieurs lanceurs exécutent régulièrement cette procédure afin de réduire le risque de fragmentation. Ainsi, à partir du vol V59, tous les étages supérieurs d'Ariane ont été vidangés, quel que soit le type d'orbite utilisé. L'arrêt des étages supérieurs des lanceurs Delta et Long March s'effectue par épuisement des ergols après le déploiement de la charge utile et l'exécution d'une manœuvre destinée à éviter les collisions. Le deuxième étage du lanceur japonais H-1 (LE-5) expulse les propergols résiduels du moteur principal ainsi que les propergols de jets de gaz après séparation de la charge utile. Une procédure similaire est utilisée pour le lanceur H-2. Le quatrième étage de Proton et l'étage supérieur de Centaur épuisent leurs propergols en fin de mission. Malheureusement, le nombre des étages supérieurs à combustible liquide se trouvant dans le voisinage de l'orbite géostationnaire auxquels a été appliquée la technique consistant à vidanger les carburants ne dépasse pas la trentaine. Cette procédure devrait être mise en œuvre le plus rapidement possible et s'appliquer également aux systèmes d'orientation et de réglage à ergols liquides des propulseurs d'appoint à poudre. À plusieurs reprises, la surcharge d'une batterie de satellite a provoqué de petites fragmentations. Aussi faut-il prendre des précautions pour éviter que ce type d'événement ne se reproduise.

Orbites de rebut

12. La resatellisation sur une orbite de rebut fait également partie des mesures préventives importantes. Ainsi, il est possible de propulser les satellites géostationnaires en fin de vie à plusieurs centaines de kilomètres au-dessus de leur orbite normale afin d'éviter leur interaction continue avec d'autres engins en service. La resatellisation, à laquelle on a eu recours plus de 90 fois, est actuellement le seul moyen pratique de réduire les risques de collision sur l'orbite géostationnaire. Il est recommandé d'opérer un relèvement de 300 km, au moins, à l'aide d'une stratégie de combustion multiple étant donné que la quantité de propergols disponible n'est pas connue avec certitude. À long terme, on envisagera des moyens permettant une mise au rebut permanente. Des techniques de pointe, telles que le recours à des propulseurs électriques à énergie solaire, pourraient offrir de nouvelles possibilités.

Récupération

13. La récupération consiste à faire revenir sur Terre un engin ou autre matériel spatial sans l'endommager à l'aide d'un véhicule spatial capable d'effectuer une rentrée dans l'atmosphère, tel que la navette américaine ou les capsules Soyouz. Plusieurs objets ont ainsi été récupérés - parmi lesquels Palapa-A, Westar-B, LDEF, EURECA, SFU et le générateur solaire du télescope spatial Hubble - bien que non pas dans l'intention d'atténuer les risques liés aux débris spatiaux. Il est à noter que la navette américaine ne peut effectuer des opérations de récupération qu'à moins de 600 km d'altitude.

Désorbitation

14. La désorbitation des objets spatiaux est l'une des méthodes efficaces permettant de débayer l'espace. Elle consiste notamment à effectuer des manœuvres propulsives pour obliger l'objet à effectuer immédiatement une rentrée destructive dans l'atmosphère, à transférer l'objet sur une orbite intermédiaire pour une durée limitée (par exemple, vingt-cinq ans), à se servir de filins pour provoquer la désorbitation immédiate ou réduire la durée de vie sur orbite ou à recourir à d'autres moyens permettant de réduire la durée de vie sur orbite (accroissement de la traînée ou pression du vent solaire).

15. À l'heure actuelle, les manœuvres propulsives destinées à provoquer la désorbitation ou, du moins, à réduire la durée de vie sur orbite sont envisageables dans l'immédiat pour certains étages de fusées, mais non pour la majorité des grosses épaves. À condition de maintenir les systèmes d'orientation et de commande dans l'étage de la fusée, une manœuvre de faible envergure (effectuée à l'écart de l'engin lancé dans l'espace, de sorte à éviter toute contamination par l'allumage de la fusée), suivie d'une mise à feu, permettrait de modifier comme il se doit les éléments orbitaux.

16. Dans le cadre du programme russe de vols habités (et même au temps où il s'agissait d'un programme soviétique), les vaisseaux ravitailleurs Progress ainsi que les stations spatiales - à l'exception de Cosmos 557, Salyout 2 et Salyout 7/Cosmos 1686 - ont été désorbités de manière à effectuer leur rentrée au-dessus des zones océaniques non habitées.

17. Des techniques telles que l'augmentation de la traînée, le déplacement par pression du vent solaire ou l'enlèvement d'objets au moyen d'un filin exigent du matériel, pour l'heure inexistant et supposent un handicap de performance. Pour augmenter la traînée, on pourrait notamment utiliser des dispositifs gonflables qui se rigidifieraient lors du déploiement et offriraient une surface de contact beaucoup plus grande avec l'atmosphère de manière à accroître les forces de frottement. Cette technique sera la plus efficace dans le cadre de missions à basse altitude - moins de 600 ou 700 km - bien qu'elle puisse être utilisée, avec des résultats moindres, jusqu'à 1 200 km. Il est à noter toutefois que les dispositifs destinés à accroître la traînée ou à déplacer l'objet par pression du vent solaire augmentent la surface de l'objet ainsi enlevé et, par conséquent, sa section transversale de collision.

Risques au sol

18. Depuis le lancement du premier Spoutnik, quelque 25 000 objets en orbite autour de la Terre ont été répertoriés. Environ 16 000 sont revenus dans l'atmosphère, dont la plupart se sont désintégrés ou pulvérisés, très peu de débris s'écrasant au sol. Dans quelques cas, on a pu voir des fragments solides d'engins spatiaux ou d'étages de fusées retomber au sol (Cosmos 954, Skylab, Salyout 7/Cosmos 1686). Il se peut qu'un nombre plus important d'objets soient retombés sans que l'on en ait eu connaissance. Dans les cas où il est prévu que des composants d'engins spatiaux ou d'étages de fusées subsisteront dans l'espace, la meilleure manière de les éliminer consiste à les faire rentrer dans l'atmosphère au-dessus d'un océan et loin de toute terre en vue de les détruire.

Balayage des épaves spatiales

19. Le déplacement, des années après leur utilisation, d'objets qui n'ont jamais été dotés de moyens de propulsion, pose de graves difficultés. Le placement, sur l'objet (engin spatial ou corps de fusée), d'un système, qui restera en place probablement de nombreuses années avant d'exécuter une manœuvre, risque de poser des problèmes au niveau du fonctionnement et de la sécurité. L'installation, après le lancement, d'un système de propulsion télécommandé exigerait des moyens considérables pour effectuer le rendez-vous et la fixation (à une partie du matériel qui risque d'être dangereuse) et coordonner la manœuvre. Un "remorqueur spatial" télécommandé, déployé pour aller à la rencontre des épaves de grande taille et les désorbiter, pourrait être un moyen efficace d'enlever les débris. Les études théoriques montrent toutefois que les coûts de ce type de véhicule sont très élevés si l'on recourt aux techniques actuelles. L'on peut aussi déplacer une épave par voile solaire, la pression du vent solaire permettant de modifier les éléments orbitaux. Cette technique, qui exige du matériel plus coûteux provoquerait une modification très lente des éléments orbitaux, mais donnerait de bons résultats à des altitudes très variées. L'utilisation d'un filin peut permettre d'évacuer un objet de différentes manières : par échange du moment cinétique lors du déploiement ou de la récupération et par traînée électromagnétique. En tout état de cause, cette technique exigerait la mise au point et la fabrication de matériel et soulèverait en outre des problèmes de fiabilité opérationnelle inhérents à l'adjonction d'autres types de matériel à des systèmes déjà complexes. L'on pourrait aussi envisager de désatelliser les débris à l'aide de lasers (au sol) puissants. Grâce au transfert et à la déperdition d'énergie, on peut imprimer un mouvement à un objet dans l'espace, de manière à le désorbiter immédiatement ou à réduire sa durée de vie sur

orbite. Cette technique peut s'avérer intéressante, à condition de résoudre certaines difficultés (notamment de ne pas endommager l'engin spatial en service et de ne pas créer de petits débris supplémentaires).

20. Il ressort de ce qui précède que l'élimination des débris à moindres frais exige que les moyens nécessaires soient mis en place au début du projet. Quelques petites modifications dans la conception permettraient d'éliminer les débris à un coût relativement faible.

MESURES RECOMMANDÉES POUR LE CONTRÔLE DES DÉBRIS

21. Il importe de définir des mesures de contrôle des débris concertées au plan international en vue de préserver les altitudes disponibles pour les engins spatiaux en fonctionnement. Les avis divergent néanmoins quant au calendrier d'exécution de ces mesures et au choix des techniques. Pour déterminer les techniques et modèles à adopter, il serait utile de réaliser une série de bilans coûts-avantages détaillés. Toutefois, bien que ces études soient essentielles pour s'assurer des avantages que présente chaque technique, l'Académie internationale d'astronautique estime que plusieurs mesures, énumérées à la fin du présent document, devraient être prises immédiatement en vue d'assurer la viabilité des opérations spatiales. La participation des pays ayant des activités spatiales et de leur industrie aérospatiale permettra d'équilibrer les coûts et bénéfices. La perte de ne serait-ce que quelques engins spatiaux en service par suite de collisions avec des débris orbitaux ou l'abandon de certaines bandes d'altitude risque de revenir plus cher que la mise en œuvre des mesures de contrôle proposées dans le présent document. Ces dernières se divisent en deux catégories : d'une part, celles qui ont des effets minimes sur la conception et l'exploitation de l'engin; d'autre part, celles qui exigent de repenser le matériel ou le mode d'exploitation. Aucune des deux catégories ne suppose la mise au point de nouvelles techniques. Les mesures de la catégorie I devraient être appliquées immédiatement, tandis que celles de la catégorie II seraient appliquées par tous les exploitants d'engins spatiaux à partir d'une date convenue.

Mesures de la catégorie I

22. La catégorie I regroupe les mesures qui n'exigent guère de modifications, dans la conception et dont l'incidence financière est généralement minime. Ces mesures supposent parfois des modifications du matériel et du mode d'exploitation et risquent de provoquer un léger handicap de performance. D'une priorité absolue, elles devraient être immédiatement mises en œuvre par tous les exploitants d'engins spatiaux. Ces mesures sont les suivantes :

a) Arrêt des désintégrations intentionnelles d'engins spatiaux engendrant des débris sur des orbites à longue durée de vie;

b) Réduction au minimum des débris d'une mission. Il existe des solutions techniques peu onéreuses qui peuvent souvent être mises en œuvre à moindres frais. Dans plusieurs cas, néanmoins, leur prix augmentera sensiblement, en fonction des modifications à apporter à la conception (par exemple, dispositifs yo-yo et moteurs d'apogée séparés);

c) Passivation en fin de mission (vidange, arrêt par épuisement des ergols et déconnection des batteries) des étages supérieurs et des engins spatiaux en orbite autour de la Terre;

d) Réduction en fin de mission de l'altitude du périhélie des engins spatiaux et étages supérieurs de fusées se trouvant à moins de 2 000 km d'altitude et ayant un surplus de carburant de manière à diminuer la durée de vie sur orbite;

e) Transfert des satellites géostationnaires en fin de vie sur une orbite de rebut, à une altitude supérieure d'au moins 300 km à leur orbite normale (périhélie au-dessus de l'orbite géosynchrone);

f) Mise sur une orbite de rebut à au moins 300 km au-dessus de l'orbite géosynchrone des étages supérieurs et des moteurs d'apogée utilisés pour transférer les satellites géostationnaires de l'orbite de transfert à l'orbite géostationnaire et vidange des propergols résiduels.

Mesures de la catégorie II

23. La catégorie II regroupe les mesures qui exigent de profondes modifications dans le matériel ou dans le mode d'exploitation, mais pas la mise au point de nouvelles techniques. Les mesures de cette catégorie visent à désorbiter les étages supérieurs utilisés et les engins spatiaux morts dans un délai maximal de x années, permettant ainsi d'éliminer une source importante de débris. Des valeurs quantitatives admissibles sont proposées ci-après. Le délai maximal et la date à partir de laquelle ces mesures doivent s'appliquer devraient être convenus dans le cadre d'un débat mené au sein d'organisations internationales compétentes telles que le Comité interinstitutions de coordination sur les débris spatiaux et le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. Il faut appliquer assez rapidement les mesures de la présente catégorie dans certaines bandes orbitales. Tout retard injustifié se soldera par une nouvelle dégradation de l'environnement spatial. L'enlèvement d'objets volumineux ou compacts, qui pourraient survivre partiellement à l'échauffement dû à leur rentrée dans l'atmosphère, est effectué par une manœuvre de désorbitation destinée à provoquer le retour dans l'atmosphère au-dessus d'une zone océanique au cours du passage suivant au périhélie. Les objets qui se consumeront totalement lors de leur rentrée dans l'atmosphère devraient être placés sur des orbites à durée de vie limitée, de vingt-cinq ans par exemple (délai minimal). On exploitera dans ce cas les perturbations naturelles. Les mesures de la catégorie II sont les suivantes :

a) Dégagement en fin de mission, dans un délai maximal de x années, de tous les étages supérieurs de fusées et de tous les engins spatiaux morts ayant une orbite dont l'apogée est inférieur à 2 000 km;

b) Dégagement en fin de mission, dans un délai maximal de x années, de tous les étages supérieurs de fusées ainsi que des engins spatiaux gravitant sur une orbite de transfert géostationnaire, une orbite de transfert, une orbite de 12 heures ou sur d'autres orbites excentriques dont le périhélie est inférieur à 2 000 km;

c) Resatellisation des étages supérieurs et des satellites en fin de vie sur une orbite de rebut (à titre temporaire) pour les orbites circulaires dont l'altitude est supérieure à 2 000 km.

24. Les mesures de contrôle prévues dans les catégories I et II peuvent être appliquées à l'aide des techniques actuelles.

Perspectives d'évolution

25. Il faut continuer à chercher de nouvelles méthodes de réduction des risques liés aux débris, qui soient à la fois techniquement applicables et économiques. Il serait particulièrement avantageux pour l'environnement spatial de mettre au point des moyens de propulsion perfectionnés ainsi que des systèmes de lancement réutilisables, en particulier les étages supérieurs. Le perfectionnement des techniques de propulsion permettrait de réduire le coût de la désorbitation ou rendrait possible la désatellisation à partir d'orbites exigeant une grande dépense d'énergie.

CONCLUSIONS

26. Malgré le recours à un certain nombre de mesures préventives, le nombre et la masse d'objets anthropiques présents dans l'espace ne cessent d'augmenter.

27. Les projections concernant l'évolution de la population de débris montrent clairement qu'il est nécessaire d'appliquer des mesures de contrôle plus strictes dans certaines régions orbitales. Chaque désintégration (par suite de collision ou d'explosion) générant des débris sur des orbites à longue durée de vie augmente la densité de cette population et constitue un handicap pour l'avenir.

28. Les mesures de contrôle des débris visent à maintenir dans des limites acceptables la densité spatiale des objets anthropiques évoluant sur des orbites fréquemment utilisées et à garantir la sécurité des vols spatiaux. Si l'on ne parvient pas à freiner l'augmentation de cette population, l'on court le risque de voir certaines régions orbitales devenir inutilisables pour les opérations spatiales.

29. En raison de la dégradation irréversible de certaines des régions orbitales les plus utiles, l'Académie internationale d'astronautique engage vivement les pays ayant des activités spatiales de prendre les mesures nécessaires pour assurer la sécurité des opérations spatiales dans l'avenir.

Nombre d'objets en orbite

Année et mois

Nombre d'objets de plus de 1 cm en orbite basse

Année