



Académie de
l'Air et de l'Espace
Air and Space Academy

Pour une approche européenne de la sécurité dans l'espace

*For a European Approach
to Security in Space*



Pour une approche européenne de la sécurité dans l'espace

**Rapport de la commission Défense de
l'Académie de l'Air et de l'Espace**

For a European Approach to Security in Space

*Report of the Air and Space Academy's
Defence Commission*



Image sur la couverture : Objets en orbite autour de la Terre, impression
d'artiste établie à partir de données réelles, crédits : ESA
*Image on front cover: Trackable objects in orbit around Earth, artist's
impression based on actual density data, credits: ESA*

© Académie de l'Air et de l'Espace, 2008
Tous droits réservés / All rights reserved

ISBN 2-913331-41-6
ISSN 1147-3657

Dossiers déjà parus / Past dossiers:

- n°1 Les Équipements aérospatiaux civils, 1989
- n°2 La Formation des jeunes pilotes de l'aviation civile de transport, 1991
The Training of Young Pilots in Commercial Aviation, 1991
- n°3 L'Avion de transport à haute vitesse, 1991
Future High Speed Air Transportation System, 1991
- n°4 Principes de déontologie applicables aux pilotes professionnels, 1991
Principles of Ethics applicable to Professional Pilots, 1991
- n°5 Le Contrôle de la circulation aérienne / *Air Traffic Control*, 1992
- n°6 Les Apports de la conquête spatiale à l'humanité, 1992
- n°7 La Sécurité de l'aviation légère / *Safety in Light Aviation*, 1994
- n°8 Principes de déontologie applicables aux pilotes privés et aux sportifs aériens, 1994
Principles of Ethics applicable to Private and Aerobatics Pilots, 1994
- n°9 L'Avenir de l'aviation de transport de fret, 1994
The Future of Air Freight Transport, 1994
- n°10 Les Études et recherches dans le domaine aérospatial face à la compétition internationale, 1995
- n°11 Le Retour d'expérience dans l'aviation civile de transport, 1996
Feedback from Experience in Civil Transport Aviation, 1996
- n°12 Évolution des industries aérospatiales, 1998
- n°13 Impact des avions et des lanceurs spatiaux sur l'environnement atmosphérique et le climat, 1998
Impact of Aircraft and Space Launchers on the Atmosphere and the Climate, 1998
- n°14 Assistance médicale aux passagers aériens, 1998
Medical Assistance to Aircraft Passengers, 1998
- n°15 Médias et sécurité dans le transport aérien / *Media and Safety in Air Transport*, 2000
- n°16 Horizon 2020, Société humaine et activités aérospatiales, 2000
- n°17 La Formation des ingénieurs au XXI^{ème} siècle, 2002
- n°18 La Gestion de la circulation aérienne en Europe, 2002
Air Traffic Management in Europe, 2002
- n°19 L'Avion de transport supersonique, 2002
- n°20 Formation des pilotes / *Pilot Training*, 2002
- n°21 Retour d'expérience dans l'aviation civile, 2003
Feedback from Experience in Civil Aviation, 2003
- n°22 L'Europe et les débris spatiaux / *Europe and Space Debris*, 2003
- n°23 La Menace balistique : quelle politique pour la France et l'Europe ?, 2004
The Ballistic Threat: What should be the policy of France and Europe?, 2004
- n°24 L'Impact du trafic aérien sur l'environnement, 2004
Impact of Aviation on the Environment, 2004
- n°25 La Révolution des drones / *The UAV Revolution*, 2005
- n°26 Compagnies de transport aérien à bas prix / *Low-fare airlines*, 2006
- n°27 L'Europe de l'Espace ; enjeux et perspectives / *Space; a European vision*, 2006
- n°28 La sécurité des compagnies aériennes / *Airline Safety*, 2007
- n°29 Le transport aérien face au défi énergétique, 2007
Air Transport and the Energy Challenge, 2007
- n°30 Le rôle de l'Europe dans l'exploration spatiale, 2008
The Role of Europe in Space Exploration, 2008

– CONTENTS –

Foreword	6
EXECUTIVE SUMMARY	8
1- INTRODUCTION	12
2- MAIN THREATS FACING SPACE SYSTEMS	16
<i>The proliferation of debris</i>	16
<i>High altitude nuclear explosion</i>	20
<i>Remote destruction or neutralisation actions</i>	20
⇒ PARTIAL CONCLUSION	24
3- PROTECTION AGAINST PROLIFERATION OF DEBRIS	26
<i>A collectively responsible attitude</i>	26
<i>An essential extension</i>	26
⇒ PROPOSAL	28
4- PROTECTION AGAINST OTHER THREATS	30
<i>Protection against a high altitude nuclear explosion</i>	30
<i>Protection against long-range actions of destruction or neutralisation</i>	30
⇒ PROPOSAL	32
<i>Protection of ground installations and satellite uplinks and downlinks</i>	32
5- SPACE SURVEILLANCE	36
<i>Current situation</i>	36
<i>Necessary improvements</i>	38
<i>Other systems that might contribute to space surveillance</i>	38
⇒ PROPOSAL	38
6- RAPID REPLACEMENT OF SATELLITES IN ORBIT	40
7- CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS	42
<i>Appendix 1: Deployment of weapons in orbit</i>	46
<i>Appendix 2: Ways of limiting debris in orbit</i>	48
<i>Appendix 3: Considerations on the specific surveillance needs of different orbits</i>	52
<i>Appendix 4: Remote attacks – Protection/hardening – Detection/description of the attack</i> ..	54
<i>Presentation of the Air and Space Academy</i>	58
<i>List of publications</i>	62

– TABLE DES MATIÈRES –

Avant-propos	7
RÉSUMÉ	9
1- INTRODUCTION	13
2- PRINCIPALES MENACES	17
La prolifération des débris	17
Explosion nucléaire à haute altitude.....	21
Les actions à distance de destruction ou de neutralisation	21
⇒ <i>CONCLUSION PARTIELLE</i>	25
3- PROTECTION CONTRE LA PROLIFÉRATION DES DÉBRIS	27
Une attitude collectivement responsable	27
Une extension indispensable	27
⇒ <i>PROPOSITION</i>	29
4- PROTECTION CONTRE LES AUTRES MENACES	31
Protection contre une explosion nucléaire à haute altitude	31
Protection contre les actions de destruction ou de neutralisation à distance	31
⇒ <i>PROPOSITION</i>	33
Protection des installations au sol et des liaisons montantes et descendantes	31
5- SURVEILLANCE DE L'ESPACE	37
L'existant.....	37
Les améliorations nécessaires	39
Autres moyens susceptibles de participer à la surveillance de l'espace	39
⇒ <i>PROPOSITION</i>	39
6- REMPLACEMENT RAPIDE DES SATELLITES EN ORBITE	41
7- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	43
Annexe 1 : Déploiement d'armes en orbite	47
Annexe 2 : Mesures de limitation des débris en orbite	49
Annexe 3 : Besoins de surveillance spécifiques aux différentes orbites	53
Annexe 4 : Attaques à distance – Protection/durcissement – Détection/description.....	55
Présentation de l'Académie.....	59
Liste des publications	62

FOREWORD

The Air and Space Academy has always strongly and consistently supported the development of an ambitious European space policy.

Two reports were recently drawn up by the Academy: one outlining an overall space policy – dossier 27 “Space: a European Vision”, published in 2006¹ – and the other, very recently, devoted to the place of Europe in solar system exploration – dossier 30 “The Role of Europe in space exploration”, published in 2008¹.

Faced with growing threats to the security of space vehicles, and specifically those arising from the proliferation of space debris, the present report, elaborated by the Academy's Defence Commission, completes this panorama; it calls for a common European approach to the issue and puts forward some simple measures which could be supported by the main space powers.

A conference on space debris organised by the Air and Space Academy in November 2002, which brought together representatives from most major world space players, initiated reflections on the subject. Recommendations stemming from this conference were published in 2003 in Dossier 22¹: “Europe and Space Debris”.

I very much hope that the recommendations contained in the present dossier on the security of space activities will give rise to decisions enabling a safer use of space for European players and indeed for space users around the world.

Georges Ville

President of the Air and Space Academy

1. These dossiers are available on the Academy's website www.anae.fr

AVANT-PROPOS

L'Académie de l'Air et de l'Espace a toujours soutenu avec fermeté et constance le développement d'une politique spatiale européenne ambitieuse.

Deux rapports ont été produits récemment par l'Académie: l'un sur l'esquisse d'une politique spatiale d'ensemble, "L'Europe de l'Espace, enjeux et perspectives", dossier n° 27, publié en 2006¹, et l'autre très récemment, consacré à la place de l'Europe dans l'exploration du système solaire, "Le rôle de l'Europe dans l'exploration spatiale", dossier n° 30, publié en 2008¹.

Face aux menaces grandissantes pesant sur la sécurité des véhicules spatiaux, et singulièrement celles qui résultent de la prolifération des débris spatiaux, le présent rapport élaboré par la commission Défense de l'Académie, complète ce panorama en appelant l'Europe à une approche commune et en suggérant quelques mesures simples susceptibles de recueillir l'adhésion des principales puissances spatiales.

Un colloque sur les débris spatiaux organisé par l'Académie de l'Air et de l'Espace en novembre 2002, qui rassemblait des représentants de la plupart de grands acteurs mondiaux des activités spatiales, avait ouvert la voie à cette réflexion. Les recommandations issues de ce colloque avaient été publiées dans le dossier n° 22, "L'Europe et les débris spatiaux", en 2003¹.

Je formule des vœux pour que les recommandations de ce rapport sur la sécurité des activités spatiales conduisent aux décisions qui permettront de rendre l'utilisation de l'espace plus sûre pour les acteurs européens, et au-delà, pour l'ensemble des utilisateurs des moyens spatiaux à travers le monde.

Georges Ville

Président de l'Académie de l'Air et de l'Espace

1. Tous les dossiers de l'Académie sont disponibles sur son site internet : www.anae.fr

FOR A EUROPEAN APPROACH TO SECURITY IN SPACE

EXECUTIVE SUMMARY

Space systems play a greater and greater role in the everyday life of modern societies, in strategic intelligence and conventional military operations. The development and operation of space systems rely on sophisticated technical capabilities, a high level of funding and resolute political will; they remain the monopoly of the major economic and military powers.

It is hardly surprising then that space systems could become strategic targets in the event of conflict between the major space powers, and space a new battlefield.

This report first draws up an inventory of all threats, assessing their technical feasibility and the conditions under which they could materialise, before presenting the available protective measures; it concludes with three recommendations to be implemented within a European framework.

Of the numerous elements threatening security in space, the proliferation of debris is by far the most serious. The destruction of satellites during a conflict or for experimental purposes, by direct impact of a kill vehicle or by explosive charge, could rapidly lead to a volume of debris that would rule out any activity in space for a very long period of time. The only possible way forward is to draw up a treaty outlawing this type of action. However this treaty, although of obvious benefit to the space powers, only has a chance of being ratified (in particular by the United States) if it is limited to this objective, and not linked in with weapons deployment in space. Europe, which is already engaged in drawing up a “Code of Conduct” aimed at limiting the proliferation of debris generated

POUR UNE APPROCHE EUROPÉENNE DE LA SÉCURITÉ DANS L'ESPACE

RÉSUMÉ

Les systèmes spatiaux tiennent une place de plus en plus importante dans la vie quotidienne des sociétés modernes, dans le renseignement stratégique, dans la conduite des opérations militaires conventionnelles. Le développement et l'exploitation de systèmes spatiaux requièrent des capacités techniques de très haut niveau, des moyens financiers importants et une volonté politique affirmée, maintenue dans la durée et restent le monopole des plus grandes puissances économiques et militaires.

Il n'est donc pas surprenant que les systèmes spatiaux puissent devenir des cibles privilégiées en cas de conflit entre grandes puissances et l'espace un nouveau milieu d'affrontement.

Après avoir fait l'inventaire de l'ensemble des menaces qui pèsent sur les systèmes spatiaux, de leur réalité technique et du contexte dans lequel elles pourraient se matérialiser, le rapport présente les mesures de protection envisageables et se termine par trois recommandations à mettre en œuvre dans le cadre européen.

Parmi les multiples menaces qui pèsent sur la sécurité dans l'espace, la prolifération des débris est de très loin la plus grave. En cas de conflit ou à titre d'expérimentation, la destruction de satellites par impact direct d'un véhicule tueur ou par charge explosive pourrait conduire rapidement à un volume de débris tel qu'il interdirait pour longtemps toute activité dans l'espace. La seule mesure possible est un traité interdisant ce type d'action. Toutefois, ce traité, dont l'intérêt pour les puissances spatiales est évident, n'a de chances d'être signé, en particulier par les États-Unis, que s'il est limité à ce seul objet, à l'exclusion de tout amalgame avec le déploiement d'armes dans l'espace. L'Europe, qui est déjà

by space activities, is undoubtedly the only major power capable of bringing this off.

In parallel, Europe should acquire independent tools for assessing the situation in orbit, both to ensure the security of its own spacecraft and to monitor the application of the treaty in question. Obviously to save time and costs, this system of space surveillance must first pool existing means from different member states then progressively complement them in such a way as to extend network surveillance coverage to all useful orbits.

The major threat of space debris, and its possibly irreversible consequences, must not nonetheless overshadow the other threats to our space systems. The setting up on a European level of a policy of “space deterrence” would seem to be the most effective way of protecting against most of these threats. It requires, on the one hand, the capacity to detect an aggression and identify the responsible party, and on the other, the means (and decisional structure) to retaliate against the aggressor’s satellites. The aggressor is identified via information provided by the space surveillance system complemented by information from sensors on board the attacked satellite. The most suitable technical means of retaliation would seem to be very high energy, ground-based lasers.

Lastly, this report sought to distinguish between the deployment of weapons in orbit (“space weaponisation”) and the security of space systems, which are mainly under threat from ground-based weapons, in particular missiles equipped with kill vehicles.

engagée dans la promotion d'un code de bonne conduite visant à limiter la prolifération des débris générés par les activités spatiales, est sans doute la seule grande puissance capable de le faire aboutir.

En parallèle, l'Europe doit se doter de moyens autonomes d'évaluation de la situation en orbite, à la fois pour assurer la sécurité de ses propres véhicules spatiaux et pour surveiller l'application du traité proposé. Pour des raisons évidentes de rapidité et de limitation des coûts, ce système de surveillance de l'espace doit d'abord fédérer les moyens qui existent déjà dans plusieurs États membres, puis les compléter progressivement de manière à étendre la couverture du réseau de surveillance à l'ensemble des orbites utiles.

La menace majeure des débris, aux conséquences éventuellement irréversibles, ne doit pas faire oublier les autres menaces qui pèsent sur nos moyens spatiaux. La mise en place au niveau européen d'une politique de "dissuasion spatiale" semble l'approche la plus efficace pour contrer la plupart de ces menaces. Elle implique, d'une part la capacité de détecter une agression et d'en identifier l'auteur, d'autre part de disposer de moyens de rétorsion contre les satellites de l'agresseur, ainsi que d'une autorité de décision de leur emploi éventuel. L'identification de l'agresseur est assurée par l'exploitation des informations fournies par le système de surveillance de l'espace, complétées par celles recueillies à bord du satellite agressé. Le moyen technique de rétorsion le mieux adapté semble être le laser de puissance installé au sol.

Enfin, ce rapport a cherché à bien distinguer entre le déploiement d'armes en orbite ("space weaponisation" en anglais) et la sécurité des moyens spatiaux, menacée principalement par des armes déployées au sol, en particulier des missiles équipés de véhicules tueurs.

1- INTRODUCTION

Space systems are playing an ever greater role in the daily life of modern societies, providing a variety of services including television broadcasting, Earth observation, weather forecasting and navigation.

With the help of satellites and space probes, our knowledge of the solar system and the Universe has made great strides forward.

Observation and eavesdropping satellites have revolutionised strategic intelligence and, as a result, crisis prevention and management.

In addition, space systems are used more and more in conventional military operations for secure broadband telecommunications, tactical intelligence, Earth and air navigation, precision guidance of tactical missiles and bombs, etc.

The development and operation of space systems rely on sophisticated technical capacities, a high level of funding and resolute political will.

To date, only a few powers have been able to meet all these conditions: the USA, Russia, China, India, Japan, Israel and Europe (the European Space Agency for civil and commercial applications and some individual member states for strategic and military applications). In general the space powers are also the major military powers and, with the exception of Japan (but for how much longer?), the main nuclear powers.

As we will see below, the main threats facing space systems inevitably come from the space powers themselves, in other words the major military powers.

It is hardly surprising then that space systems become strategic targets in the event of conflict between the major space powers, and space a new battlefield.

And yet space is a fragile environment, which would remain polluted for a very long time by the enormous quantity of debris generated by a high intensity space war; above a certain altitude, around 400 km, space does not regenerate itself and debris will remain in orbit for tens or hundreds of years. Due to the very high speeds involved, these pieces of debris represent a lethal risk for any space vehicles in their path. If the quantity of space debris were to go over a certain limit, the phenomenon could become self perpetuating, making the space milieu unusable.

Contrary to a commonly held belief, an absence of weapons in orbit does not guarantee safety in space; the two are in fact separate issues. For the moment at least, no weapons have been deployed in orbit and this state

1- INTRODUCTION

Les systèmes spatiaux tiennent une place de plus en plus importante dans la vie quotidienne des sociétés modernes : télévision, observation de la Terre, prévisions météorologiques, navigation.

Grâce aux satellites et aux sondes spatiales, la connaissance du système solaire et de l'Univers a fait des progrès considérables, qu'aucun autre moyen n'aurait permis d'accomplir.

Les satellites d'observation et d'écoute ont révolutionné le renseignement stratégique et, par voie de conséquence, la prévention et la gestion des crises.

Enfin, les systèmes spatiaux sont de plus en plus intégrés dans la conduite des opérations militaires conventionnelles : télécommunications sécurisées à haut débit, renseignement tactique, navigation des plates-formes terrestres et aériennes, guidage de précision des missiles tactiques et des bombes.

Le développement et l'exploitation de systèmes spatiaux requièrent des capacités techniques de très haut niveau, des moyens financiers importants et une volonté politique affirmée, maintenue dans la durée.

À ce jour, seules quelques puissances ont pu réunir ces conditions : les États-Unis, la Russie, la Chine, l'Inde, le Japon, Israël et l'Europe à travers l'Agence spatiale européenne pour les applications civiles et commerciales ou certains de ses États membres pour les applications stratégiques et militaires. Les puissances spatiales sont aussi les puissances militaires les plus importantes et, à l'exception du Japon (mais pour combien de temps encore ?), elles sont également des puissances nucléaires.

Comme on le verra dans le corps du rapport, la plupart des menaces susceptibles de s'exercer contre les systèmes spatiaux, et à coup sûr les plus importantes et les plus dangereuses, ne peuvent provenir que des puissances spatiales elles-mêmes, c'est-à-dire des plus grandes puissances militaires.

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que les systèmes spatiaux puissent devenir des cibles privilégiées en cas de conflit entre grandes puissances et l'espace un nouveau milieu d'affrontements armés.

Or, l'espace est un milieu fragile, qui peut être pollué pour de très longues périodes par les énormes quantités de débris que ne manquerait pas de créer une guerre spatiale de haute intensité ; au dessus d'une certaine altitude, de l'ordre de 400 km, l'espace ne se régénère pas et les débris restent en orbite pendant des dizaines ou des centaines d'années. Les énormes vitesses mises en jeu font que les débris représentent des risques mortels pour les véhicules spatiaux qu'ils viendraient à rencontrer. Enfin, à partir d'une certaine densité, la création de

of affairs is likely to continue for many years to come. On the other hand, the current and future safety of space systems is threatened by ground-based weapon systems. The present paper is restricted in its scope to security in space. However, some additional information concerning deployment of arms in space is provided in appendix 1.

The Air and Space Academy, aware of the strategic importance of maintaining security in space in order to protect European economic and military interests, commissioned its Defence commission to take stock of the current situation and formulate recommendations for concerted action within the European Union.

The paper draws up an inventory of all threats, assessing their technical feasibility and the conditions under which they could materialise, before presenting the available protective measures and listing a set of recommendations.

In order to avoid overloading the text, detailed technical information is contained in the appendices.

débris spatiaux peut devenir un phénomène divergent, rendant le milieu spatial inutilisable.

Contrairement à une opinion largement répandue, l'absence d'armes déployées en orbite ne garantit pas la sécurité dans l'espace, les deux sujets étant très largement découplés. À ce jour, aucune arme n'a été déployée en orbite et il est probable qu'il en sera ainsi pendant de nombreuses années encore. En revanche, la sécurité actuelle et future des moyens spatiaux est menacée par des systèmes d'armes basés au sol. Le présent dossier est limité à la sécurité dans l'espace. Toutefois, de manière à éclairer le débat, quelques informations concernant le déploiement d'armes dans l'espace sont fournies dans l'annexe 1.

Consciente de l'enjeu stratégique représenté par la sécurité dans l'espace pour la protection des intérêts économiques et militaires de l'Europe, l'Académie de l'Air et de l'Espace a demandé à sa commission Défense d'analyser l'évolution récente de la situation dans ce domaine et de formuler des recommandations pour une action concertée à l'intérieur de l'Union européenne.

Après avoir fait l'inventaire de l'ensemble des menaces, de leur réalité technique et du contexte dans lequel elles pourraient se matérialiser, le dossier présentera les mesures de protection envisageables et se terminera par des recommandations

De manière à ne pas alourdir le texte, les informations techniques détaillées ont été reportées en annexes.

2- MAIN THREATS FACING SPACE SYSTEMS

Technically and politically credible threats to the security of space operations can be classified as follows:

- *the proliferation of orbiting debris resulting either from ordinary space activities or the deliberate destruction of satellites which could put a halt, beyond a certain threshold, to future activity on the part of all space users indiscriminately;*
- *a high altitude nuclear explosion causing the neutralisation of non hardened satellites;*
- *the destruction or neutralisation of a satellite by means of powerful laser or electromagnetic beams directed from the ground;*
- *satellite uplink or downlink jamming;*
- *destruction of ground-based control systems and receiving stations;*
- *the fraudulent use and/or hijacking of a satellite without the knowledge of its operator;*
- *the neutralisation or destruction of a satellite at close range by a hostile satellite.*

The proliferation of debris

Human activities in space inevitably cause a proliferation of orbiting objects of all sizes. This leads inexorably, if not kept under control, to an increased risk of collisions with manned or unmanned active spacecraft and possibly to their destruction. The numbers of such debris are increasing yearly and already amount to some tens of millions. Currently almost 13,000 objects larger than 10 cm have been identified and are tracked by the US space surveillance network, which provides regular – although not sufficiently comprehensive or accurate – information on their orbits.

Fig. 1 : Explosions de satellites et de fusées

À ce jour, environ 200 explosions et au moins 5 collisions se sont produites. Chaque explosion crée des milliers de petits débris.

Fig. 1: Explosions of satellites & rocket bodies

So far, about 200 explosions and at least 5 collisions in space have occurred. Each explosion creates thousands of small debris objects.

Credits: ESA



2- PRINCIPALES MENACES SUSCEPTIBLES DE S'EXERCER SUR LES SYSTÈMES SPATIAUX

Les menaces techniquement et politiquement crédibles pesant sur la sécurité des opérations spatiales peuvent être classées selon les catégories suivantes :

- la prolifération des débris en orbite, résultant des activités spatiales ordinaires ou de la destruction volontaire de satellites, qui est susceptible d'interdire définitivement, au-delà d'un certain seuil, toute activité à l'ensemble des utilisateurs de l'espace, sans aucune distinction ;
- le recours à une explosion nucléaire à haute altitude, entraînant la neutralisation des satellites non durcis ;
- la destruction ou la neutralisation depuis le sol d'un satellite à l'aide de faisceaux lasers ou électromagnétiques de grande puissance ;
- le brouillage des liaisons montantes ou descendantes d'un satellite depuis le sol ;
- les actions de destruction au sol des stations de contrôle et de réception d'un satellite ;
- l'utilisation et/ou la prise de contrôle frauduleuse d'un satellite à l'insu de son exploitant ;
- la neutralisation ou la destruction d'un satellite par l'action d'un satellite hostile s'approchant à faible distance.

La prolifération des débris

Les activités spatiales humaines engendrent naturellement une prolifération d'objets en orbite de toutes tailles, qui entraîne inexorablement, si elle n'est pas maîtrisée, un risque croissant de collisions avec des engins spatiaux actifs, satellites automatiques ou véhicules habités, pouvant entraîner leur destruction. Le nombre de ces débris de toutes tailles, qui se chiffre en dizaines de millions, augmente chaque année. Actuellement près de 13 000 objets d'une taille supérieure à 10 cm sont identifiés et suivis par le réseau de surveillance spatiale des États-Unis, qui fournit régulièrement des informations sur leurs orbites, informations d'ailleurs incomplètes et de précision parfois insuffisante.

Une prolifération de débris encore beaucoup plus grave et irréversible, susceptible d'interdire rapidement toute utilisation de l'espace proche de la Terre, pourrait résulter de la destruction de satellites en orbite, à des fins militaires ou simplement à titre d'expérimentation, par l'impact direct sur un satellite cible d'un véhicule tueur lancé depuis le sol ou pré-positionné en orbite. Elle pourrait également être le fait de satellites tueurs équipés de charges explosives téléguidés à proximité immédiate du satellite cible.

De telles destructions engendreraient la création d'un très grand nombre de débris spatiaux susceptibles de demeurer très longtemps en orbite, dès lors que

A more serious, irreversible proliferation of debris, which could rapidly prevent any use of space close to the Earth, would result from the destruction of satellites in orbit, for military or merely experimental purposes. Such damage could be wrought by direct impact of a kill vehicle launched from the ground or pre-positioned in orbit or from a nearby killer satellite fitted with remote controlled explosive charges.

The large amount of space debris generated by such scenarios would remain in orbit for a very long time – particularly if the damage happened upwards of an altitude of about 400 km – and would put space activities at great risk: useful orbits are scarce and the phenomenon could easily become self-perpetuating².

The United States, Russia and China have already mastered the technique of taking out a satellite in orbit using a direct hit from a kill vehicle launched from the ground by a ballistic missile. This technology is within range of other major space powers – Europe, Japan and India – if a political decision were to be taken in this direction.

The most striking recent event in this area was the destruction by a kill vehicle on 11 January 2007 of an end-of-life Chinese weather satellite, situated on a quasi polar orbit at an altitude of 850 km. The kill vehicle had been launched on a Chinese ballistic missile and the target satellite, consistently monitored by space surveillance radars, disappeared from their screens after impact. The process of identifying the new debris and orbits is probably not completed, but already almost 2,500 supplementary pieces of long-life debris larger than 10 cm have been catalogued and are permanently monitored. This demonstration of capacity seems to have been dictated by both experimental and political goals.

Less worrying was the intentional destruction on the part of the United States of one of their own reconnaissance satellites (USA 193) on 20 February 2008; the satellite was at a much lower altitude (250 km) so the debris produced re-entered the atmosphere within a few weeks.

Similar operations were carried out in the 1980s by the United States and the Soviet Union with little reaction from the international community. It was tacitly agreed however by the two powers to put a halt to them because of the large quantity of debris generated, which put the safety of both sides' satellites at risk.

2. The growth in the number of dangerous debris would bring with it an increase in the number of collisions, which would in turn increase the amount of debris.

l'interception a lieu à une altitude suffisante, de l'ordre 400 km. Ces débris représenteraient alors un danger pour les activités spatiales d'autant plus grand que les orbites utiles sont peu nombreuses et que le phénomène risquerait de devenir divergent².

La technique d'interception en orbite par impact direct d'un véhicule tueur lancé depuis le sol par un missile balistique est d'ores et déjà maîtrisée par les États-Unis, la Russie et la Chine. Elle est à la portée des autres grandes puissances spatiales – Europe, Japon et Inde – si une décision politique était prise dans ce sens.

L'événement récent le plus frappant dans ce domaine a été la destruction le 11 janvier 2007 par un véhicule tueur d'un satellite météorologique chinois en fin de vie, situé sur une orbite quasi polaire à une altitude de 850 km. Le véhicule tueur a été lancé à bord d'un missile balistique chinois et le satellite cible, régulièrement suivi par les radars de surveillance de l'espace, a disparu de leurs écrans après l'impact. L'identification des débris produits et de leurs orbites par le réseau de surveillance n'est probablement pas terminée, mais près de 2 500 débris supplémentaires de taille supérieure à 10 cm et à longue durée de vie ont d'ores et déjà été catalogués et font l'objet d'un suivi permanent. Cette démonstration de capacité semble avoir été dictée par des objectifs à la fois expérimentaux et politiques.

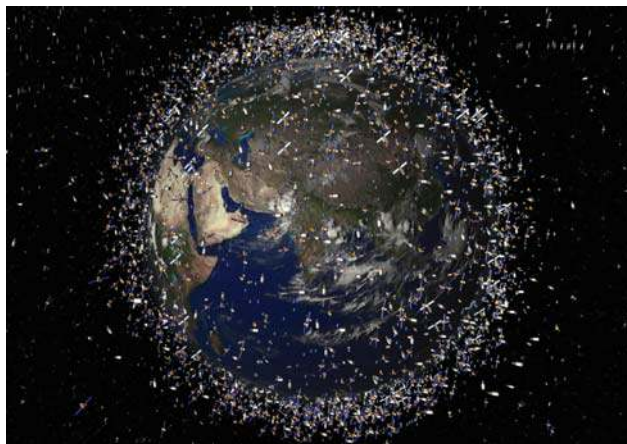


Fig. 2 : Objets en orbite basse, impression d'artiste

Fig. 2: Objects in Low Earth Orbit (LEO) – artist's impression

Credits: ESA

La destruction volontaire par les États-Unis de l'un de leurs satellites de reconnaissance (USA 193) le 20 février 2008 n'a pas présenté le même caractère de gravité, car l'altitude du satellite (250 km) était beaucoup plus basse, ce qui a conduit les débris ainsi créés à rentrer dans l'atmosphère en moins de quelques semaines.

Il n'est pas inutile de rappeler que des opérations semblables avaient été menées dans les années 80 par les États-Unis et l'Union soviétique sans

2. La croissance du nombre de débris dangereux entraîne l'augmentation des collisions qui, à son tour, conduit à la croissance du nombre des débris.

High altitude nuclear explosion

A nuclear explosion at an altitude of several hundred kilometres produces two types of effects:

- *primary radiations (x-rays and gamma rays) emitted in all directions. These radiations are filtered by the atmosphere before reaching the ground but affect the whole space environment;*
- *an extremely strong electromagnetic impulse (EMI) created by the interaction of gamma rays with the high atmosphere, which travels towards Earth without affecting the space environment³.*

Such an attack could be launched using relatively crude ballistic missiles armed with nuclear warheads by any power possessing such resources⁴. It would undoubtedly cause great damage to satellites from all countries.

This kind of action might be used by rogue states or terrorist organisations taking advantage of the weakness of the state apparatus to get their hands on nuclear missiles and the “keys” to their use, or by warmongering states in a situation of inferiority in the context of a conventional conflict.

A nuclear power would be unlikely to use this course of action to put an end to a badly engaged conventional conflict. A responsible nuclear power would use nuclear deterrence to avoid being drawn into a fierce conventional conflict, as has been the case since nuclear deterrence has existed.

The first two situations cannot be ruled out though. The damage would be great to any insufficiently protected space systems and to the part of the Earth’s surface hit by electromagnetic impulses.

Remote destruction or neutralisation actions

The use of highly powerful electromagnetic or laser beams to destroy or neutralise low orbit enemy satellites might be considered by states, either in the event of declared conflict, or to block observation of their territory.

The United States, within the framework of its Ballistic Missile Defense programme, developed radars and powerful ground and on-board lasers which constitute a robust technological base for the development of such weapons. China and Russia are pursuing an impressive research and development programme. Indeed any country with a reasonable level of technological expertise can acquire the necessary know-how relatively

3. *This impulse mainly affects that part of the Earth’s surface that lies within the cone whose summit is represented by the point at which the nuclear explosion took place.*

4. *Eight currently: the five declared nuclear powers (USA, Russia, UK, France and China) plus Israel, India and Pakistan.*

provoquer de réactions significatives de la communauté internationale. Il faut noter toutefois qu'elles avaient été arrêtées par accord tacite entre les deux Grands en raison de la quantité considérable de débris qu'elles génèrent, ce qui mettait en cause la sécurité des satellites des deux parties sans distinction.

Explosion nucléaire à haute altitude

Une explosion nucléaire à une altitude de quelques centaines de kilomètres produit deux types d'effets :

- des rayonnements primaires (neutrons, rayons X et rayons gamma) émis dans toutes les directions. Ces rayonnements sont filtrés par l'atmosphère avant d'atteindre le sol mais affectent tout le milieu spatial ;
- une impulsion électromagnétique (IEM) de forte intensité, créée par l'interaction des rayons gamma et de la haute atmosphère, qui se propage vers la Terre sans effet sur le milieu spatial³.

Cette menace pourrait être mise en œuvre avec des missiles balistiques et des charges nucléaires, même peu sophistiqués, par les puissances disposant de tels moyens⁴. Elle serait susceptible de causer des nuisances graves à l'ensemble des satellites, quelle que soit leur appartenance.

Elle pourrait être le fait d'États voyous irresponsables ou d'organisations terroristes qui, profitant de la faiblesse de l'appareil d'État, auraient réussi à s'emparer de missiles nucléaires et des "clés" qui verrouillent leur mise en œuvre, ou éventuellement d'États belligérants en situation d'infériorité dans le cadre d'un conflit classique.

Le recours par une puissance nucléaire à une telle action pour mettre fin à un conflit classique mal engagé est peu vraisemblable. Une puissance nucléaire responsable fera jouer la dissuasion nucléaire et, comme cela s'est vérifié depuis que l'équilibre nucléaire existe, évitera de se laisser entraîner dans un conflit classique de haute intensité.

En revanche, les deux premières situations ne sauraient être exclues. Les dégâts seraient considérables, à la fois au niveau des moyens spatiaux insuffisamment protégés et pour toute la surface terrestre frappée par l'impulsion électromagnétique.

Les actions à distance de destruction ou de neutralisation

L'utilisation de faisceaux électromagnétiques ou laser de grande puissance pour la destruction ou la neutralisation de satellites ennemis en orbite basse peut être envisagée par des États, soit en cas de conflit déclaré, soit pour interdire l'observation de leur territoire en toute circonstance.

3. Cette impulsion affecte pour l'essentiel la surface du globe intérieure au cône circonscrit à la Terre ayant pour sommet le point où s'est produite l'explosion nucléaire.

4. Huit actuellement : les 5 puissances nucléaires déclarées (États-Unis, Russie, Royaume-Uni, France et Chine) plus Israël, l'Inde et le Pakistan.

quickly. Of course, prior knowledge of the satellites' orbits makes operation of such weapons simpler and more accurate.

Less powerful lasers can be used to blind observation satellites when flying over a territory, preventing them from taking pictures, without necessarily doing any permanent damage. There have been reports of one-off blinding operations carried out by China on American observation satellites.

The major space powers might also envisage in the long term using satellites equipped with low power electromagnetic or laser transmitters, capable of approaching and neutralising target satellites. This is in fact a specific form of antisatellite satellite (ASAT) referred to at the end of this section.

Uplink and downlink interference

Jamming is one of the most serious threats facing satellites and also one of the simplest to set up. To jam the uplink, antennae transmitting on the same frequency must be directed towards the satellite, while very powerful transmitters are used to neutralise the downlink over theatres of operations.

There have been many examples of intentional or unintentional interference to civil telecom satellite operations and during recent military campaigns.

The destruction of control centres and receiving stations on the ground

This is the simplest way of disrupting space systems and can be likened to sabotage operations against classified civilian or military installations. Terrorist organisations in particular are attracted by this option and the greatest care must thus be taken to avert this danger.

Fraudulent use or hijacking of satellites

The possibility of such actions, akin to computer hacking, being used for terrorist purposes or within the context of a strategy of tension must be taken into account. The danger concerns mainly the hijacking of telecommunications satellites, for instance, for data transmission. Recent investigations have revealed that such operations have been attempted, probably successfully, by Al Qaida's top operators in Afghanistan in order to transmit information clandestinely and set up Internet connections.

In the future the total or partial hijacking of satellites is unfortunately likely to appeal to powerful terrorist organisations. In the extreme case of satellites which form part of fully automated, computerised systems, any

Les États-Unis ont développé dans le cadre du programme “Ballistic Missile Defense” des radars et des lasers de puissance au sol et embarqués qui constituent une base technologique solide pour le développement de telles armes. La Chine et la Russie poursuivent des recherches et des développements significatifs. Toute puissance disposant d'un niveau technologique raisonnable est susceptible d'acquérir assez rapidement une certaine capacité dans ce domaine. La mise en œuvre de tels moyens est bien entendu grandement facilitée par la connaissance préalable de l'orbite des satellites, qui permet de viser la cible avec une précision suffisante.

Des lasers de puissance plus modeste peuvent être utilisés pour aveugler des satellites d'observation pendant le survol d'un territoire, interdisant la prise d'images pendant ce survol, sans entraîner nécessairement la mise hors service permanente du satellite. La presse a relaté que de telles opérations ponctuelles d'aveuglement auraient été réalisées par la Chine sur des satellites d'observation américains.

Le recours à des satellites porteurs d'émetteurs électromagnétiques ou laser de faible puissance et capables de s'approcher des satellites cibles et de les neutraliser peut aussi être envisagé à terme par des puissances spatiales majeures. Il s'agit d'une forme particulière de satellites antisatellite (ASAT) évoqués à la fin de ce chapitre.

Le brouillage des liaisons montantes et descendantes

Le brouillage constitue certainement l'une des menaces les plus sérieuses et les plus aisées à mettre en œuvre contre les satellites. Il nécessite le pointage vers le satellite d'antennes émettant sur la même fréquence pour la liaison montante et l'utilisation d'émetteurs de grande puissance pour la neutralisation sur le théâtre d'opérations de la liaison descendante.

De nombreux exemples de brouillage volontaire et involontaire ont été rencontrés dans le cadre de l'exploitation des satellites civils de télécommunications et lors d'opérations militaires récentes.

La destruction des stations sol de contrôle et de réception

Cette menace constitue le moyen le plus simple de perturbation des systèmes spatiaux et s'apparente aux opérations de sabotage susceptibles d'être mises en œuvre contre toutes les installations civiles ou militaires sensibles. Elle peut facilement tenter des organisations terroristes et doit faire l'objet d'une grande vigilance.

L'utilisation ou la prise de contrôle frauduleuses d'un satellite

Se rapprochant des problèmes posés par les risques d'intrusion dans les ordinateurs, ces menaces utilisées à des fins terroristes ou de stratégie de la tension doivent être prises en compte.

seizure of control could constitute a serious danger. Such operations would nonetheless require highly sophisticated resources and probably some element of connivance with the operator; to date no such attempts would seem to have been made.

Other threats, other risks

Other threats are likely to appear in the future, in particular the development of anti-satellite satellites (ASAT) capable of assuming many forms as well as neutralising or destroying orbiting satellites without producing debris.

New problems might also appear if certain states decided to develop a space protection system for use against ballistic missiles, as was envisaged in President Reagan's Strategic Defense Initiative. Such devices, designed to destroy ballistic missiles during their propulsion phase⁵, do not represent a threat for security in space, but would contribute to the weaponisation of space, considered as undesirable by many states (see Appendix 1).

➔ **PARTIAL CONCLUSION**

What emerges from the preceding remarks is that most threats to security in space, at any rate the most dangerous and likely ones, come from the ground. So far, indeed, only ground-based threats – including, worryingly, that of satellites being destroyed by direct impact of kill vehicles launched by ballistic missile – have been translated into action.

5. The Missile Defence system currently under development and deployment in the United States only intervenes against nuclear warheads from ground based interceptors during the ballistic phase.

L'utilisation d'un satellite à l'insu de son exploitant concerne principalement le détournement d'un satellite de télécommunications pour la transmission de données. De récentes enquêtes ont révélé que de telles opérations avaient été tentées et probablement réussies par des cadres d'Al Qaida en Afghanistan pour transmettre clandestinement des informations et réaliser des connections Internet.

On peut également craindre que dans l'avenir la prise de contrôle totale ou partielle de satellites ne tente des organisations terroristes puissantes. Dans le cas extrême de satellites entrant dans des systèmes totalement automatiques et informatisés, la prise de contrôle du satellite pourrait constituer un danger sérieux. De telles opérations nécessiteraient toutefois des moyens très puissants et assez vraisemblablement des complicités chez l'opérateur ; elles semblent heureusement à ce jour n'avoir fait l'objet d'aucune tentative.

Autres menaces, autres risques

D'autres types de menaces sont susceptibles de se concrétiser dans l'avenir. Il s'agit en particulier du développement éventuel de satellites antisatellite (ASAT) capables de revêtir des formes multiples et de neutraliser ou de détruire des satellites en orbite sans production de débris.

De nouveaux problèmes peuvent également apparaître si certains États décident de développer une composante spatiale contre les missiles balistiques, comme cela était déjà envisagé dans l'Initiative de Défense Stratégique du Président Reagan. De tels dispositifs, destinés à détruire des missiles balistiques en phase propulsée⁵, pourraient éventuellement réapparaître. Ils ne constitueraient pas une menace pour la sécurité dans l'espace, mais participeraient d'une certaine manière à une militarisation agressive de l'espace, considérée comme non souhaitable par de nombreux États (voir annexe 1).

→ CONCLUSION PARTIELLE

À l'issue de l'inventaire qui précède, il ressort très clairement que la plupart des menaces susceptibles de s'exercer sur la sécurité dans l'espace, et à coup sûr les plus dangereuses et les plus probables, viennent du sol. À ce jour, d'ailleurs, seules des menaces venues du sol se sont matérialisées, en particulier la plus préoccupante, la destruction de satellites par impact direct de véhicules tueurs lancés par des missiles balistiques.

5. La Missile Defense actuellement en cours de développement et de déploiement aux États-Unis intervient uniquement en phase balistique contre les têtes nucléaires à partir d'intercepteurs basés au sol.

3- PROTECTION AGAINST PROLIFERATION OF DEBRIS

A collectively responsible attitude

For the past 15 years, the proliferation of debris generated by human space activities has been the object of deliberations on the part of all space agencies within the Inter Agency Space Debris Committee (IADC), and more recently the member states of the UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space. A set of guidelines entitled: “Space debris mitigation guidelines” was drawn up and approved in 2007 by the Committee (c.f. Appendix 2). These guidelines were then endorsed by the UN General Assembly in late 2007.

For the moment these guidelines are not binding, but most states seem to have agreed to integrate them into their national regulations. It is essential for them to be progressively and systematically implemented and then enforced by all space players. The aim is first to stabilise the number of debris produced by launches and end-of-life satellites, then to reduce them.

An essential extension

The fight against the proliferation of debris by the deliberate destruction of satellites must be stepped up when one considers the disastrous consequences of such acts on security in orbit. No measures currently exist to protect against such risks and the only possible action at present is a diplomatic one⁶.

It is important for Europe to define a common political and diplomatic position so as to definitively outlaw destructive actions by direct impact or explosive charge, whether by ballistic missiles fired from the ground or weapons already in orbit.

Work is underway within the Council of the European Union towards elaborating a “Code of Conduct” for all space activities, due to be presented to the Conference on Disarmament. This very encouraging initiative helped constitute an appropriate framework for discussion on a European level. However, so as to limit the risk of being bogged down in international negotiations, it is necessary to establish the prohibition of deliberate production of debris as a priority and to dissociate this initiative from other discussions on disarmament as a whole.

6. *Studies are under way in the United States to destroy debris or modify their orbit by means of laser beams transmitted from the ground. This technique might in the long term make it possible to clean up low orbits, but the problem will remain intact for more distant orbits, in particular the geostationary earth orbit.*

3- PROTECTION CONTRE LA PROLIFÉRATION DES DÉBRIS

Une attitude collectivement responsable

La prolifération naturelle de débris engendrés par les activités spatiales humaines fait l'objet depuis une quinzaine d'années d'une concertation de toutes les agences spatiales dans le cadre de l'Inter Agency Space Debris Committee et plus récemment au niveau des États du Comité des Nations Unies pour les Utilisations Pacifiques de l'Espace Extra-Atmosphérique. Un ensemble de mesures de bonne conduite a été progressivement élaboré et unanimement approuvé en 2007 par le Comité sous l'appellation : "Lignes directrices relatives à la réduction des débris spatiaux" ou "Space debris mitigation guidelines" en anglais (voir annexe 2). Ces lignes directrices ont été ensuite endossées par l'Assemblée générale des Nations Unies fin 2007.

Ces mesures de bonne conduite n'ont pas pour l'instant de caractère contraignant, mais des efforts pour leur application semblent consentis par la plupart des États à travers leur réglementation nationale. Il est essentiel qu'elles soient progressivement mises en œuvre de façon systématique par l'ensemble des acteurs spatiaux et ultérieurement renforcées. L'objectif est de limiter dans un premier temps au niveau actuel le nombre de débris produits par les lancements et l'arrivée des satellites en fin de vie, puis de le réduire.

Une extension indispensable

La lutte contre les menaces de prolifération des débris par destruction volontaire de satellites doit faire l'objet d'une attitude encore beaucoup plus volontariste, compte tenu des conséquences désastreuses de tels actes sur la sécurité en orbite. Il n'existe pas de mesures de protection contre un tel risque et la seule action possible actuellement envisageable est de nature diplomatique⁶.

Il paraît très souhaitable qu'une position politique et diplomatique commune soit définie par l'Europe pour promouvoir en urgence l'interdiction définitive de telles destructions par impact direct ou charges explosives, qu'elles résultent de charges emportées par des missiles balistiques tirés depuis le sol ou, éventuellement, de la présence d'armes pré-positionnées en orbite.

Le travail en cours au niveau du Conseil de l'Union européenne en vue de la proposition d'un "code de bonne conduite pour l'ensemble des activités spatiales" destiné à être présenté à la Conférence du Désarmement est une initiative très encourageante qui a permis de constituer, au plan européen, un

6. Des travaux sont en cours aux États-Unis pour détruire ou modifier l'orbite des débris au moyen de rayonnements laser émis depuis le sol. Cette technique permettra peut-être, à long terme, de nettoyer les orbites basses, mais le problème restera entier pour les orbites plus lointaines, en particulier l'orbite géostationnaire.

The main space powers – the United States, Russia, China, India, Japan and Europe – have an obvious interest in avoiding the chaotic proliferation of debris in orbit since it is their own space activities that are at stake.

➔ PROPOSAL

The Academy recommends that the European Union persuade its international partners of the urgent need for elaborating a draft treaty limited to this one goal.

This initiative should form part of the international discussions presently underway on a draft “Code of Conduct” and emphasise the urgent need to prohibit actions leading to the deliberate production of debris.

It could be presented and championed at an international level within the framework of the UN Outer Space Committee, which has already worked successfully to limit, then reduce proliferation of debris linked to space activities. It would be unwise to use the Conference on Disarmament to this end, because of the risk of linkage with other topics on the Conference agenda.

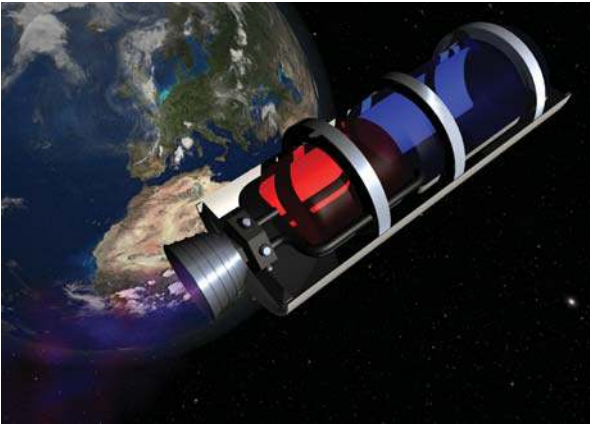


Fig. 3 : Scénarios de réduction – Passivation des satellites et fusées. Afin de prévenir l'explosion des étages supérieurs des fusées, ils doivent être passivés après séparation de la charge utile pour épuiser le carburant restant.

Fig. 3 : Mitigation scenarios – Passivating satellites and rocket bodies. To prevent the explosion of rocket upper stages, they must be passivated after payload separation to release remnant fuel.

Credits: ESA



Fig. 4 : Scénarios de réduction – éviter la séparation d'objets liés à la mission

Les concepteurs d'engins spatiaux doivent s'assurer que les objets restent attachés au vaisseau afin d'éviter des débris supplémentaires.

Fig. 4: Mitigation scenarios – Avoidance of mission-related objects (MRO)

Spacecraft designers and operators must design missions so that objects stay attached to the spacecraft and do not become additional space debris.

Credits: ESA

cadre de discussion adapté. Toutefois, afin de limiter le risque d'enlisement des négociations ultérieures au plan international, il paraît souhaitable de donner la priorité à l'interdiction de la production volontaire de débris et de dissocier cette initiative des autres discussions en cours sur l'ensemble des thèmes du désarmement.

Les principales puissances spatiales existantes, États-Unis, Russie, Chine, Inde, Japon et Europe, ont un intérêt évident à éviter tout risque de prolifération anarchique des débris en orbite. Il en va à terme de la poursuite de leur activité dans l'espace.

➔ PROPOSITION

L'Académie propose que l'Union européenne soutienne auprès de ses partenaires l'idée d'une initiative urgente visant à l'élaboration d'un projet de traité limité à ce strict objectif.

Cette initiative devrait s'inscrire dans le cadre des discussions au plan international du projet de code de bonne conduite en cours, en insistant sur le caractère prioritaire et urgent de l'interdiction des actions conduisant à une production volontaire de débris.

Elle pourrait être présentée et défendue au plan international dans le cadre du Comité de l'Espace des Nations Unies, déjà utilisé avec succès pour limiter puis réduire la prolifération des débris liée aux activités spatiales. Il serait sage d'éviter celui de la Conférence du Désarmement, où les risques de couplage entre les différents sujets sont très élevés.

4- PROTECTION AGAINST OTHER THREATS

Protection against a high altitude nuclear explosion

Since the possibility of such an attack cannot totally be ruled out, it is necessary to protect those satellites whose survival is considered to be essential in all circumstances. The only effective defence is to take this risk into account at the design stage of all satellite electronic and information systems and use hardened components for certain circuits. Such a measure is costly and has until now only been applied to military satellites. However it must be noted that the level of hardening required to stand up to the nuclear explosions referred to in section 2 is low on the one hand because the only likely scenarios involve crude low power nuclear weapons and on the other because the distances involved are often considerable. The cost of this measure is low when compared with the disastrous consequences of certain telecommunications satellites being knocked out of operational service. Joint consultation between the states involved should make it possible to define the minimal network of hardened satellites.

Protection against long-range actions of destruction or neutralisation

On board satellite devices

On the whole, on-board protections for target satellites are of limited efficacy. They have to be enhanced with devices to detect and characterise an attack and transmit the information to the ground. It is then possible, with the help of ground detection and monitoring devices (see section 5), to determine the type and moment of the attack, the means used and finally the state responsible.

Each type of aggression requires specific devices for protection and detection/characterisation of the attack. These devices rely on an on-board system surviving the attack and transmitting the necessary information to the ground. This system could be known as a “black box”, by analogy with aircraft black boxes, although this black box cannot be retrieved, but transmits its information to the ground. In order to increase the chances of success, two “black boxes” can be mounted on two opposite areas of the satellite. A detailed analysis of the devices to be installed on board satellites according to the nature of the attack is presented in Appendix 4.

These elements are indispensable if any retaliation is to be envisaged and to make the system of “space deterrence” credible.

4- PROTECTION CONTRE LES AUTRES MENACES

Protection contre une explosion nucléaire à haute altitude

Cette éventualité ne pouvant être totalement exclue, il est nécessaire de protéger contre ce risque les satellites dont la survie est considérée comme essentielle en toutes circonstances. La seule parade consiste à prendre en compte cette menace dans la conception de l'électronique et de l'informatique des satellites et à utiliser des composants durcis pour certains circuits. Une telle mesure a un coût et n'a été appliquée jusqu'à présent que sur les satellites militaires. Il faut toutefois remarquer que le niveau de durcissement souhaitable correspondant aux explosions nucléaires retenues au chapitre 2 est modeste, d'une part parce que les seuls scénarios vraisemblables concernent des armes nucléaires rudimentaires de faible puissance, d'autre part parce que les distances sont le plus souvent importantes. La prime d'assurance que représente le surcoût est très faible devant les conséquences désastreuses qui résulteraient de la mise hors service de certains satellites de télécommunications. Une concertation entre les États concernés devrait permettre de définir le réseau minimal de satellites durcis.

Protection contre les actions de destruction ou de neutralisation à distance

Dispositifs à bord des satellites

De manière générale, les protections qu'on peut imaginer et mettre en place à bord des satellites cibles ont la plupart du temps une efficacité limitée. Aussi faut-il les compléter par des dispositifs permettant de détecter l'attaque, de la décrire et de transmettre l'information au sol. Il est alors possible, en corrélation avec les dispositifs au sol de détection et de suivi des objets spatiaux (voir chapitre 5), de déterminer le type et le moment de l'attaque, le moyen utilisé et, in fine, l'État responsable.

À chaque type d'agression correspondent des dispositifs spécifiques de protection et de détection/description de l'attaque. Ces dispositifs reposent sur la présence d'un système embarqué survivant à l'attaque et transmettant au sol les informations nécessaires. On peut appeler ce système "boîte noire" par analogie avec la boîte noire des avions, avec la différence que cette boîte noire ne peut être récupérée, mais transmet ses informations au sol par radio. Afin d'augmenter la probabilité de succès, deux "boîtes noires" peuvent être embarquées sur deux zones opposées du satellite. L'analyse détaillée des moyens à installer à bord des satellites en fonction de la nature de l'attaque est présentée en annexe 4.

Ces éléments sont indispensables pour envisager des mesures de rétorsion et rendre crédible ce que l'on pourrait appeler la "dissuasion spatiale".

Space deterrence

Space deterrence consists of threatening any country that might consider attacking European space systems with the destruction or neutralisation of all or some of its own satellites. The exercise of space deterrence requires:

- *independent means for identifying the aggressor;*
- *knowledge of orbits and main characteristics of space powers' key satellites;*
- *means for destruction/neutralisation that do not generate space debris;*
- *and, lastly, a decision-making structure.*

When used in association with the data from black boxes, space surveillance devices as described in section 5 meet the first two requirements.

The most suitable means of neutralisation/destruction, at least against low orbit satellites, would seem to be that of high energy ground-based lasers. When used at medium power, their effect consists of dazzling or blinding optical observation satellites.

Moreover, such high energy lasers could be used to modify the orbits of particularly dangerous debris in such a way as to force re-entry into the atmosphere.

→ PROPOSAL

The moment seems to be right for Europe to engage in a development programme for such a laser, the technology of which is well within the capabilities of European industry. This project could be entrusted to the European Defence Agency (EDA). The decision could be taken subsequently as to how many units to deploy on which sites.

The nature and functioning of the operational decision structure remain open, but this is not a particularly urgent decision⁷.

Protection of ground installations and satellite uplinks and downlinks

Threats, particularly terrorist ones, against satellite control centres and ground-based stations, must be taken very seriously. It is possible to reduce vulnerability to this danger significantly by duplicating control centres and using mobile stations. These precautions increase costs, of course, and civil operators can therefore hesitate to implement them, but they are likely to

7. *Unlike nuclear deterrence, space deterrence does not imperil the very existence of states and does not therefore require the capacity for emergency action. The decision making structure is much less important.*

Dissuasion spatiale

La dissuasion spatiale consiste à menacer toute puissance qui envisagerait de s'attaquer aux moyens spatiaux européens de détruire ou neutraliser tout ou partie des ses satellites. L'exercice de la dissuasion spatiale suppose de disposer :

- de moyens autonomes d'identification de l'agresseur ;
- de la connaissance des orbites et des principales caractéristiques des satellites sensibles de chaque puissance spatiale ;
 - de moyens de destruction/neutralisation, n'entraînant pas la formation de débris spatiaux ;
 - enfin, d'une structure de décision.

Associés aux données des boîtes noires, les moyens de surveillance de l'espace décrits au chapitre 5 répondent aux deux premières exigences.

Le moyen de neutralisation/destruction le mieux adapté, du moins contre les satellites en orbite basse, semble être le laser de puissance basé au sol ; employé à puissance intermédiaire, son effet peut être limité à l'éblouissement ou à l'aveuglement de satellites optiques d'observation.

De surcroît, de tels lasers de puissance pourraient être utilisés pour modifier l'orbite de débris particulièrement dangereux de manière à les faire rentrer dans l'atmosphère.

→ PROPOSITION

Le moment paraît venu d'engager un programme de développement européen d'un tel laser, qui peut être facilement maîtrisé par l'industrie européenne et dont l'étude pourrait être confiée à l'Agence européenne de défense. Le déploiement d'une ou plusieurs unités sur un ou plusieurs sites devrait faire l'objet de décisions ultérieures.

La nature et le fonctionnement de la structure de décision d'emploi restent à définir, mais ne présentent pas de caractère d'urgence⁷.

Protection des installations au sol et des liaisons montantes et descendantes des satellites

La menace, en particulier d'origine terroriste, contre les centres de contrôle et les stations au sol des satellites doit être prise en compte avec beaucoup de sérieux. La vulnérabilité face à cette menace peut être significativement diminuée par la duplication des centres de contrôle et par l'utilisation de stations mobiles. Ces précautions conduisent à une augmentation des coûts, ce qui peut faire hésiter les opérateurs civils, mais s'avéreront probablement de plus en plus nécessaires pour tous les moyens spatiaux civils ou militaires d'importance stratégique.

7. Contrairement à la dissuasion nucléaire, la dissuasion spatiale ne met pas en jeu l'existence des États et n'exige pas de pouvoir réagir dans l'urgence. La structure de décision est beaucoup moins fondamentale.

become more and more necessary for all strategically important civilian or military space resources.

In any case, responsibility for protection against this kind of risk lies with the defence and security policy of the state in which facilities are located and are not the object of specific recommendations in this paper.

On the other hand, in order to prevent jamming measures, that are very simple to set up, it would appear crucial to start development immediately of the algorithms of spectrum spread and of frequency leaps in the uplink commands and downward telemetry. Such measures, often put in place on military satellites, are more and more necessary on civilian telecom satellites.

Lastly, we might note that proper protection of satellite uplinks by the use of cryptology would ensure that they were not deviated from their primary mission or used to dubious ends without the owner's knowledge. Given the cost and complexity of such devices, though, an analysis would have to be carried out on a case by case basis, taking into account the vulnerability of the satellite and the future evolution of what is still a rather uncommon risk.

En tout état de cause la protection contre cette menace relève de la politique de défense et de sécurité de chacun des États sur le territoire desquels sont construites ces installations et elle ne fera pas l'objet de recommandations particulières dans ce document.

En revanche, pour résister à des mesures de brouillage relativement faciles à mettre en œuvre, il paraît nécessaire de développer dès à présent des algorithmes d'étalement de spectre et de sauts de fréquence dans les télécommandes montantes et les télémesures descendantes. De telles mesures, couramment mises en œuvre sur les satellites militaires, semblent de plus en plus s'imposer sur les satellites civils de télécommunications.

Enfin, notons qu'une cryptologie robuste des liaisons montantes vers les différents types de satellite permettrait d'éviter qu'ils puissent être détournés de leur mission primaire, voire être utilisés à des fins douteuses à l'insu du propriétaire. Compte tenu du coût et de la complexité liés à ces dispositifs, une analyse devra être faite au cas par cas en fonction de la sensibilité du satellite et de l'évolution dans l'avenir de ce type de menace encore diffuse.

5- SPACE SURVEILLANCE

It is essential for Europe to establish independent means for measurement and analysis that enable it to monitor the situation in orbit, to assess accidental or deliberate threats to satellites and to verify that the treaty proposed in section 3 is correctly implemented. Assessing a situation means identifying and monitoring all objects in orbit as comprehensively as possible and entering them into a catalogue. The orbital characteristics can provide interesting indications as to the satellite's mission, although it is sometimes necessary to complement this information with imaging data.

ESA was commissioned to carry out a comprehensive study of the future European Space Surveillance system (including the data analysis centre); this study is currently in its final stages, awaiting a decision at the ESA Ministerial Council in November 2008.

Current situation

Thanks to national initiatives, Europe already possesses radar and optical systems that could form the basis of the space surveillance system, but they present certain technical limitations and are not as yet linked up into a network.

France's radar detection system Graves and Germany's tracking and imaging radar TIRA, for instance, already provide a considerable amount of data in two distinct catalogues independent from those provided by the United States.

The Graves radar detects and classifies any object larger than 1 m in diameter with an altitude lower than 1,000 km. Located in France, it therefore cannot see objects on orbits with an inclination of less than around 40 degrees.

When properly cued, the imaging radar TIRA, thanks to its 34 m diameter parabolic antenna can detect 2 cm objects at a distance of 1,000 km. Its imaging function can also produce satellite images with a resolution of some 18 cm.

There exist other systems in Europe which could be used for space surveillance in addition to their primary



Fig. 5 : Système GRAVES de veille spatiale
Fig. 5: French Graves system for space monitoring
Credits: ONERA

5- SURVEILLANCE DE L'ESPACE

Il est essentiel pour l'Europe de se doter de moyens de mesures et d'analyse autonomes lui permettant d'établir un état de la situation en orbite, d'évaluer les menaces accidentelles ou volontaires pesant sur ses satellites et de vérifier l'application du traité proposé au chapitre 3. Évaluer une situation conduit à suivre tous les objets en orbite et à les identifier le mieux possible. Le suivi de la situation amène à établir un catalogue ; les caractéristiques orbitales peuvent fournir des indications intéressantes sur la mission du satellite, mais il faut parfois les compléter par des données d'imagerie qui permettent de préciser ses performances possibles.

Une étude complète du futur Système de Surveillance (y compris le Centre d'analyse des données) a été confiée à l'Agence spatiale européenne et est en cours d'achèvement en vue d'une décision lors du Conseil ministériel de l'ESA de novembre 2008.

L'existant

Grâce à des initiatives nationales, l'Europe dispose déjà de moyens radar et optiques pouvant constituer un début de système de surveillance de l'espace ; ces moyens présentent des limitations techniques et ne sont pas à ce jour reliés en réseau.

Il s'agit principalement en France d'un radar de détection appelé GRAVES et en Allemagne d'un radar imageur appelé Tracking and Imaging Radar (TIRA) qui fournissent déjà des données significatives inscrites dans deux catalogues distincts indépendants de celui fourni par les États-Unis.

Le radar GRAVES permet de détecter et cataloguer tout objet ayant des dimensions supérieures à 1 m environ et dont l'altitude est inférieure à 1 000 km. En raison de sa localisation en France, il ne peut voir les objets dont les orbites ont une inclinaison inférieure à 40 degrés environ.

Le radar imageur TIRA, grâce à son antenne parabolique de 34 m de diamètre permet, lorsqu'il est convenablement désigné, de détecter des objets de 2 cm à 1 000 km. De plus, sa fonction imagerie permet de produire des images de satellites avec une résolution de l'ordre de 18 cm.

D'autres moyens existent en Europe et peuvent être associés à la surveillance de l'espace en complément de leur mission première. C'est déjà le cas pour certains d'entre eux comme le radar ARMOR du navire du ministère de la défense français Monge.

En outre, des télescopes optiques appartenant soit à d'autres États membres soit à l'ESA sont utilisés pour observer la situation sur l'orbite géostationnaire.

missions. This is already the case for instance of the ARMOR radar on the French Ministry of Defence tracking ship Monge.

In addition, optical telescopes, belonging either to ESA or to different European member states are used to observe the situation on geostationary orbit.

Necessary improvements

The first step must be to federate what already exists on a European level within a framework to be defined. This must be done immediately.

New systems must then be developed and progressively implemented in accordance with financial capabilities, in the following areas:

- improving the performance and coverage of ground-based optical and radar surveillance systems, optical systems being particularly important for surveillance of the geostationary orbit;*
- pooling and processing of data from different sensors;*
- improving imaging identification from ground-based and, in the longer term, orbiting systems (see below).*

Other systems that might contribute to space surveillance

Once deployed, satellites for detecting ballistic missile launches designed to meet other security needs will also provide useful complementary information to enrich the data base.

It is difficult to foresee how these threats will evolve in the forthcoming years. It would be wise to plan to complement the preceding surveillance capacities at some point by adding inspection spacecraft and, even later on, in situ intervention capabilities.

These spacecraft must be capable of carrying out rendezvous manoeuvres with suspect objects. Specifications and technical solutions can only be defined after in-depth studies into optimisation which could be carried out jointly by EDA and ESA. It would be premature to start development of such vehicles for the moment, but one thing is already sure: the system will require a fleet of spacecraft and will be expensive both to develop and operate.

➔ PROPOSAL

The Air and Space Academy supports ESA's initiative in the area of space surveillance to federate all Europe's available sensors and progressively enhance them with common European devices. Since for the moment the imaging function is restricted to objects in low orbit, studies will have to go into extending this function to geostationary orbit. The Air and Space Academy supports the need for such a study into ground and, in time, space systems.

Les améliorations nécessaires

Une première étape doit avoir pour objectif de fédérer ce qui existe au niveau européen dans un cadre à définir. Elle doit être mise en œuvre sans délai.

Des moyens nouveaux devront ensuite être développés et mis en place progressivement, en fonction des capacités financières, dans les domaines suivants :

- amélioration des performances et de la couverture des moyens de surveillance optiques et radar depuis le sol, les moyens optiques ayant une importance particulière pour la surveillance de l'orbite géostationnaire ;
- fusion et exploitation des données en provenance des différents capteurs ;
- amélioration de la capacité d'identification par imagerie à partir de moyens au sol et, à plus long terme, en orbite (voir ci-dessous).

Autres moyens susceptibles de participer à la surveillance de l'espace

Lorsqu'ils auront été déployés, les satellites de détection des lancements de missiles balistiques, destinés à répondre à d'autres besoins de sécurité, fourniront des informations complémentaires utiles qui enrichiront la base de données.

Enfin, compte tenu de l'incertitude régnant sur l'évolution des menaces au cours des années et des décennies à venir, il apparaît prudent de prévoir de compléter, à terme, le dispositif de surveillance précédent par des véhicules d'inspection, voire dans un deuxième temps d'intervention in situ.

Ces véhicules devront être capables d'effectuer des manœuvres de rendez-vous avec les objets suspects. La définition des spécifications, le choix des solutions techniques ne pourront être acquis qu'après des études d'optimisation approfondies qui pourraient être avantageusement conduites en coopération entre l'Agence européenne de défense et l'Agence spatiale européenne. Lancer le développement de tels véhicules serait actuellement très prématuré. Une chose est sûre dès maintenant : le système exigera une flotte de véhicules et sera coûteux à développer et à exploiter.

→ PROPOSITION

L'Académie de l'Air et de l'Espace soutient l'initiative de l'Agence spatiale européenne en matière de surveillance de l'espace qui, dans une première phase, s'efforcera de fédérer tous les capteurs disponibles actuellement en Europe et de les compléter progressivement par des moyens européens communs. Sachant que pour le moment la fonction imagerie est retenue pour les objets en orbite basse, il restera à étudier l'extension de cette fonction jusqu'à l'orbite géostationnaire. L'Académie de l'Air et de l'Espace soutient le besoin d'une telle étude sur la base de moyens au sol et à terme de moyens spatiaux.

6- RAPID REPLACEMENT OF SATELLITES IN ORBIT

Since satellites can fall victim to collisions with debris or to deliberate destruction (in the event of a failure in space deterrence), it is important to plan for their rapid replacement in order to ensure the continuity of their essential functions.

Commercial space telecommunications systems share enough common specifications to enable them to be rapidly reconfigured if one or several satellites are destroyed. The same thing applies to satellite navigation systems and, more generally, to constellations.

More problematic are observation satellites, both civilian and military, and certain specific military satellites (telecommunications, eavesdropping, early warning). In this case, there are four types of solution:

- *hot redundancy, in which a spare satellite is stocked in orbit;*
- *cold redundancy, in which a spare satellite is stocked on the ground;*
- *rental from civilian operators with comparable services;*
- *rapid launching of an interim mini/micro satellite.*

The first solution has the advantage of ensuring total continuity of service but is fragile in the sense that both satellites can be destroyed almost simultaneously.

The effectiveness of the second solution is dependent on how fast the satellite stored on the ground can be launched, but it does leave time to analyse the cause of the accident, identify any aggressor and carry out reprisal action in order to restore the credibility of the space deterrence.

Commercial services cannot always guarantee optimal performance and are therefore not possible for specifically military functions (eavesdropping, detection of missile launches).

The fourth solution relies on the capacity to activate combined launcher-satellite systems in a matter of days and rapid access to a launching pad throughout the year.

The replacement solution should therefore be adapted to each specific situation.

The availability of the Vega launcher at Kourou will soon open up new perspectives and a study should be carried out into the possibility of rapidly launching Vega and its satellites in parallel with Ariane and Soyuz launch campaigns.

6- REMPLACEMENT RAPIDE DES SATELLITES EN ORBITE

Les satellites pouvant être victimes d'une collision avec un débris ou détruits volontairement en cas d'échec de la dissuasion spatiale, il est nécessaire de réfléchir à leur remplacement rapide afin d'assurer la continuité des fonctions essentielles.

Les systèmes commerciaux de télécommunications spatiales sont suffisamment redondants pour pouvoir être reconfigurés rapidement en cas de destruction d'un ou plusieurs satellites. Il en est de même pour les systèmes de navigation par satellites et, plus généralement, pour les constellations.

Le problème se pose pour les satellites d'observation, civils ou militaires, et certains satellites militaires spécifiques (télécommunications, écoute, alerte avancée). Dans ce cas, quatre types de solution existent :

- la redondance "chaude" avec un satellite de rechange en orbite ;
- la redondance "froide" avec un satellite de rechange stocké au sol ;
- la location à des opérateurs civils de services aux performances à peu près équivalentes ;
- le lancement dans des délais très brefs d'un microsatellite permettant d'assurer une capacité intérimaire.

La première solution présente l'avantage d'assurer la continuité du service, mais elle est fragile, les deux satellites risquant d'être détruits à peu près simultanément.

L'efficacité de la seconde dépend du délai de lancement du satellite stocké au sol, mais laisse du temps pour identifier et analyser la cause de l'accident, identifier l'éventuel agresseur et prendre les mesures de rétorsion qui devraient restaurer la crédibilité de la dissuasion spatiale.

Le recours à des services commerciaux peut conduire à une diminution des performances et n'est pas possible pour les fonctions spécifiquement militaires (écoute, détection des lancements de missiles).

La quatrième solution nécessite de disposer de couples lanceurs-satellites capables d'être activés en quelques jours et lancés d'un pas de tir disponible très rapidement à tout moment de l'année.

C'est donc au cas par cas que doit être choisie la solution de remplacement la mieux adaptée.

La disponibilité prochaine du lanceur Vega à Kourou peut présenter des perspectives intéressantes et une étude des possibilités de lancement rapide de Vega et de ses satellites en parallèle avec les campagnes de lancement Ariane et Soyouz devrait être entreprise.

7- CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Of the numerous elements threatening security in space, the proliferation of debris is by far the most serious. The destruction of satellites during a conflict or for experimental purposes, by direct impact of a kill vehicle or by explosive charge, could rapidly lead to a volume of debris that would rule out any activity in space for a very long period of time. The only possible way forward is to draw up a treaty outlawing this type of action. However this treaty, although of obvious benefit to the space powers, only has a chance of being ratified (in particular by the United States) if it is limited to this objective, and not linked in with weapons deployment in space. Europe, which is already engaged in drawing up a “Code of Conduct” for space activities, is undoubtedly the only major power capable of bringing this off.

In parallel, Europe should acquire independent tools for assessing the situation in orbit, both to ensure the security of its own spacecraft and to monitor the application of the treaty in question. Obviously to save time and costs, this system of space surveillance must first pool existing means from different member states then progressively enhance them in such a way as to extend network surveillance coverage to all useful orbits. A complementary option, not sufficiently mature for the moment, would be to use in situ spacecraft for inspecting suspect objects.

The very real, major threat of space debris, and its possibly irreversible consequences, must nonetheless not overshadow the other threats to our space systems. Every threat requires specific protection measures suited to each individual situation. However setting in place a policy of “space deterrence” is an effective way of protecting against most of these threats. It requires, on the one hand, the capacity to detect an aggression and identify the responsible party, and on the other the means (and decisional structure) to retaliate against the aggressor’s satellites. The most suitable means of retaliation would seem to be powerful, ground-based lasers.

* * *

These conclusions lead the Air and Space Academy to formulate three recommendations for application within a European context:

Recommendation No.1

Elaborate a European draft version for an international treaty outlawing any act of destruction of satellites from the ground or from space leading to the massive production of space debris. This treaty should be limited to this single goal.

7- CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Parmi les multiples menaces qui pèsent sur la sécurité dans l'espace, la prolifération des débris est de très loin la plus grave. En cas de conflit ou à titre d'expérimentation, la destruction de satellites par impact direct d'un véhicule tueur ou par charge explosive pourrait conduire rapidement à un volume de débris tel qu'il interdirait pour longtemps toute activité dans l'espace. La seule mesure possible est un traité interdisant ce type d'action. Toutefois, ce traité, dont l'intérêt pour les puissances spatiales est évident, n'a de chances d'être signé, en particulier par les États-Unis, que s'il est limité à cet objet, à l'exclusion de tout amalgame avec le déploiement d'armes dans l'espace. L'Europe, qui est déjà engagée dans la promotion d'un code de bonne conduite pour les activités spatiales, est sans doute la seule grande puissance capable de le faire aboutir.

En parallèle, l'Europe doit se doter de moyens autonomes d'évaluation de la situation en orbite, à la fois pour assurer la sécurité de ses propres véhicules spatiaux et pour contrôler l'application du traité proposé. Pour des raisons évidentes de rapidité et de limitation des coûts, ce système de surveillance de l'espace doit d'abord fédérer les moyens qui existent déjà dans plusieurs États membres, puis les compléter progressivement de manière à étendre la couverture du réseau de surveillance à l'ensemble des orbites utiles. Le recours à des véhicules d'inspection in situ des objets suspects est une option complémentaire dont la maturité est encore insuffisante.

La menace majeure des débris, aux conséquences éventuellement irréversibles, ne doit pas faire oublier les autres menaces qui pèsent sur nos moyens spatiaux. Chacune de ces menaces requiert des mesures de protection spécifiques dont la mise en place doit faire l'objet de décisions au cas par cas. Toutefois, la mise en place d'une politique de "dissuasion spatiale" est une mesure de protection efficace commune à la plupart de ces menaces. Elle implique d'une part la capacité de détecter une agression et d'en identifier l'auteur, d'autre part de disposer de moyens de rétorsion contre les satellites de l'agresseur, ainsi que d'une autorité de décision de leur emploi éventuel. Le moyen de rétorsion le mieux adapté semble être le laser de puissance installé au sol.

* * *

Ces conclusions conduisent l'Académie de l'Air et de l'Espace à formuler trois recommandations qui se placent dans un cadre européen :

Recommandation n°1

Élaborer un projet européen de traité international interdisant toute action de destruction de satellites depuis le sol ou depuis l'espace conduisant à la production massive de débris spatiaux. Ce traité devrait être limité à ce seul objet.

Recommendation No.2

Equip Europe with a space surveillance system, firstly by pooling existing national resources, then by progressively enhancing capacities, particularly in terms of surveillance of the geostationary orbit.

Recommendation No.3

Set up “space deterrence” devices, i.e.:

- *equip strategic satellites with “black boxes” capable of detecting and characterising an aggression;*
- *develop, then deploy, a high energy ground-based laser capable of neutralising satellites, pointed by means of the orbital data provided by the space surveillance system.*

In addition to these three main recommendations, it would undoubtedly be judicious to prepare for the future by launching preliminary studies into the following subjects:

- *elimination of dangerous debris by means of laser beams emitted from the ground;*
- *in-orbit inspection/intervention spacecraft;*
- *rapid launches to replace satellites of strategic importance.*

Recommandation n°2

Doter l'Europe d'un système de surveillance de l'espace en fédérant dans un premier temps les moyens nationaux qui existent déjà, puis en étendant progressivement ses capacités, en particulier vers la surveillance de l'orbite géostationnaire.

Recommandation n°3

Mettre en place les moyens d'une "dissuasion spatiale", à savoir :

- équiper des satellites stratégiques de "boîtes noires" capables de détecter et décrire l'agression ;
- développer, puis déployer, un laser de puissance opérant au sol capable de neutraliser des satellites et piloté à partir des données orbitales fournies par le système de surveillance de l'espace.

Au-delà de ces trois recommandations principales il serait sans doute judicieux de préparer l'avenir en lançant des études préliminaires sur les sujets suivants :

- possibilité d'élimination de débris dangereux au moyen de rayonnements laser émis à partir du sol ;
- véhicule d'inspection/intervention en orbite ;
- possibilités de lancement rapide pour le remplacement de satellites d'importance stratégique.

Appendix 1: DEPLOYMENT OF WEAPONS IN ORBIT

Although the wording “space weaponisation” is often used in articles dealing with security in space, it has been deliberately avoided in this study, since it covers very diverse aspects and does not encourage a pragmatic approach to the issue.

This wording refers to the placing of all types of offensive weapons in space (with the exception of weapons of mass destruction, prohibited by article IV of the Outer Space Treaty of 1967, which was ratified by 98 countries including all the main space powers).

It does not apply to:

- the presence of military satellites in support of defence and security operations;
- the use of missiles launched from the ground to destroy orbiting satellites.

The many possible applications of conventional offensive weapons in space can be placed in four main categories:

- weapons in space aimed at targets on the Earth: these weapons, which have no obvious advantage over similar weapons launched from the ground, the sea or the air, would not either have any direct impact on security in space;
- components of antiballistic defence systems deployed in space: with the exception of some very specific geographical situations, the devices used to destroy ballistic missiles in propulsion phase must be positioned in low orbit (high energy lasers or interceptors launched from space platforms and acting by direct impact). In the second case, their use would generate a large amount of debris, but should only have a very marginal impact on security in space since most of this debris would be on course to rapidly re-enter the atmosphere. Weapons of this type have not, as yet, ever been deployed, but have remained the most original and high profile element in President Reagan’s Strategic Defense Initiative. Research in this area is likely to continue;
- weapons designed to destroy orbiting satellites by direct impact or explosion: they present no advantage over ground-based interceptors and generate a large amount of debris, placing the security of all space users almost indefinitely at risk;
- anti-satellite weapons of all kinds placed in orbit: these are capable of approaching their targets discreetly before neutralising or destroying them, without creating a large amount of debris.

Faced with these threats, many states are considering the idea of making space a sanctuary in which all types of weaponry would be prohibited. Since 1981, Russia and China have on several occasions presented proposals to the Conference on Disarmament aimed at introducing a stringent international treaty known as PAROS (Prevention of Arms Race in Outer Space). Similarly, each year such a resolution is submitted for approval by the UN General Assembly and on the whole receives widespread support, with the notable exception of the United States. In February 2008, Russia, backed by China, officially set on the table at the Conference of Disarmament a draft treaty designed to prevent weapons deployment in space and the use of force against orbiting objects⁸.

These proposals at the Conference on Disarmament have each time come up against the veto of the United States, intent on preserving its freedom of action.

8. Draft treaty known as PPWT (Prevention of the Placement of Weapons in Outer Space, the Threat or Use of Force Against Outer Space Objects) presented to the Conference of Disarmament by Mr Sergei Lavrov, Foreign Affairs Minister of the Russian Federation, 12 February 2008.

Annexe 1 : DÉPLOIEMENT D'ARMES EN ORBITE

Bien qu'il soit couramment utilisé dans les publications traitant de la sécurité dans l'espace, le terme "arsenalisation" de l'espace a été volontairement évité dans cette étude, car il recouvre des réalités très différentes et ne facilite pas une approche pragmatique du sujet.

Ce terme se réfère au positionnement dans l'espace d'armes offensives de toute nature, à l'exception des armes de destruction massive, dont l'interdiction figure explicitement à l'article IV du Traité de l'espace de 1967 ratifié par 98 pays, dont toutes les principales puissances spatiales.

Il ne s'applique :

- ni à la présence de satellites militaires utilisés en support des opérations de défense et de sécurité ;
- ni à l'utilisation de missiles tirés depuis le sol pour la destruction de satellites en orbite.

Les applications éventuelles d'armes offensives conventionnelles pré-positionnées dans l'espace peuvent être de nature très différente. On peut de façon simplifiée les classer en quatre catégories :

- les armes destinées à viser des objectifs terrestres depuis l'espace. Ces armes, dont on ne voit pas clairement l'avantage par rapport à des armes semblables lancées depuis le sol, la mer ou les airs, n'auraient cependant pas d'effet direct sur la sécurité dans l'espace ;
- les composantes déployées dans l'espace de systèmes de défense antibalistiques. Sauf situations géographiques très particulières, la destruction des missiles balistiques en phase propulsée exige le positionnement en orbite basse des moyens d'interception (lasers de puissance ou intercepteurs agissant par impact direct lancés à partir de plates-formes spatiales). Dans le second cas, leur emploi générerait de nombreux débris, mais ne devrait influencer que de façon marginale sur la sécurité dans l'espace. La plupart de ces débris auraient en effet des trajectoires les conduisant à une rentrée rapide dans l'atmosphère. Des armes de ce type n'ont, à ce jour, jamais été déployées, mais elles sont restées comme l'élément le plus original et le plus médiatisé de l'Initiative de Défense Stratégique du président Reagan. Il est vraisemblable que les recherches se poursuivent dans ce domaine ;
- les armes destinées à la destruction par impact direct ou par explosion de satellites en orbite. Elles n'apportent aucun avantage par rapport aux intercepteurs basés au sol et génèreraient de multiples débris mettant en péril de façon quasi définitive la sécurité de tous les utilisateurs de l'espace ;
- les armes anti-satellite de toutes natures pré-positionnées en orbite et capables de s'approcher discrètement de leurs cibles avant de les neutraliser ou de les détruire sans création importante de débris spatiaux.

Face à ces menaces, de nombreux États réfléchissent à une possible sanctuarisation de l'espace visant à interdire la présence de tout type d'armes dans l'Espace. Depuis 1981 la Russie et la Chine ont à plusieurs reprises présenté dans le cadre de la Conférence du Désarmement des propositions en vue d'un traité international contraignant sur le thème de la "Prévention de la course aux armes dans l'Espace" (PAROS : Prevention of Arms Race in Outer Space). Une résolution dans ce sens est d'ailleurs soumise chaque année à l'approbation de l'Assemblée générale des Nations Unies, résolution qui reçoit en général un soutien très large, à l'exception notable des États-Unis. En février 2008, la Russie, soutenue par la Chine, a officiellement déposé sur la table de la Conférence du Désarmement un projet de traité sur la prévention du déploiement d'armes dans l'espace et de l'usage de la force contre les objets spatiaux⁸.

8. *Projet de traité dit "PPWT" (Prevention of the Placement of Weapons in Outer Space, the Threat or Use of Force Against Outer Space Objects) présenté à la Conférence du Désarmement par M. Sergei Lavrov, ministre des affaires étrangères de la Fédération de Russie, le 12 février 2008.*

The United States also stresses the impracticality of monitoring implementation of such a treaty, arguing that the very notion of space weapons is difficult to define in an unambiguous way. One might also note that these proposals do not take into consideration the more immediate, devastating threat to orbiting satellites represented by the impact of kill vehicles launched by ground-based missiles. In reality, these proposals might be born of a concern on the part of certain major powers not to get drawn into a technological race with the United States they would have no hope of winning and which would end up ruining them.

Nonetheless, since 2006, discussions have taken place at the UN General Assembly on measures designed to build up trust and transparency in space (TCBMs: Transparency and Confidence-Building Measures). It was within this framework in 2007, under the aegis of the European Union, that Portugal submitted a working document aimed at establishing guidelines, which are now integrated into the draft "Code of Conduct" proposed by the European Union. Backed by several member states, these proposals, which would not have the binding nature of an international treaty, still come up against United States wariness. However the latter's position is likely to change with time and deliberations on this subject should be pursued by the European Union and its member states, even though it is currently impossible to predict the final contents or the timeline involved.

At any rate, the search for an international consensus on limiting threats linked to weapons deployment in space will require years of negotiation and it would seem urgent to establish a limited international agreement, as binding as possible, prohibiting any destruction of orbiting satellites that would involve production of debris, whether by weapons deployed in orbit or missiles launched from the ground. This is the position of this report.

Appendix 2: WAYS OF LIMITING DEBRIS IN ORBIT

After an in-depth study carried out over a period of fifteen years by the Inter Agency Debris Committee (IADC), which comprises the 10 main world space agencies⁹, an initial set of recommendations was brought out in 2002 on launcher and satellite design and space operations, designed to limit the production of space debris. Following this technical work, which is being pursued by IADC, in 2007 the 67 member states of the UN Committee for the Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS) adopted a "political" version of these recommendations (endorsed by a UN General Assembly resolution¹⁰) in the form of mitigation guidelines. Each country is committed to implementing these guidelines as far as is possible and ensuring they are properly applied by commercial operators under their jurisdiction, whilst keeping full control over their application.

These guidelines define the principles to be followed during the different phases of space launchings and are aimed at:

- limiting debris released during normal operations;
- minimising the potential for break-ups during operational phases;
- limiting the probability of accidental collision in orbit;

9. Space agencies belonging to IADC: ASI (Italy), BNSC (United Kingdom), CNES (France), DLR (Germany), ESA (European Space Agency), ISRO (India), NASA (US), Roscosmos (Russia), CNSA (China), NSAU (Ukraine).

10. Resolution UNGA 62/217, paragraph 26

La discussion de ces propositions de traité à la Conférence du Désarmement s'est à chaque fois heurtée au veto des États-Unis, soucieux de conserver leur liberté d'action. Par ailleurs, les États-Unis ne manquent pas d'insister sur l'impossibilité pratique de vérifier le respect de tels traités, la notion même d'arme spatiale étant très difficile à définir de manière non ambiguë. En outre, il faut noter que ces propositions ignorent la menace dévastatrice pourtant plus immédiate de destruction de satellites en orbite par impact de véhicules tueurs lancés par des missiles depuis le sol. En réalité, elles pourraient traduire le souci de certaines grandes puissances de ne pas se laisser entraîner dans une course technologique avec les États-Unis qu'elles ne pourraient que perdre et qui les ruinerait.

Toutefois, depuis l'année 2006, des discussions ont eu lieu à l'Assemblée générale des Nations Unies sur la mise en place de mesures destinées à créer la confiance et la transparence dans l'Espace (TCBMs : Transparency and Confidence Building Measures). Dans ce cadre, dans le courant de l'année 2007, le Portugal a présenté au nom de l'Union européenne un document de réflexion relatif à l'établissement de lignes directrices qui sont maintenant intégrées dans le projet de "code de bonne conduite" proposé par l'Union européenne. Soutenues par de nombreux États, ces propositions qui n'auraient pas le caractère contraignant d'un traité international, se heurtent encore à la réticence des États-Unis. La position de ces derniers est cependant susceptible d'évoluer progressivement et la réflexion dans cette voie devrait continuer à être soutenue par l'Union européenne et ses États membres, sans qu'il soit possible de présager actuellement son contenu ultime ni les délais nécessaires à son aboutissement.

En tout état de cause la recherche d'un consensus international sur la limitation des menaces liées au déploiement d'armes dans l'espace nécessitera des années de négociation et une position de sagesse conduit à donner la priorité à l'établissement d'un accord international limité, aussi contraignant que possible, sur l'interdiction de toute destruction de satellite en orbite avec production de débris, que celle-ci soit le fait d'armes pré-positionnées en orbite ou de missiles tirés depuis le sol. C'est la position retenue dans le présent document.

Annexe 2 : MESURES DE LIMITATION DES DÉBRIS EN ORBITE

Au terme d'un travail approfondi de quinze ans au sein de l'Inter Agency Debris Committee (IADC), qui regroupe les 10 principales agences spatiales du monde⁹, un premier jeu de recommandations relatives à la conception des lanceurs et des satellites, ainsi qu'aux opérations spatiales destinées à réduire la génération de débris spatiaux, a été élaboré en 2002. À la suite de ce travail technique, qui se poursuit de manière continue au sein de l'IADC, les 67 États membres du Comité des Nations Unies pour les Utilisations Pacifiques de l'Espace Extra-Atmosphérique (CUPEEA, plus connu sous son sigle anglais COPUOS) ont adopté en 2007 et fait approuver par une résolution de l'Assemblée générale des Nations Unies¹⁰ une version "politique" de ces recommandations qui prennent la forme de "lignes directrices", que chaque pays s'engage à mettre en oeuvre dans toute la mesure du possible et à faire appliquer par les opérateurs commerciaux relevant de leur juridiction, tout en gardant la totale maîtrise de leur application.

Ces lignes directrices traitent des principes à respecter au cours des différentes étapes

9. Agences spatiales membres de l'IADC : ASI (Italie), BNSC (Royaume Uni), CNES (France), DLR (Allemagne), ESA (Agence Spatiale Européenne), ISRO (Inde), NASA (États-Unis), Roscosmos (Russie), CNSA (Chine), NSAU (Ukraine).

10. Résolution UNGA 62/217, paragraphe 26.

- avoiding intentional destruction and other harmful activities;
- minimising potential for post-mission break-ups resulting from stored energy;
- limiting the long-term presence of spacecraft and launch vehicle upper stages in the low-Earth orbit (LEO) region after the end of their mission;
- limiting the long-term interference of spacecraft and launch vehicle upper stages with the Geosynchronous Earth orbit (GEO) region after the end of their mission.

It is too early to assess the extent to which these measures are met, but most states with a significant level of space activities do seem to have made efforts to implement them. This should contribute to slowing down, and then halting the proliferation of debris observed since the beginning of the space era (Fig. 6).

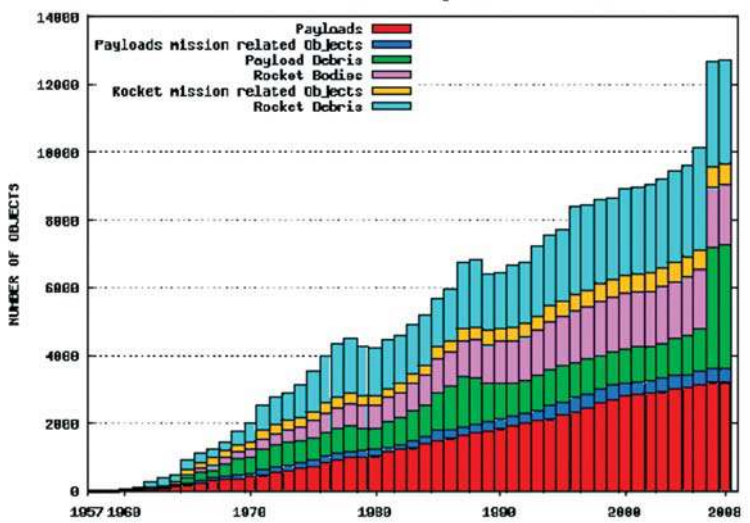


Fig. 6: Evolution in the population of space objects since the beginning of the space era (chart kindly provided by Heiner Klinkrad – ESA/ESOC)

4,547 launches by late 2007 and roughly 200 break-ups have led to a population of 12,500 objects, regularly monitored by the US Space Surveillance Network (roughly speaking, over 10 cm in low orbit and over 1 m in geostationary orbit).

A noticeable increase can be seen in the number of debris (over 2,500) resulting from the break-up of satellites in the course of 2007, most of which can be traced back to the Chinese anti-satellite missile test of 11 January 2007.

des lancements spatiaux et ont pour objet de :

- limiter la production de débris liés au déroulement nominal des opérations ;
- minimiser les risques potentiels de ruptures au cours des différentes phases opérationnelles ;
- limiter la probabilité de collision accidentelle en orbite ;
- éviter toute destruction volontaire et autres activités dommageables ;
- minimiser les risques de destruction potentielle après exécution de la mission liés à l'énergie résiduelle stockée dans les réservoirs ;
- limiter la présence à long terme en orbite basse de véhicules spatiaux et d'étages supérieurs de lanceurs après la fin de leur mission ;
- limiter l'interférence à long terme sur l'orbite géostationnaire de véhicules spatiaux et d'étages supérieurs de lanceurs après la fin de leur mission.

Sans qu'il soit possible actuellement de faire un bilan de l'application de ces mesures, elles semblent bien donner lieu à un réel effort de mise en œuvre dans la majorité des États ayant une activité spatiale significative et devraient permettre de réduire puis de stopper l'augmentation permanente des débris constatée depuis le début de l'ère spatiale (Fig. 6).

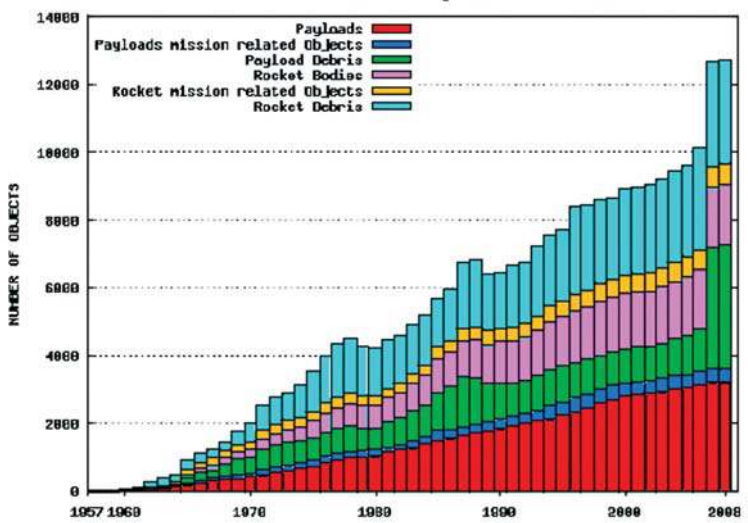


Fig. 6 :
Évolution de la population des objets spatiaux depuis le début de l'ère spatiale (figure aimablement fournie par Heiner Klinkrad – ESA/ESOC)

4,547 lancements jusqu'à fin 2007 et environ 200 fragmentations ont conduit à une population de 12 500 objets suivis régulièrement par l'US Space Surveillance Network (en général de taille supérieure à 10 cm en orbite basse et à 1 m en orbite géostationnaire).

On notera l'augmentation sensible du nombre de débris (plus de 2 500) provenant de la rupture de satellites au cours de l'année 2007, dont la plus grande partie est le résultat du test ASAT chinois du 11 janvier 2007.

Appendix 3: CONSIDERATIONS ON THE SPECIFIC SURVEILLANCE NEEDS OF DIFFERENT ORBITS

The elements required in order to establish a catalogue and identify objects in orbit by imaging vary according to orbital altitude. The following considerations are aimed to shape thinking on the setting up of a European Space Surveillance System.

1- Low Earth orbit catalogue

The Graves radar is limited in terms of orbital plane inclination because of its geographical location. In order to broaden its surveillance capacities, it would have to be extended to a lower latitude. Overseas territories would present this possibility, enabling the system to cover all satellites in low Earth orbit. There are few satellites on a low equatorial orbit, however, and such an installation is not necessarily a priority.

On the other hand, a second detection radar in the southernmost zone of Europe would significantly increase the number of orbits detected according to their inclination and significantly improve the quality of the catalogue.

The detection of nano-satellites and a satisfactory monitoring of debris will also lead to the setting up of a new radar, operating in a frequency band enabling the detection of objects with a lesser radar cross section.

Lastly, in order to improve the data contained in the catalogue, it would be wise to identify all existing European Union tracking radars, including those on board ships, and link them up to the European surveillance network.

2- Medium Earth orbit catalogue

These are the orbits containing navigation satellites such as the GPS and Galileo systems, at an altitude of around 20,000 km.

The use of ground-based radars is problematic since a very high strength is required and it is necessary to develop an optical detection sensor.

3- Geostationary orbit catalogue (36,000 km on the equatorial plane)

Here astronomy telescopes are sufficient to observe the satellites and determine their position. European resources must be reinforced in order to cover the whole of the geostationary circle, with telescopes spread all around the globe.

4- Catalogue for other orbits

These include eccentric Earth orbits or interplanetary orbits. The panoply of sensors referred to above should enable satisfactory monitoring of these specific probes.

5- Imaging for characterisation

The image of an orbiting satellite can give a clear picture of some of its characteristics and thus provide a clue as to its missions and capacities: presence or not of solar panels, size of the latter, size of antennas (for radar satellites), size of the primary telescope mirror (for optical satellites), etc. Ground devices such as the German TIRA radar can provide such images of low Earth orbit satellites. Optical experiments have been carried out with suitable telescopes.

The move to operational service would require minimal effort in the case of radars, but rather more for optical devices. Telescopes at the observatories of Côte d'Azur Observatory (French Riviera), the Canary Islands or Zimmerwald could be suitable if extra equipment were to be added (adaptive optics bench, laser for active imaging, etc.).

Annexe 3 : CONSIDÉRATIONS SUR LES BESOINS DE SURVEILLANCE SPÉCIFIQUES AUX DIFFÉRENTES ORBITES

Les moyens nécessaires à l'établissement d'un catalogue et à l'identification par imagerie des objets en orbite sont différents selon l'altitude de l'orbite. Les considérations suivantes ont pour but d'alimenter la réflexion sur la mise en place d'un Système européen de surveillance de l'espace.

1- Catalogue en orbite basse

Le radar GRAVES a des limitations en inclinaison de plan orbital, du fait de son implantation géographique. Si l'on souhaite étendre la capacité de surveillance, il est nécessaire de descendre en latitude et une implantation sur un territoire d'outre-mer permettrait de satisfaire ce besoin : il serait alors possible de couvrir tous les satellites en orbite basse. Toutefois il existe peu de satellites en orbite basse équatoriale et une telle implantation n'est peut-être pas prioritaire.

À l'inverse, un second radar de détection en zone européenne très méridionale augmenterait significativement le nombre d'orbites détectées en fonction de leur inclinaison et améliorerait significativement la qualité du catalogue.

La détection des nano-satellites et un suivi satisfaisant des débris conduiront par ailleurs à la mise en place d'un nouveau radar opérant dans une bande de fréquence permettant de détecter des objets à surface équivalente radar plus faible.

Enfin pour améliorer les données du catalogue, il serait bon d'identifier tous les radars de trajectographie existant dans l'Union européenne sans oublier les radars embarqués sur des navires et de les associer au réseau européen de surveillance.

2- Catalogue en orbite intermédiaire

Ce sont les orbites sur lesquelles se trouvent les satellites de navigation de type GPS et Galileo autour de 20 000 km d'altitude. L'utilisation de radars basés au sol s'avère difficile car la puissance requise devient très importante et il est nécessaire de développer un capteur de détection optique.

3- Catalogue en orbite géostationnaire (36 000 km dans plan équatorial)

Il suffit d'utiliser des télescopes d'astronomie pour observer les satellites et déterminer leur position. Les moyens existants en Europe doivent être complétés pour couvrir la totalité du cercle géostationnaire en répartissant les télescopes tout autour du globe.

4- Catalogue pour les autres orbites

Il s'agit d'orbites excentriques circumterrestres ou d'orbites interplanétaires. La panoplie de capteurs évoqués pour les cas précédents doit permettre de suivre au mieux ces sondes particulières.

5- Imagerie pour caractérisation

Disposer de l'image d'un satellite en orbite permet d'accéder à certaines de ses caractéristiques et par là de restituer certaines de ses missions et performances : présence ou non de panneaux solaires, taille de ceux-ci, taille de l'antenne pour un satellite radar, taille du miroir primaire pour le télescope d'un satellite optique, etc. Des moyens sol permettent de réaliser ces images pour des satellites en orbite basse, comme le radar allemand TIRA. Des expériences ont été faites en optique avec des télescopes adaptés.

L'effort à consentir pour passer à un niveau opérationnel est faible pour les radars, mais plus important pour les moyens optiques. Les télescopes de l'Observatoire de la Côte d'Azur au-dessus de Grasse, des Îles Canaries ou de Zimmerwald près de Berne pourraient constituer des instruments bien adaptés moyennant la construction d'équipements complémentaires (banc d'optique adaptative, laser pour imagerie active...).

Appendix 4: REMOTE ATTACKS – PROTECTION/HARDENING – DETECTION/DESCRIPTION OF THE ATTACK

1- Attack by dazzling or blinding lasers (optical observation satellites)

- Protection/hardening: Darkening filters with ultra rapid controls can be fitted in front of the focal plane of observation cameras. It is also possible to provide two detector retinas in redundancy, one of which is protected. When attacks are not too frequent, which is generally the case, and after destruction of a certain number of sensors, one might consider the image quality insufficient and change the retina. The degraded retina can be put back into service when the satellite is passing over areas of the globe where an attack is to be expected.
- Detection and description of the attack: Very simple since on the image itself, the beginnings of dazzled or blinded lines pinpoint the exact position of the dazzling laser. Those responsible for the attack are therefore rapidly identified.

2- Attack by high energy lasers (all satellites in low orbit)

- Protection/hardening: Total protection is not really possible, but attacks can be made more difficult by enveloping the satellite as fully as possible with a highly reflective protective cover. There will always be darker points or zones (horizon detectors, thrusters ...) which will enable the attacking party to penetrate and damage the satellite, but the aggressor would have to use significantly more energy.
- Detection and description of the attack: Heat sensors should be disposed in the most likely areas of the satellite to be attacked, for instance in places where the reflective protection is at its lowest and on sides oriented towards the Earth's surface. These sensors would be linked to the "black box". The latter would need to be capable of standing up to very high temperatures. The information obtained should give a reasonably clear idea of the area on the ground from where the attack emanated.

Geostationary orbits will still remain much more difficult to attain for many years to come.

3- Attack by impact (all satellites and all orbits)

- Protection/hardening: Even looking well into the future no protection is possible either from violent collisions with another spacecraft, or from the impact of smaller projectiles coming from another space vehicle.
- Detection and description of the attack: A number of accelerometers fitted onto the satellite and linked to the "black box" could give information which, when processed on the ground, would indicate the approximate weight and speed of the attacking vehicle. This should make it possible to determine with a certain degree of accuracy whether it was a real attack or a collision with space debris. The ground tracking system would then play a crucial role in confirming the attack and identifying the identity of the attacker.

4- Attack by high energy electromagnetic beams (all satellites in low orbit)

- Protection/hardening: Partial or total faradisation of the satellite is the only solution, but is problematic since it can be incompatible with certain devices necessary to the survival or functioning of the satellite. Comprehensive studies should be carried out, adapted to each satellite, which would impact future design and therefore cost.

Annexe 4 : ATTAQUES À DISTANCE – PROTECTION/ DURCISSEMENT – DÉTECTION/DESCRIPTION DE L'ATTAQUE

1- Attaque par lasers éblouissants ou aveuglants (satellites d'observation optique)

Protection/durcissement : des filtres assombrissants avec commande ultra rapide peuvent être utilisés devant les plans focaux des caméras d'observation. Il est également possible de prévoir deux rétines de détecteurs en redondance, dont l'une est protégée. Lorsque les attaques ne sont pas trop nombreuses, ce qui est généralement le cas, et après destruction d'un certain nombre de détecteurs unitaires, on peut estimer que la qualité de l'image devient insuffisante et changer la rétine. La rétine dégradée peut être remise en service lors du passage sur les régions du globe où une attaque est prévisible.

Détection et description de l'attaque : elle est très simple puisque sur l'image elle-même, les débuts des lignes aveugles ou éblouies définissent l'endroit exact sur le globe où était positionné le laser éblouissant. Les responsables de l'attaque sont donc rapidement identifiés.

2- Attaque par lasers de puissance (tous satellites en orbite basse)

Protection/durcissement : les protections complètes n'existent pas réellement, mais l'attaque peut être rendue plus difficile en recouvrant au maximum le satellite d'une protection ayant un fort pouvoir de réflexion. Il y aura toujours à la surface du satellite des points ou des zones plus sombres (détecteurs d'horizon, propulseurs ...), qui permettront à l'énergie attaquante de pénétrer et d'endommager le satellite, mais l'attaquant sera obligé d'utiliser significativement plus d'énergie.

Détection et description de l'attaque : des capteurs de chaleur sont à disposer dans les endroits du satellite les plus aptes à être l'objet de l'attaque, par exemple aux endroits où la protection réfléchissante est la plus faible et sur les côtés dirigés vers la surface terrestre. Ces capteurs seront reliés à la "boîte noire". Celle-ci devra, en revanche, supporter sans dommage des fortes températures. Les informations obtenues devraient donner une assez bonne idée de la zone au sol d'où est venue l'attaque.

Les orbites géostationnaires resteront beaucoup plus difficiles à atteindre encore pendant de nombreuses années.

3- Attaque par chocs (tous satellites et toutes orbites)

Protection/durcissement : aucune protection n'est possible même à un horizon extrêmement lointain, qu'il s'agisse de chocs violents produits par un autre véhicule spatial ou de chocs produits par l'impact de projectiles plus petits venant d'un autre véhicule spatial.

Détection et description de l'attaque : un certain nombre d'accéléromètres répartis dans le satellite et reliés à la "boîte noire" pourraient donner des informations qui, traitées au sol, fourniraient des indications sur la masse et la vitesse du véhicule attaquant. Ceci devrait permettre de déterminer avec une certaine probabilité s'il s'agit d'une réelle attaque ou d'un choc avec un débris spatial. Le système sol de trajectographie aura ensuite un rôle fondamental dans la confirmation de cette attaque et l'identification de l'attaquant.

4- Attaque par rayonnement électromagnétique puissant (tous satellites en orbite basse)

Protection/durcissement : il faut envisager une faradisation partielle ou totale du satellite, mais elle est extrêmement difficile, certains dispositifs nécessaires à la survie ou au

- Detection and description of the attack: A certain number of sensors suited to possible frequencies should be fitted around the satellite and linked up to the "black box". The black box must be highly faradised, and in particular cannot use the remote uplink. This onboard device should provide elements of information on the area on the ground where the attack came from.
- 5- Untimely use of and intrusion into geostationary telecommunication satellites**
- Protection/hardening: The only protection possible is to equip the satellite with a demodulation and remodulation device for each repeater. This device exists in the case of modern military satellites, but fitting them on civilian satellites would raise problems due to the extra cost and financial constraints of telecommunications operators.
- Detection and description of the attack: Detection is difficult and identification of hostile element is even more difficult.

fonctionnement du satellite pouvant être incompatibles avec ce type de protection. Une étude complète adaptée à chaque satellite doit être envisagée et, dans tous les cas, la conception même du satellite sera influencée avec des répercussions sur son coût.

Détection et description de l'attaque : quelques détecteurs adaptés aux fréquences possibles sont à répartir dans le satellite en liaison avec la "boîte noire". La boîte noire doit être particulièrement faradisée, et en particulier ne pourra pas utiliser de liaison montante de télécommande. Elle sera en mode émission automatique, dès la détection de l'attaque. Ce dispositif embarqué devrait donner des éléments d'information sur la zone au sol d'où est venue l'attaque.

5- Utilisation intempestive des satellites de télécommunication et intrusion dans ces satellites (satellites de télécommunication géostationnaires)

Protection/durcissement : la seule protection possible est la mise en place à bord du satellite pour chaque répéteur d'un dispositif de démodulation et remodulation. Ce dispositif existe sur les satellites militaires modernes, mais leur mise en place sur les satellites civils semble problématique à cause du coût induit et des impératifs économiques des opérateurs de télécommunication.

Détection et description de l'attaque : la détection est difficile et l'identification de l'hostile l'est encore plus.

PRESENTATION OF THE AIR AND SPACE ACADEMY

In 1983, thirty-five leading figures from the fields of aeronautics and space joined together to form an Academy of Air and Space, on the initiative of André Turcat.

The Académie nationale de l'Air et de l'Espace was officially founded in Toulouse, the uncontested capital in these areas, whose municipality has since consistently supported its actions. It was placed under the patronage of the ministers of Industry and Research, Defence, Education and Transport.

On 1st January 2007, it became the "Air and Space Academy", its new statutes embracing a European framework since they make no distinction between French and European members.

Objectives

Its main mission is:

"To encourage the development of high quality scientific, technical and cultural actions in the realms of Air and Space, promote knowledge in these areas and constitute a focal point for activities".

In the course of its work, the Academy organises a range of events: international conferences, forums, lecture cycles, exhibitions, etc. often in collaboration with other academies, associations, institutions, political and economic bodies.

It also publishes proceedings, reports, annals, a newsletter and other works. The studies it carries out lead to recommendations dossiers, addressed to the relevant authorities.

It also lends its support to various external events.

Partners

The Academy's partners include public or private organisations, educational establishments, companies, etc. Our partners are invited to all sessions, exhibitions, colloquia and other events and receive all our publications.

Over and above the financial and material support they provide, our partners constitute an essential link with the realities of the aerospace world and thus contribute to enriching our reflections. In return, the Academy has a duty to objectivity in its deliberations and uses the interface of its wide network of members and associated institutions to encourage suggestions from its partners as to future areas of study.

International presence

Whilst continuing to develop its existing network of relationships with French organisations, our Academy is also reinforcing and enriching its international associations, exploring new links with the following:

- *European and international institutions (European Commission and Parliament, EDA, Eurocontrol, ASD, EASA, ICAO, IATA ...);*
- *the different space agencies (ESA, CNES, ASI, NASA, JAXA ...);*
- *the various European and international aerospace and defence organisations (Association of European Airlines, Council of European Aerospace Societies,*

Annexe 1
Liste des
missions
spatiales
scientifiques
d'exploration
internationale
en cours ou
phase
développement
à fin 2007

Liste
excluant
Lune et Mars
(voir tableau
chapitre 3)
non exhaustive

PRÉSENTATION DE L'ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

En 1983, trente-cinq personnalités de l'aéronautique et de l'espace ont fondé, à l'initiative d'André Turcat, "l'Académie nationale de l'Air et de l'Espace".

Installée officiellement à Toulouse, capitale sans conteste en ces domaines et soutien de son existence, l'Académie est placée sous le patronage des ministres de l'Industrie et de la Recherche, de la Défense, de l'Éducation nationale, et des Transports.

Depuis le 1^{er} janvier 2007, elle est devenue "l'Académie de l'Air et de l'Espace" par la modification de ses statuts, qui s'inscrivent dans la continuité, tout en marquant une ouverture vers l'Europe puisqu'ils mettent sur le même plan les Français et les ressortissants européens.

Sa mission

La mission essentielle demeure :

"favoriser le développement d'activités scientifiques, techniques et culturelles de haute qualité dans le domaine de l'Air et de l'Espace, valoriser et enrichir le patrimoine, diffuser les connaissances, constituer un pôle d'animation".

Les objectifs de l'Académie la conduisent à organiser des manifestations variées : congrès internationaux, forums, conférences, expositions, etc., souvent en collaboration avec les mondes académique, associatif, institutionnel, politique et économique.

Elle fait paraître de nombreuses publications : actes de colloques, dossiers, comptes rendus des forums, annales, lettre périodique, ouvrages de culture aéronautique... À l'issue des études qu'elle mène, elle adresse des recommandations aux autorités concernées.

Elle accorde également son patronage à des manifestations organisées en dehors d'elle.

Ses partenaires

Les partenaires de l'Académie sont des personnes morales, organismes publics ou privés, grandes écoles, entreprises, etc. Ces partenaires, invités à toutes les séances et manifestations de l'Académie, peuvent y déléguer des représentants. Ils reçoivent les publications de l'Académie.

Au-delà des soutiens financiers et matériels apportés, ces partenaires constituent un lien essentiel et concret dans la plupart des aspects des actions et réflexions menées, lesquelles restent ainsi en prise directe avec les réalités du terrain. En retour l'Académie propose des réflexions, recommandations et synthèses en toute liberté d'esprit.

L'Académie, à travers les relations personnelles de ses membres, les séances plénières, les réunions de ses sections et de ses commissions, peut recevoir toutes les suggestions formulées par les partenaires et développer ainsi ses travaux en conséquence.

Sa présence internationale

Tout en continuant à développer son important réseau de relations avec les académies, institutions et groupements français, l'Académie poursuit une action visant à renforcer et à enrichir ses liens internationaux. De nouvelles voies de collaboration s'ouvrent ainsi avec :

- les institutions européennes et internationales (Commission et Parlement européens, AED, Eurocontrol, ASD, AESA, OACI, IATA ...);

European Civil Aviation Conference, European Low Fares Airline Association, European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines, Airports Council International Europe ...).

Members

The Academy is composed of 90 to 120 Regular members from European countries, and 20 Associate members (maximum) from countries outside of Europe. It also comprises Honorary members, Correspondents and Emeritus members.

Our members are or have been leading players from all walks of aerospace life: scientists, engineers, pilots, astronauts, doctors, manufacturers, economists, lawyers, historians and artists all work together to achieve these essential goals, thereby reinforcing the multidisciplinary nature of the Academy.

Sections and Commissions

The Academy's work is carried out mainly within the context of its Sections, each with its particular field of study, and its Commissions, in order to examine wider issues.

Regular members belong to different sections according to their type of activity:

- Section I Scientific knowledge of Air and Space;*
- Section II Applied science and technology of Air and Space;*
- Section III Human presence and activity in Air and Space;*
- Section IV Ethics, law, sociology and economy of Air and Space;*
- Section V History, literature and arts of Air and Space.*

Some commissions are permanent, others are charged with studying specific problems concerning several sections, and with putting forward solutions.

Life of the Academy

The Academy generally holds five sessions a year with the aim of encouraging an exchange of ideas concerning important topical issues, and taking collective decisions on possible actions. Each session is preceded by a board meeting.

The final session of the year, the Solemn Plenary Session, which traditionally takes place in the Toulouse Town Hall, is the occasion for the Academy to present its prizes and medals to laureates for remarkable achievements in the areas of Air and Space, and to introduce its new members and board of governors.

- les différentes agences spatiales (ESA, CNES, ASI, NASA, JAXA ...);
- les divers organismes et groupements aérospatiaux et de défense européens et internationaux (Association of European Airlines, Council of European Aerospace Societies, Conférence européenne de l'aviation civile, European Low Fares Airline Association, European GNSS Supervisory Authority, European Regional Airlines, Airports Council International Europe ...).

Ses membres

L'Académie se compose de 90 à 120 membres titulaires, ressortissants d'États européens, et de 20 membres associés (maximum), ressortissants d'États non-européens. Elle comprend également des membres d'honneur, des correspondants et des membres honoraires.

Ses membres exercent ou ont exercé des responsabilités importantes dans leurs domaines respectifs. Scientifiques, ingénieurs, pilotes, astronautes, médecins, industriels, économistes, juristes, historiens, journalistes et artistes s'y trouvent réunis, affirmant ainsi le caractère multidisciplinaire de l'Académie.

Tous offrent leur expertise pour faire avancer la connaissance dans les divers domaines de l'Air et de l'Espace.

Ses sections et commissions

Les travaux de l'Académie sont élaborés en priorité par des sections, chacune dans son activité propre, et par des commissions, en général transverses.

Les sections regroupent les membres titulaires par genre d'activité :

Section I	Connaissance scientifique de l'Air et de l'Espace ;
Section II	Science appliquée et technologie de l'Air et de l'Espace ;
Section III	Présence et activité humaines dans l'Air et l'Espace ;
Section IV	Morale, droit, sociologie et économie de l'Air et de l'Espace ;
Section V	Histoire, lettres et arts de l'Air et de l'Espace.

Quelques commissions siègent de façon permanente, d'autres commissions ad hoc sont chargées d'étudier des problèmes spécifiques, intéressant éventuellement plusieurs sections simultanément, et de proposer des solutions.

Vie de l'Académie

L'Académie se réunit normalement cinq fois dans l'année dont, habituellement, trois fois à Toulouse, une fois à Paris et une fois en un autre haut lieu aéronautique ou spatial en France ou à l'étranger. Chaque séance est précédée d'un bureau chargé de préparer les thèmes à traiter en assemblée, et de s'occuper de l'ensemble des problèmes liés à la vie de l'Académie.

La dernière séance de l'année est une séance solennelle, se déroulant traditionnellement à la Salle des Illustres du Capitole de Toulouse, et au cours de laquelle l'Académie remet son Grand prix, ses médailles, son Prix de droit et économie du transport aérien et spatial et d'autres prix exceptionnels.

LISTE DES PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE

PUBLICATIONS LIST

Actes de colloques récents / *Recent conference proceedings*

- Aéroports du futur, 1995
- La mécanique, 1996
- Aspects juridiques et financiers de la sécurité aérienne, 1997
- Médias et sécurité dans le transport aérien, 1998
- Sécurité de la circulation aérienne : augmenter capacité et sécurité dans le trafic européen ?, 2000
- L'Europe et les débris spatiaux, CDRom, 2003
- Formation des ingénieurs ; aéronautique et Espace, CDRom, 2004
- Les apports de l'Espace dans le progrès de la connaissance et de la gestion humaniste de la planète, CDRom, 2004
- *Aircraft and ATM Automation*, CDRom, 2006
- Hélicoptères : missions et perspectives, CDRom, 2006
- *Air Transport and the Energy Challenge*, CDRom, 2007
- Accidents aériens : l'expertise judiciaire, CDRom, 2008
- *Scientific and fundamental aspects of the Galileo programme*, 2008

Actes de forums récents / *Recent forum proceedings*

- n°17 Alarmes et conscience de la situation, 2003
- n°18 Compétence du pilote, 2003
- n°19 L'hélicoptère retrouve sa liberté, 2004
- n°20 De 14 heures à 18 heures de vol, et au-delà ; évolution ou révolution, 2004
- n°21 Vols très long-courriers, facteurs humains mis en jeu, 2005
- n°22 Du bloc opératoire au cockpit d'un avion de ligne, 2006

Les Forums / *Forum collections*

- Vol. 1 : Relation homme-machine dans l'aéronautique 1996-1998, 1998
- Vol. 2 : Relation homme-machine dans l'espace 1996-1998, 1999
- Vol. 3 : Intégration homme-systèmes dans l'aéronautique 1998-2003, CDRom, 2004

Ouvrages de culture aéronautique / *General works*

- Le Nouveau Dédale, de Jean-Jacques Rousseau, 1801, réédition 1987
- Les Progrès de l'aviation par le vol plané, de F. Ferber, 1907, réédition 1987
- La Vie de l'avion commercial, sous la direction de P. Vellas, 1990
- Au temps de Clément Ader, sous la direction de P. Lissarrague, 1994
- Espace, science et médecine, 1994
- Coopération internationale entre industries aéronautiques et spatiales / *International cooperation between aerospace industries*, 1995
- Lettre-préface par Robert Esnault-Pelterie à l'Histoire Comique ou Voyage dans la Lune de Cyrano de Bergerac, réédition 1997
- Impact de la flotte aérienne sur l'environnement atmosphérique et le climat, rapport en collaboration avec l'Académie des sciences, 1997
- Joseph Czinczenheim tel que nous l'avons connu. Témoignages, 1998
- Ciels des Hommes, anthologie, choix et présentation des textes par Lucien Robineau, le cherche midi éditeur, 1999
- Henri Ziegler : Hommages et témoignages, 1999
- Un système de positionnement "Galileo"; un enjeu stratégique, scientifique, technique, 2003, *mise à jour 2008* / *A positioning system, Galileo: strategic, scientific and technical stakes* (2004)
- Dictionnaire historique des Français du Ciel, le cherche midi éditeur, 2005

Dossiers

Pour la liste des dossiers, voir page 3. *For our bilingual dossiers series, please see page 3.*

Lettre / *Newsletter*

Lettre d'actualité bimestrielle qui fournit des informations sur nos activités ainsi qu'un article de fond sur un thème spécifique.

Two-monthly publication giving the latest news on our activities together with an in-depth article on a specific theme.

Abonnement / *Subscription*

Un abonnement permet de recevoir toutes les publications de l'Académie, ainsi qu'une information sur ses activités (colloques, conférences et autres manifestations), auxquelles on peut participer à des conditions préférentielles. Pour en savoir plus, vous pouvez vous adresser au secrétariat (+33 534 25 03 80 – publications@anae.fr) ou consulter notre site internet: www.anae.fr.

You can receive all the year's publications by subscription, as well as full information on our various activities. Please contact our secretarial staff for details (+33 534 25 03 80 – publications@anae.fr) or consult our website www.anae.fr.

*Imprimé par le Service Édition
École Nationale de l'Aviation Civile
7 avenue Édouard Belin - BP 54005
31055 TOULOUSE CEDEX 4*

Les systèmes spatiaux tiennent une place de plus en plus importante dans la vie quotidienne des sociétés modernes, dans le renseignement stratégique, dans la conduite des opérations militaires conventionnelles.

Il n'est donc pas surprenant que les systèmes spatiaux puissent devenir des cibles privilégiées en cas de conflit entre grandes puissances et l'espace un nouveau milieu d'affrontement.

Après avoir fait l'inventaire de l'ensemble des menaces qui pèsent sur les systèmes spatiaux, de leur réalité technique et du contexte dans lequel elles pourraient se matérialiser, le présent dossier, établi par la commission Défense de l'Académie de l'Air et de l'Espace, présente les mesures de protection envisageables et se termine par trois recommandations à mettre en œuvre dans le cadre européen.

Space systems play a greater and greater role in the everyday life of modern societies, in strategic intelligence and conventional military operations.

It is hardly surprising then that space systems could become strategic targets in the event of conflict between the major space powers, and space a new battlefield.

The present dossier, drawn up by the Defence Commission of the Air and Space Academy, first draws up an inventory of all threats, assessing their technical feasibility and the conditions under which they could materialise, before presenting the available protective measures; it concludes with three recommendations to be implemented within a European framework.

ACADÉMIE DE L'AIR ET DE L'ESPACE

Ancien Observatoire de Jolimont

BP 75825 - 31505 Toulouse cedex - France

Tel : +33 (0)5 34 25 03 80 - Fax : +33 (0)5 61 26 37 56

Email: anae@anae.fr - Internet: www.anae.fr