



## Assemblée générale

Distr. GENERALE

A/AC.105/619/Add.1 \*  
1er février 1996

FRANÇAIS  
Original : ANGLAIS

---

COMITE DES UTILISATIONS PACIFIQUES  
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHERIQUE

**RECHERCHE NATIONALE SUR LA QUESTION DES DEBRIS SPATIAUX**  
**SURETE DES SATELLITES EQUIPES DE SOURCES D'ENERGIE NUCLEAIRES**  
**PROBLEMES RELATIFS A LA COLLISION DE SOURCES D'ENERGIE**  
**NUCLEAIRES AVEC DES DEBRIS SPATIAUX**

### Note du Secrétariat

#### Additif

1. Le Secrétaire général a adressé une note verbale, datée du 4 août 1995, à tous les Etats Membres, les invitant à communiquer des informations sur la recherche nationale concernant la question des débris spatiaux, la sûreté des satellites équipés de sources d'énergie nucléaires et les problèmes relatifs à la collision de sources d'énergie nucléaires avec des débris spatiaux.
2. Le présent document contient les renseignements fournis par les Etats Membres et reçus entre le 1er novembre 1995 et le 31 janvier 1996.

#### TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i>
REPONSES RECUES DES ETATS MEMBRES .....	2
Allemagne .....	2

---

\* Le présent document n'a pas été revu par les services d'édition.

## REPONSES RECUES DES ETATS MEMBRES

Allemagne

[Original : Anglais]

Etant donné l'importance du problème des débris pour tous les pays ayant des activités spatiales, l'Allemagne a accueilli avec une vive satisfaction la priorité accordée à cette question par le Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique. Pour en faciliter l'examen, elle a participé de façon constructive à l'élaboration du programme de travail pour la période 1996-1998 adopté par le Sous-Comité à sa trente-deuxième session.

L'Allemagne attache une grande importance à sa contribution aux délibérations sur ce point et au plan de travail susmentionné. C'est pourquoi elle a régulièrement présenté des rapports sur les recherches qu'elle mène concernant la question des débris spatiaux. Le dernier de ces rapports, publié sous la cote A/AC.105/593/Add.1, en date du 24 janvier 1995, contenait une description des activités entreprises ainsi que de la stratégie mise en oeuvre par l'Agence spatiale allemande DARA.

L'Allemagne mène ses activités de recherche soit à titre individuel soit dans le cadre de contrats avec le Centre européen de recherche et de technologie spatiales (ESTEC) et le Centre européen d'opérations spatiales (ESOC) de l'Agence spatiale européenne (ESA). Ces activités sont pour une très large part exécutées a) à l'Institut de techniques de vol spatial et des techniques pour les réacteurs nucléaires de l'Université technologique de Braunschweig (IfRR/TUBS) et b) au Centre de recherche pour les sciences appliquées de Wachtberg-Werthhoven (FGAN).

Les deux institutions ont poursuivi leurs travaux et ont principalement obtenu les résultats suivants :

- Dans le cadre de ses travaux de modélisation et de validation de modèles, l'IfRR/TUBS a terminé la mise au point du modèle MASTER de référence sur les météorites et les débris spatiaux dans l'environnement terrestre de l'ESA<sup>1</sup> et a transmis à l'ESOC un certain nombre de CD-ROM contenant les données ainsi que les logiciels d'application pour l'examen et l'essai. La diffusion publique du modèle est prévue pour le début de 1996.
- Les travaux du FGAN sur les débris spatiaux portent principalement sur la conception et la mise au point de techniques radar et de méthodes d'analyse permettant la détection, la classification et l'identification d'objets sur orbites terrestres basses, orbites géostationnaires et orbites géostationnaires de transfert<sup>2 3 4</sup>. Les données obtenues sur certains objets avec un radar de poursuite permettent de déterminer pour ces objets des propriétés physiques telles que la taille, la forme, les dimensions, le mouvement intrinsèque, la masse, l'orbite et la durée de vie sur orbite. Les observations radar de volumes spatiaux définis fournissent des informations sur la densité de population. Aux fins de validation, ces informations peuvent être comparées aux résultats d'autres modèles concernant les débris spatiaux. Les activités sont principalement financées par la DARA et l'ESOC.

Les sections A et B ci-après contiennent un rapport détaillé des activités de ces deux institutions.

---

<sup>1</sup> Rapport final du contrat ESOC 10453/93/D/CS, ESA/ESOC(MAS), 1994.

<sup>2</sup> Magura, K. et Mehrholz, D. : "Measurement and analysis techniques for satellite observations used at FGAN-FHP", Technical Report N° 8-93, FGAN-FHP, Wachtberg-Werthhoven, décembre 1993.

<sup>3</sup> Leushacke, L., Mehrholz, D., Perkuhn D., et Peters, H.G. : "Radar detection of mid-size space debris", Final report N° 6-94, Contrat ESA/ESOC N° 10182/92/D/IM, FGAN-FHP, Wachtberg-Werthhoven, novembre 1994.

<sup>4</sup> Leushacke, L., et Mehrholz, D. : "Determination of physical characteristics of space debris", Final Report N° 6-95, Contrat DARA N° 50 ST 9003, FGAN-FHP, Wachtberg-Werthhoven, juillet 1995.

## I. Modélisation des débris spatiaux et mesures visant à prévenir l'apparition de ces débris (IfRR/TUBS)

### A. Modélisation des débris spatiaux

L'IfRR a définitivement mis au point le modèle MASTER de l'ESA. Un certain nombre de CD-RO M contenant les données et les logiciels d'application ont été transmis à l'ESOC pour examen et essai. La diffusion publique du modèle est prévue pour le début de 1996.

### B. Augmentation future du nombre de débris et mesures visant à prévenir leur apparition<sup>5</sup>

Le rôle de la modélisation des débris spatiaux a évolué et s'est sensiblement développé au cours de s dernières années. Si, à l'origine, il ne s'agissait que de décrire la situation existante, il devient de plus en plus important d'analyser les scénarios futurs en fonction des mesures envisagées pour réduire l'apparition de nouveaux débris. Cette analyse est toutefois influencée par un certain nombre de facteurs qui dépassent le simple traitement mathématique du problème, tels que :

- le rythme de lancements futurs
- la fiabilité des modèles de désintégration à la suite de collision
- les écarts statistiques, notamment pour les probabilités de collision initialement peu élevées.

Par conséquent, les résultats des modèles pour un scénario donné sont toujours entachés d'incertitude. Ils permettent cependant de comparer l'efficacité de diverses mesures de prévention et d'évaluer certaines tendances.

L'IfRR/TUBS a terminé l'étude financée par la DARA concernant l'analyse d'un certain nombre de scénarios portant sur des objets d'un diamètre supérieur à 1 cm et situés jusqu'à une altitude de 2 000 km. Un modèle statistique à long terme particulier a été utilisé à cet effet.

Un certain nombre de modifications ont été apportées pour améliorer les modèles à long terme utilisés jusqu'à présent. Tout d'abord, le modèle MASTER (temps de passage = 1995,0), qui est l'outil le plus moderne actuellement utilisé, a fourni une population initiale d'objets d'une taille supérieure à 1 cm moins importante que les modèles précédents du fait du plus grand réalisme des simulations de désintégrations. En outre, la masse totale en orbite a également été revue à la baisse en se fondant sur des hypothèses quelque peu plus réalistes et plus prudentes pour ce qui est de la masse des satellites et des corps de fusée hors d'usage. Il s'agit d'objets répertoriés, qui ne font l'objet d'aucune simulation, mais qui proviennent de sources déterministes. La nouvelle population initiale ainsi obtenue sous-estime les effets des collisions interactives au lieu de suggérer des risques irréalistes, de sorte que l'on obtient un scénario prudent pour les années à venir.

Les scénarios suivants ont été analysés en détail :

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| Pas de mesures de prévention : | <ul style="list-style-type: none"> <li>• maintien du rythme actuel de lancement et du taux de désintégration sur orbite</li> <li>• pas de mesures générales de prévention de l'apparition de nouveaux débris</li> </ul> |
| Scénario A :                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• prévention des explosions à partir de 2005*</li> </ul>   |

---

<sup>5</sup> Bendisch, I. et Rex, D.: "The long-term evolution of orbital debris - new findings concerning collisional cascading", 46th IAF Congress, Oslo (Norvège), octobre 1995 (communication N° IAA.-95-IAA.6.4.08).

- réduction du séjour sur orbite à 25 ans une fois la mission terminée, au rythme suivant : 30 % à partir de l'an 2000, 75 % à partir de 2005 et 100 % à partir de 2010
- Scénario B :
- prévention des explosions à partir de l'an 2000\*
  - réduction de la durée de vie sur orbite une fois la mission terminée, au rythme suivant : 100 % à partir de l'an 2000
- Scénario C :
- prévention des explosions à partir de 2010\*
  - réduction de la durée de vie sur orbite une fois la mission terminée, au rythme suivant : 30 % à partir de 2005, 50 % à partir de 2015 et 100 % à partir de 2020
- Scénario D :
- prévention totale des explosions à partir de 1995

\* On suppose qu'il y aura une explosion par an en raison du nombre de corps de fusée toujours en orbite.

La simulation reproduite à la figure 1 repose sur l'hypothèse d'une durée de vie post-opérationnelle sur orbite de 25 ans. On peut voir que les mesures réalistes envisagées dans les scénarios A et C permettent de réduire la population de débris de plus de 50 % par rapport à ce qu'elle serait si aucune mesure n'était prise. La population serait néanmoins multipliée par quatre au cours des cent prochaines années.

*Figure 1. Efficacité des mesures de prévention des débris*

La figure 2 représente la ventilation de la population de débris pour les 100 prochaines années dans l'hypothèse où aucune mesure particulière ne serait adoptée. On constate que les explosions contribuent sensiblement à l'accroissement de la population, mais que les fragments résultant de collisions de fond, c'est-à-dire entre la population de base, y compris les fragments résultant d'explosions, sont de plus en plus nombreux avec le temps pour devenir majoritaires au bout de 70 ans. D'après ce modèle, les collisions induites en retour, c'est-à-dire dans lesquelles l'un des débris ou tous les deux sont le résultat de collisions antérieures, ne jouent qu'un rôle minime au cours du prochain siècle.

*Figure 2. Ventilation de la population de débris au cours des 100 prochaines années dans l'hypothèse où aucune mesure n'est prise*

On peut donc dire que des mesures de prévention des explosions dans l'espace permettraient d'éviter une croissance sensible de la population des débris d'un diamètre supérieur à 1 cm. La figure 1 montre quels seraient les résultats en cas de prévention totale des explosions dès aujourd'hui, c'est-à-dire 1995 (courbe 5, scénario D). Si, effectivement, il n'y a plus de fragments dus à des explosions, cette mesure n'a toutefois aucune incidence sur le taux de collision. Comme on peut le voir sur la figure 2, le nombre de fragments résultant de collisions est le même que s'il y avait explosion, étant donné que ce seront les objets les plus importants qui seront à l'origine de la plupart des fragments impliqués dans des collisions à l'avenir. Toutefois, la plupart des fragments résultant d'explosions sont de petite taille (inférieure à 10 cm). L'application des modèles a permis à l'IfRR de parvenir aux conclusions ci-après :

- Au cours des 100 prochaines années, la population de débris d'une taille supérieure à 1 cm sera dominée par les fragments résultant de collisions. Les collisions en cascade n'apparaîtront pas au cours de cette période, étant donné que la plupart des collisions destructives feront intervenir des débris appartenant à la population de fond et non des fragments résultant de collisions antérieures.
- La population considérée est moins sensible aux collisions interactives que ne l'indiquaient des précédentes analyses. Toutefois, il est clair qu'il convient de prendre des mesures pour éviter l'apparition de nouveaux débris. Ce n'est qu'en adoptant une gestion précise des débris, que l'on pourra poursuivre les activités spatiales sans encourir de risques inacceptables de collisions, en particulier aux altitudes comprises entre 800 km et 1 100 km.
- Outre la prévention des explosions, il importe également de ramener à environ 25 ans la durée de vie sur orbite des satellites et des corps de fusée une fois la mission terminée. Pour cela, on pourra abaisser leur périhélie ou modifier leur orbite.
- Au cours des 100 prochaines années, la population de débris d'une taille supérieure à 1 cm sera multipliée par trois ou quatre, même si l'on adopte les mesures indiquées ci-dessus.

### **C. Détection et mesure radar des débris orbitaux (FGAN)**

Le système de radar de poursuite et de radar imageur du FGAN sert principalement à définir de nouvelles méthodes et techniques de classification et d'identification des aéronaves et des satellites. Il est également utilisé, dans une certaine mesure, pour obtenir des données sur les débris orbitaux, soit en mode poursuite afin de mesurer certains objets se trouvant sur orbite terrestre basse, orbite géostationnaire et orbite géostationnaire de transfert, soit en recueillant des données sur la population d'objets se trouvant dans une région précise.

Le système se compose d'un radar de poursuite à bande étroite et d'un radar imageur à haute résolution, utilisant tous deux une antenne parabolique de 34 m. Des méthodes et des algorithmes ont été mis au point pour analyser les signatures radar, produire des images à partir des données haute résolution et estimer les propriétés physiques des objets spatiaux telles que la taille, la forme, les dimensions, le mouvement intrinsèque, la masse, l'orbite et la durée de vie sur orbite. Ces méthodes et techniques devront encore être améliorées pour pouvoir être appliquées à des objets de taille moyenne (entre 1 et 50 cm).

### 1. Détection radar des objets spatiaux de taille moyenne

Le principal objectif de l'étude entreprise dans le cadre d'un contrat avec l'ESA (contrat ESA/ESOC, 2/93-12/94) était de déterminer les modifications à apporter au radar de poursuite en bande L du système pour détecter et suivre des débris d'une taille supérieure à 1 cm sur orbite terrestre basse afin d'améliorer et de valider les modèles existants.

Plusieurs méthodes de recherche de cibles de petite taille à haute altitude dans des zones bien définies ont été analysées. Les résultats obtenus ont permis de préciser les modifications à apporter à l'équipement ainsi qu'aux techniques d'observation et de traitement des données.

La faisabilité des méthodes suggérées a été vérifiée les 13 et 14 décembre 1994 en utilisant le système pendant vingt-quatre heures pour obtenir des données sur la population se trouvant dans un volume d'espace déterminé<sup>3</sup>. Les stations radar et de poursuite optique ci-après ont participé à cette campagne de mesure :

Radar : FGAN, Wachtberg-Werthoven (Allemagne)  
Fylingdales (Royaume-Uni)

Optique : RGO, Herstmonceux (Royaume-Uni)  
AIUB, Zimmerwald (Suisse)

L'objet de cette campagne était de détecter, dans un espace donné et à une altitude d'environ 800 km, tous les objets d'une taille supérieure à un minimum fixe et de comparer les résultats obtenus avec les prévisions fournies par un modèle. La taille minimum des objets détectables par le système radar du FGAN à cette altitude est d'environ 3 cm. Une analyse préliminaire montre que le nombre d'objets détectés est sensiblement plus important que celui prévu par le modèle MASTER de l'ESA (avec le radar Haystack (Etats-Unis), le nombre d'objets prédit n'est que légèrement inférieur à celui effectivement détecté). L'analyse de plusieurs gigaoctets de données est toujours en cours au FGAN.

### 2. Détermination des caractéristiques physiques des débris spatiaux

Le travail de recherche entrepris en coopération par la NASA et le FGAN (contrat DARA, 1/90-6/95) avait pour objet de préciser et de comparer la forme, la taille, le mouvement intrinsèque, la masse et la durée de vie sur orbite de débris de satellite résultant de divers événements, tels que des collisions ou des explosions.

Le système radar du FGAN a été utilisé pour mesurer 30 débris (d'une taille supérieure à 50 cm) choisis par la NASA, six petites sphères métalliques de diamètre de 5, 10 et 15 cm utilisées à des fins d'étalonnage par la NASA dans le cadre de l'expérience ODERACS-I, ainsi que trois sphères métalliques de diamètre de 5, 10 et 15 cm et deux dipôles (câbles métalliques de 13,1 cm de long et de 0,1 cm de diamètre) utilisés pour l'expérience ODERACS-II.

Au total, 44 objets (y compris les satellites d'étalonnage radar) ont été ainsi fréquemment mesurés et analysés afin d'en estimer la taille, la forme, le mouvement intrinsèque, la masse, l'orbite et la durée de vie sur orbite. Ces

résultats serviront à modéliser le freinage exercé par la haute atmosphère, à valider les modèles de fragmentation, à élaborer des méthodes de détection et d'évitement dans l'espace et à étudier des techniques d'élimination active des débris.

### 3. Techniques radar avancées pour l'observation des débris spatiaux

Une étude entreprise dans le cadre d'un contrat avec l'ESA (contrat ESA/ESOC, 2/95-3/98) doit permettre d'améliorer les performances du système radar actuel du FGAN pour ce qui est de la détection et de la poursuite de débris de taille moyenne (entre 1 et 50 cm) sur orbite terrestre basse afin de valider et d'améliorer les modèles actuels.

Cette étude portera aussi bien sur la modernisation du matériel que sur la mise au point de techniques spéciales d'observation ainsi que d'algorithmes de traitement des signaux et des données. Une fois qu'elle sera terminée, il devrait être possible de détecter des débris d'une taille de 2 cm à une distance de 1 000 km. D'autres activités en cours cherchent à déterminer comment améliorer encore ces performances en utilisant des radars bistatiques.

Les mesures radar des étages supérieurs d'ARIANE sur orbite géostationnaire de transfert permettront de mieux comprendre le processus de création de débris par fragmentation sur ces orbites. Les estimations de masse et de coefficient balistique pourraient contribuer à apporter une réponse à la question de savoir pourquoi il y a formation de débris.

Le système radar du FGAN a été utilisé pour déterminer la taille et le mouvement intrinsèques de débris de 1 m et plus sur orbite géostationnaire ainsi que la précision avec laquelle il est possible d'en calculer l'orbite. Ces activités ont été menées en coopération avec l'Institut astronomique de l'Université de Berne (Suisse).

### 4. Prévisions de rentrée concernant les objets spatiaux à haut risque

L'objectif de cette activité est de fournir au Ministère fédéral de l'intérieur des prévisions fiables en cas de rentrée d'objets spatiaux à haut risque concernant la route suivie par ces objets, leur attitude et les risques qu'ils présentent. Dans le cadre d'un accord de coopération, le FGAN communique à l'ESOC les informations radar obtenues afin de compléter les prévisions de rentrée établies par l'ESA.

## **D. Autres activités de recherche**

Bien que l'Europe ait décidé de participer à la station spatiale internationale, les activités en matière de protection et d'analyse d'impact n'ont pas encore repris en Allemagne.

Outre le petit nombre d'études financées par le secteur privé concernant la protection des éléments pressurisés contre les impacts de débris et l'efficacité de bouclier en matériaux composites, l'Institut Ernst-Mach étudie le phénomène des impacts à hypervitesse sur les composites en céramique et les isolants thermiques souples avec un financement de l'ESTEC. Par ailleurs, l'étude qu'il a entreprise l'année dernière sur les conditions de rupture catastrophique d'éléments pressurisés à la suite d'impacts se poursuit, de même que l'étude de l'ESA menée à l'Institut de recherche Battelle sur les charges creuses pour les essais d'impact à hypervitesse.

A la fin de 1995, la TDW (Gesellschaft für verteidigungstechnische Wirksysteme mbH), a effectué un petit nombre de tirs de charge creuse à hypervitesse avec un financement de la DARA afin d'étudier l'intérêt de la simulation d'impacts et les phénomènes qui se produisent à des vitesses supérieures à 15 km/sec. L'évaluation de ces essais se poursuit.

- 1 - Scénario A
- 2 - Scénario B
- 3 - Scénario C
- 4 - Pas de mesures de prévention
- 5 - Scénario D

Année

no. d'objets > 1 cm



1 + collisions induites en retour

2 + collisions de fond

3 population de base + explosions

4 population de base sans explosion

n o . d ' o b j e t s > 1 c m

années