

**Assemblée générale**

Distr. limitée  
14 décembre 2010  
Français  
Original: anglais

**Comité des utilisations pacifiques  
de l'espace extra-atmosphérique****Sous-Comité scientifique et technique****Quarante-huitième session**

Vienne, 7-18 février 2011

Point 10 de l'ordre du jour provisoire\*

**Utilisation des sources d'énergie nucléaire dans l'espace****Atelier sur l'utilisation des sources d'énergie nucléaire  
dans l'espace: sûreté de la conception et du développement  
des applications de sources d'énergie nucléaire  
dans l'espace aux États-Unis****Document soumis par les États-Unis d'Amérique\*\****Résumé*

Les États-Unis d'Amérique soumettent les applications prévues de sources d'énergie nucléaire dans l'espace à un processus d'analyse de sûreté et d'évaluation des risques conforme aux recommandations figurant dans le Cadre de sûreté pour les applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace, tel qu'il a été publié conjointement par le Sous-Comité scientifique et technique et l'Agence internationale de l'énergie atomique en 2009. Les aspects liés à la sûreté sont examinés de près dès les premières étapes de la conception des sources d'énergie nucléaire utilisées dans l'espace et de leurs applications prévues. La phase de conception/développement des sources d'énergie nucléaire intervenant généralement bien avant celle de la mise au point de leurs applications, la base de sûreté pour les sources d'énergie nucléaire aux États-Unis met d'abord l'accent sur le confinement du combustible dans toute une série de scénarios d'accident potentiels.

\* A/AC.105/C.1/L.306.

\*\* Le présent document a été établi sur la base du document de séance A/AC.105/C.1/2011/CRP.6.



Par la suite, les applications proposées pour les missions privilégient les évaluations de risque détaillées de l'application intégrée d'une source d'énergie nucléaire (c'est-à-dire la source d'énergie nucléaire, l'engin spatial, le système de lancement, la conception de la mission, les règles de vol), de manière à repérer les modifications de conception susceptibles d'améliorer la sûreté nucléaire de la mission et conformes à l'atteinte de ses objectifs. La conception et le développement sont guidés par des exigences quantitatives sur la performance des systèmes de sûreté, qui ne sont pas aussi importantes qu'un processus rigoureux d'examen de la sûreté nucléaire du lancement qui, lui, encourage l'évaluation continue et la recherche d'améliorations de la sûreté tout au long de l'ensemble du processus de conception, de développement et d'approbation.

## I. Introduction

1. Les États-Unis d'Amérique utilisent depuis longtemps des sources d'énergie nucléaire dans l'espace dans de bonnes conditions de sécurité. Depuis 1961, ils ont lancé 29 engins spatiaux alimentés par des générateurs à radio-isotopes<sup>1</sup> et un engin alimenté par un réacteur nucléaire. Les premières applications de générateurs à radio-isotopes concernaient les communications, la météorologie et la navigation. Toutefois, ces 30 dernières années, la plupart d'entre elles sont des applications scientifiques conduites sous les auspices de la National Aeronautics and Space Administration des États-Unis (NASA), en partenariat avec le Département de l'énergie des États-Unis. Parmi les missions utilisant des générateurs à radio-isotopes réalisées par la NASA figurent: les missions Apollo sur la Lune; la mission Pioneer 10 vers Jupiter; les missions Pioneer 11 vers Jupiter, Saturne et au-delà; les missions Viking et Pathfinder à la surface de Mars; la mission Voyager 1 vers Jupiter, Saturne et au-delà; la mission Voyager 2 vers Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune et au-delà; la mission Galileo restée en orbite autour de Jupiter pendant 8 ans; la mission Ulysse placée sur une orbite héliocentrique pendant près de 20 ans; la mission Cassini toujours en orbite autour de Saturne; et la mission New Horizons qui se dirige vers Pluton<sup>2</sup>.

2. Pendant cette période de près de 50 ans, il s'est produit trois accidents impliquant des générateurs à radio-isotopes américains, aucun n'étant dû à une défaillance de générateur, et, à chaque fois, les dispositifs de sûreté ayant fonctionné comme prévu: la mission du satellite de navigation TRANSIT 5BN-3 interrompue en 1964; le lancement interrompu du satellite météorologique NIMBUS-B-1 en 1968 et la récupération de la source de chaleur du générateur à radio-isotopes, tombé dans le Pacifique; et l'interruption de la mission lunaire Apollo 13, dont on a réussi à dévier le module en direction de la fosse des Tonga, dans l'océan Pacifique.

## II. Comparaison du Cadre de sûreté pour les applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace établi par l'ONU/l'AIEA et du cadre de sûreté nucléaire de la NASA et du Département de l'énergie des États-Unis relatif aux applications des générateurs à radio-isotopes

3. Au fil des années, la NASA a élaboré, en coopération avec le Département de l'énergie, un cadre complet de sûreté pour la conception et le développement de générateurs à radio-isotopes et de leurs applications dans l'espace. Ce cadre intègre des considérations relatives à la sûreté dans tous les aspects et étapes du processus de conception et de développement des générateurs à radio-isotopes, et du processus de conception, de développement et de mise en œuvre de leurs applications.

---

<sup>1</sup> Y compris la mission Mars Pathfinder qui utilisait de petites unités de chauffage à radio-isotopes.

<sup>2</sup> Voir fig. 1 dans le document A/AC.105/C.1/2011/CRP.6, disponible à l'adresse: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).

4. Le cadre de sûreté américain fait pendant au Cadre de sûreté pour les applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace (A/AC.105/934) publié conjointement en 2009 par le Sous-Comité scientifique et technique du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). La loi fédérale américaine s'aligne sur les trois grandes catégories de recommandations contenues dans le Cadre de sûreté ONU/AIEA: les recommandations à l'intention des gouvernements, les recommandations à l'intention des opérateurs et les recommandations techniques<sup>3</sup>. Le cadre de sûreté américain a été conçu et mis en œuvre pour répondre à des besoins. En d'autres termes, le dispositif américain implique un certain nombre de mesures et de procédures qui, si elles ne sont pas suivies, pourraient empêcher le lancement d'une application de générateur à radio-isotopes.

## A. Recommandations à l'intention du Gouvernement américain

5. Les recommandations formulées à l'intention du Gouvernement américain ont été codifiées dans des lois fédérales, des directives présidentielles, des prescriptions administratives et des plans pluri-institutions. La Loi nationale de politique environnementale et la procédure présidentielle d'approbation de la sûreté nucléaire du lancement sont les procédures établies respectivement pour justifier<sup>4</sup> et autoriser<sup>5</sup> les applications de générateurs à radio-isotopes aux États-Unis. Conformément à la Loi de politique environnementale, la NASA doit préparer un dossier d'impact sur l'environnement au début de la phase de conception et de développement d'une mission. Dans ce dossier, elle évalue les incidences potentielles sur l'environnement du modèle de base de la mission et des variantes de conception raisonnables permettant d'atteindre les objectifs de la mission. La procédure présidentielle d'approbation de la sûreté nucléaire du lancement exige que la sûreté du système même (c'est-à-dire la source d'énergie, l'engin spatial, le lanceur et la conception de la mission) destiné à être lancé soit analysée en détail. La NASA a consigné des politiques et prescriptions supplémentaires en matière de sûreté<sup>6</sup> dans le Code américain des réglementations fédérales et ses propres règles de procédure, de manière à définir plus précisément les attentes et les procédures à suivre par les responsables gouvernementaux, et les programmes et projets dans le lancement et la conduite du développement de générateurs à radio-isotopes et de leurs applications, et la participation à ces activités. Les États-Unis ont également mis au point un cadre national complet d'intervention<sup>7</sup> pour préparer<sup>8</sup> des interventions en cas de

---

<sup>3</sup> Voir fig. 2 dans le document A/AC.105/C.1/2011/CRP.6, disponible à l'adresse: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).

<sup>4</sup> La section 3.2 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur la "justification des applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace".

<sup>5</sup> La section 3.3 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur l'"autorisation de lancement des missions".

<sup>6</sup> La section 3.1 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur les "politiques, prescriptions et procédures en matière de sûreté".

<sup>7</sup> United States Department of Homeland Security, National Response Framework: Nuclear/Radiological Incident Annex, juin 2008, NUC-1, disponible à l'adresse [www.fema.gov/pdf/emergency/nrf/nrf\\_nuclearradiologicalincidentannex.pdf](http://www.fema.gov/pdf/emergency/nrf/nrf_nuclearradiologicalincidentannex.pdf).

<sup>8</sup> La section 3.4 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur la "préparation et la conduite des interventions d'urgence".

catastrophe ou d'urgence et y faire face, notamment en cas d'accidents impliquant des applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace.

## **B. Recommandations à l'intention des opérateurs aux États-Unis**

6. Les recommandations destinées aux opérateurs aux États-Unis se retrouvent dans les prescriptions administratives et les plans de développement de générateurs à radio-isotopes. Le siège de la NASA est responsable au premier chef de la sûreté d'une application de générateur à radio-isotopes<sup>9</sup>. La direction de la division responsable d'une mission au siège de la NASA nomme un responsable pour chaque mission, qui est chargé de veiller à ce que cette dernière soit réalisée conformément aux procédures approuvées. En cette qualité, le responsable veille également au respect des prescriptions de la Loi de politique environnementale, de la procédure présidentielle d'approbation de la sûreté nucléaire du lancement et du cadre national d'intervention. Conformément au Cadre de sûreté ONU/AIEA, il entretient des contacts directs avec chacune des organisations qui établissent et mettent en œuvre une mission impliquant un générateur à radio-isotopes. Le siège de la NASA passe des arrangements avec tous les participants qui ont une responsabilité opérationnelle en matière de sûreté nucléaire. Cette responsabilité opérationnelle est intégrée dans la structure opérationnelle générale de la mission, et tous les participants doivent régulièrement faire rapport et rendre des comptes<sup>10</sup>. (Ces participants sont le siège de la NASA, le Département de l'énergie, les centres de la NASA et leurs partenaires respectifs.).

## **C. Recommandations techniques aux États-Unis**

7. À l'instar des recommandations à l'intention des opérateurs, les recommandations techniques se retrouvent dans les prescriptions administratives et les plans de développement de générateurs à radio-isotopes. Ces recommandations, qui sont décrites plus en détail à la section suivante, énoncent des prescriptions qui ont été satisfaites par le développement, le maintien et l'application d'une expertise pluri-institutions dans la définition, la réalisation d'essais et l'analyse des accidents ou anomalies impliquant des générateurs à radio-isotopes survenus lors d'un lancement ou d'une mission<sup>11</sup>. Les prescriptions en matière de sûreté des applications de générateurs à radio-isotopes établies par la NASA et le Département de l'énergie couvrent toutes les phases d'une mission et s'appliquent tant à la phase de développement d'un générateur à radio-isotopes qu'à son application prévue dans le cadre d'une mission<sup>12</sup>. La NASA et le Département de l'énergie, qui collaborent dans le cadre d'un accord interinstitutions officiel, réalisent des évaluations de risque globales à l'appui tant du processus de conception et de développement que

---

<sup>9</sup> La section 4.1 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur la "responsabilité de la sûreté".

<sup>10</sup> La section 4.2 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur la "hiérarchie organisationnelle et la gestion de la sûreté".

<sup>11</sup> La section 5.1 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur la "compétence technique en matière de sûreté nucléaire".

<sup>12</sup> La section 5.2 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur la «sûreté au niveau de la conception et du développement».

du processus d'autorisation du lancement<sup>13</sup>. Ces évaluations appuient également l'élaboration de plans d'intervention pluri-institutions détaillés, qui visent à atténuer les conséquences possibles d'un accident impliquant une application de sources d'énergie nucléaire dans l'espace<sup>14</sup>.

### **III. Prescriptions de sûreté nucléaire relatives à la conception et au développement d'applications de générateurs à radio-isotopes pour les missions spatiales aux États-Unis**

8. Le Département de l'énergie et la NASA ont élaboré un cadre global de prescriptions de sûreté nucléaire qui régit l'ensemble des phases de conception, de développement et de mise en œuvre d'une application de générateur à radio-isotopes dans le cadre d'une mission. Le respect de ce cadre passe par des processus de délibération tant publics qu'internes au gouvernement qui, comme mentionné plus haut, ont été codifiés dans des lois fédérales, des procédures et des prescriptions.

9. Les prescriptions procédurales de la NASA<sup>15</sup> contiennent cinq règles clefs qui influencent la définition, la conception, le développement et la mise en œuvre d'une application de générateur à radio-isotopes:

a) La conception de base des lanceurs, des engins spatiaux et des systèmes utilisant des matériaux radioactifs assure la protection du public, de l'environnement et des utilisateurs, de sorte que les risques d'exposition aux rayonnements radioactifs restent aussi faibles que raisonnablement possible (sect. 6.2.2.b);

b) Les considérations relatives à la sûreté nucléaire sont prises en compte dès les premières étapes de la conception et tout au long du projet, pour que le risque radiologique général de la mission soit acceptable (sect. 6.2.2.c);

c) Tous les éléments de l'équipement de vol spatial (y compris les dispositifs médicaux et autres dispositifs expérimentaux) qui contiennent ou utilisent des matériaux radioactifs sont identifiés et leur risque radiologique évalué (sect. 6.2.2.d);

d) Des plans d'opérations au sol et des plans d'intervention en cas d'urgence radiologique adaptés au site sont élaborés en rapport avec le risque représenté par le lancement prévu de matériaux nucléaires (sect. 6.2.2.e);

e) La planification des interventions en cas d'urgence radiologique prend en compte les interventions d'urgence et un appui aux efforts de récupération de la source (sect. 6.2.2.f).

---

<sup>13</sup> La section 5.3 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur l'"évaluation des risques".

<sup>14</sup> La section 5.4 du Cadre de sûreté ONU/AIEA porte sur l'"atténuation des conséquences des accidents".

<sup>15</sup> National Aeronautics and Space Administration, "Nuclear safety for launching of radioactive materials", NASA Procedural Requirements, NPR 8715.3C, chap. 6, disponible à l'adresse [http://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal\\_ID=N\\_PR\\_8715\\_003C\\_&page\\_name=Chapter6](http://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal_ID=N_PR_8715_003C_&page_name=Chapter6).

10. Conformément à la première prescription, les risques pour la santé humaine et la biosphère terrestre sont la première considération à prendre en compte en matière de sûreté nucléaire dans la conception d'une mission et de son engin spatial, de son lanceur et d'autres éléments. Cette prescription correspond directement à l'objectif de sûreté du Cadre de sûreté ONU/AIEA<sup>16</sup>. La deuxième prescription vise à assurer que les considérations relatives à la sûreté nucléaire soient prises en compte à toutes les étapes d'une mission, depuis les premières phases de la définition conceptuelle jusqu'à la fin de la mission. La troisième prescription étend la portée des deux premières non seulement aux générateurs à radio-isotopes (y compris les unités de chauffage à radio-isotopes), mais aussi à tout élément d'une mission utilisant des matériaux radioactifs<sup>17</sup>. Les quatrième et cinquième prescriptions s'alignent sur les prescriptions imposées à la NASA par le cadre national d'intervention.

11. Ces prescriptions, appliquées en parallèle avec les prescriptions procédurales de la NASA relatives à la Loi nationale de politique environnementale et à la procédure présidentielle d'approbation de la sûreté nucléaire du lancement, ont des incidences importantes sur la sûreté nucléaire d'une mission, tout au long de la procédure de conception et de développement. Ainsi, comme indiqué dans la section précédente, avant qu'elle ne finalise la conception d'une application de générateur à radio-isotopes, la Loi de politique environnementale exige de la NASA qu'elle prépare un dossier d'impact sur l'environnement qui évalue objectivement l'impact possible d'une telle application sur l'environnement et examine des variantes raisonnables (par exemple un engin spatial à énergie solaire) pour atteindre les objectifs de la mission, et invite le public à formuler des observations à ce sujet. De plus, puisque le dossier d'impact met l'accent sur les conséquences d'accidents susceptibles de se produire pendant le lancement ou la mission, la NASA doit nécessairement, dans son évaluation initiale de la sûreté nucléaire de l'application prévue, définir des scénarios d'accident précis (c'est-à-dire la séquence des événements ou des anomalies qui se produisent pendant le lancement ou la mission) – y compris la probabilité qu'ils se produisent – qui peuvent avoir un impact sur l'environnement (par exemple effets de cancers latents, contamination des sols, risque pour la population). Grâce à leur approche rigoureuse (c'est-à-dire quantitative), ces évaluations permettent d'identifier les modifications qui pourraient être apportées à l'engin spatial, au lanceur, à la conception de la mission et aux règles de vol pour renforcer la sûreté nucléaire et réduire le risque d'accidents potentiels.

12. De même, pour effectuer l'analyse détaillée de la sûreté du système même (c'est-à-dire la source d'énergie, l'engin spatial, le lanceur et la conception de la mission) destiné à être lancé, exigée par la procédure présidentielle d'approbation de la sûreté nucléaire du lancement, il faut élaborer un modèle très perfectionné de

---

<sup>16</sup> "L'objectif fondamental de sûreté consiste à protéger les populations et l'environnement de la biosphère terrestre des dangers potentiels associés aux phases de lancement, d'exploitation et de fin de service opérationnel des applications de sources d'énergie nucléaire dans l'espace." ("Objectif de sûreté", sect. 2).

<sup>17</sup> En fait, la NASA a établi cinq niveaux de sûreté nucléaire, qui dépendent de la quantité de matériaux radioactifs présente dans une mission. Pour toutes les missions comprenant un générateur à radio-isotopes effectuées à ce jour, y compris celles comprenant des unités de chauffage à radio-isotopes, le niveau de sûreté nucléaire le plus élevé, qui exige l'approbation du Bureau exécutif du Président, a été demandé.

l'application du générateur à radio-isotopes. Ce modèle permet d'examiner de plus près les éléments de l'application qui influencent son risque nucléaire et donne des informations utiles pour l'établissement de plans d'intervention en cas d'urgence radiologique adaptés au site. En outre, comme la procédure présidentielle d'approbation de la sûreté nucléaire du lancement fait intervenir toutes les instances gouvernementales fédérales qui ont une responsabilité opérationnelle concernant la sûreté des différents aspects de la mission (c'est-à-dire la NASA pour ce qui est de la sûreté de l'engin spatial/de la mission; le Département de l'énergie pour ce qui est de la sûreté du générateur à radio-isotopes; le Département de la défense pour ce qui est de la sûreté du site/de l'aire de lancement; et l'Agence de protection de l'environnement pour ce qui est de la sûreté des activités de décontamination en cas d'accident), le développement et la réalisation de l'analyse de sûreté sont l'occasion de coordonner entre elles la réponse à toute question de sûreté nucléaire identifiée pendant la phase de développement de l'application.

#### **IV. Assurer la sûreté nucléaire dans les applications de générateurs à radio-isotopes**

13. Pour se conformer aux prescriptions procédurales mentionnées ci-dessus, la NASA et le Département de l'énergie veillent à la sûreté nucléaire à toutes les étapes du développement et pour chaque élément d'une application de générateur à radio-isotopes. Comme il faut en général au minimum cinq ans pour concevoir et développer un nouveau générateur à radio-isotopes, le développement du générateur précède celui de l'application. Par conséquent, le Département de l'énergie développe les aspects de sûreté nucléaire de ses modèles de générateur à partir de toute une gamme d'applications et de besoins possibles, qui peuvent nécessiter des conceptions différentes ou présenter des objectifs de sûreté concurrents. Dans la mesure où un objectif de sûreté quelconque ne peut pas être pleinement optimisé pour une application de générateur précise, il faut mettre au point des variantes de conception qui permettent d'obtenir un niveau de sûreté acceptable. En d'autres termes, ni le concept de sûreté nucléaire du générateur ni celui de l'application ne permettent à eux seuls de maintenir les risques d'exposition d'une application au niveau le plus faible raisonnablement possible. Ce n'est que grâce à une approche continue et intégrée au niveau du système que l'on arrive généralement à obtenir une application de générateur qui présente un niveau de sûreté acceptable.

14. Les programmes de développement de générateurs à radio-isotopes du Département de l'énergie définissent des objectifs, des prescriptions et des spécifications fonctionnelles de sûreté des composants et du système. Compte tenu de la nature intermittente des applications de générateurs de la NASA (à savoir une à deux missions par décennie), le Département de l'énergie identifie, évalue, développe et applique en permanence des améliorations pour la sûreté de ses systèmes de générateurs, plus ou moins indépendamment des projets de mission précis de la NASA. S'agissant des étapes importantes de la conception de nouveaux générateurs, le Département de l'énergie coopère avec la NASA pour définir des exigences de sûreté nucléaire qui couvrent tous les aspects d'un générateur. Le Département de l'énergie traduit ensuite ces exigences en objectifs de performance spécifiques du système qui sont vérifiés par le biais d'essais et/ou d'analyses. Dès les premières étapes de la conception et tout au long de la phase de développement,

les progrès dans la réalisation de ces exigences et objectifs de performance sont régulièrement suivis et présentés lors de réunions de conception/développement auxquelles participent le Département de l'énergie, la NASA et les autres organisations participantes.

15. Le développement de la source de chaleur universelle (GPHS) – élément de base des derniers générateurs du Département de l'énergie – est un exemple de l'approche continue et intégrée de système suivie par le Département en matière de sûreté nucléaire. Les modules GPHS<sup>18</sup> sont conçus de manière à confiner leur combustible, constitué de dioxyde de plutonium, dans toute une série de conditions normales et en cas d'accidents tels qu'une explosion sur l'aire de lancement, un incendie de carburant solide ou liquide, des impacts d'éclats, l'impact au sol et la rentrée dans l'atmosphère. Pendant les quelque 30 années d'utilisation de la source de chaleur universelle, le Département de l'énergie a renforcé plusieurs fois ses dispositifs de sûreté en se fondant sur les résultats d'essais et d'analyses de sûreté effectués de manière générale et en relation avec une mission précise. Les informations relatives à la sûreté nucléaire des modules GPHS proviennent tant des essais de sûreté sur les générateurs à radio-isotopes effectués par le Département de l'énergie<sup>19</sup> que des essais simulant des conditions d'accident effectués par la NASA<sup>20</sup>. Non seulement ces essais permettent d'appuyer la définition et l'évaluation des objectifs et des spécifications fonctionnelles en matière de sûreté, mais ils fournissent également des données pour renforcer dans l'avenir les modèles de sûreté nucléaire qui peuvent être utilisées tout au long du processus de conception/développement des générateurs à radio-isotopes et de leurs applications de générateurs.

16. La NASA assure la sûreté nucléaire à toutes les étapes et pour tous les éléments d'une application de générateur à radio-isotopes. À côté du processus de conception/développement de la sûreté nucléaire d'un générateur décrit ci-dessus, la conception d'une application de générateur offre généralement de nombreuses occasions d'assurer la protection du public, de l'environnement et des utilisateurs de sorte que les risques d'exposition aux rayonnements radioactifs restent aussi faibles que raisonnablement possible<sup>21</sup>. Comme évoqué plus haut, le lancement et la réalisation d'évaluations des risques en matière de sûreté nucléaire tout au long de la phase de conception/développement permettent d'identifier et d'évaluer les aspects de sûreté nucléaire du système de lancement, de l'engin spatial et des différentes options relatives à la conception des missions. Ainsi, dans certains modèles d'engins spatiaux, en déplaçant le générateur à radio-isotopes, on peut éviter ou limiter les rejets radioactifs occasionnés par certains accidents survenant lors du lancement. Dans la phase de lancement, plusieurs possibilités existent pour éviter ou limiter les rejets radioactifs qui peuvent se produire en cas d'accident. On

---

<sup>18</sup> Voir fig. 3 dans le document A/AC.105/C.1/2011/CRP.6, disponible à l'adresse: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).

<sup>19</sup> Voir fig. 4 dans le document A/AC.105/C.1/2011/CRP.6, disponible à l'adresse: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).

<sup>20</sup> Voir fig. 5 dans le document A/AC.105/C.1/2011/CRP.6, disponible à l'adresse: [www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html](http://www.unoosa.org/oosa/COPUOS/stsc/wgnps/index.html).

<sup>21</sup> National Aeronautics and Space Administration, "Nuclear safety for launching of radioactive materials", NASA Procedural Requirements, NPR 8715.3C, chap. 6, sect. 6.2.2, disponible à l'adresse [http://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal\\_ID=N\\_PR\\_8715\\_003C\\_&page\\_name=Chapter6](http://nodis3.gsfc.nasa.gov/displayDir.cfm?Internal_ID=N_PR_8715_003C_&page_name=Chapter6).

mentionnera notamment les suivantes: renforcer la visibilité et la télémétrie des systèmes de commande de destruction; réduire le temps de réponse des systèmes de commande de destruction lors du lancement; et ajouter des systèmes automatiques supplémentaires de destruction du lanceur. Toutes ces possibilités contribuent à limiter les risques d'écrasement et d'incendie liés à l'impact d'un engin spatial intact (c'est-à-dire le lanceur et la charge utile comprenant l'application de générateur à radio-isotopes). Il existe également des possibilités en aval du lancement: augmenter les chances de contrôle de l'engin spatial en cas d'anomalies en orbite ou après injection sur orbite; déployer des ressources de commande au sol pour augmenter les chances de contrôle de l'engin spatial en cas d'anomalies en orbite. Ces deux possibilités augmentent les chances de limiter les effets d'anomalies en orbite qui risquent de provoquer une rentrée non contrôlée dans l'atmosphère et l'impact au sol d'un générateur à radio-isotopes. Parmi les possibilités utilisant la gravité (assistance gravitationnelle) qui présentent un intérêt pour les missions scientifiques, on mentionnera la possibilité de limiter les opérations pendant les manœuvres critiques; et celle de dévier une trajectoire loin de la Terre. La première possibilité aide à limiter les risques d'être confronté à une anomalie susceptible de provoquer un impact terrestre, alors que la deuxième limite le risque qu'une telle anomalie provoque un impact terrestre.

## **V. Enseignements tirés en matière de sûreté nucléaire des missions spatiales de la NASA utilisant des générateurs à radio-isotopes**

17. Ces 50 dernières années, les États-Unis n'ont cessé d'améliorer la sûreté nucléaire et les processus de conception et de développement des générateurs à radio-isotopes, grâce aux enseignements tirés des 29 missions effectuées avec des applications de générateurs à radio-isotopes, des trois défaillances de ces applications, de la réalisation de centaines d'expériences simulant des conditions d'accident et d'essais de sûreté, de l'application de nouvelles méthodes de modélisation et de techniques d'évaluation des risques plus performantes, mais aussi des avancées générales réalisées dans les domaines de la technologie aérospatiale, du génie nucléaire et des applications de système. À chaque fois qu'une application de générateur à radio-isotopes est développée et mise en œuvre, la NASA réunit les "enseignements tirés" pour établir les erreurs à éviter et les succès possibles dans le cadre d'un processus efficace d'examen de la sûreté nucléaire du lancement. Les enseignements clés tirés en ce qui concerne la conception et le développement d'applications de sources d'énergie nucléaire sûres sont les suivants:

a) Établir des scénarios d'accident en partenariat avec les concepteurs/opérateurs de générateurs à radio-isotopes, d'engins spatiaux et de lanceurs. Cette approche permet de comprendre le rôle de chaque composant d'une application dans un scénario d'accident qui menace le confinement du combustible, et fournit une base objective pour évaluer les améliorations possibles en matière de sûreté nucléaire;

b) Effectuer des analyses, des examens et des évaluations rigoureux de la sûreté nucléaire du lancement, en collaboration avec les instances impliquées dans le processus d'autorisation du lancement. Cette démarche permet d'obtenir une base d'informations commune pour le processus d'autorisation du lancement;

c) Reconnaître que chaque type d'engin spatial ou de lanceur est différent. Les moyens de réduire les risques ne sont pas toujours prévisibles. Toutes les configurations et toutes les améliorations possibles en matière de sûreté doivent faire l'objet d'une analyse rigoureuse;

d) Promouvoir une "culture" de la sûreté en créant des incitations pour évaluer et envisager en permanence la réalisation d'améliorations en matière de sûreté. Comme mentionné plus haut, la NASA et le Département de l'énergie ont facilité cette évolution en intégrant des éléments de "sûreté nucléaire" dans tous les grands processus d'examen d'applications proposées ou prévues, et en créant et faisant participer l'équipe d'analyse du risque nucléaire tout au long du processus de conception et de développement d'une application de générateur à radio-isotopes. (À chaque fois que l'on effectue une analyse de risque détaillée, on comprend mieux les scénarios d'accident au point qu'il est possible de définir et d'évaluer les options de réduction des risques.) De plus, le fait que les analyses de la sûreté des applications de générateurs à radio-isotopes effectuées par la NASA et le Département de l'énergie soient évaluées de manière indépendante et le fait que c'est au Bureau du Président qu'incombe la responsabilité d'approuver la sûreté nucléaire du lancement sont de bonnes raisons de chercher à limiter le risque nucléaire. Si le processus se fondait simplement sur une analyse indiquant qu'un niveau de sûreté préalablement défini comme "acceptable" était respecté, l'incitation à faire des efforts pour renforcer la sûreté serait limitée dès lors que l'instance procédant à l'analyse de l'application estimerait avoir atteint le niveau "acceptable". En outre, compte tenu du caractère très incertain et variable des évaluations de risque d'accident et de la nature spécifique de chaque application scientifique de générateur à radio-isotopes, il serait peu pratique de se fonder uniquement sur des niveaux de sûreté "acceptables" préalablement définis. En examinant en permanence la sûreté nucléaire d'une application prévue, tout au long de la phase de conception et de développement, en soumettant les évaluations de la sûreté nucléaire à un examen indépendant et en investissant la plus haute instance gouvernementale de l'autorité d'approuver la sûreté nucléaire du lancement, on encourage fortement chacun à contribuer en permanence à réduire le risque nucléaire pendant toutes les étapes liées à la conception et au développement d'une application de générateur à radio-isotopes.

## VI. Conclusions

18. Conformément aux recommandations du Cadre de sûreté ONU/AIEA, les États-Unis ont intégré efficacement la sûreté dans les phases de conception, de développement et d'exploitation des applications de générateurs à radio-isotopes, en imposant des processus d'examen et d'approbation de la sûreté nucléaire qui englobent toutes les étapes, tous les éléments et tous les participants concernant une application proposée ou prévue et en appuyant ces processus par des évaluations de risques rigoureuses et l'analyse des "enseignements tirés" d'applications antérieures.