



Assemblée générale

Distr. GÉNÉRALE

A/AC.105/593/Add.3*
7 février 1995

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMITÉ DES UTILISATIONS PACIFIQUES
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHÉRIQUE

RECHERCHE NATIONALE SUR LA QUESTION DES DÉBRIS SPATIAUX
SÛRETE DES SATELLITES ÉQUIPÉS DE SOURCES D'ÉNERGIE NUCLÉAIRES
PROBLÈMES RELATIFS A LA COLLISION DE SOURCES D'ÉNERGIE NUCLÉAIRES
AVEC DES DÉBRIS SPATIAUX

Note du Secrétariat

Additif

1. Le Secrétaire général a adressé une note verbale, datée du 13 juillet 1994, à tous les Etats Membres, les invitant à communiquer des informations sur la recherche nationale sur la question des débris spatiaux, la sûreté des satellites équipés de sources d'énergie nucléaires et les problèmes relatifs à la collision de sources d'énergie nucléaires avec des débris spatiaux.
2. Le présent document contient les renseignements fournis dans les réponses reçues d'Etats Membres entre le 3 et le 7 février 1995.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
RÉPONSES REÇUES DES ÉTATS MEMBRES	2
Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord	2

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

RÉPONSES REÇUES DES ÉTATS MEMBRES
ROYAUME-UNI DE GRANDE-BRETAGNE ET D'IRLANDE DU NORD

[Original : Anglais]

A. Mesures prises par le Royaume-Uni pour réduire les débris spatiaux

Le Royaume-Uni a conscience de la nature unique de l'altitude géosynchrone et de la nécessité de préserver cette ressource mondiale en vue de sa mise en valeur et de son exploitation.

De ce fait, la famille des satellites de communications géosynchrones Skynet, placée sous le contrôle du Royaume-Uni, répond aux spécifications opérationnelles suivantes :

- Pour tous les satellites actuellement en orbite, une réserve de carburant est prévue pour permettre une manoeuvre à triple impulsion vers une orbite circulaire, dont l'altitude minimale est de 150 km au-dessus de l'orbite des satellites géostationnaires, à la fin de la vie opérationnelle des satellites; et
- Pour les futures séries de satellites, les spécifications seront les suivantes : aptitude à atteindre une altitude minimale de 500 km au-dessus de l'orbite des satellites géostationnaires, au moyen d'une manoeuvre similaire à triple impulsion à la fin de la vie opérationnelle.

Dans tous les cas, afin d'éliminer les risques d'explosion, des procédures opérationnelles appropriées seront établies pour rendre passifs tous les sous-systèmes énergétiques lorsque le satellite a été placé sur une orbite de rebut.

B. Justification des risques imputables aux systèmes à énergie nucléaire dans l'espace

Il est jugé inévitable que la révision des principes relatifs à la sûreté des sources d'énergie nucléaires (SEN) dans l'espace incorpore le principe de la justification, condition essentielle pour satisfaire aux recommandations de la CIPR et à l'un des postulats des principes de l'AIEA en matière de sûreté nucléaire. Après un débat sur les problèmes en jeu, il est conclu que, sous réserve de confirmation que la convention sur la responsabilité dans l'espace s'applique à tous les pays subissant un dommage, on peut plausiblement arguer, en fonction de critères qualitatifs, que le principe de la justification doit être appliqué pour les missions considérées par ailleurs comme acceptables. Il est proposé que la justification quantitative de toutes les futures missions spatiales utilisant des SEN soit présentée au Comité, en attendant l'instauration par consensus, à l'échelon international, d'une culture de la sûreté nucléaire dans l'espace.

1. Introduction

L'adoption par l'Assemblée générale des Principes relatifs à l'utilisation de sources d'énergie nucléaires dans l'espace, en décembre 1992 ^{1/}, a constitué l'apogée d'un débat de plus de dix ans. Les nombreux pays qui ont participé à ce débat ont présenté des avis très divers, rendant un consensus difficile. Les importants compromis qu'il a fallu accepter pour arriver à un consensus ont conduit l'Assemblée générale à décider simultanément d'entamer un processus de révision.

Le problème que pose l'élaboration de principes liés à la sûreté nucléaire dans l'espace est assez différent du problème qui se pose sur la Terre. Les SEN spatiales constituent un danger potentiel pour tous les pays se situant en dessous de leur orbite, alors que, pour les SEN terrestres, le danger est dans une large mesure limité au pays d'origine - les exceptions ont été traitées dans diverses conventions 2/, 3/, 4/, 5/, 6/ et dans des accords bilatéraux. La Convention sur la sûreté nucléaire 6/ promulguée en 1994 sous l'égide de l'AIEA, a reçu un large appui, mais elle est expressément limitée aux centrales nucléaires civiles au sol.

Parmi les problèmes recensés en ce qui concerne les Principes relatifs à l'utilisation de SEN dans l'espace, on notera l'exclusion d'aspects importants tels que la propulsion nucléaire; l'utilisation dans ces Principes de termes technologiques qui deviennent dépassés au fur et à mesure que la technique progresse; et une certaine incompatibilité avec les principes mieux conçus relatifs à la sûreté des SEN terrestres. Bien qu'il n'y ait pas encore de consensus sur le cadre à retenir pour l'ensemble révisé de principes, il semble inévitable qu'une révision doive inclure le principe de la justification, c'est-à-dire la nécessité de démontrer les avantages nets de l'utilisation de SEN dans l'espace. Cette exigence d'une justification des risques est fondamentale pour les Principes relatifs à la protection radiologique promulgués par la CIPR 8/ et elle est reprise dans les considérations de l'AIEA relatives à la sûreté nucléaire 9/.

La mesure dans laquelle l'exigence de la justification peut être satisfaite est présentée ici en termes qualitatifs. Il apparaîtra que cette approche permet de démontrer que, pour un large éventail de missions spatiales, les risques liés à l'utilisation de SEN sont probablement justifiés par les avantages. Cela n'exclut pas qu'il soit nécessaire de procéder à une évaluation quantitative des risques et des avantages pour chaque mission spatiale ou classe de mission, dans le cadre d'une culture de la sûreté acceptable 7/, afin de démontrer que le bilan net est positif.

2. La notion de justification

Les pionniers de la technologie acceptent invariablement des risques importants. Les débuts des moteurs à vapeur, des chemins de fer, de l'électricité, de la radiographie, des transports aériens, etc., ont fait bien des morts et des blessés parmi ces pionniers, voire parmi le public. Au fur et à mesure que ces technologies mûrissent et que leurs applications s'élargissent, l'opinion publique exige que l'on réduise sensiblement les risques. C'est ainsi qu'ont été élaborés des principes généraux relatifs à la sûreté auxquels doivent se conformer toutes les technologies.

L'exploration spatiale suit une tendance similaire, mais l'on a réduit les risques au minimum dès le début car il existait déjà une culture de la sûreté fondée sur les technologies en usage. Des précautions supplémentaires ont été prises à la suite d'incidents mortels durant le lancement d'engins spatiaux, la collectivité s'inquiétant des risques courus par les professionnels et par la population dans son ensemble.

Le retour régulier d'objets orbitaux n'est en général pas perçu comme un risque inacceptable; nombre de ces objets brûlent dans l'atmosphère et les objets plus importants pouvant heurter la surface de la Terre sont si peu nombreux que l'on ne perçoit pas cette situation comme un problème important. Même l'arrivée en Australie d'une cinquantaine de tonnes de Skylab en 1979 n'a pas suscité un mouvement général de protestation, malgré une certaine frénésie des médias.

Par contraste, le risque lié à l'utilisation de sources d'énergie nucléaires dans l'espace suscite des inquiétudes à l'échelon international, inquiétudes déclenchées par l'arrivée de COSMOS 954 sur le sol canadien en 1978. Ces inquiétudes ont sans aucun doute été exacerbées par la perception du risque lié aux systèmes nucléaires terrestres, malgré l'excellente sûreté qu'offrent les systèmes nucléaires spatiaux.

La protection radiologique 8/ et la sûreté de l'énergie nucléaire 9/ sont des disciplines internationales très développées pour les applications terrestres. Les incidences de ces régimes de sûreté pour les SEN spatiales ont déjà été examinées 7/, ce qui a permis de déterminer une approche qui à la fois généralise les principes actuels en matière de sûreté et améliore leur compatibilité avec les mécanismes établis pour les sources terrestres. Toutefois, quelque approche que l'on retienne pour réviser les Principes relatifs à l'utilisation de SEN dans l'espace, une exigence fondamentale, découlant des travaux de la CIPR 8/ de l'AIEA 9/, doit être retenue : le principe de la justification, c'est-à-dire la démonstration du fait que les risques sont pleinement compensés par les avantages. Les principes parallèles, aux termes desquels les risques doivent se situer dans des limites acceptables et doivent être aussi faibles qu'il est raisonnablement possible ne sont pas examinés ici.

Ce n'est qu'après la publication du rapport de la Commission (CIPR-26) en 1977 10/ qu'on a recommandé l'adoption officielle d'un principe de justification, à côté des autres grands principes de limitation et d'optimisation - une pratique ne sera adoptée que si le bilan net de son introduction est positif. Avant cela, l'absence de données quantitatives sur les risques liés aux rayonnements avait incité la CIPR à se limiter à la définition de la dose acceptable, mais le principe logique qui consiste à justifier les risques par les avantages retirés était implicite dans certains débats de la Commission.

Dans les recommandations promulguées en 1990 (publication 60 de la CIPR) 8/ on a utilisé un libellé plus étendu - aucune pratique faisant intervenir une exposition aux rayonnements ne devrait être acceptée à moins qu'elle ne produise pour les personnes exposées ou pour la société un avantage suffisant pour compenser le détriment radiologique causé. De façon analogue, en raison de l'évolution des normes internationales sur la sûreté des installations nucléaires, qui a trouvé une expression dans le rapport de l'AIEA sur les Fondements de la sûreté, lequel a fait l'objet d'un consensus en 1993 9/, le principe de l'équilibre à ménager entre les risques encourus et les avantages retirés a été admis. L'objectif général de sûreté nucléaire qui est de "protéger les individus, la société et l'environnement ... contre les risques radiologiques", exige la mise en place de systèmes nationaux de protection pour être appliqué : ceux-ci sont généralement fondés sur les recommandations de la CIPR ou leur équivalent.

L'interprétation détaillée du principe de justification exige la prise en compte de situations où une partie ou la totalité des personnes encourageant le risque ne profite guère, ou pas du tout, des avantages, ce qui peut, du moins en principe, se produire dans le cas des SEN dans l'espace. Quelques conseils sur la façon de ménager un équilibre entre les risques et les avantages sont donnés par la CIPR. Ce principe ne se justifiant toutefois que si le détriment pour chaque personne ne dépasse pas un niveau acceptable 10/ - et par l'AIEA où il est admis que dans la pratique internationale actuelle, les installations nucléaires ne présentent que des risques légèrement supérieurs au regard des risques présentés par des activités industrielles comparables. En outre, les considérations liées à la souveraineté nationale donnent à penser que le principe de justification devrait être appliqué dans chaque pays. D'une façon générale, il ne semble pas acceptable que l'on impose des risques à un pays sans qu'il n'en tire aussi des avantages en proportion.

Pour satisfaire au principe de justification des SEN dans l'espace, il apparaît nécessaire, non seulement que le bilan net soit positif, mais aussi qu'à l'intérieur de chaque pays encourageant le risque, les avantages soient suffisants pour justifier ce risque. Il semble aussi indispensable que, même à l'intérieur d'un pays, toute personne qui ne retire aucun avantage ne soit soumise qu'à un niveau négligeable de risque : dans la pratique, étant donné le faible niveau de risque présenté par les SEN dans l'espace, cette condition ne devrait pas être difficile à remplir.

3. Justification du risque global

Aux fins de ce débat, on exclura les risques présentés par les lancements de satellite. Ces risques sont principalement supportés par l'organisation chargée du lancement et ils sont spécifiques à la mission. Dans la pratique, le risque global présenté du lancement peut être très faible en fonction de la trajectoire de lancement choisie et, d'une façon générale, il ne constitue pas un motif de préoccupation important pour la communauté internationale. Il devrait être pris en compte pour la sécurité de la mission en général. On se limite ici aux objets en orbite.

Actuellement, il y a plus de 7 000 objets détectables (>10 cm) en orbite autour de la Terre, dont la vaste majorité sont des débris provenant de missions passées. Tous sont destinés à rentrer dans l'atmosphère à un moment ou à un autre dans l'avenir et une faible proportion d'entre eux passera la barrière thermique en s'approchant de la surface de la Terre. Tous les points situés à une latitude inférieure ou égale à l'inclinaison orbitale risquent l'impact d'un objet retournant sur la Terre. Puisque que la plupart des objets répertoriés ont des inclinaisons orbitales comprises entre 60° et 110° (fig. I), la plupart des pays courent le risque d'impact d'un débris lors du retour sur Terre.

La sous-population des SEN en orbite connues comprend 45 objets provenant de la série de satellites COSMOS. Tous ont des inclinaisons orbitales proches de 65° (entre 64,4° et 65,8°) et peuvent donc potentiellement produire un impact dans presque tous les pays. La probabilité du retour des SEN sur Terre à une latitude particulière se traduit par une courbe de distribution (fig. II) qui culmine pour une inclinaison orbitale proche de 65°. Les orbites sont quasi circulaires, d'une excentricité maximale de 0,0086, avec une apogée comprise entre 635 et 937 km, ce qui correspond à des durées de vie orbitale d'environ 60 à 600 années, sauf collision avec des débris ou autres interférences extérieures. L'effet sur la durée de vie orbitale de collisions avec des débris peut être d'une très grande importance pour le risque lié au retour sur Terre; il reste à l'évaluer en termes quantitatifs, tâche qui n'entre pas dans le cadre du présent débat.

Une indication des risques encourus est fournie par l'expérience du retour dans l'atmosphère de Cosmos 954 11/ qui a répandu des particules radioactives et des objets de plus grande taille sur quelque 100 000 km². Le problème du nettoyage en vue d'autres rentrées doit se présenter d'une façon tout à fait différente pour Cosmos 954 : les débris pourraient être déposés dans un emplacement bien moins éloigné, mais la densité de la population pourrait être bien plus élevée et peut-être entraîner des accidents mortels. Il semble raisonnable d'estimer à environ 10 millions de dollars le coût moyen de la rentrée. Si l'on tient compte du fait qu'une fraction des rentrées se produit au-dessus de la haute mer, le coût de la rentrée pour les 45 SEN actuellement en orbite pourrait être de l'ordre de 100 millions de dollars, réparti sur plusieurs siècles.

On ne peut pas vraiment douter que les avantages globaux du programme spatial dépassent considérablement les risques encourus de la population mondiale. Les budgets annuels

d'organisations telles que l'ESA (3 milliards d'ECU) et de la NASA (14 milliards de dollars) donnent une idée de l'importance attachée aux activités spatiales. Pour les missions de recherche et d'exploration, l'effet des accidents et les risques opérationnels courants n'ont pas empêché de poursuivre activement ces programmes en dépit des délais permettant de remédier à certains risques spécifiques encourus au cours de ces missions. On a estimé que les avantages tirés par le monde entier de l'application ultérieure des connaissances acquises lors de ce genre de mission justifient amplement les risques encourus. D'une façon plus générale, les risques encourus par les investissements pour la recherche et l'exploration sont largement acceptés parce qu'ils sont justifiés par les avantages retirés à long terme des connaissances nouvellement acquises.

Toutefois, dans l'avenir, la majorité des investissements effectués pour les systèmes spatiaux et donc la plus grande partie des risques encourus, aura trait aux missions de recherche appliquée destinées à exploiter les résultats de la recherche à des fins pratiques. Dans une culture moderne axée sur la sécurité, chaque mission ou chaque type de mission devrait produire un avantage global supérieur aux risques encourus. Dans la plupart des cas, ceci ne devrait pas présenter de difficultés.

Ainsi, on a tiré d'énormes avantages de l'avènement des satellites de communication, y compris de la radiodiffusion directe à partir des satellites; on a retiré des avantages considérables de l'amélioration des prévisions météorologiques; et les satellites servant à l'observation de la Terre ont pleinement justifié les risques encourus par la population mondiale. Les principales exceptions à cette justification sont les activités proposées qui en entraveraient d'autres en polluant l'environnement spatial.

Les SEN n'ont servi que dans une petite partie des missions spatiales et les risques nucléaires n'ont donc pas constitué un problème pour justifier la plupart des missions. En raison du coût et de la complexité des SEN, on les a utilisées seulement dans les situations où une autre solution était insatisfaisante sur le plan technique - essentiellement pour l'exploration extraterrestre et dans les missions liées à la défense. Alors qu'avec du recul, les risques collectifs associés à ces missions - essentiellement le coût du nettoyage de Cosmos 954 plus les coûts futurs de la rentrée des SEN de Cosmos encore en orbite - ne pouvant être universellement considérés comme l'emportant sur les avantages, il n'y a en principe pas de raison pour que le bilan des futures missions SEN ne soit nettement positif.

Ceci peut être obtenu par exemple soit en ménageant un retour intact dans l'atmosphère, soit en faisant échapper les débris à l'orbite terrestre pour qu'une émission radioactive ne se produise seulement qu'en cas d'accident improbable. L'approche du retour intact dans l'atmosphère a été utilisée dans le cas des générateurs thermoélectriques radio-isotopiques (GTR) : une émission n'est possible que dans des circonstances improbables et elle peut être confinée à une zone relativement limitée permettant une décontamination simple. Le retour dans l'atmosphère a été envisagé pour un réacteur SEN, mais des problèmes considérables ne sont pas encore résolus : pour ce qui est de la propulsion interplanétaire, il sera moins difficile de justifier l'utilisation d'un réacteur SEN.

4. Justification nationale

Comme il a été noté plus haut, pour satisfaire au principe de justification, il semble aussi nécessaire de montrer que dans chaque pays les avantages suffisent à justifier les risques. A cet effet, il convient donc d'examiner plus en détail chacune des classes de missions.

L'application la plus répandue de la technologie spatiale se situe probablement dans le domaine des télécommunications. L'Union internationale des télécommunications (UIT), qui dispose d'un budget annuel d'environ 150 millions de francs suisses, compte quelque 170 pays membres (tableau 1). Les avantages que ceux-ci retirent de l'utilisation de cette technologie sont très appréciables, mesurés à l'investissement consenti, quoique ces avantages ne soient pas distribués de façon uniforme. Par exemple, certains pays peuvent effectivement se prévaloir de possibilités, comme la télédiffusion directe par satellite, tandis que d'autres n'ont pas les infrastructures et les ressources d'investissement qui leur permettraient de s'engager dans des applications plus exigeantes de la technologie des télécommunications. Actuellement, aucun des satellites concernés ne fait usage de SEN. Toutefois, si cette évolution apparaissait souhaitable, soit pour obtenir des signaux plus puissants, davantage de canaux et une plus longue vie utile, il serait probablement possible de démontrer que le bilan net serait positif pour chacun des pays membres de l'UIT, même compte tenu d'une rentrée dans l'atmosphère à terme (quoique longuement retardée).

La météorologie est un autre des domaines qui appliquent largement la technologie satellite. Celle-ci a permis de réaliser des percées importantes, aussi bien en rendant disponibles des informations détaillées sur l'atmosphère que dans le domaine de la fiabilité des prévisions. L'Organisation météorologique mondiale (OMM), dont le budget annuel est d'environ 60 millions de francs suisses, compte quelque 170 pays membres (tableau 1) équipés d'environ 700 stations au sol de réception des données satellites. Ici aussi les SEN ne sont pas d'usage courant pour alimenter les applications spatiales météorologiques, pas plus que les avantages de ces applications ne sont uniformément distribués, mais il semble probable, vu l'ordre de grandeur des investissements, que chacun des pays membres de l'OMM percevrait le bilan net de l'utilisation de SEN comme positif si cette utilisation apparaissait souhaitable dans l'avenir pour des motifs techniques.

Si dans l'avenir les possibilités de surveillance en vue de prévenir les catastrophes étaient exploitées en utilisant des SEN, la situation pourrait être plus délicate. L'étude GEOWARN 12/ a montré que les catastrophes naturelles ont un coût annuel pour l'économie mondiale qui avoisine les 100 milliards de dollars. Les mesures préventives et les secours en cas d'inondation, de cyclone, de sécheresse, de séisme, d'éruption volcanique et de destruction des récoltes par la maladie ou les infestations de ravageurs ont été estimés pouvoir générer des avantages qui l'emporteraient facilement sur le risque global résultant de l'utilisation de SEN dans les satellites qui fourniraient les données nécessaires. Toutefois, ces bénéfices se concentreraient principalement sur une trentaine de pays identifiés dans cette étude comme les plus exposés à ce type de catastrophes (colonne 6 du tableau 1), tandis que les risques seraient étalés sur de nombreux autres pays pour lesquels la justification serait difficile à établir.

L'exploration du système solaire représente une classe de missions dans lesquelles les SEN ont été largement utilisées. Ces missions ont spectaculairement enrichi nos connaissances, notamment des planètes extérieures, et n'auraient pas été possibles sans l'utilisation généralisée de GTR. Si ces missions automatisées devaient être suivies par des missions humaines, même en direction des planètes proches, il semble probable que la production énergétique supérieure que permettent les réacteurs nucléaires sera nécessaire. La justification globale des risques encourus par les avantages à long terme que l'on peut escompter de la recherche et de l'exploration devrait en principe pouvoir se faire à l'échelon national, sous réserve que les résultats soient publiés.

Une autre façon d'aborder la justification du risque par les pays, individuellement, étant entendu que la justification globale est adéquate, consiste à invoquer l'argument *de minimis*. Dans

une communication antérieure 7/ il a été suggéré que les risques annuels pour l'individu inférieurs à 10^{-7} ou, pour un groupe cohérent de N personnes, inférieurs à $10^{-7}/\sqrt{N}$, sont insignifiants et peuvent être négligés. A ce niveau, le risque radiologique résultant de l'utilisation de SEN ne serait pas décelable, dans aucun pays, et pourrait donc être considéré comme acceptable. (En revanche, la rentrée d'éléments massifs de débris, nucléaires ou non, présente des risques physiques et pourrait provoquer des décès directement imputables.)

Pour ce qui est des 45 sources COSMOS toujours en orbite, la dernière colonne du tableau 1 indique le nombre approximatif de rentrées sur le territoire de chacun des pays, en fonction des probabilités de rentrée par latitude indiquées à la figure 2. (Il n'a pas été tenu compte de la superficie de l'empreinte de rentrée. Celle-ci pourrait être appréciablement inférieure à celle de COSMOS 954, en raison de la longue période de décroissance de la radioactivité, mais pourrait dépasser la superficie des pays les plus petits et donc accroître la probabilité d'un impact de rentrée.) On estime que le plus grand nombre de rentrées devrait se faire en Russie (environ 5) et au Canada (de l'ordre de 2 ou 3) en raison de leur grande superficie territoriale sous la latitude la plus probable de rentrée. Les pays pour lesquels la probabilité d'un impact de rentrée est supérieure à environ 40 % sont les Etats-Unis, la Chine, le Brésil et l'Australie, tandis que pour 10 autres pays la probabilité d'impact de rentrée est supérieure à environ 10 %. Il y a ensuite une baisse très progressive de la probabilité pour les pays restants. Dans l'hypothèse où chaque rentrée est décelable et où l'opération de récupération s'effectue aussi efficacement que pour COSMOS 954, le risque pour les membres du public, individuellement, semble selon toute probabilité devoir être inférieur à un niveau *de minimis* raisonnable. Toutefois, des exceptions pourraient se présenter dans les communautés rurales reculées, si des éléments de haute activité et de grande taille étaient récupérés par des mains non averties.

En ce qui concerne la mission Cassini vers Saturne dont le lancement est prévu pour octobre 1997, le projet de déclaration d'impact sur l'environnement 13/ indique que la justification des risques pourrait se faire en invoquant l'argument *de minimis*. En ce qui concerne la trajectoire préférentielle Vénus-Vénus-Terre-Jupiter à gravidévation, avec une fusée Titan IV équipée d'un moteur fusée amélioré à combustible solide et d'un étage supérieur Centaure, le risque postlancement proviendrait d'une rentrée par inadvertance pendant le contournement terrestre, dont la probabilité est estimée à $7,6 \times 10^{-7}$. Dans l'hypothèse où cela se produirait, le nombre des décès supplémentaires par cancer résultant du dégagement de plutonium 238 des trois GTR embarqués devrait être de 2 300, étalés sur plusieurs décennies, dans une population de 5 milliards de personnes. En termes statistiques, la probabilité avant lancement d'un décès unique est le produit de ces deux facteurs, à savoir $1,7 \times 10^{-3}$. Le risque individuel moyen est de $3,4 \times 10^{-13}$, résultat de la division par le nombre des individus exposés. Le risque individuel le plus élevé est estimé être 8×10^{-9} , tandis que tous les risques sont réduits d'environ deux ordres de grandeur si l'on néglige les doses individuelles inférieures à 10^{-5} Sv. Il apparaît clairement que le risque global pour l'individu serait inférieur aux niveaux *de minimis*.

Pour résumer, on peut plausiblement justifier le risque présenté par l'utilisation de SEN pour beaucoup de classes importantes de missions, pour la plupart des pays. Pour une minorité de pays, le risque peut ne pas être justifié pour certaines classes de mission, car il n'en dérive que peu ou pas d'avantages, quoique ce problème puisse être éliminé dans la plupart des cas si l'argument *de minimis* est jugé acceptable. Toutefois, certaines classes de missions pourraient être difficiles à justifier.

Avant de clore ce débat, il convient de tenir compte de ce qui résulte des dispositions internationales en matière de responsabilité civile et qui permet de satisfaire aux principes de justification.

5. Responsabilité civile

Pour satisfaire au principe de justification, il faut peser les conséquences improbables en regard des avantages, jusque dans un futur lointain. La situation est bien différente lorsque des SEN spatiales retombent effectivement à la surface de la terre. Ces retombées peuvent avoir des conséquences effectives pour les personnes et pour l'environnement à proximité du point d'impact, et entraîner des coûts de nettoyage et de remise en état pour lesquels un dédommagement peut être demandé.

Le premier accord international portant sur la responsabilité pour les dommages nucléaires dans les pays tiers est la Convention de Paris de 1960 2/, élargie par la Convention de Bruxelles de 1963 3/, les textes ayant été élaborés sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE pour faciliter les échanges nucléaires internationaux. La Convention de Vienne de 1963 sur la responsabilité civile en matière de dommages nucléaires, élaborée par l'AIEA 4/, a une portée analogue. La situation a été quelque peu rationalisée par l'introduction du Protocole conjoint de 1988 5/, qui reliait les Conventions de Paris et de Vienne et combinait en pratique les deux ensembles de dispositions. Toutefois, le débat international se poursuit quant à savoir si ces conventions sont appropriées en ce qui concerne les SEN terrestres 14/, et il est douteux que l'une ou l'autre puisse porter sur les activités nucléaires spatiales - la propulsion nucléaire étant effectivement exclue par des dispositions relatives aux navires à propulsion nucléaire. En outre, on compte parmi les pays qui ne sont pas parties à ces conventions la Chine, les Etats-Unis, la France, l'Inde, le Royaume-Uni, la Russie et l'Ukraine. Quiconque voudrait donc être dédommagé de la rentrée d'une SEN devrait donc invoquer la Convention de 1972 sur la responsabilité internationale pour les dommages causés par des objets spatiaux 15/.

Cette dernière Convention a été adoptée par l'Assemblée générale des Nations Unies le 29 novembre 1971 et elle est entrée en vigueur le 1er septembre 1972. Environ 70 pays y ont adhéré (mars 1994) en déposant des instruments de ratification ou d'adhésion auprès des Etats dépositaires (Russie, Royaume-Uni, Etats-Unis) et près de 30 autres pays l'ont signée, mais pas encore ratifiée. Les Etats parties à la Convention sont convenus que tout Etat de lancement a la responsabilité absolue de verser réparation pour les dommages causés par ses objets spatiaux tant à la surface de la Terre qu'à des aéronefs en vol. Des dispositions prévoient les lancements en commun, les dommages causés à d'autres objets spatiaux et le refus de convenir de la portée de la responsabilité. Des exceptions sont prévues pour les cas de négligence grave ou d'omission délibérée par le requérant, ainsi qu'en ce qui concerne les dommages subis par les ressortissants de l'Etat lanceur ou par des ressortissants étrangers participant au lancement.

A l'échelon global, les dispositions de la Convention sur la responsabilité ne sont d'aucun secours pour satisfaire au principe de justification. Le règlement d'une demande en réparation au titre de la Convention ne fait que transférer le coût d'une partie à une autre, sans accroître l'avantage global cumulé. Mais, en ce qui concerne la justification nationale, le fait que tout dommage éventuel puisse faire l'objet d'une compensation financière pourrait peser de façon déterminante dans le bilan des risques et des avantages perçus par un pays individuellement. De

fait, ce facteur supprime d'éventuels coûts annexes de l'équation nationale, de telle sorte que tout avantage, même minime, se transforme en élément positif net.

Il reste encore à traiter de deux aspects en ce qui concerne la justification nationale. Premièrement, il continue de sembler nécessaire de limiter le niveau du risque pour les tiers, même si un dédommagement intégral est garanti. Le décès de personnes, ou les lésions qu'elles pourraient subir et/ou les dommages subis par les biens du fait d'une rentrée ont un caractère traumatique pour les personnes concernées, et il serait inacceptable que le fait se produise fréquemment. Limiter le risque à un niveau *de minimis* représenterait un degré approprié de protection, conformément aux directives énoncées par la CIPR citées plus haut. Deuxièmement, il n'apparaît pas absolument clairement que la Convention sur la responsabilité s'applique aux requérants non parties à la Convention ou qui n'ont ratifié celle-ci que postérieurement aux dommages causés par une rentrée. Aucune de ces possibilités ne semble être exclue par le texte de la Convention, mais il serait prudent d'inviter le Sous-Comité juridique à éclaircir ce point.

6. Conclusions

On considère comme inévitable que toute révision des principes de sûreté applicables aux SEN dans l'espace doit incorporer le principe de justification, à savoir démontrer que l'on escompte des avantages pour les individus et pour la société qui suffisent à compenser les risques inhérents à l'opération. A l'échelon global, il est plausible que les avantages collectifs qualitatifs que pourrait tirer la population mondiale de missions de différentes natures - télécommunication, météorologie, surveillance de la Terre, recherche et exploration - sont suffisants pour justifier le risque cumulatif, même si les satellites utilisés devaient embarquer des SEN, ce qui n'est aucunement la règle actuellement. Exceptionnellement, il est des missions qui ne répondent pas au critère global du bilan net positif : pour les exemples que l'on connaît, le fait est conforme à l'opinion admise.

Outre la justification globale, on estime qu'il est nécessaire d'établir une justification nationale pour chaque pays exposé au risque. Il semble peu probable, pour la plupart des classes de missions, que ce critère puisse être satisfait pour tous les pays - inévitablement, il y aura des pays qui seront exposés à un risque plus élevé et ne pourront escompter que trop peu d'avantages - sauf si les dispositions de la Convention sur la responsabilité compensent efficacement les risques et sous réserve que le niveau de risque soit suffisamment faible. Cette dernière condition ne semble guère poser de problème et elle est, comme observé plus haut, de toute façon souhaitable pour lever toute difficulté résultant de la distribution des avantages à l'intérieur d'un même pays. Il semble toutefois souhaitable de saisir le Sous-Comité juridique de la validité de la Convention sur la responsabilité dans le cas des pays non parties à la Convention ou qui l'ont ratifiée postérieurement aux dommages subis sur leur territoire du fait d'une SEN embarquée dans l'espace.

Il reste à traiter de la question de l'approbation internationale de la justification des missions futures comportant des SEN spatiales. En attendant que la culture de sûreté en ce qui concerne les SEN spatiales soit portée à l'échelon international 7/, il est proposé que la justification des missions nucléaires spatiales futures, faisant la preuve quantitative d'un bilan net positif, soit soumise au Sous-Comité scientifique et technique préalablement au lancement.

Figure I. Répartition d'inclinaisons orbitales dans la population des objets catalogués

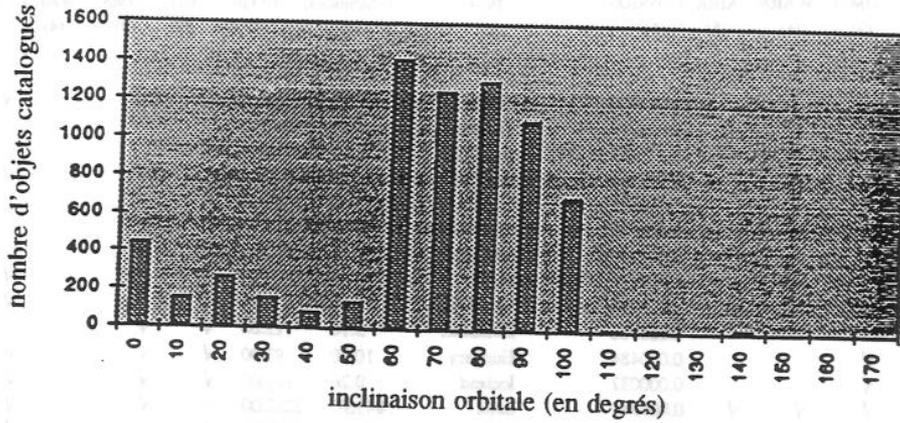


Figure II. Probabilité de rentrée des satellites à SEN en fonction de la latitude

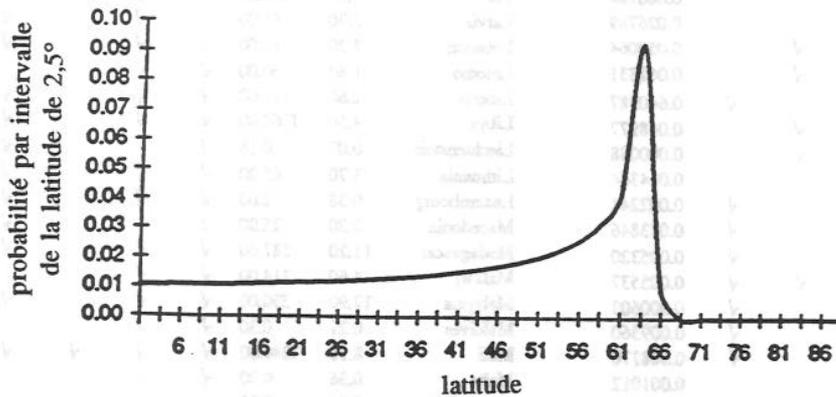


Tableau 1
Pays membres d'organisations internationales s'occupant d'activités spatiales et nucléaires
et risques approximatifs d'impact d'engins spatiaux à SEN

Pays	Population (en millions d'habitants) (1)	Super- ficie 10 ³ km ² (2)	UTT (3)	OMM (4)	GEO WARN (5)	AIEA (6)	Rentrée de SEN- COSMOS (7)	Pays	Population (en millions d'habitants) (1)	Super- ficie 10 ³ km ² (2)	UTT (3)	OMM (4)	GEO WARN (5)	AIEA (6)	Rentrée de SEN- COSMOS (7)
Afghanistan	16.40	652.00	✓	✓		✓	0.041728	Greece	10.30	132.00	✓	✓		✓	0.009900
Albania	3.30	29.00	✓	✓		✓	0.002378	Greenland	0.06	2175.00					0.304500
Algeria	25.00	2382.00	✓	✓	✓	✓	0.135774	Grenada	0.11	0.30	✓				0.000013
Angola	10.00	1247.00	✓	✓	✓		0.054868	Guatemala	9.20	109.00	✓	✓	✓	✓	0.005014
Antigua-Barb.	0.08	0.40	✓	✓			0.000019	Guinea	5.80	246.00	✓	✓			0.010578
Argentine	32.60	2767.00	✓	✓	✓		0.190923	Guinea-Bis.	0.96	34.00	✓	✓			0.001496
Armenia	3.30	30.00	✓	✓		✓	0.002340	Guyana	0.99	212.00	✓	✓			0.009116
Australia	17.10	7687.00	✓	✓		✓	0.407411	Haiti	6.50	78.00	✓	✓		✓	0.001344
Austria	7.80	84.00	✓	✓		✓	0.008820	Holy See	0.00	0.00	✓			✓	0.000000
Azerbaijan	7.00	87.00	✓				0.006786	Honduras	5.10	112.00	✓	✓			0.005040
Bahamas	0.25	11.00	✓	✓			0.000484	Hungary	10.30	93.00	✓	✓		✓	0.009765
Bahrain	0.50	0.60	✓	✓			0.000032	Iceland	0.26	101.00	✓	✓		✓	0.045450
Bangladesh	109.30	144.00	✓	✓	✓	✓	0.007344	India	843.90	3288.00	✓	✓	✓	✓	0.164400
Barbados	0.26	0.40	✓	✓			0.000018	Indonesia	179.30	1905.00	✓	✓		✓	0.081915
Belarus	10.20	208.00	✓	✓		✓	0.035360	Iran	58.00	1648.00	✓	✓		✓	0.088992
Belgium	9.80	31.00	✓	✓		✓	0.003875	Iraq	18.90	438.00	✓	✓		✓	0.028032
Belize	0.19	23.00	✓	✓			0.001058	Ireland	3.50	70.00	✓	✓		✓	0.010850
Benin	4.70	113.00	✓	✓	✓		0.004859	Israel	4.80	21.00	✓	✓		✓	0.001281
Bhutan	1.50	47.00	✓				0.002632	Italy	57.70	301.00	✓	✓		✓	0.027090
Bolivia	7.40	1099.00	✓	✓			0.051653	Jamaica	2.40	11.00	✓	✓	✓	✓	0.000517
Botswana	1.30	582.00	✓	✓			0.029100	Japan	123.60	378.00	✓	✓		✓	0.028350
Brazil	153.30	8512.00	✓	✓			0.425600	Jordan	3.20	89.00	✓	✓		✓	0.005340
Brunei	0.27	6.00	✓	✓			0.000252	Kazakhstan	16.70	377.00	✓	✓		✓	0.326040
Bulgaria	9.00	111.00	✓	✓		✓	0.009435	Kenya	24.00	580.00	✓	✓		✓	0.024360
Burkina Faso	9.00	274.00	✓	✓			0.012056	Kiribati	0.06	0.70	✓				0.000029
Burundi	5.50	28.00	✓	✓			0.001176	Korea DPR	21.80	120.00	✓	✓		✓	0.009240
Cambodia	8.70	181.00	✓	✓		✓	0.007964	Korea Rep.	43.30	99.00	✓	✓		✓	0.006831
Cameroon	11.80	475.00	✓	✓		✓	0.020425	Kuwait	2.60	18.00	✓	✓		✓	0.001026
Canada	26.80	9976.00	✓	✓			2.663592	Kyrgyzstan	4.40	199.00	✓	✓		✓	0.016716
Cape Verde	0.37	4.00	✓	✓			0.000184	Lao	4.10	237.00	✓	✓		✓	0.011139
Cent. Afr. Rep.	3.00	623.00	✓	✓			0.026789	Latvia	2.70	65.00	✓	✓		✓	0.013650
Chad	5.70	1284.00	✓	✓	✓		0.059064	Lebanon	3.20	10.00	✓	✓		✓	0.000640
Chile	13.40	757.00	✓	✓	✓		0.062831	Lesotho	1.80	30.00	✓	✓		✓	0.001740
China	####	9561.00	✓	✓		✓	0.640587	Liberia	2.60	111.00	✓	✓		✓	0.004773
Colombia	33.00	1139.00	✓	✓	✓		0.048977	Libya	4.50	1760.00	✓	✓		✓	0.095040
Comoros	0.55	2.00	✓	✓	✓		0.000088	Liechtenstein	0.03	0.16	✓			✓	0.000017
Congo	2.30	342.00	✓	✓			0.014364	Lithuania	3.70	65.00	✓	✓		✓	0.011700
Costa Rica	3.00	51.00	✓	✓		✓	0.002244	Luxembourg	0.38	2.00	✓	✓		✓	0.000240
Cote d'Ivoire	12.00	322.00	✓	✓		✓	0.013846	Macedonia	2.20	25.00	✓	✓		✓	0.002075
Croatia	4.70	56.00	✓	✓		✓	0.005320	Madagascar	11.20	587.00	✓	✓		✓	0.028176
Cuba	10.60	113.00	✓	✓	✓		0.005537	Malawi	8.60	118.00	✓	✓		✓	0.005310
Cyprus	0.71	9.00	✓	✓		✓	0.000603	Malaysia	17.90	330.00	✓	✓		✓	0.013860
Czech Rep.	10.40	78.00	✓	✓		✓	0.009360	Maldives	0.21	0.30	✓	✓		✓	0.000013
Denmark	5.10	43.00	✓	✓		✓	0.008170	Mali	8.10	1240.00	✓	✓	✓	✓	0.058280
Djibouti	0.41	23.00	✓	✓			0.001012	Malta	0.36	0.30	✓	✓		✓	0.000021
Dominica	0.08	0.70	✓	✓			0.000032	Marshall Is.	0.04	0.20	✓			✓	0.000009
Dom. Rep.	7.20	49.00	✓	✓		✓	0.002352	Mauritania	2.00	1026.00	✓	✓	✓	✓	0.050274
Egypt	57.00	1001.00	✓	✓		✓	0.055055	Mauritius	1.10	2.00	✓	✓		✓	0.000096
El Salvador	5.30	21.00	✓	✓		✓	0.000945	Mexico	81.10	1954.00	✓	✓	✓	✓	0.097900
Ecuador	10.80	284.00	✓	✓	✓	✓	0.011928	Moldova	4.40	34.00	✓	✓		✓	0.003570
Eq. Guinea	0.35	2.00	✓	✓			0.000086	Monaco	0.03	0.00	✓			✓	0.000000
Estonia	1.60	45.00	✓	✓		✓	0.009900	Mongolia	2.10	1565.00	✓	✓		✓	0.162760
Ethiopia	50.80	1222.00	✓	✓	✓	✓	0.053768	Morocco	25.10	447.00	✓	✓		✓	0.027267
Fiji	0.77	18.00	✓	✓	✓		0.000828	Mozambique	15.70	802.00	✓	✓	✓	✓	0.037694
Finland	5.00	338.00	✓	✓		✓	0.084500	Myanmar	39.30	671.00	✓	✓		✓	0.032496
France	56.60	552.00	✓	✓		✓	0.056304	Namibia	1.80	824.00	✓	✓		✓	0.042024
Gabon	1.20	268.00	✓	✓		✓	0.011256	Nauru	0.01	0.02	✓			✓	0.000001
Gambia	0.86	10.00	✓	✓			0.000450	Nepal	18.90	141.00	✓	✓	✓	✓	0.007896
Georgia	5.40	70.00	✓	✓		✓	0.005950	Netherlands	15.00	37.00	✓	✓		✓	0.005180
Germany	78.50	357.00	✓	✓		✓	0.046410	New Zealand	3.40	269.00	✓	✓		✓	0.020982
Ghana	15.00	239.00	✓	✓	✓	✓	0.010277	Nicaragua	3.90	130.00	✓	✓		✓	0.005720

Tableau 1 (suite)

Pays	Population (en millions d'habitants) (1)	Super- ficie 10 ³ km ² (2)	GEO				Rentrée de SEN- COSMOS (6)	Pays	Population (en millions d'habitants) (1)	Super- ficie 10 ³ km ² (2)	GEO				Rentrée de SEN- COSMOS (6)
			UIT (2)	OMM (3)	WARN (4)	AIEA (5)					UIT (2)	OMM (3)	WARN (4)	AIEA (5)	
Niger	7.70	1267.00	✓	✓	✓	✓	0.059549	St Vincent	0.11	0.40	✓				0.000018
Nigeria	108.50	924.00	✓	✓		✓	0.040656	Soudan	25.20	2506.00	✓		✓	✓	0.112770
Norway	4.20	324.00	✓	✓		✓	0.097200	Surinam	0.42	141.00	✓	✓			0.005922
Oman	2.00	212.00	✓	✓			0.010176	Swaziland	0.77	17.00	✓	✓			0.000918
Pakistan	112.00	796.00	✓	✓		✓	0.046168	Sweden	8.60	450.00	✓	✓		✓	0.193500
Panama	2.50	77.00	✓	✓		✓	0.003311	Switzerland	6.70	41.00	✓	✓		✓	0.004223
Pap.Nw.Guin.	3.70	463.00	✓	✓			0.020835	Syria	12.10	185.00	✓	✓		✓	0.012210
Paraguay	4.30	407.00	✓	✓		✓	0.020757	Taiwan	19.70	36.00				✓	0.001836
Peru	22.30	1285.00	✓	✓		✓	0.055255	Tajikistan	5.20	143.00					0.011154
Philippines	62.90	300.00	✓	✓	✓		0.013200	Tanzania	25.60	945.00	✓	✓		✓	0.040635
Poland	38.20	313.00	✓	✓		✓	0.043820	Thailand	54.50	513.00	✓	✓		✓	0.023598
Portugal	10.50	92.00	✓	✓		✓	0.007084	Togo	3.50	57.00	✓	✓	✓		0.002451
Puerto Rico	3.60	9.00					0.000423	Tonga	0.09	0.10	✓				0.000005
Qatar	0.37	22.00	✓	✓			0.001144	Trinidad-Tob.	1.20	5.00	✓	✓			0.000220
Roumanie	23.20	238.00	✓	✓		✓	0.023800	Tunisie	8.20	164.00	✓	✓		✓	0.010496
Russie	148.10	17075.00	✓	✓		✓	4.951750	Turkey	58.70	779.00	✓	✓		✓	0.056088
Rwanda	7.20	26.00	✓	✓			0.001092	Turkmenistan	3.60	488.00					0.035624
Samoa	0.17	0.20	✓				0.000009	Uganda	16.60	236.00	✓	✓		✓	0.009912
San Marino	0.02	0.06	✓				0.000005	UK	55.50	245.00	✓	✓		✓	0.051450
Sao Tome-Pr.	0.12	1.00	✓	✓			0.000042	Ukraine	51.80	604.00	✓	✓		✓	0.069460
Saudi Arabia	10.50	2150.00	✓	✓		✓	0.109650	U.A.E.	1.60	84.00	✓	✓	✓	✓	0.004284
Senegal	7.30	197.00	✓	✓		✓	0.009062	Uruguay	3.10	177.00	✓	✓		✓	0.010974
Seychelles	0.07	0.40		✓			0.000017	USA	248.70	9373.00	✓	✓		✓	0.712348
Sierra Leone	4.20	72.00	✓	✓		✓	0.003096	Uzbekistan	20.30	447.00	✓	✓			0.036207
Singapore	3.00	1.00	✓	✓			0.000042	Vanuatu	0.15	15.00	✓	✓	✓		0.000690
Slovaquie	5.30	49.00	✓			✓	0.005880	Venezuela	19.70	912.00	✓	✓		✓	0.039216
Slovenie	1.90	20.00	✓	✓		✓	0.002000	Vietnam	66.20	330.00	✓	✓	✓	✓	0.014850
Soiomon Is.	0.32	30.00	✓	✓			0.001290	Yemen	12.00	528.00	✓	✓			0.024288
Sonnie	7.50	638.00	✓	✓	✓		0.027434	Yugoslavia	12.50	127.00	✓	✓		✓	0.011430
South Africa	35.30	1221.00	✓	s		✓	0.068376	Zaire	35.60	2345.00	✓	✓		✓	0.100835
Spain	39.00	505.00	✓	✓		✓	0.042925	Zambia	7.80	753.00	✓	✓		✓	0.033885
Sri Lanka	17.00	66.00	✓	✓		✓	0.002838	Zimbabwe	9.40	391.00	✓	✓		✓	0.018377
St Lucia	0.15	0.60		✓			0.000027								14.659533

Notes

- 1) Données datant de 1989 à 1991 selon les pays.
- 2) Gouvernements membres de l'Union Internationale des télécommunications au 31 août 1992.
- 3) Gouvernements membres de l'Organisation météorologique mondiale au 14 janvier 1993 : s - suspendu.
- 4) Principaux utilisateurs potentiels identifiés dans l'étude GEOWARN.
- 5) États Membres en septembre 1994.
- 6) Nombre approximatif des 45 SEN actuellement en orbite qui vont retomber sur Terre par pays.

References

- 1 Principles relevant to the use of nuclear power sources in outer space, resolution to the UN General Assembly, A/SPC/47/L6, 28 October 1992.
- 2 Paris Convention on third party liability in the field of nuclear energy of the 29 July 1960, as amended by the Additional Protocol of 28 January 1964 and by the Protocol of 16 November 1982, OECD Nuclear Energy Agency, Paris 1989.
- 3 Brussels Convention of 31 January 1963 supplementary to the Paris Convention of 29 July 1960 as amended, OECD Nuclear Energy Agency, Paris 1989.
- 4 The Vienna Convention on civil liability for nuclear damage of 21 May 1963, IAEA, Vienna.
- 5 Joint Protocol of 21 September 1988, rationalising the provisions of the 1960 Paris Convention as amended and the 1963 Vienna Convention, IAEA, Vienna.
- 6 Convention on nuclear safety of 17 June 1994, IAEA Infirc/449, 5 July 1994
- 7 Revising the safety principles for nuclear power sources in space, working paper submitted to the UNCOPUOS S&T Subcommittee by the United Kingdom, A/AC.105/C.1.L.192, 21 February 1994.
- 8 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 60, Annals of the ICRP 21, No. 1-3, Pergamon Press, 1991.
- 9 The safety of nuclear installations, Safety Series No. 110, IAEA, Vienna 1993.
- 10 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP publication 26, Annals of the ICRP 1, No. 3, Pergamon Press 1971.
- 11 Cosmos 954: the occurrence and nature of recovered debris, AECL INFO-0006, May 1980.
- 12 GEOWARN - Global emergency observation and warning, project report, International Space University, Alabama, 1994.
- 13 Draft environmental impact statement for the Cassini mission, NASA, October 1994.
- 14 Outlook on international nuclear liability, Nucleonics Week 35, No. 39 suppl., 29 September 1994.
- 15 Convention on international liability for damage caused by space objects of 29 March 1972, UN A/AC.105/572 Vienna 1994.