



## Conseil de sécurité

Distr. générale  
5 juin 2001  
Français  
Original: anglais

---

### **Lettre datée du 4 juin 2001, adressée au Président du Conseil de sécurité par le Secrétaire général**

J'ai l'honneur de vous transmettre la communication ci-jointe, datée du 1er juin 2001, du Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

Je vous serais obligé de bien vouloir la porter à l'attention des membres du Conseil de sécurité.

*(Signé)* Kofi A. Annan



## **Annexe**

### **Lettre datée du 1er juin 2001, adressée au Secrétaire général par le Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique**

Je vous serais obligé de bien vouloir faire parvenir la lettre ci-jointe au Président du Conseil de sécurité.

*(Signé)* Mohamed El Baradei

## Pièce jointe

### **Lettre datée du 1er juin 2001, adressée au Président du Conseil de sécurité par le Directeur général de l'Agence internationale de l'énergie atomique**

Au paragraphe 8 de la résolution 1284 (1999), le Conseil de sécurité a demandé que soient reprises la révision et l'actualisation des listes d'articles et de technologies auxquels s'applique le mécanisme de contrôle des importations et des exportations, approuvé par le Conseil dans la résolution 1051 (1996).

Conformément aux indications figurant au paragraphe 9 de la résolution 1051 (1996), les annexes aux plans de contrôle et de vérification continus approuvés aux termes de la résolution 715 (1991) définissent les articles et les technologies au sujet desquels le mécanisme de contrôle des exportations et des importations exige une notification. S'agissant du domaine nucléaire, le document pertinent est l'annexe 3 du plan de contrôle et de vérification continus de l'Agence, approuvé aux termes de la résolution 715 (1991), ultérieurement révisé et rediffusé sous la cote S/1995/215 et Corr.1 et 2.

En vertu du paragraphe 9 de la résolution 1051 (1996), les listes d'articles et de technologies auxquels s'applique le mécanisme de contrôle des exportations et des importations peuvent être modifiées conformément aux plans de contrôle et de vérification continus. Le paragraphe 41 du plan de l'Agence (S/22872 et Corr.1) se lit comme suit :

« Le présent plan ne peut être révisé que par le Conseil de sécurité. Toutefois, l'AIEA peut, après en avoir informé le Conseil de sécurité, mettre à jour et réviser les annexes en fonction des informations obtenues ou de l'expérience acquise dans l'application des résolutions 687 et 707 et du présent plan. L'AIEA portera à la connaissance de l'Iraq toute modification ainsi apportée. »

En vertu du paragraphe 19 de la résolution 1330 (2000), la révision de la liste des articles et technologies doit être transmise au Conseil « avant la fin » de la période définie au paragraphe 1 de la même résolution comme étant la période de « 180 jours, commençant à 0 h 1 (heure de New York) le 6 décembre 2000 », soit le 4 juin 2001 au plus tard.

En conséquence, conformément au paragraphe 41 du plan de l'Agence, au paragraphe 9 de la résolution 1051 (1996), au paragraphe 8 de la résolution 1284 (1999) et au paragraphe 19 de la résolution 1330 (2000), l'AIEA souhaite informer le Conseil de sécurité que l'annexe 3 du plan de l'Agence, qui établit la liste des articles et technologies nucléaires et en rapport avec les activités nucléaires auxquels s'applique le mécanisme de contrôle des exportations et des importations, sera modifiée comme indiqué dans la pièce jointe à la présente lettre et que les autorités irakiennes en seront informées.

Je vous serais obligé de bien vouloir porter cette question à l'attention des membres du Conseil de sécurité.

*(Signé)* Mohamed El Baradei

## Annexe 3 du Plan de l'AIEA

### Table des matières

|                                                                                                                                                                             | <i>Page</i> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Dispositions générales . . . . .                                                                                                                                            | 8           |
| <b>Matières nucléaires</b>                                                                                                                                                  |             |
| 1. *Matières nucléaires . . . . .                                                                                                                                           | 13          |
| <b>Matières non nucléaires</b>                                                                                                                                              |             |
| 2. Alliages d'aluminium . . . . .                                                                                                                                           | 14          |
| 3. Béryllium . . . . .                                                                                                                                                      | 14          |
| 4. Bismuth . . . . .                                                                                                                                                        | 14          |
| 5. Bore . . . . .                                                                                                                                                           | 15          |
| 6. Calcium . . . . .                                                                                                                                                        | 15          |
| 7. Trifluorure de chlore . . . . .                                                                                                                                          | 15          |
| 8. « Matières fibreuses ou filamenteuses » et matières préimprégnées . . . . .                                                                                              | 15          |
| 9. Hafnium . . . . .                                                                                                                                                        | 16          |
| 10. *Lithium . . . . .                                                                                                                                                      | 16          |
| 11. Magnésium . . . . .                                                                                                                                                     | 17          |
| 12. *Acier maraging . . . . .                                                                                                                                               | 17          |
| 13. Radium-226 ( <sup>226</sup> Ra) . . . . .                                                                                                                               | 17          |
| 14. Titane . . . . .                                                                                                                                                        | 18          |
| 15. Tungstène . . . . .                                                                                                                                                     | 18          |
| 16. Zirconium . . . . .                                                                                                                                                     | 18          |
| 17. Nickel . . . . .                                                                                                                                                        | 18          |
| 18. *Tritium . . . . .                                                                                                                                                      | 19          |
| 19. *Hélium-3 . . . . .                                                                                                                                                     | 19          |
| 20. Sources alpha . . . . .                                                                                                                                                 | 20          |
| 21. Tantale . . . . .                                                                                                                                                       | 21          |
| <b>*Usines de séparation des isotopes de l'uranium et équipements,<br/>autres que les appareils d'analyse, spécialement conçus ou préparés à cette fin</b>                  |             |
| 22. *Centrifugeuses à gaz et assemblages et composants spécialement conçus ou préparés<br>pour utilisation dans ces centrifugeuses . . . . .                                | 22          |
| 23. *Systèmes, équipements et composants auxiliaires spécialement conçus ou préparés<br>pour utilisation dans les usines d'enrichissement par ultracentrifugation . . . . . | 25          |

|                                                                                                                        |                                                                                                                                                                             |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 24.                                                                                                                    | *Assemblages et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans l'enrichissement par diffusion gazeuse . . . . .                                           | 26 |
| 25.                                                                                                                    | *Systèmes, équipements et composants auxiliaires spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans l'enrichissement par diffusion gazeuse . . . . .                     | 28 |
| 26.                                                                                                                    | *Systèmes, équipements et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par procédé aérodynamique . . . . .                  | 30 |
| 27.                                                                                                                    | *Systèmes, équipements et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par échange chimique ou par échange d'ions . . . . . | 33 |
| 28.                                                                                                                    | *Systèmes, matériel et composants spécialement conçus et préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par laser . . . . .                                     | 37 |
| 29.                                                                                                                    | *Systèmes, équipements et composants conçus pour utilisation dans les usines d'enrichissement par séparation des isotopes dans un plasma . . . . .                          | 43 |
| 30.                                                                                                                    | *Systèmes, matériel et composants spécialement conçus et préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par le procédé électromagnétique . . . . .              | 44 |
| <b>Instruments d'analyse et systèmes de commande-contrôle de processus utilisés dans l'enrichissement de l'uranium</b> |                                                                                                                                                                             |    |
| 31.                                                                                                                    | *Spectromètres de masse. . . . .                                                                                                                                            | 48 |
| 32.                                                                                                                    | Instruments et systèmes de contrôle-commande pour usine d'enrichissement. . . . .                                                                                           | 48 |
| 33.                                                                                                                    | *Logiciels servant à contrôler les usines ou installations d'enrichissement de l'uranium . . . . .                                                                          | 48 |
| <b>Installations de séparation d'autres isotopes</b>                                                                   |                                                                                                                                                                             |    |
| 34.                                                                                                                    | Installations et équipements de production d'eau lourde, de deutérium ou de composés de deutérium. . . . .                                                                  | 49 |
| 35.                                                                                                                    | *Usines pour la séparation du lithium-6 et équipements spécialement conçus à cet effet . . . . .                                                                            | 53 |
| 36.                                                                                                                    | *Installations, usines et équipements pour le tritium, comme suit : . . . . .                                                                                               | 53 |
| <b>Usines et équipements de conversion de l'uranium et du plutonium</b>                                                |                                                                                                                                                                             |    |
| 37.                                                                                                                    | Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion des concentrés de minerai d'uranium en $\text{UO}_3$ . . . . .                                                  | 55 |
| 38.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_3$ en $\text{UF}_6$ . . . . .                                                                    | 55 |
| 39.                                                                                                                    | Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_3$ en $\text{UO}_2$ . . . . .                                                                     | 55 |
| 40.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_2$ en $\text{UF}_4$ . . . . .                                                                    | 56 |
| 41.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_4$ en $\text{UF}_6$ . . . . .                                                                    | 56 |
| 42.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_4$ en U métal. . . . .                                                                           | 56 |
| 43.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_6$ en $\text{UO}_2$ . . . . .                                                                    | 56 |
| 44.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_6$ en $\text{UF}_4$ . . . . .                                                                    | 56 |
| 45.                                                                                                                    | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_2$ en $\text{UCl}_4$ . . . . .                                                                   | 57 |
| 46.                                                                                                                    | *Cellules électrolytiques pour la production de fluor . . . . .                                                                                                             | 57 |
| 47.                                                                                                                    | *Systèmes de conversion du nitrate de plutonium en oxyde. . . . .                                                                                                           | 57 |

|     |                                                                                                         |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 48. | *Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la production de plutonium métal . . . . .               | 57 |
|     | <b>Réacteurs nucléaires et équipement connexe</b>                                                       |    |
| 49. | Réacteurs nucléaires et équipement connexe . . . . .                                                    | 58 |
|     | <b>Usines de fabrication de combustible nucléaire</b>                                                   |    |
| 50. | Usines de fabrication d'éléments combustibles pour réacteurs nucléaires et équipement connexe . . . . . | 61 |
|     | <b>Technologie et matériel de retraitement</b>                                                          |    |
| 51. | *Usines et matériel de retraitement d'éléments combustibles irradiés . . . . .                          | 62 |
|     | <b>Équipement industriel et machines-outils</b>                                                         |    |
| 52. | *Machines-outils et unités de commande pour machines-outils . . . . .                                   | 68 |
| 53. | Machines à repousser et à fluotourner . . . . .                                                         | 76 |
| 54. | Machines de contrôle des dimensions . . . . .                                                           | 77 |
| 55. | Presses à compression isostatique (à froid et à chaud) . . . . .                                        | 79 |
| 56. | *Équipement de fabrication et d'assemblage de rotors . . . . .                                          | 80 |
| 57. | *Machines à équilibrer centrifuges . . . . .                                                            | 80 |
| 58. | *Machines à enrouler les matières fibreuses ou filamenteuses et équipement apparenté . . . . .          | 81 |
| 59. | Soudeuses par faisceau d'électrons . . . . .                                                            | 81 |
| 60. | Systèmes de projection au plasma . . . . .                                                              | 81 |
| 61. | Fours à oxydation . . . . .                                                                             | 81 |
| 62. | *Fours à haute température . . . . .                                                                    | 82 |
| 63. | Matériel d'essai à vibrations . . . . .                                                                 | 82 |
|     | <b>Équipement de développement de systèmes d'implosion</b>                                              |    |
| 64. | *Équipement pour expériences hydrodynamiques . . . . .                                                  | 84 |
| 65. | Matériel radiologique à éclair . . . . .                                                                | 84 |
| 66. | *Systèmes à canons . . . . .                                                                            | 85 |
| 67. | *Caméras à miroir à rotation mécanique . . . . .                                                        | 85 |
| 68. | *Caméras électroniques à fente, caméras électroniques à images et composants . . . . .                  | 86 |
| 69. | Calculateurs numériques . . . . .                                                                       | 86 |
| 70. | *Codes d'ordinateurs pour les explosifs nucléaires . . . . .                                            | 87 |
| 71. | *Détonateurs et systèmes d'amorçage à points multiples . . . . .                                        | 87 |
| 72. | *Conformateurs d'onde . . . . .                                                                         | 88 |
| 73. | *Dispositifs de mise à feu et générateurs d'impulsions équivalents à haute intensité . . . . .          | 88 |
| 74. | Dispositifs de commutation . . . . .                                                                    | 88 |
| 75. | Condensateurs à décharge pulsée . . . . .                                                               | 89 |

|     |                                                                                           |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 76. | Matières hautement explosives . . . . .                                                   | 89 |
|     | <b>Autres matériels</b>                                                                   |    |
| 77. | *Creusets . . . . .                                                                       | 90 |
| 78. | Systèmes générateurs de neutrons . . . . .                                                | 90 |
| 79. | Matériel électronique pour la temporisation ou la mesure d'intervalles de temps . . . . . | 90 |
| 80. | Oscilloscopes . . . . .                                                                   | 91 |
| 81. | Générateurs d'impulsions rapides. . . . .                                                 | 92 |
| 82. | Amplificateurs d'impulsion . . . . .                                                      | 92 |
| 83. | Tubes photomultiplicateurs . . . . .                                                      | 92 |
| 84. | Convertisseurs de fréquence . . . . .                                                     | 92 |
| 85. | Valves à obturateur à soufflet . . . . .                                                  | 92 |
| 86. | Compresseurs et pompes à vide scroll . . . . .                                            | 93 |
| 87. | Accélérateurs d'ions . . . . .                                                            | 93 |

#### Appendices

|    |                                                                                                  |     |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1. | Principes généraux. . . . .                                                                      | 94  |
| 2. | Contrôle des technologies et des logiciels . . . . .                                             | 95  |
| 3. | Liste des activités nucléaires autorisées par la résolution 707 du Conseil de sécurité . . . . . | 96  |
| 4. | Définitions . . . . .                                                                            | 97  |
| 5. | Système international d'unités et abréviations . . . . .                                         | 101 |

## Dispositions générales

### Introduction

Au paragraphe 12 de la résolution 687 (1991), le Conseil de sécurité a décidé, entre autres, que l'Iraq devait accepter inconditionnellement de ne pas acquérir ni mettre au point d'armes nucléaires ou de matériaux pouvant servir à en fabriquer, ni de sous-systèmes ou de composants, ni de moyens de recherche-développement, d'appui ou de production y ayant trait, de déclarer à l'AIEA l'emplacement de tous les éléments énumérés ci-dessus, avec indication des quantités et des types, et d'accepter que soient détruits, enlevés ou neutralisés tous ces éléments. Au paragraphe 13 de cette résolution, le Conseil de sécurité a par ailleurs demandé à l'AIEA d'élaborer un plan de contrôle et de vérification continu de l'exécution par l'Iraq des dispositions du paragraphe 12. Une restriction supplémentaire, définie au paragraphe 3 f) de la résolution 707 (1991), interdit actuellement à l'Iraq de mener toute activité nucléaire de quelque nature que ce soit, à l'exception de l'usage des isotopes à des fins médicales, agronomiques et industrielles.

Le « Plan de contrôle et de vérification continu du respect par l'Iraq des dispositions du paragraphe 12 de la partie C de la résolution 687 (1991) du Conseil de sécurité et des dispositions des paragraphes 3 et 5 de la résolution 707 (1991) » (ci-après dénommé le « Plan ») établi par l'AIEA<sup>1</sup> a été approuvé par le Conseil de sécurité dans la résolution 715 (1991). L'annexe 3 du Plan de l'AIEA comporte une liste des éléments nucléaires et en rapport avec les activités nucléaires qui sont interdits à l'Iraq ou doivent être assujettis à certaines mesures de contrôle (y compris leur déclaration à l'AIEA par l'Iraq et par tout État les exportant vers l'Iraq)<sup>2</sup>.

Dans la résolution 715 (1991), le Conseil de sécurité a prié par ailleurs le Comité créé par la résolution 661 (1990) (ci-après dénommé Comité des sanctions), l'AIEA et la Commission spéciale des Nations Unies de mettre au point « un mécanisme qui permette de contrôler à l'avenir toute vente ou fourniture à l'Iraq par d'autres pays d'articles relevant de l'application de la section C de la résolution 687 (1991) et d'autres résolutions pertinentes ». Les modalités applicables au mécanisme de contrôle des exportations et des importations mis au point par le Comité des sanctions, la Commission spéciale et l'AIEA ont été transmises au Conseil de sécurité dans le document S/1995/1017 (en date du 7 décembre 1995). Elles prévoient la création d'un groupe mixte auquel doivent être déclarées l'exportation des articles considérés vers l'Iraq et leur importation par ce pays. Ce mécanisme (ci-après dénommé mécanisme de contrôle des exportations et des importations) a été approuvé par le Conseil de sécurité dans la résolution 1051 (1996).

Conformément aux modalités du mécanisme de contrôle des exportations et des importations, l'annexe 3 du Plan de l'AIEA (désignée ci-après annexe 3) établit une liste des articles nucléaires ou en rapport avec les activités nucléaires qui doi-

<sup>1</sup> Le plan, ainsi que son annexe 3, ont initialement été publiés sous la cote S/22872/Rev.1 et Corr.1 (respectivement le 20 septembre 1991 et le 10 octobre 1991) et ont été approuvés par le Conseil de sécurité des Nations Unies le 11 octobre 1991 aux termes de sa résolution 715 (1991). Une première mise à jour et révision a été publiée sous la cote S/24300 (16 juillet 1992). L'annexe 3 a été ultérieurement révisée et rediffusée sous les cotes S/1995/215 (23 mars 1995), S/1995/215/Corr.1 (7 avril 1995) et S/1995/215/Corr.2 (2 août 1995).

<sup>2</sup> Voir également, par exemple, les paragraphes 22 c), 25, 26, 30 a) et 30 b) du Plan.

vent faire l'objet, en vertu de ce mécanisme, d'une déclaration au groupe mixte par l'Iraq et par tout État exportant des articles de ce type vers l'Iraq. Les articles visés par les résolutions pertinentes du Conseil de sécurité touchant les armes chimiques, les armes biologiques et les missiles sont indiqués dans les annexes II, III et IV du Plan de contrôle et de vérification continus de la Commission spéciale<sup>3</sup>.

Dans sa résolution 1284 (1999), le Conseil de sécurité a prié la COCOVINU (qui a remplacé la Commission spéciale)<sup>4</sup> et l'AIEA de reprendre la révision et l'actualisation des listes d'articles et de technologies auxquels s'applique le mécanisme de contrôle des exportations et des importations. Au paragraphe 19 de la résolution 1330 (2000), le Conseil de sécurité a fixé au 5 juin 2001 la date à laquelle cette révision devait être achevée. Le présent document rend compte des résultats de la révision et de la mise à jour de l'annexe 3 concernant les articles et technologies nucléaires et en rapport avec des activités nucléaires.

## Objet

L'annexe 3 du Plan de l'AIEA énumère les matériaux, équipements et technologies nucléaires, ainsi que les matériaux, équipements, logiciels et technologies en rapport avec les activités nucléaires, qui sont visés par le Plan et par le mécanisme de contrôle des exportations et des importations. Elle a pour objet de faciliter la tâche de l'ensemble des organisations, organismes et personnels chargés de veiller au respect du Plan et du mécanisme de contrôle des exportations et des importations. Il s'agit des exportateurs, des fonctionnaires des douanes et d'autres services des États exportateurs et de l'Iraq, du personnel du groupe mixte chargé du mécanisme de contrôle des exportations et des importations et du personnel de l'AIEA et de la COCOVINU au Siège et hors Siège.

En plus de certains matériaux nucléaires, l'annexe 3 énumère les éléments considérés comme étant « spécialement conçus ou préparés pour le traitement, la production ou l'utilisation de produits fissiles spéciaux »<sup>5</sup> (c'est-à-dire des articles destinés à être utilisés exclusivement pour des activités nucléaires, qu'elles soient militaires ou civiles). Pour plus de commodité, ces articles sont dits « à usage unique ». Par ailleurs, l'annexe 3 énumère les articles considérés comme étant « à double usage »<sup>6</sup> (c'est-à-dire les articles qui peuvent avoir des applications non nucléaires aussi bien que des applications nucléaires).

<sup>3</sup> Voir le document S/22871/Rev.1, en date du 2 octobre 1991.

<sup>4</sup> Par sa résolution 1284 (1999), le Conseil de sécurité a créé, en tant qu'organe subsidiaire du Conseil, la Commission de contrôle, de vérification et d'inspection des Nations Unies (COCOVINU) en remplacement de la Commission spéciale. La COCOVINU assume les responsabilités confiées à la Commission spéciale par la résolution 687 (1999) et d'autres résolutions pertinentes du Conseil de sécurité.

<sup>5</sup> Voir le document de l'AIEA INFCIRC/254/Rev.4/Part 1, de mars 2000.

<sup>6</sup> Voir le document de l'AIEA INFCIRC/254/Rev.4/Part 2, du 28 juin 2000.

## **Interdictions et restrictions**

### **Articles interdits par la résolution 687**

Les articles qui sont interdits à l'Iraq par la résolution 687, c'est-à-dire ceux qui sont liés à la mise au point ou à l'utilisation d'armes, sont indiqués par un fond grisé et par un astérisque dans l'annexe 3. L'Iraq doit déclarer la présence de ces articles sur son territoire à l'AIEA, afin que l'Agence puisse prendre les dispositions nécessaires pour les détruire, les enlever ou les neutraliser.

Il est également interdit à l'Iraq d'acquérir ces articles; le transfert en Iraq de tout article indiqué par un fond grisé et par un astérisque (y compris toute technologie directement liée ou nécessaire à sa mise au point, à sa production ou à son utilisation) est donc interdit. Il convient de noter que certains des articles interdits par la résolution 687 (1991) sont à double usage.

### **Articles faisant l'objet de restrictions en vertu de la résolution 707**

Comme cela est indiqué plus haut, le paragraphe 3 f) de la résolution 707 (1991) exige que l'Iraq « mette un terme à toute activité nucléaire de quelque nature que ce soit à l'exception de l'usage des isotopes à des fins médicales, agronomiques et industrielles, jusqu'à ce que le Conseil constate que l'Iraq respecte pleinement la présente résolution et les paragraphes 12 et 13 de la résolution 687 (1991), et que l'Agence constate de son côté que l'Iraq respecte pleinement l'accord de garanties qu'il a conclu avec elle ». Par conséquent, en plus des articles interdits par la résolution 687 (1991), l'annexe 3 énumère des articles qui sont utilisables pour des activités nucléaires pacifiques, y compris la recherche-développement, et qui, bien que n'étant pas interdits par la résolution 687 (1991), le sont en vertu des restrictions supplémentaires imposées par la résolution 707 (1991). En outre, le paragraphe 27 du Plan de l'AIEA approuvé dans la résolution 715 (1991) stipule que, lorsque le Conseil de sécurité aura constaté que l'Iraq pourra entreprendre des activités nucléaires qui ne sont pas interdites par la résolution 687 (1991), l'Iraq « présentera une demande au Conseil de sécurité en indiquant avec précision l'activité, l'établissement, installation ou site où elle se déroulera et le matériel et autres éléments qui seront utilisés ».

### **Transfert d'articles non interdits à des fins non interdites**

Le transfert à l'Iraq d'articles non interdits aux fins d'activités qui ne sont pas interdites est soumis à l'approbation de l'AIEA en vertu du plan et doit être déclaré dans le cadre du mécanisme de contrôle des exportations et des importations. La liste des applications non interdites des isotopes figure à l'annexe 4 du plan et est reproduite à l'appendice 3 du présent document pour plus de commodité.

Par ailleurs, conformément aux paragraphes 3 et 4 de la résolution 661 (1990) et aux paragraphes 3 et 11 de la résolution 670 (1990), le transfert de l'un quelconque de ces articles est réglementé par le Comité des sanctions créé par la résolution 660 (1990). La résolution 661 interdit, entre autres, la vente ou la fourniture de tous produits de base ou de toutes marchandises, hormis les « fournitures à usage strictement médical et, dans les cas où des considérations d'ordre humanitaire le justifient, les denrées alimentaires, à toute personne physique ou morale se trouvant en Iraq ». La résolution 670 (1990) demande à tous les États « de s'acquitter de leur

obligation d'assurer l'application stricte et complète de la résolution 661 (1990), et en particulier de ses paragraphes 3, 4 et 5 ».

### **Définitions**

L'annexe 3 utilise de nombreuses expressions ayant une signification technique particulière. Les définitions de ces expressions figurent dans les passages appropriés de l'annexe 3, ainsi que dans l'appendice 4 au présent document.

### **Abréviations et unités**

L'annexe 3 utilise le Système international d'unités (SI). Les abréviations des unités utilisées dans l'annexe 3 sont indiquées à l'appendice 5 du présent document.

## **Annexe 3**

### **Liste des articles à déclarer à l'AIEA**

*Les articles marqués d'un \* et figurant en grisé sont interdits à l'Iraq aux termes de la résolution 687.*

## Matières nucléaires

*Note :*

*Pour la définition de « matières nucléaires », voir l'appendice 4.*

### 1. \*Matières nucléaires

#### 1.1 Uranium et thorium

Uranium contenant le mélange d'isotopes qui se trouve dans la nature; uranium dont la teneur en isotope 235 est inférieure à la normale; thorium; toute matière mentionnée ci-dessus sous forme de métal, d'alliage, de composé chimique ou de concentré, et toute autre matière contenant une ou plusieurs des matières mentionnées ci-dessus.

#### 1.2 Uranium faiblement enrichi ou plutonium

Uranium enrichi à moins de 20 % en isotopes 233 et/ou 235; plutonium ayant une teneur isotopique en plutonium 238 supérieure à 80 %; toute matière mentionnée ci-dessus sous forme de métal, d'alliage, de composé chimique ou de concentré, et toute autre matière contenant une ou plusieurs des matières mentionnées ci-dessus, autre que du combustible nucléaire irradié (*voir la rubrique 1.4*).

#### 1.3 \*Uranium fortement enrichi ou plutonium

Uranium enrichi à 20 % ou plus en isotopes 233 et/ou 235; plutonium contenant moins de 80 % de plutonium 238; toute matière mentionnée ci-dessus sous forme de métal, d'alliage, de composé chimique ou de concentré, et toute autre matière contenant une ou plusieurs des matières mentionnées ci-dessus, autre que du combustible nucléaire irradié (*voir la rubrique 1.4*).

*Note :*

*Les articles suivants ne sont pas interdits mais doivent faire l'objet d'une déclaration :*

- i) Produits fissiles spéciaux mentionnés sous 1.3, en quantités inférieures au gramme sous forme de :*
  - a) Matière de référence certifiée;*
  - b) Source d'étalonnage d'; ou*
  - c) Élément sensible d'un instrument.*

#### 1.4 \*Combustible nucléaire irradié

*Note explicative :*

*L'interdiction s'applique uniquement au transfert à l'Iraq de combustible nucléaire irradié.*

#### 1.5 \*Neptunium-237

Neptunium enrichi à 20 % au moins en isotope 237 sous forme de métal, d'alliage, de composé chimique ou de concentré, et toute autre matière contenant une ou plus des matières mentionnées ci-dessus.

## **Matières non nucléaires**

*Note 1 :*

*Pour le deutérium et l'eau lourde, voir la rubrique 49.11.*

*Note 2 :*

*Pour le graphite de qualité nucléaire, voir la rubrique 49.12.*

### **2. Alliages d'aluminium**

Alliages d'aluminium possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) « Capables d'une » résistance maximale à la traction de 460 MPa ou plus, à des températures de 293 K (20° C); et
- b) Sous la forme de tubes ou de pièces pleines (y compris les pièces forées) ayant un diamètre extérieur supérieur à 75 mm.

*Note technique :*

*Sous la rubrique 2 a), l'expression « capable d'une » couvre les alliages d'aluminium avant ou après traitement thermique.*

### **3. Béryllium**

Métal, alliages comprenant plus de 50 % de béryllium en poids, composés contenant du béryllium et produits manufacturés dans ces matières, et déchets ou chutes contenant du béryllium tel que défini ci-dessus.

*Note :*

*La rubrique 3 ne recouvre pas les articles suivants :*

- i) *Fenêtres métalliques pour les machines à rayons X ou les dispositifs de diagraphie des sondages;*
- ii) *Pièces en oxyde fabriquées ou semi-fabriquées spécialement conçues pour des éléments de composants électroniques ou comme substrats pour des circuits électroniques;*
- iii) *Béryl (silicate de béryllium et d'aluminium) sous forme d'émeraudes ou d'aigues-marines.*

### **4. Bismuth**

Bismuth possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) De grande pureté (99,99 % ou plus); et
- b) Avec une teneur en argent très faible (moins de 10 ppm).

## 5. Bore

Bore enrichi en isotope 10 ( $^{10}\text{B}$ ) comme suit : bore élémentaire, composés, mélanges contenant du bore et produits manufacturés dans ces matières, et déchets ou chutes contenant du bore.

*Note :*

*Sous la rubrique 5, les mélanges contenant du bore englobent les matières chargées au bore.*

*Note technique :*

*La teneur naturelle du bore en isotope 10 est approximativement de 18,5 % en poids (20 % en atomes).*

## 6. Calcium

Calcium possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Contenant une quantité égale ou inférieure à 2 000 ppm en poids d'impuretés métalliques autres que le magnésium; *et*
- b) Contenant moins de 20 ppm de bore.

## 7. Trifluorure de chlore

## 8. « Matières fibreuses ou filamenteuses » et matières préimprégnées

*Note :*

*Les rubriques 8.1 à 8.3 portent sur les matières premières. La rubrique 8.4 porte sur les produits finis.*

### 8.1 Matières carbonées ou « matières aramides fibreuses ou filamenteuses » présentant l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes :

- a) Un « module spécifique » égal ou supérieur à  $12,7 \times 10^6$  m; ou
- b) Une « résistance spécifique à la traction » égale ou supérieure à  $23,5 \times 10^4$  m.

*Note :*

*La rubrique 8.1 ne recouvre pas les « matières fibreuses ou filamenteuses » aramides contenant 0,25 % ou plus en poids d'un modificateur de surface des fibres à base d'ester.*

### 8.2 « Matières fibreuses ou filamenteuses » en verre présentant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Un « module spécifique » égal ou supérieur à  $3,18 \times 10^6$  m; *et*
- b) Une « résistance spécifique à la traction » égale ou supérieure à  $7,62 \times 10^4$  m.

**8.3 « Fils » continus, « mèches », « filasses » ou « rubans » imprégnés de résine therm durcie d'une largeur égale ou inférieure à 15 mm (préimprégnés), faits des "matières fibreuses ou filamenteuses" carbonées ou en verre spécifiées sous 8.1 ou 8.2**

*Note technique :*

*La résine forme la matrice du composite.*

**8.4 \*Structures composites sous la forme de tubes présentant les deux caractéristiques suivantes :**

- a) Un diamètre intérieur de 75 mm à 400 mm; *et*
- b) Fabriquées dans l'une quelconque des matières décrites ci-dessus en 8.1, 8.2 et 8.3.

*Note technique :*

*L'expression « matières fibreuses ou filamenteuses » désigne les monofilaments continus, les fils continus, les mèches, les filasses ou les rubans;*

*Un « filament » ou « monofilament » est la plus petite fibre primaire, généralement d'un diamètre de plusieurs  $\mu\text{m}$ .*

*Une « mèche » est un faisceau (au nombre de 12 à 120 en général) de « brins » à peu près parallèles.*

*Un « brin » est un faisceau de filaments (plus de 200 en général) disposés à peu près parallèlement.*

*Un « ruban » est un produit constitué de filaments, de brins, de mèches, de filasses, de fils, etc., entrelacés ou unidirectionnels, généralement préimprégnés de résine.*

*Une « filasse » est un faisceau de filaments généralement à peu près parallèles.*

*Un « fil » est un faisceau de brins retors.*

*Le « module spécifique » est le module de Young exprimé en  $\text{N/m}^2$ , divisé par le poids spécifique exprimé en  $\text{N/m}^3$ , mesuré à une température de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  et à une humidité relative de  $50 \pm 5\%$ .*

*La « résistance spécifique à la traction » est la résistance maximale à la traction exprimée en  $\text{N/m}^2$ , divisée par le poids spécifique exprimé en  $\text{N/m}^3$ , mesurée à une température de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  et à une humidité relative de  $50 \pm 5\%$ .*

## **9. Hafnium**

Métal, alliages et composés d'hafnium comprenant plus de 60 % d'hafnium en poids, produits fabriqués dans ces matières, et déchets ou chutes contenant une ou plusieurs des matières mentionnées ci-dessus.

## **10. \*Lithium**

Lithium enrichi en isotope 6 ( $^6\text{Li}$ ), et produits et dispositifs contenant du lithium enrichi, comme suit : lithium élémentaire, alliages, composés, mélanges contenant du

lithium, produits fabriqués dans ces matières, et déchets et chutes contenant une ou plusieurs des matières mentionnées ci-dessus.

*Note :*

*La rubrique 10 ne recouvre pas les dosimètres thermoluminescents.*

*Note technique :*

*La teneur naturelle du lithium en isotope 6 est approximativement de 6,5% en poids (7,5% en atomes).*

## 11. Magnésium

Magnésium possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Contenant en poids moins de 2 000 ppm d'impuretés métalliques autres que le calcium; *et*
- b) Contenant moins de 20 ppm de bore.

## 12. \*Acier maraging

Acier maraging « capable d'une » résistance maximale à la traction égale ou supérieure à 2050 MPa ( $2\,050 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>) à une température de 293 K (20 °C).

*Note technique :*

*Sous la rubrique 12, l'expression « capable d'une » couvre l'acier maraging avant et après traitement thermique.*

*Note :*

*La rubrique 12 ne s'applique pas aux formes dans lesquelles aucune dimension linéaire n'excède 75 mm.*

## 13. Radium-226 (<sup>226</sup>Ra)

Radium-226 (<sup>226</sup>Ra), alliages de radium-226, composés du radium-226, mélanges contenant du radium-226, produits fabriqués dans ces matières, et produits ou dispositifs contenant l'une quelconque de ces matières.

*Note 1 :*

*Pour d'autres radio-isotopes émetteurs alpha, voir la rubrique 20.*

*Note 2 :*

*La rubrique 13 ne recouvre pas les articles suivants :*

- i) *Applicateurs médicaux;*
- ii) *Un produit ou un dispositif ne contenant pas plus de 0,37 GBq de radium-226.*

## 14. Titane

Alliages de titane possédant *les deux* caractéristiques suivantes :

- a) « Capables d'une » résistance maximale à la traction égale ou supérieure à 900 MA à une température de 293 K (20 °C); *et*
- b) Sous la forme de tubes ou de pièces cylindriques pleines (y compris les pièces forgées) ayant un diamètre extérieur supérieur à 75 mm.

*Note technique :*

*Sous la rubrique 14, l'expression « capables d'une » couvre les alliages de titane avant et après traitement thermique.*

## 15. Tungstène

Tungstène, carbure de tungstène et alliages contenant plus de 90 % de tungstène en poids, possédant *les deux* caractéristiques suivantes :

- a) Dans des formes à symétrie cylindrique creuse (y compris les segments cylindriques) d'un diamètre intérieur compris entre 100 et 300 mm; *et*
- b) Une masse supérieure à 20 kg.

## 16. Zirconium

Zirconium ayant une teneur en hafnium inférieure à une partie de hafnium pour 500 parties de zirconium en poids, comme suit : métal, alliages contenant plus de 50 % de zirconium en poids, composés, produits dans ces matières, déchets et chutes contenant du zirconium.

*Note 1 :*

*La rubrique 16 ne s'applique pas au zirconium sous la forme de feuilles dont l'épaisseur ne dépasse pas 0,10 mm.*

*Note 2 :*

*Pour d'autres contrôles du zirconium, voir la rubrique 49.6.*

## 17. Nickel

Poudre de nickel et nickel métal poreux, comme suit :

### 17.1 Poudre de nickel possédant *les deux* caractéristiques suivantes :

- a) Un titre en nickel égal ou supérieur à 99,0 %; *et*
- b) Une granulométrie moyenne inférieure à 10 µm mesurée conformément à la norme ASTM B 330.

**17.2 Nickel métal poreux obtenu à partir de matières spécifiées sous 17.1**

*Note 1 :*

*Pour les poudres de nickel qui sont spécialement préparées pour la fabrication de barrières de diffusion gazeuse, voir la rubrique 24.1.*

*Note 2 :*

*La rubrique 17 ne recouvre pas les articles suivants :*

*Poudres de nickel filamenteux;*

*Feuilles simples de nickel métal poreux dont la surface n'excède pas 1 000 cm<sup>2</sup>.*

*Note technique :*

*La rubrique 17.2 vise le métal poreux obtenu par compactage et frittage des matières spécifiées dans la rubrique 17.1, qui donnent une matière métallique contenant des pores fins reliés entre eux dans toute la structure.*

**18. \*Tritium**

Tritium, composés de tritium, mélanges contenant du tritium, dans lesquels le rapport du tritium à l'hydrogène en atomes est supérieur à 1 partie par millier, et produits ou dispositifs qui contiennent l'une quelconque de ces substances.

*Note 1 :*

*Les articles suivants ne sont pas interdits mais doivent faire l'objet d'une déclaration :*

*Tritium dans des dispositifs luminescents (par exemple dispositifs de sûreté installés dans les avions, montres, feux de piste d'atterrissage) contenant moins de 40 Ci (4 mg) de tritium sous toute forme chimique ou physique. La quantité totale de tritium importée sur une période de 12 mois, quelle qu'elle soit, au titre de cette exception, ne doit pas excéder 2 000 Ci (0,2 g).*

*Note 2 :*

*Les composés organiques marqués au tritium ne sont pas interdits et ne doivent pas faire l'objet d'une déclaration.*

*Note 3 :*

*Voir aussi la rubrique 36.*

**19. \*Hélium-3**

Hélium-3 (<sup>3</sup>He), mélanges contenant de l'hélium-3, et produits ou dispositifs contenant l'une quelconque de ces substances.

*Note :*

*La rubrique 19 ne s'applique pas à un produit ou dispositif contenant moins de 1 g d'hélium-3.*

## 20. Sources alpha

Radionucléides émetteurs alpha ayant une période alpha de 10 jours ou plus mais de moins de 200 ans, sous la forme suivante :

- a) Élémentaire;
- b) Composés ayant une activité alpha totale de 37 GBq/kg ou plus;
- c) Mélanges ayant une activité alpha totale de 37 GBq/kg ou plus;
- d) Produits ou dispositifs contenant l'une quelconque de ces substances.

*Note 1 :*

*La rubrique 20 ne recouvre pas les produits ou dispositifs contenant moins de 3,7 GBq d'activité alpha.*

*Note 2 :*

*Pour le radium-226, voir la rubrique 13.*

*Note 3 :*

*Sans être exhaustive, la rubrique 20 a) ci-dessus recouvre ce qui suit :*

| Nombre atomique | Élément      | Période radioactive |         |
|-----------------|--------------|---------------------|---------|
|                 |              | Années              | Jours   |
| 147             | Europium     |                     | 24      |
| 148             | Europium     |                     | 54,5    |
| 148             | Gadolinium   | 75                  |         |
| 151             | Gadolinium   |                     | 120     |
| 188             | Platine      |                     | 10,2    |
| 208             | Polonium     | 2,898               |         |
| 209             | Polonium     | 1,02                |         |
| 210 (RaD)       | Plomb        | 22,3                |         |
| 210 (RaF)       | Polonium     |                     | 138,376 |
| 223 (AcX)       | Radium       |                     | 11,43   |
| 225             | Actinium     |                     | 10,00   |
| 227 (Ac)        | Actinium     | 21,77               |         |
| 227 (RaAc)      | Thorium      |                     | 18,718  |
| 228 (RaTh)      | Thorium      | 1,913               |         |
| 230             | Protactinium |                     | 17,4    |
| 230             | Uranium      |                     | 20,8    |
| 232             | Uranium      | 68,9                |         |
| 235             | Neptunium    | 1,085               |         |
| 236             | Plutonium    | 2,851               |         |
| 237             | Plutonium    |                     | 45,17   |
| 238             | Plutonium    | 87,74               |         |
| 240             | Curium       |                     | 27      |
| 241             | Curium       |                     | 32,8    |

| Nombre atomique | Élément     | Période radioactive |        |
|-----------------|-------------|---------------------|--------|
|                 |             | Années              | Jours  |
| 241             | Neptunium   | 14,4                |        |
| 242m            | Américium   | 141                 |        |
| 242             | Curium      |                     | 162,94 |
| 243             | Curium      | 28,5                |        |
| 244             | Curium      | 18,11               |        |
| 248             | Californium |                     | 334    |
| 250             | Californium | 13,08               |        |
| 252             | Californium | 2,645               |        |
| 252             | Einsteinium | 1,291               |        |
| 253             | Einsteinium |                     | 20,4   |
| 254             | Californium |                     | 60,5   |
| 254             | Einsteinium |                     | 275,7  |
| 255             | Einsteinium |                     | 38,8   |
| 257             | Fermium     |                     | 100,5  |
| 258             | Mendélévium |                     | 55     |

Note 4 :

*L'américium ne doit pas excéder 20 Ci (6,16 g par dispositif) dans l'équipement industriel et le matériel pétrolier.*

Note 5 :

*La quantité totale d'américium importée au cours d'une période de 12 mois, quelle qu'elle soit, ne doit pas excéder 200 Ci (61,6 g).*

Note 6 :

*La rubrique 20 ne recouvre pas l'américium utilisé dans les détecteurs de fumée.*

## 21. Tantale

Feuilles de tantale d'une épaisseur égale ou supérieure à 2,5 mm, à partir desquelles on peut obtenir un cercle de 200 mm de diamètre.

**\*Usines de séparation des isotopes de l'uranium et équipements, autres que les appareils d'analyse, spécialement conçus ou préparés à cette fin**

Articles considérés comme tombant dans la catégorie visée par le membre de phrase « et équipements, autres que les appareils d'analyse, spécialement conçus ou préparés » pour la séparation des isotopes de l'uranium :

## 22. \*Centrifugeuses à gaz et assemblages et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans ces centrifugeuses

### *Note d'introduction :*

Ordinairement, la centrifugeuse à gaz se compose d'un ou de plusieurs cylindres à paroi mince, d'un diamètre compris entre 75 mm et 400 mm, placés dans une enceinte à vide et tournant à grande vitesse périphérique de l'ordre de 300 m/s ou plus autour d'un axe vertical. Pour atteindre une grande vitesse, les matériaux constitutifs des composants tournants doivent avoir un rapport résistance-densité élevé et l'assemblage rotor, et donc ses composants, doivent être usinés avec des tolérances très serrées pour minimiser les écarts par rapport à l'axe. À la différence d'autres centrifugeuses, la centrifugeuse à gaz utilisée pour l'enrichissement de l'uranium se caractérise par la présence dans le bol d'une ou de plusieurs chicanes tournantes en forme de disque, d'un ensemble de tubes fixe servant à introduire et à prélever l' $UF_6$  gazeux et d'au moins trois canaux séparés, dont deux sont connectés à des écopés s'étendant de l'axe à la périphérie du bol. On trouve aussi, dans l'enceinte à vide, plusieurs articles critiques qui ne tournent pas et qui, bien qu'ils soient conçus spécialement, ne sont pas difficiles à fabriquer et ne sont pas non plus composés de matériaux spéciaux. Toutefois, une installation d'ultracentrifugation nécessite un grand nombre de ces composants, de sorte que la quantité peut être une indication importante de l'utilisation finale.

### 22.1 \*Composants tournants

#### a) Assemblages rotors complets :

Cylindres à paroi mince, ou ensembles de cylindres à paroi mince réunis, fabriqués dans un ou plusieurs des matériaux à rapport résistance-densité élevé décrits dans la *note explicative* de la présente rubrique; lorsqu'ils sont réunis, les cylindres sont joints les uns aux autres par les soufflets ou anneaux flexibles décrits sous c) ci-après. Le bol est équipé d'une ou de plusieurs chicanes internes et de bouchons d'extrémité, comme indiqué sous d) et e) ci-après, s'il est prêt à l'emploi. Toutefois, l'assemblage complet peut être livré partiellement monté seulement;

#### b) Bols :

Cylindres à paroi mince d'une épaisseur de 12 mm ou moins, spécialement conçus ou préparés, ayant un diamètre compris entre 75 mm et 400 mm et fabriqués dans un ou plusieurs des matériaux à rapport résistance-densité élevé décrits dans la *note explicative* de la présente rubrique;

#### c) Anneaux ou soufflets :

Composants spécialement conçus ou préparés pour fournir un support local au bol ou pour joindre ensemble plusieurs cylindres constituant le bol. Le soufflet est un cylindre court ayant une paroi de 3 mm ou moins d'épaisseur, un diamètre compris entre 75 mm et 400 mm et une spire, et fabriqué dans l'un des matériaux ayant un rapport résistance-densité élevé décrit dans la *note explicative* de la présente rubrique;

## d) Chicanes :

Composants en forme de disque d'un diamètre compris entre 75 mm et 400 mm, spécialement conçus ou préparés pour être montés à l'intérieur du bol de la centrifugeuse afin d'isoler la chambre de prélèvement de la chambre de séparation principale et, dans certains cas, de faciliter la circulation de l' $\text{UF}_6$  gazeux à l'intérieur de la chambre de séparation principale du bol, et fabriqués dans l'un des matériaux ayant un rapport résistance-densité élevé décrit dans la *note explicative* de la présente rubrique;

## e) Bouchons d'extrémité supérieurs et inférieurs :

Composants en forme de disque d'un diamètre compris entre 75 mm et 400 mm spécialement conçus ou préparés pour s'adapter aux extrémités du bol et maintenir ainsi l' $\text{UF}_6$  à l'intérieur de celui-ci et, dans certains cas, pour porter, retenir ou contenir en tant que partie intégrante un élément du palier supérieur (bouchon supérieur) ou pour porter les éléments tournants du moteur et du palier inférieur (bouchon inférieur), et fabriqués dans l'un des matériaux ayant un rapport résistance-densité élevé décrit dans la *note explicative* de la présente rubrique.

*Note explicative :*

*Les matériaux utilisés pour les composants tournants des centrifugeuses sont :*

- i) *Les aciers maraging ayant une charge limite de rupture égale ou supérieure à  $2,05 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  ou plus;*
- ii) *Les alliages d'aluminium ayant une charge limite de rupture égale ou supérieure à  $0,46 \times 10^9 \text{ N/m}^2$  ou plus;*
- iii) *Des matériaux filamenteux pouvant être utilisés dans des structures composites et ayant un module spécifique égal ou supérieur à  $12,3 \times 10^6 \text{ m}$ , et une charge limite de rupture spécifique égale ou supérieure à  $0,3 \times 10^6 \text{ m}$  (le « module spécifique » est le module de Young exprimé en  $\text{N/m}^2$  divisé par le poids volumique exprimé en  $\text{N/m}^3$ ; la « charge limite de rupture spécifique » est la charge limite de rupture exprimée en  $\text{N/m}^2$  divisée par le poids volumique exprimé en  $\text{N/m}^3$ ).*

## 22.2 \*Composants fixes

## a) Paliers de suspension magnétique :

Assemblages de support spécialement conçus ou préparés, comprenant un aimant annulaire suspendu dans un carter contenant un milieu amortisseur. Le carter est fabriqué dans un matériau résistant à l' $\text{UF}_6$  (voir la *note explicative* de la rubrique 22). L'aimant est couplé à une pièce polaire ou à un deuxième aimant fixé sur le bouchon d'extrémité supérieur décrit sous 22.1 e). L'aimant annulaire peut avoir un rapport entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur inférieur ou égal à 1,6:1. L'aimant peut avoir une perméabilité initiale égale ou supérieure à 0,15 H/m (120 000 en unités CGS), ou une rémanence égale ou supérieure à 98,5 %, ou une densité d'énergie électromagnétique supérieure à  $80 \text{ kJ/m}^3$  ( $10^7$  gauss-oersteds). Outre les propriétés habituelles du matériau, une condition essentielle est que la déviation des axes magnétiques par rapport aux axes géométriques soit limitée par des tolérances très serrées

(inférieures à 0,1 mm) ou que l'homogénéité du matériau de l'aimant soit spécialement imposée;

b) Paliers de butée/amortisseurs :

Paliers spécialement conçus ou préparés comprenant un assemblage pivot/coupelle monté sur un amortisseur. Le pivot se compose habituellement d'un arbre en acier trempé comportant un hémisphère à une extrémité et un dispositif de fixation au bouchon inférieur décrit sous 22.1 e) à l'autre extrémité. Toutefois, l'arbre peut être équipé d'un palier hydrodynamique. La coupelle a la forme d'une pastille avec indentation hémisphérique sur une surface. Ces composants sont souvent fournis indépendamment de l'amortisseur;

c) Pompes moléculaires :

Cylindres spécialement conçus ou préparés, qui comportent sur leur face interne des rayures hélicoïdales obtenues par usinage ou extrusion et dont les orifices sont alésés. Leurs dimensions habituelles sont les suivantes : diamètre interne compris entre 75 mm et 400 mm, épaisseur de paroi égale ou supérieure à 10 mm et longueur égale ou supérieure au diamètre. Habituellement, les rayures ont une section rectangulaire et une profondeur égale ou supérieure à 2 mm;

d) Stators de moteur :

Stators annulaires spécialement conçus ou préparés pour des moteurs grande vitesse à hystérésis (ou à réductance) alimentés en courant alternatif multiphasé pour fonctionnement synchrone dans le vide avec une gamme de fréquence de 600 à 2 000 Hz, et une gamme de puissance de 50 à 1 000 VA. Les stators sont constitués par des enroulements multiphasés sur des noyaux de fer doux feuilletés constitués de couches minces dont l'épaisseur est habituellement inférieure ou égale à 2 mm;

e) Enceintes de centrifugeuse :

Composants spécialement conçus ou préparés pour contenir l'assemblage rotor d'une centrifugeuse. L'enceinte est constituée d'un cylindre rigide possédant une paroi de 30 mm d'épaisseur ou plus, ayant subi un usinage de précision aux extrémités en vue de recevoir les paliers et qui est muni d'une ou de plusieurs brides pour le montage. Les extrémités usinées sont parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe longitudinal du cylindre avec une déviation égale à 0,05 degré au plus. L'enceinte peut également être formée d'une structure de type alvéolaire permettant de loger plusieurs bols. Les enceintes sont constituées ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ ;

f) Écopes :

Tubes ayant un diamètre interne de 12 mm au plus, spécialement conçus ou préparés pour extraire l' $\text{UF}_6$  gazeux contenu dans le bol selon le principe du tube de Pitot (c'est-à-dire que leur ouverture débouche dans le flux gazeux périphérique à l'intérieur du bol, configuration obtenue par exemple en courbant l'extrémité d'un tube disposé selon le rayon) et pouvant être raccordés au système central de prélèvement du gaz. Les tubes sont constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ .

## 23. \*Systèmes, équipements et composants auxiliaires spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par ultracentrifugation

*Note d'introduction :*

*Les systèmes, équipements et composants auxiliaires d'une usine d'enrichissement par ultracentrifugation sont les systèmes nécessaires pour introduire l' $UF_6$  dans les centrifugeuses, pour relier les centrifugeuses les unes aux autres en cascades afin d'obtenir des taux d'enrichissement de plus en plus élevés, et pour prélever l' $UF_6$  dans les centrifugeuses en tant que « produit » et « résidu », ainsi que les équipements d'entraînement des centrifugeuses et de commande de l'usine.*

*Habituellement, l' $UF_6$  est sublimé au moyen d'autoclaves chauffés et réparti à l'état gazeux dans les diverses centrifugeuses grâce à un collecteur tubulaire de cascade. Les flux de « produit » et de « résidu » sortant des centrifugeuses sont aussi acheminés par un collecteur tubulaire de cascade vers des pièges à froid [fonctionnant à environ 203 K (-70 °C)] où l' $UF_6$  est condensé avant d'être transféré dans des conteneurs de transport ou de stockage. Étant donné qu'une usine d'enrichissement contient plusieurs milliers de centrifugeuses montées en cascade, il y a plusieurs kilomètres de tuyauteries comportant des milliers de soudures, ce qui suppose une répétitivité considérable du montage. Les équipements, composants et tuyauteries sont fabriqués suivant des normes très rigoureuses de vide et de propreté.*

### 23.1 \*Systèmes d'alimentation/systèmes de prélèvement du « produit » et des « résidus »

Systèmes spécialement conçus ou préparés comprenant :

- a) Des autoclaves (ou stations) d'alimentation, utilisés pour introduire l' $UF_6$  dans les cascades de centrifugeuses à une pression allant jusqu'à 100 kPa et à un débit égal ou supérieur à 1 kg/h;
- b) Des pièges à froid utilisés pour prélever l' $UF_6$  des cascades à une pression allant jusqu'à 3 kPa. Les pièges à froid peuvent être refroidis jusqu'à 203 K (-70 °C) et chauffés jusqu'à 343 K (70 °C); et
- c) Des stations « produit » et « résidu » pour le transfert de l' $UF_6$  dans des conteneurs.

Ces équipements et ces tuyauteries sont constitués entièrement ou revêtus intérieurement de matériaux résistant à l' $UF_6$  (voir la *note explicative* de la présente rubrique) et fabriqués suivant des normes très rigoureuses de vide et de propreté.

### 23.2 \*Collecteurs/tuyauteries

Tuyauteries et collecteurs spécialement conçus ou préparés pour la manipulation de l' $UF_6$  à l'intérieur des cascades de diffusion gazeuse.

La tuyauterie est normalement du type collecteur « triple », chaque centrifugeuse étant connectée à chacun des collecteurs. La répétitivité du montage du système est donc grande. Le système est constitué entièrement de matériaux résistant à l' $UF_6$

(voir la *note explicative* de la présente rubrique) et fabriqué suivant des normes très rigoureuses de vide et de propreté.

### 23.3 \*Spectromètres de masse pour UF<sub>6</sub>/sources d'ions

Spectromètres de masse magnétiques ou quadripolaires spécialement conçus ou préparés, capables de prélever en direct sur les flux d'UF<sub>6</sub> gazeux des échantillons du gaz d'entrée, du produit ou des résidus, et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Pouvoir de résolution unitaire pour l'unité de masse atomique supérieur à 320;
- b) Sources d'ions constituées ou revêtues de nichrome ou de monel ou nickelées;
- c) Sources d'ionisation par bombardement électronique; *et*
- d) Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

### 23.4. \*Convertisseurs de fréquence

Convertisseurs de fréquence spécialement conçus ou préparés pour l'alimentation des stators de moteurs décrits sous 22.2 d), ou parties, composants et sous-assemblages de convertisseurs de fréquence, ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Sortie multiphasée de 600 à 2 000 Hz;
- b) Stabilité élevée (avec un contrôle de la fréquence supérieur à 0,1 %); *et*
- c) Faible distorsion harmonique (inférieure à 2 %);

*Note :*

*Voir aussi la rubrique 84.*

*Note explicative :*

*Les articles énumérés sous la rubrique 23, soit sont en contact direct avec l'UF<sub>6</sub> gazeux, soit contrôlent directement les centrifugeuses et le passage du gaz d'une centrifugeuse à l'autre et d'une cascade à l'autre.*

*Les matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub> comprennent l'acier inoxydable, l'aluminium, les alliages d'aluminium, le nickel et les alliages contenant 60 % ou plus de nickel.*

## 24. \*Assemblages et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans l'enrichissement par diffusion gazeuse

*Note d'introduction :*

*Dans la méthode de séparation des isotopes de l'uranium par diffusion gazeuse, le principal assemblage du procédé est constitué par une barrière poreuse spéciale de diffusion gazeuse, un échangeur de chaleur pour refroidir le gaz (qui est échauffé par la compression), des vannes d'étanchéité et des vannes de réglage ainsi que des tuyauteries. Étant donné que le procédé de la diffusion gazeuse fait appel à l'hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>), toutes les surfaces des équipements, tuyauteries et instruments (qui sont en contact avec le gaz) doivent*

*être constituées de matériaux qui restent stables en présence d'UF<sub>6</sub>. Une installation de diffusion gazeuse nécessite un grand nombre d'assemblages de ce type, de sorte que la quantité peut être une indication importante de l'utilisation finale.*

#### **24.1 \*Barrières de diffusion gazeuse**

- a) Filtres minces et poreux spécialement conçus ou préparés, qui ont des pores d'un diamètre de 100 à 1 000 Å (ångströms), une épaisseur égale ou inférieure à 5 mm et, dans le cas des formes tubulaires, un diamètre égal ou inférieur à 25 mm, et sont constitués de matériaux métalliques, polymères ou céramiques résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub>; *et*
- b) Composés ou poudres préparés spécialement pour la fabrication de ces filtres. Ces composés et poudres comprennent le nickel et des alliages contenant 60 % ou plus de nickel, l'oxyde d'aluminium et les polymères d'hydrocarbures totalement fluorés ayant une pureté égale ou supérieure à 99,9 %, une taille des grains inférieure à 10 microns et une grande uniformité de cette taille, qui sont spécialement préparés pour la fabrication de barrières de diffusion gazeuse.

#### **24.2 \*Diffuseurs**

Enceintes spécialement conçues ou préparées, hermétiquement scellées, de forme cylindrique et ayant plus de 300 mm de diamètre et plus de 900 mm de long, ou de forme rectangulaire avec des dimensions comparables, qui sont dotées d'un raccord d'entrée et de deux raccords de sortie ayant tous plus de 50 mm de diamètre, prévues pour contenir la barrière de diffusion gazeuse, constituées ou revêtues intérieurement de matériaux résistant à l'UF<sub>6</sub> et conçues pour être installées horizontalement ou verticalement.

#### **24.3 \*Compresseurs et soufflantes à gaz**

Compresseurs axiaux, centrifuges ou volumétriques et soufflantes à gaz spécialement conçus ou préparés, ayant une capacité d'aspiration de 1 m<sup>3</sup>/min ou plus d'UF<sub>6</sub> et une pression de sortie pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de kPa, conçus pour fonctionner longtemps en atmosphère d'UF<sub>6</sub>, avec ou sans moteur électrique de puissance appropriée, et assemblages séparés de compresseurs et soufflantes à gaz de ce type. Ces compresseurs et soufflantes à gaz ont un rapport de compression compris entre 2/1 et 6/1 et sont constitués ou revêtus intérieurement de matériaux résistant à l'UF<sub>6</sub>.

#### **24.4 \*Garnitures d'étanchéité d'arbres**

Garnitures à vide spécialement conçues ou préparées, avec connexions d'alimentation et d'échappement, pour assurer de manière fiable l'étanchéité de l'arbre reliant le rotor du compresseur ou de la soufflante à gaz au moteur d'entraînement en empêchant l'air de pénétrer dans la chambre intérieure du compresseur ou de la soufflante à gaz qui est remplie d'UF<sub>6</sub>. Ces garnitures sont normalement conçues pour un taux de pénétration de gaz tampon inférieur à 1 000 cm<sup>3</sup>/min (60 pouces cubes/min).

**24.5 \*Échangeurs de chaleur pour le refroidissement de l'UF<sub>6</sub>**

Échangeurs de chaleur spécialement conçus ou préparés, constitués ou revêtus intérieurement de matériaux résistant à l'UF<sub>6</sub> (à l'exception de l'acier inoxydable) ou de cuivre ou d'une combinaison de ces métaux et prévus pour un taux de variation de la pression due à une fuite qui est inférieur à 10 Pa par heure pour une différence de pression de 100 kPa.

**24.6 \*Membranes poreuses**

Membranes poreuses autres que celles spécifiées sous 24.1 et possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Des pores d'un diamètre de 1 nm à 100 nm; *et*
- b) Des surfaces qui entrent en contact avec le liquide de traitement contenant une ou plusieurs des matières suivantes : aluminium, alliage d'aluminium, oxyde d'aluminium, nickel, alliage de nickel, acier inoxydable ou polymères d'hydrocarbures totalement fluorés.

*Note :*

*La présente rubrique ne recouvre pas les membranes poreuses qui sont un élément de dispositifs ou produits finis spécialement conçus pour la purification de l'eau ou à usage médical, et qui sont fournies en tant que parties intégrales de ces dispositifs ou produits finis.*

**25. \*Systèmes, équipements et composants auxiliaires spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans l'enrichissement par diffusion gazeuse**

*Note d'introduction :*

*Les systèmes, les équipements et les composants auxiliaires des usines d'enrichissement par diffusion gazeuse sont les systèmes nécessaires pour introduire l'UF<sub>6</sub> dans l'assemblage de diffusion gazeuse, pour relier les assemblages les uns aux autres en cascades (ou étages) afin d'obtenir des taux d'enrichissement de plus en plus élevés, et pour prélever l'UF<sub>6</sub> dans les cascades de diffusion en tant que « produit » et « résidus ». En raison des fortes propriétés d'inertie des cascades de diffusion, toute interruption de leur fonctionnement, et en particulier leur mise à l'arrêt, a de sérieuses conséquences. Le maintien d'un vide rigoureux et constant dans tous les systèmes du procédé, la protection automatique contre les accidents et le réglage automatique précis du flux de gaz revêtent donc une grande importance dans une usine de diffusion gazeuse. Tout cela oblige à équiper l'usine d'un grand nombre de systèmes spéciaux de commande, de régulation et de mesure.*

*Habituellement, l'UF<sub>6</sub> est sublimé à partir de cylindres placés dans des autoclaves et envoyé à l'état gazeux au point d'entrée grâce à un collecteur tubulaire de cascade. Les flux de « produit » et de « résidus » issus des points de sortie sont acheminés par un collecteur tubulaire de cascade vers les pièges à froid ou les stations de compression où l'UF<sub>6</sub> gazeux est liquéfié avant d'être transféré dans des conteneurs de transport ou de stockage appropriés. Étant donné qu'une usine d'enrichissement par diffusion gazeuse contient un grand*

*nombre d'assemblages de diffusion gazeuse disposés en cascades, il y a plusieurs kilomètres de tuyauteries comportant des milliers de soudures, ce qui suppose une répétitivité considérable du montage. Les équipements, composants et tuyauteries sont fabriqués suivant des normes très rigoureuses de vide et de propreté.*

### **25.1 \*Systèmes d'alimentation/systèmes de prélèvement du produit et des résidus**

Systèmes spécialement conçus ou préparés, capables de fonctionner à des pressions égales ou inférieures à 300 kPa et comprenant :

- a) Des autoclaves (ou systèmes) d'alimentation utilisés pour introduire l' $\text{UF}_6$  dans les cascades de diffusion gazeuse;
- b) Des pièges à froid utilisés pour prélever l' $\text{UF}_6$  des cascades de diffusion;
- c) Des stations de liquéfaction où l' $\text{UF}_6$  gazeux provenant de la cascade est comprimé et refroidi pour obtenir de l' $\text{UF}_6$  liquide; *et*
- d) Des stations « produit » ou « résidus » pour le transfert de l' $\text{UF}_6$  dans des conteneurs.

### **25.2 \*Collecteurs/tuyauteries**

Tuyauteries et collecteurs spécialement conçus ou préparés pour la manipulation de l' $\text{UF}_6$  à l'intérieur des cascades de diffusion gazeuse.

La tuyauterie est normalement du type collecteur « double », chaque cellule étant connectée à chacun des collecteurs.

### **25.3 \*Systèmes à vide**

- a) Grands distributeurs à vide, collecteurs à vide et pompes à vide ayant une capacité d'aspiration égale ou supérieure à  $5 \text{ m}^3/\text{min}$ , spécialement conçus ou préparés; *et*
- b) Pompes à vide spécialement conçues pour fonctionner en atmosphère d' $\text{UF}_6$ , constituées ou revêtues intérieurement d'aluminium, de nickel ou d'alliages comportant plus de 60 % de nickel. Ces pompes peuvent être rotatives ou volumétriques, être à déplacement et dotées de joints en fluorocarbures et être pourvues de fluides de service spéciaux.

### **25.4 \*Vannes spéciales d'arrêt et de réglage**

Soufflets d'arrêt et de réglage, manuels ou automatiques, spécialement conçus ou préparés, constitués de matériaux résistant à l' $\text{UF}_6$  et ayant un diamètre compris entre 40 et 1 500 mm pour installation dans des systèmes principaux et auxiliaires des usines d'enrichissement par diffusion gazeuse.

### **25.5 \*Spectromètres de masse pour $\text{UF}_6$ /sources d'ions**

Spectromètres de masse magnétiques ou quadripolaires spécialement conçus ou préparés, capables de prélever en direct sur les flux d' $\text{UF}_6$  gazeux des échantillons du gaz d'entrée, du produit ou des résidus, et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Pouvoir de résolution unitaire pour l'unité de masse atomique supérieur à 320;
- b) Sources d'ions constituées ou revêtues de nichrome ou de monel ou nickelées;
- c) Sources d'ionisation par bombardement électronique; et
- d) Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

*Note explicative :*

*Les articles énumérés ci-dessus, soit sont en contact direct avec l'UF<sub>6</sub> gazeux, soit contrôlent directement le flux de gaz dans la cascade. Toutes les surfaces qui sont en contact avec le gaz de procédé sont constituées entièrement ou revêtues de matériaux résistant à l'UF<sub>6</sub>. Aux fins des rubriques relatives aux articles pour diffusion gazeuse, les matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub> comprennent l'acier inoxydable, l'aluminium, les alliages d'aluminium, l'oxyde d'aluminium, le nickel et les alliages contenant 60 % ou plus de nickel et les polymères d'hydrocarbures totalement fluorés résistant à l'UF<sub>6</sub>.*

## **26. \*Systèmes, équipements et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par procédé aérodynamique**

*Note d'introduction :*

*Dans les procédés d'enrichissement aérodynamiques, un mélange d'UF<sub>6</sub> gazeux et d'un gaz léger (hydrogène ou hélium) est comprimé, puis envoyé au travers d'éléments séparateurs dans lesquels la séparation isotopique se fait grâce à la production de forces centrifuges importantes le long d'une paroi courbe. Deux procédés de ce type ont été mis au point avec de bons résultats : le procédé à tuyères et le procédé vortex. Dans les deux cas, les principaux composants d'un étage de séparation comprennent des enceintes cylindriques qui renferment les éléments de séparation spéciaux (tuyères ou tubes vortex), des compresseurs et des échangeurs de chaleur destinés à évacuer la chaleur de compression. Une usine d'enrichissement par procédé aérodynamique nécessite un grand nombre de ces étages, de sorte que la quantité peut être une indication importante de l'utilisation finale. Étant donné que les procédés aérodynamiques font appel à l'UF<sub>6</sub>, toutes les surfaces des équipements, tuyauteries et instruments (qui sont en contact avec le gaz) doivent être constituées de matériaux qui restent stables au contact de l'UF<sub>6</sub>.*

*Note explicative :*

*Les articles énumérés sous la présente rubrique soit sont en contact direct avec l'UF<sub>6</sub> gazeux, soit contrôlent directement le flux de gaz dans la cascade. Toutes les surfaces qui sont en contact avec le gaz de procédé sont constituées entièrement ou revêtues de matériaux résistant à l'UF<sub>6</sub>. Aux fins de la rubrique relative aux articles pour enrichissement par procédé aérodynamique, les matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub> comprennent le cuivre, l'acier inoxydable, l'aluminium, les alliages d'aluminium, le nickel et les alliages contenant 60 % ou plus de nickel, et les polymères d'hydrocarbures totalement fluorés résistant à l'UF<sub>6</sub>.*

**26.1 \*Tuyères de séparation**

Tuyères de séparation et assemblages de tuyères de séparation spécialement conçus ou préparés. Les tuyères de séparation sont constituées de canaux incurvés à section à fente, de rayon de courbure inférieur à 1 mm (habituellement compris entre 0,1 et 0,05 mm), résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub>, à l'intérieur desquels un écorceur sépare en deux fractions le gaz circulant dans la tuyère.

**26.2 \*Tubes vortex**

Tubes vortex et assemblages de tubes vortex, spécialement conçus ou préparés. Les tubes vortex, de forme cylindrique ou conique, sont constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub>, ont un diamètre compris entre 0,5 cm et 4 cm et un rapport longueur/diamètre inférieur ou égal à 20:1, et sont munis d'un ou plusieurs canaux d'admission tangentiels. Les tubes peuvent être équipés de dispositifs de type tuyère à l'une de leurs extrémités ou à leurs deux extrémités.

*Note explicative :*

*Le gaz pénètre tangentiellement dans le tube vortex à l'une de ses extrémités, ou par l'intermédiaire de cyclones, ou encore tangentiellement par de nombreux orifices situés le long de la périphérie du tube.*

**26.3 \*Compresseurs et soufflantes à gaz**

Compresseurs axiaux, centrifuges ou volumétriques ou soufflantes à gaz spécialement conçus ou préparés, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub> et ayant une capacité d'aspiration du mélange d'UF<sub>6</sub> et de gaz porteur (hydrogène ou hélium) de 2 m<sup>3</sup>/min ou plus.

*Note explicative :*

*Ces compresseurs et ces soufflantes à gaz ont généralement un rapport de compression compris entre 1,2/1 et 6/1.*

**26.4 \*Garnitures d'étanchéité d'arbres**

Garnitures spécialement conçues ou préparées, avec connexions d'alimentation et d'échappement, pour assurer de manière fiable l'étanchéité de l'arbre reliant le rotor du compresseur ou de la soufflante à gaz au moteur d'entraînement en empêchant le gaz de procédé de s'échapper, ou l'air ou le gaz d'étanchéité de pénétrer dans la chambre intérieure du compresseur ou de la soufflante à gaz qui est remplie du mélange d'UF<sub>6</sub> et de gaz porteur.

**26.5 \*Échangeurs de chaleur pour le refroidissement du mélange de gaz**

Échangeurs de chaleur spécialement conçus ou préparés, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub>.

**26.6 \*Enceintes renfermant les éléments de séparation**

Enceintes spécialement conçues ou préparées, constituées ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion par l'UF<sub>6</sub>, destinées à recevoir les tubes vortex ou les tuyères de séparation.

*Note explicative :*

*Ces enceintes peuvent être des conteneurs de forme cylindrique ayant plus de 300 mm de diamètre et plus de 900 mm de long, ou de forme rectangulaire avec des dimensions comparables, et elles peuvent être conçues pour être installées horizontalement ou verticalement.*

#### **26.7 \*Systèmes d'alimentation/systèmes de prélèvement du « produit » et des « résidus »**

Systèmes ou équipements spécialement conçus ou préparés pour les usines d'enrichissement, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$  et comprenant :

- a) Des autoclaves, fours et systèmes d'alimentation utilisés pour introduire l' $\text{UF}_6$  dans le processus d'enrichissement;
- b) Des pièges à froid utilisés pour prélever l' $\text{UF}_6$  du processus d'enrichissement en vue de son transfert ultérieur après réchauffement;
- c) Des stations de solidification ou de liquéfaction utilisées pour prélever l' $\text{UF}_6$  du processus d'enrichissement, par compression et passage à l'état liquide ou solide; *et*
- d) Des stations « produit » ou « résidus » pour le transfert de l' $\text{UF}_6$  dans des conteneurs.

#### **26.8 \*Collecteurs/tuyauteries**

Tuyauteries et collecteurs constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ , spécialement conçus ou préparés pour la manipulation de l' $\text{UF}_6$  à l'intérieur des cascades aérodynamiques. La tuyauterie est normalement du type collecteur « double », chaque étage ou groupe d'étages étant connecté à chacun des collecteurs.

#### **26.9 \*Systèmes et pompes à vide**

- a) Systèmes à vide spécialement conçus ou préparés, ayant une capacité d'aspiration supérieure ou égale à 5 m<sup>3</sup>/min, comprenant des distributeurs à vide, des collecteurs à vide et des pompes à vide et conçus pour fonctionner en atmosphère d' $\text{UF}_6$ ;
- b) Pompes à vide spécialement conçues ou préparées pour fonctionner en atmosphère d' $\text{UF}_6$ , et constituées ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ . Ces pompes peuvent être dotées de joints en fluorocarbures et pourvues de fluides de service spéciaux.

#### **26.10 \*Vannes spéciales d'arrêt et de réglage**

Soufflets d'arrêt et de réglage, manuels ou automatiques, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$  et ayant un diamètre compris entre 40 et 1 500 mm, spécialement conçus ou préparés pour installation dans des systèmes principaux ou auxiliaires d'usines d'enrichissement par procédé aérodynamique.

**26.11 \*Spectromètres de masse pour UF<sub>6</sub>/sources d'ions**

Spectromètres de masse magnétiques ou quadripolaires spécialement conçus ou préparés, capables de prélever en direct sur les flux d'UF<sub>6</sub> gazeux des échantillons du gaz d'entrée, du « produit » ou des « résidus », et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Pouvoir de résolution unitaire pour l'unité de masse atomique supérieur à 320;
- b) Sources d'ions constituées ou revêtues de nichrome ou de monel ou nickelées;
- c) Sources d'ionisation par bombardement électronique; *et*
- d) Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

**26.12 \*Systèmes de séparation de l'UF<sub>6</sub> et du gaz porteur**

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour séparer l'UF<sub>6</sub> du gaz porteur (hydrogène ou hélium).

*Note explicative :*

*Ces systèmes sont conçus pour réduire la teneur en UF<sub>6</sub> du gaz porteur à 1 ppm ou moins et peuvent comprendre les équipements suivants :*

- i) *Échangeurs de chaleur cryogéniques et cryoséparateurs capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à -120 °C, ou*
- ii) *Appareils de réfrigération cryogéniques capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à -120 °C, ou*
- iii) *Tuyères de séparation ou tubes vortex pour séparer l'UF<sub>6</sub> du gaz porteur, ou*
- iv) *Pièges à froid pour l'UF<sub>6</sub> capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à -20 °C.*

**27. \*Systèmes, équipements et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par échange chimique ou par échange d'ions**

*Note d'introduction*

*Les différences de masse minimes que présentent les isotopes de l'uranium entraînent de légères différences dans l'équilibre des réactions chimiques, phénomène qui peut être utilisé pour séparer les isotopes. Deux procédés ont été mis au point avec de bons résultats : l'échange chimique liquide-liquide et l'échange d'ions solide-liquide.*

*Dans le procédé d'échange chimique liquide-liquide, deux phases liquides non miscibles (aqueuse et organique) sont mises en contact par circulation à contre-courant de façon à obtenir un effet de cascade correspondant à plusieurs milliers d'étages de séparation. La phase aqueuse est composée de chlorure d'uranium en solution dans de l'acide chlorhydrique; la phase organique est constituée d'un agent d'extraction contenant du chlorure d'uranium dans un*

*solvant organique. Les contacteurs employés dans la cascade de séparation peuvent être des colonnes d'échange liquide-liquide (telles que des colonnes pulsées à plateaux perforés) ou des contacteurs centrifuges liquide-liquide. Des phénomènes chimiques (oxydation et réduction) sont nécessaires à chacune des deux extrémités de la cascade de séparation afin d'y permettre le reflux. L'un des principaux soucis du concepteur est d'éviter la contamination des flux du procédé par certains ions métalliques. On utilise par conséquent des colonnes et des tuyauteries en plastique, revêtues intérieurement de plastique (y compris des fluorocarbures polymères) et/ou revêtues intérieurement de verre.*

*Dans le procédé d'échange d'ions solide-liquide, l'enrichissement est réalisé par adsorption/désorption de l'uranium sur une résine échangeuse d'ions ou un adsorbant spécial à action très rapide. La solution d'uranium dans l'acide chlorhydrique et d'autres agents chimiques est acheminée à travers des colonnes d'enrichissement cylindriques contenant un garnissage constitué de l'adsorbant. Pour que le processus se déroule de manière continue, il faut qu'un système de reflux libère l'uranium de l'adsorbant pour le remettre en circulation dans la phase liquide, de façon à ce que le « produit » et les « résidus » puissent être collectés. Cette opération est effectuée au moyen d'agents chimiques d'oxydoréduction appropriés, qui sont totalement régénérés dans des circuits externes indépendants et peuvent être partiellement régénérés dans les colonnes de séparation proprement dites. En raison de la présence de solutions dans de l'acide chlorhydrique concentré chaud, les équipements doivent être constitués ou revêtus de matériaux spéciaux résistant à la corrosion.*

#### **27.1 \*Colonnes d'échange liquide-liquide (échange chimique)**

Colonnes d'échange liquide-liquide à contre-courant avec apport d'énergie mécanique (à savoir colonnes pulsées à plateaux perforés, colonnes à plateaux animés d'un mouvement alternatif et colonnes munies de turbo-agitateurs internes), spécialement conçues ou préparées pour l'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange chimique. Afin de les rendre résistants à la corrosion par les solutions dans de l'acide chlorhydrique concentré, les colonnes et leurs internes sont constitués ou revêtus de matériaux plastiques appropriés (fluorocarbures polymères, par exemple) ou de verre. Les colonnes sont conçues de telle manière que le temps de séjour correspondant à un étage soit court (30 secondes au plus).

#### **27.2 \*Contacteurs centrifuges liquide-liquide (échange chimique)**

Contacteurs centrifuges liquide-liquide spécialement conçus ou préparés pour l'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange chimique. Dans ces contacteurs, la dispersion des flux organiques et aqueux est obtenue par rotation, puis la séparation des phases par application d'une force centrifuge. Afin de les rendre résistants à la corrosion par les solutions dans de l'acide chlorhydrique concentré, les contacteurs sont constitués ou revêtus de matériaux plastiques appropriés (fluorocarbures polymères, par exemple) ou revêtus de verre. Les contacteurs centrifuges sont conçus de telle manière que le temps de séjour correspondant à un étage soit court (30 secondes au plus).

### 27.3 \*Systèmes et équipements de réduction de l'uranium (échange chimique)

- a) Cellules de réduction électrochimique spécialement conçues ou préparées pour ramener l'uranium d'un état de valence à un état inférieur en vue de son enrichissement par le procédé d'échange chimique. Les matériaux de la cellule en contact avec les solutions du procédé doivent être résistants à la corrosion par les solutions dans de l'acide chlorhydrique concentré.

*Note explicative :*

*Le compartiment cathodique de la cellule doit être conçu de manière à empêcher que l'uranium ne repasse à la valence supérieure par réoxydation. Afin de maintenir l'uranium dans le compartiment cathodique, la cellule peut être pourvue d'une membrane inattaquable constituée d'un matériau spécial échangeur de cations. La cathode est constituée d'un matériau conducteur solide approprié tel que le graphite.*

- b) Systèmes situés à l'extrémité de la cascade où est récupéré le produit, spécialement conçus ou préparés pour prélever l' $U^{4+}$  sur le flux organique, ajuster la concentration en acide et alimenter les cellules de réduction électrochimique.

*Note explicative :*

*Ces systèmes comprennent les équipements d'extraction par solvant permettant de prélever l' $U^{4+}$  sur le flux organique pour l'introduire dans la solution aqueuse, les équipements d'évaporation et/ou autres équipements permettant d'ajuster et de contrôler le pH de la solution, ainsi que les pompes ou autres dispositifs de transfert destinés à alimenter les cellules de réduction électrochimique. L'un des principaux soucis du concepteur est d'éviter la contamination du flux aqueux par certains ions métalliques. Par conséquent, les parties du système qui sont en contact avec le flux du procédé sont composées d'éléments constitués ou revêtus de matériaux appropriés (tels que le verre, les fluorocarbures polymères, le sulfate de polyphényle, le polyéther sulfone et le graphite imprégné de résine).*

### 27.4 \*Systèmes de préparation de l'alimentation (échange chimique)

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour produire des solutions de chlorure d'uranium de grande pureté destinées à alimenter les usines de séparation des isotopes de l'uranium par échange chimique.

*Note explicative :*

*Ces systèmes comprennent les équipements de purification par dissolution, extraction par solvant et/ou échange d'ions, ainsi que les cellules électrolytiques pour réduire l'uranium  $U^{6+}$  ou  $U^{4+}$  en  $U^{3+}$ . Ils produisent des solutions de chlorure d'uranium ne contenant que quelques parties par million d'impuretés métalliques telles que chrome, fer, vanadium, molybdène et autres cations de valence égale ou supérieure à 2. Les matériaux dont sont constituées ou revêtues les parties du système où est traité de l'uranium  $U^{3+}$  de grande pureté comprennent le verre, les fluorocarbures polymères, le sulfate de polyphényle ou le polyéther sulfone et le graphite imprégné de résine.*

**27.5 \*Systèmes d'oxydation de l'uranium (échange chimique)**

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour oxyder  $U^{3+}$  en  $U^{4+}$  en vue du reflux vers la cascade de séparation des isotopes dans le procédé d'enrichissement par échange chimique.

*Note explicative :*

*Ces systèmes peuvent comprendre des appareils des types suivants :*

- i) *Appareils destinés à mettre en contact le chlore et l'oxygène avec l'effluent aqueux provenant de la section de séparation des isotopes et à prélever l' $U^{4+}$  qui en résulte pour l'introduire dans l'effluent organique appauvri provenant de l'extrémité de la cascade où est prélevé le produit;*
- ii) *Appareils qui séparent l'eau de l'acide chlorhydrique de façon à ce que l'eau et l'acide chlorhydrique concentré puissent être réintroduits dans le processus aux emplacements appropriés.*

**27.6 \*Résines échangeuses d'ions/adsorbants à réaction rapide (échange d'ions)**

Résines échangeuses d'ions ou adsorbants à réaction rapide spécialement conçus ou préparés pour l'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange d'ions, en particulier résines poreuses macroréticulées et/ou structures pelliculaires dans lesquelles les groupes actifs d'échange chimique sont limités à un revêtement superficiel sur un support poreux inactif, et autres structures composites sous une forme appropriée, et notamment sous forme de particules ou de fibres. Ces articles ont un diamètre inférieur ou égal à 0,2 mm; du point de vue chimique, ils doivent être résistants aux solutions dans de l'acide chlorhydrique concentré et, du point de vue physique, être suffisamment solides pour ne pas se dégrader dans les colonnes d'échange. Ils sont spécialement conçus pour obtenir de très grandes vitesses d'échange des isotopes de l'uranium (temps de demi-réaction inférieur à 10 secondes) et sont efficaces à des températures comprises entre 100 °C et 200 °C.

**27.7 \*Colonnes d'échange d'ions (échange d'ions)**

Colonnes cylindriques de plus de 1 000 mm de diamètre contenant un garnissage de résine échangeuse d'ions/d'adsorbants spécialement conçues ou préparées pour l'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange d'ions. Ces colonnes sont constituées ou revêtues de matériaux (tels que le titane ou les plastiques à base de fluorocarbures) résistants à la corrosion par des solutions dans de l'acide chlorhydrique concentré, et peuvent fonctionner à des températures comprises entre 100 °C et 200 °C et à des pressions supérieures à 0,7 MPa.

**27.8 \*Systèmes de reflux (échange d'ions)**

- a) Systèmes de réduction chimique ou électrochimique spécialement conçus ou préparés pour régénérer l'agent (les agents) de réduction chimique utilisé(s) dans les cascades d'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange d'ions; *et*
- b) Systèmes d'oxydation chimique ou électrochimique spécialement conçus ou préparés pour régénérer l'agent (les agents) d'oxydation chimique utilisé(s) dans les cascades d'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange d'ions.

*Note explicative :*

*Dans le procédé d'enrichissement par échange d'ions, on peut par exemple utiliser comme cation réducteur le titane trivalent ( $Ti^{+3}$ ) : le système de réduction régènerait alors  $Ti^{+3}$  par réduction de  $Ti^{+4}$ .*

*De même, on peut par exemple utiliser comme oxydant le fer trivalent ( $Fe^{+3}$ ) : le système d'oxydation régènerait alors  $Fe^{+3}$  par oxydation de  $Fe^{+2}$ .*

## **28. \*Systèmes, matériel et composants spécialement conçus et préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par laser**

*Note d'introduction :*

*Les systèmes actuellement employés dans les procédés d'enrichissement par laser peuvent être classés en deux catégories, selon le milieu auquel est appliqué le procédé : vapeur atomique d'uranium ou vapeur d'un composé de l'uranium. Ces procédés sont notamment connus sous les dénominations courantes :*

*Première catégorie – séparation des isotopes par laser sur vapeur atomique (SILVA ou AVLIS);*

*Seconde catégorie – séparation des isotopes par irradiation au laser de molécules (SILMO ou MLIS); et réaction chimique par activation laser isotopiquement sélective (CRISLA).*

*Les systèmes, le matériel et les composants utilisés dans les usines d'enrichissement par laser comprennent :*

- i) Des dispositifs d'alimentation en vapeur d'uranium métal (en vue d'une photo-ionisation sélective) ou des dispositifs d'alimentation en vapeur d'un composé de l'uranium (en vue d'une photodissociation ou d'une activation chimique);*
- ii) Des dispositifs pour recueillir l'uranium métal enrichi (produit) et appauvri (résidus) dans les procédés de la première catégorie et des dispositifs pour recueillir les composés dissociés ou activés (« produit ») et les matières non modifiées (« résidus ») dans les procédés de la seconde catégorie;*
- iii) Des systèmes laser de procédé pour exciter sélectivement la forme uranium 235; et*
- iv) Des équipements pour la préparation de l'alimentation et pour la conversion du produit.*

*En raison de la complexité de la spectroscopie des atomes d'uranium et des composés de l'uranium, il peut falloir englober les articles utilisés dans tous ceux des procédés laser qui sont disponibles.*

*Note explicative :*

*Un grand nombre des articles énumérés à la présente rubrique sont en contact direct soit avec l'uranium métal vaporisé ou liquide, soit avec un gaz de procédé consistant en  $UF_6$  ou en un mélange d' $UF_6$  et d'autres gaz. Toutes les surfaces qui sont en contact avec l'uranium ou l' $UF_6$  sont constituées entièrement ou*

*revêtues de matériaux résistant à la corrosion. Aux fins de la rubrique relative aux articles pour enrichissement par laser, les matériaux résistant à la corrosion par l'uranium métal ou les alliages d'uranium vaporisés ou liquides sont le graphite revêtu d'oxyde d'yttrium et le tantale; les matériaux résistant à la corrosion par l' $UF_6$  sont le cuivre, l'acier inoxydable, l'aluminium, les alliages d'aluminium, le nickel, les alliages contenant 60 % ou plus de nickel et les polymères d'hydrocarbures totalement fluorés résistant à l' $UF_6$ .*

#### **28.1 \*Systèmes de vaporisation de l'uranium (SILVA)**

Systèmes de vaporisation de l'uranium spécialement conçus ou préparés, renfermant des canons à électrons de grande puissance à faisceau en nappe ou à balayage, fournissant une puissance au niveau de la cible supérieure à 2,5 kW/cm.

#### **28.2 \*Systèmes de manipulation de l'uranium métal liquide (SILVA)**

Systèmes de manipulation de métaux liquides spécialement conçus ou préparés pour l'uranium ou les alliages d'uranium fondus, comprenant des creusets et des équipements de refroidissement pour les creusets.

*Note explicative :*

*Les creusets et autres parties de ces systèmes qui sont en contact avec l'uranium ou les alliages d'uranium fondus sont constitués ou revêtus de matériaux ayant une résistance appropriée à la corrosion et à la chaleur. Les matériaux appropriés comprennent le tantale, le graphite revêtu d'oxyde d'yttrium, le graphite revêtu d'autres oxydes de terres rares ou des mélanges de ces substances.*

#### **28.3 \*Assemblages collecteurs du produit et des résidus d'uranium métal (SILVA)**

Assemblages collecteurs du produit et des résidus spécialement conçus ou préparés pour l'uranium métal à l'état liquide ou solide.

*Note explicative :*

*Les composants de ces assemblages sont constitués ou revêtus de matériaux résistants à la chaleur et à la corrosion par l'uranium métal vaporisé ou liquide (tels que le graphite recouvert d'oxyde d'yttrium ou le tantale) et peuvent comprendre des tuyaux, des vannes, des raccords, des « gouttières », des traversants, des échangeurs de chaleur et des plaques collectrices utilisées dans les méthodes de séparation magnétique, électrostatique ou autres.*

#### **28.4 \*Enceintes de module séparateur (SILVA)**

Conteneurs de forme cylindrique ou rectangulaire spécialement conçus ou préparés pour loger la source de vapeur d'uranium métal, le canon à électrons et les collecteurs du produit et de résidus.

*Note explicative :*

*Ces enceintes sont pourvues d'un grand nombre d'orifices pour les barreaux électriques et les traversants destinés à l'alimentation en eau, les fenêtres des faisceaux laser, les raccordements de pompes à vide et les appareils de diagnostic et de surveillance. Elles sont dotées de moyens d'ouverture et de fermeture qui permettent la remise en état des internes.*

**28.5 \*Tuyères de détente supersonique (SILMO)**

Tuyères de détente supersonique, résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ , spécialement conçues ou préparées pour refroidir les mélanges d' $\text{UF}_6$  et de gaz porteur jusqu'à un maximum de 150 K.

**28.6 \*Collecteurs du produit (pentafluorure d'uranium) (SILMO)**

Collecteurs de pentafluorure d'uranium ( $\text{UF}_5$ ) solide spécialement conçus ou préparés, constitués de collecteurs ou de combinaisons de collecteurs à filtre, à impact ou à cyclone et résistant à la corrosion en milieu  $\text{UF}_5/\text{UF}_6$ .

**28.7 \*Compresseurs d' $\text{UF}_6$ /gaz porteur (SILMO)**

Compresseurs spécialement conçus ou préparés pour les mélanges d' $\text{UF}_6$  et de gaz porteur, prévus pour un fonctionnement de longue durée en atmosphère d' $\text{UF}_6$ . Les composants de ces compresseurs qui sont en contact avec le gaz de procédé sont constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ .

**28.8 \*Garnitures d'étanchéité d'arbres (SILMO)**

Garnitures spécialement conçues ou préparées, avec connexions d'alimentation et d'échappement, pour assurer de manière fiable l'étanchéité de l'arbre reliant le rotor du compresseur au moteur d'entraînement en empêchant le gaz de procédé de s'échapper, ou l'air ou le gaz d'étanchéité de pénétrer dans la chambre intérieure du compresseur qui est rempli du mélange  $\text{UF}_6$ /gaz porteur.

**28.9 \*Systèmes de fluoration (SILMO)**

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour fluorer l' $\text{UF}_5$  (solide) en  $\text{UF}_6$  (gazeux).

*Note explicative :*

*Ces systèmes sont conçus pour fluorer la poudre d' $\text{UF}_5$ , puis recueillir l' $\text{UF}_6$ , dans les conteneurs destinés au « produit », ou le réintroduire dans les unités SILMO en vue d'un enrichissement plus poussé. Dans l'une des méthodes possibles, la fluoration peut être réalisée à l'intérieur du système de séparation des isotopes, la réaction et la récupération se faisant directement au niveau des collecteurs du « produit ». Dans une autre méthode, la poudre d' $\text{UF}_5$  peut être retirée des collecteurs du « produit » et transférée dans une enceinte appropriée (par exemple réacteur à lit fluidisé, réacteur hélicoïdal ou tour à flamme) pour y subir la fluoration. Dans les deux méthodes, on emploie un certain matériel pour le stockage et le transfert du fluor (ou d'autres agents de fluoration appropriés) et pour la collecte et le transfert de l' $\text{UF}_6$ .*

**28.10 \*Spectromètres de masse pour  $\text{UF}_6$ /sources d'ions (SILMO)**

Spectromètres de masse magnétiques ou quadripolaires spécialement conçus ou préparés, capables de prélever en direct sur les flux d' $\text{UF}_6$  gazeux des échantillons du gaz d'entrée, du « produit » ou des « résidus », et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Pouvoir de résolution unitaire pour l'unité de masse atomique supérieur à 320;

- b) Sources d'ions constituées ou revêtues de nichrome ou de monel ou nickelées;
- c) Sources d'ionisation par bombardement électronique; *et*
- d) Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

#### **28.11 \*Systèmes d'alimentation/systèmes de prélèvement du « produit » et des « résidus » (SILMO)**

Systèmes ou équipements spécialement conçus ou préparés pour les usines d'enrichissement, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l' $\text{UF}_6$  et comprenant :

- a) Des autoclaves, fours et systèmes d'alimentation utilisés pour introduire l' $\text{UF}_6$  dans le processus d'enrichissement;
- b) Des pièges à froid utilisés pour retirer l' $\text{UF}_6$  du processus d'enrichissement en vue de son transfert ultérieur après réchauffement;
- c) Des stations de solidification ou de liquéfaction utilisées pour retirer l' $\text{UF}_6$  du processus d'enrichissement par compression et passage à l'état liquide ou solide;
- d) Des stations « produit » ou « résidus » pour le transfert de l' $\text{UF}_6$  dans des conteneurs.

#### **28.12 \*Systèmes de séparation de l' $\text{UF}_6$ et du gaz porteur (SILMO)**

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour séparer l' $\text{UF}_6$  du gaz porteur. Ce dernier peut être l'azote, l'argon ou un autre gaz.

*Note explicative :*

*Ces systèmes peuvent comprendre les équipements suivants :*

- i) *Échangeurs de chaleur cryogéniques et cryoséparateurs capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à  $-120^\circ\text{C}$ ;*
- ii) *Appareils de réfrigération cryogéniques capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à  $-120^\circ\text{C}$ ;*
- iii) *Pièges à froid pour l' $\text{UF}_6$  capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à  $-20^\circ\text{C}$ .*

#### **28.13 \*Systèmes laser (SILVA, SILMO et CRISLA)**

Lasers ou systèmes laser spécialement conçus ou préparés pour la séparation des isotopes de l'uranium.

*Note explicative :*

*Le système laser utilisé dans le procédé SILVA comprend généralement deux lasers : un laser à vapeur de cuivre et un laser à colorant. Le système laser employé dans le procédé SILMO comprend généralement un laser à  $\text{CO}_2$  ou une combinaison de lasers à  $\text{CO}_2$  et à excimère. Les deux systèmes peuvent utiliser une cellule optique à multipassages munie de miroirs tournants aux deux extrémités. Dans les deux procédés, les lasers ou les systèmes laser doivent être*

*munis d'un stabilisateur de fréquence pour pouvoir fonctionner pendant de longues périodes.*

**28.14 Lasers, amplificateurs laser et oscillateurs, comme suit :**

- a) Lasers à vapeur de cuivre présentant les deux caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant sur des longueurs d'onde comprises entre 500 nm et 600 nm; *et*
  - ii) Possédant une puissance de sortie moyenne égale ou supérieure à 40 W;
- b) Lasers ioniques à argon présentant les deux caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant sur des longueurs d'onde comprises entre 400 nm et 515 nm; *et*
  - ii) Possédant une puissance de sortie moyenne supérieure à 40 W;
- c) Lasers dopés au néodyme (autres que les lasers à verre dopé), ayant une longueur d'onde de sortie comprise entre 1 000 nm et 1 100 nm, et présentant une des caractéristiques suivantes :
  - i) À excitation par impulsions et à modulation du facteur Q, avec une durée d'impulsion égale ou supérieure à 1 ns et possédant une des deux caractéristiques suivantes :
    - A) Un fonctionnement monomode transverse avec une puissance moyenne de sortie supérieure à 40 W; *ou*
    - B) Un fonctionnement multimode transverse avec une puissance moyenne de sortie supérieure à 50 W; *ou*
  - ii) Comportant un doubleur de fréquence produisant une longueur d'onde de sortie comprise entre 500 nm et 550 nm avec une puissance moyenne à la fréquence double (nouvelle longueur d'onde) supérieure à 40 W;
- d) Oscillateurs à colorants organiques accordables fonctionnant en mode pulsé unique possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant sur des longueurs d'onde comprises entre 300 et 800 nm;
  - ii) Une puissance moyenne de sortie supérieure à 1 W;
  - iii) Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 1 kHz; *et*
  - iv) Une durée d'impulsion inférieure à 100 ns;
- e) Amplificateurs laser et oscillateurs à colorants organiques accordables possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant sur des longueurs d'onde comprises entre 300 et 800 nm;
  - ii) Une puissance moyenne de sortie supérieure à 30 W;
  - iii) Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 1 kHz; *et*

- iv) Une durée d'impulsion inférieure à 100 ns;

*Note :*

*La rubrique 28.14 e) ne recouvre pas les oscillateurs fonctionnant en mode unique.*

- f) Lasers à alexandrite possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant sur des longueurs d'onde comprises entre 720 et 800 nm;
  - ii) Une largeur de bande égale ou inférieure à 0,005 nm;
  - iii) Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 125 Hz; *et*
  - iv) Une puissance moyenne de sortie supérieure à 30 W;
- g) Lasers à dioxyde de carbone à régime pulsé possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 9 000 et 11 000 nm;
  - ii) Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 250 Hz;
  - iii) Une puissance moyenne de sortie supérieure à 500 W; *et*
  - iv) Une durée d'impulsion inférieure à 200 ns;

*Note :*

*La rubrique 28.14 g) ne recouvre pas les lasers industriels à CO<sub>2</sub> de puissance plus élevée (typiquement de 1 à 5 kW) utilisés dans des applications telles que la découpe et le soudage, puisque lesdits lasers fonctionnent soit en régime continu soit en régime pulsé avec une largeur d'impulsion supérieure à 200 ns.*

- h) Lasers à excitation par impulsions (XeF, XeCl, KrF) possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 240 et 360 nm;
  - ii) Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 250 Hz; *et*
  - iii) Une puissance moyenne de sortie supérieure à 500 W;
- i) Appareils de déplacement Raman à parahydrogène conçus pour fonctionner à une longueur d'onde de sortie de 16 µm avec une fréquence de récurrence supérieure à 250 Hz;
- j) Lasers intégrés à colorant pulsé possédant les deux caractéristiques suivantes :
  - i) Une longueur d'onde de 589 nm; *et*
  - ii) Une puissance moyenne supérieure à 10 W.

## **28.15 Systèmes SILVA pour isotopes stables**

Systèmes de séparation isotopique par irradiation au laser de vapeur atomique capables d'enrichir les isotopes stables présentant un intérêt sur le plan biologique, médical ou industriel.

## **29. \*Systèmes, équipements et composants conçus pour utilisation dans les usines d'enrichissement par séparation des isotopes dans un plasma**

### *Note d'introduction :*

*Dans le procédé de séparation dans un plasma, un plasma d'ions d'uranium traverse un champ électrique accordé à la fréquence de résonance des ions  $^{235}\text{U}$ , de sorte que ces derniers absorbent de l'énergie de manière préférentielle et que le diamètre de leurs orbites hélicoïdales s'accroît. Les ions qui suivent un parcours de grand diamètre sont piégés et on obtient un produit enrichi en  $^{235}\text{U}$ . Le plasma, qui est créé en ionisant de la vapeur d'uranium, est contenu dans une enceinte à vide soumise à un champ magnétique de haute intensité produit par un aimant supraconducteur. Les principaux systèmes du procédé comprennent le système générateur du plasma d'uranium, le module séparateur et son aimant supraconducteur et les systèmes de prélèvement de l'uranium métal destinés à collecter le « produit » et les « résidus ».*

### **29.1 \*Sources d'énergie hyperfréquence et antennes**

Sources d'énergie hyperfréquence et antennes spécialement conçues ou préparées pour produire ou accélérer des ions et présentant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Fréquence supérieure à 30 GHz; et
- b) Puissance de sortie moyenne supérieure à 50 kW pour la production d'ions.

### **29.2 \*Bobines excitatrices d'ions**

Bobines excitatrices d'ions à haute fréquence spécialement conçues ou préparées pour des fréquences supérieures à 100 kHz et capables de supporter une puissance moyenne supérieure à 40 kW.

### **29.3 \*Systèmes générateurs de plasma d'uranium**

Systèmes de production de plasma d'uranium spécialement conçus ou préparés, pouvant renfermer des canons à électrons de grande puissance à faisceau en nappe ou à balayage, fournissant une puissance au niveau de la cible supérieure à 2,5 kW/cm.

### **29.4 \*Systèmes de manipulation de l'uranium métal liquide**

Systèmes de manipulation de métaux liquides spécialement conçus ou préparés pour l'uranium ou les alliages d'uranium fondus, comprenant des creusets et des équipements de refroidissement pour les creusets.

### *Note explicative :*

*Les creusets et autres parties de ces systèmes qui sont en contact avec l'uranium ou les alliages d'uranium fondus sont constitués ou revêtus de matériaux ayant une résistance appropriée à la corrosion et à la chaleur. Les matériaux appropriés comprennent le tantale, le graphite revêtu d'oxyde d'yttrium,*

*le graphite revêtu d'autres oxydes de terres rares ou des mélanges de ces substances.*

#### **29.5 \*Assemblages collecteurs du « produit » et des « résidus » d'uranium métal**

Assemblages collecteurs du « produit » et des « résidus » spécialement conçus ou préparés pour l'uranium métal à l'état solide. Ces assemblages collecteurs sont constitués ou revêtus de matériaux résistant à la chaleur et à la corrosion par la vapeur d'uranium métal, tels que le graphite revêtu d'oxyde d'yttrium ou le tantale.

#### **29.6 \*Enceintes de module séparateur**

Conteneurs cylindriques spécialement conçus ou préparés pour les usines d'enrichissement par séparation des isotopes dans un plasma et destinés à loger la source de plasma d'uranium, la bobine excitatrice à haute fréquence et les collecteurs du « produit » et des « résidus ».

*Note explicative :*

*Ces enceintes sont pourvues d'un grand nombre d'orifices pour les barreaux électriques, les raccordements de pompes à diffusion et les appareils de diagnostic et de surveillance. Elles sont dotées de moyens d'ouverture et de fermeture qui permettent la remise en état des internes et sont constituées d'un matériau non magnétique approprié tel que l'acier inoxydable.*

#### **29.7 \*Électroaimants superconducteurs**

Électroaimants solénoïdaux superconducteurs possédant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Capables de créer des champs magnétiques de plus de 2 teslas;
- b) Avec un rapport L/D (longueur divisée par le diamètre intérieur) supérieur à 2;
- c) Avec un diamètre intérieur supérieur à 300 mm; et
- d) Avec un champ magnétique uniforme (mieux que 1 %) sur les 50 % centraux du volume intérieur.

*Note 1 :*

*La présente rubrique ne couvre pas les aimants spécialement conçus et utilisés comme parties de systèmes médicaux d'imagerie à résonance magnétique nucléaire (RMN). Lesdits articles doivent toutefois faire l'objet d'une déclaration.*

*Note 2 :*

*Il est entendu que les termes « comme parties de » ne signifient pas nécessairement faisant matériellement partie du même envoi.*

### **30. \*Systèmes, matériel et composants spécialement conçus et préparés pour utilisation dans les usines d'enrichissement par le procédé électromagnétique**

*Note d'introduction :*

*Dans le procédé électromagnétique, les ions d'uranium métal produits par ionisation d'un sel (en général  $UCl_4$ ) sont accélérés et envoyés à travers un champ*

*magnétique sous l'effet duquel les ions des différents isotopes empruntent des parcours différents. Les principaux composants d'un séparateur d'isotopes électromagnétique sont les suivants : champ magnétique provoquant la déviation du faisceau d'ions et la séparation des isotopes, source d'ions et son système accélérateur, et collecteurs pour recueillir les ions après séparation. Les systèmes auxiliaires utilisés dans le procédé comprennent l'alimentation de l'aimant, l'alimentation haute tension de la source d'ions, l'installation de vide et d'importants systèmes de manipulation chimique pour la récupération du produit et l'épuration ou le recyclage des composants.*

### **30.1 \*Séparateurs électromagnétiques**

Séparateurs électromagnétiques spécialement conçus ou préparés pour la séparation des isotopes de l'uranium, et matériel et composants pour cette séparation, à savoir en particulier :

a) Sources d'ions :

Sources d'ions uranium uniques ou multiples, spécialement conçues ou préparées, comprenant la source de vapeur, l'ionisateur et l'accélérateur de faisceau, constituées de matériaux appropriés comme le graphite, l'acier inoxydable ou le cuivre, et capables de fournir un courant d'ionisation total égal ou supérieur à 50 mA;

b) Collecteurs d'ions :

Plaques collectrices comportant des fentes et des poches (deux ou plus), spécialement conçues ou préparées pour collecter les faisceaux d'ions uranium enrichis et appauvris, et constituées de matériaux appropriés comme le graphite ou l'acier inoxydable;

c) Enceintes à vide :

Enceintes à vide spécialement conçues ou préparées pour les séparateurs électromagnétiques, constituées de matériaux non magnétiques appropriés comme l'acier inoxydable et conçues pour fonctionner à des pressions inférieures ou égales à 0,1 Pa;

*Note explicative :*

*Les enceintes sont spécialement conçues pour renfermer les sources d'ions, les plaques collectrices et les chemises d'eau et sont dotées des moyens de raccorder les pompes à diffusion et de dispositifs d'ouverture et de fermeture qui permettent de déposer et de reposer ces composants.*

d) Pièces polaires :

Pièces polaires spécialement conçues ou préparées, de diamètre supérieur à 2 m, utilisées pour maintenir un champ magnétique constant à l'intérieur du séparateur électromagnétique et pour transférer le champ magnétique entre séparateurs contigus.

### **30.2 \*Alimentations haute tension**

Alimentations haute tension spécialement conçues ou préparées pour les sources d'ions et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Capables d'un fonctionnement permanent;
- b) Tension de sortie supérieure ou égale à 20 000 V;
- c) Courant de sortie supérieur ou égal à 1 A; *et*
- d) Régulation de tension meilleure que 0,01 % sur une période de huit heures.

### **30.3 \*Alimentations des aimants**

Alimentations des aimants en courant continu haute tension spécialement conçues ou préparées et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Capables d'un fonctionnement permanent avec un courant de sortie supérieur ou égal à 500 A;
- b) Sous une tension supérieure ou égale à 100 V; *et*
- c) Régulation du courant ou de la tension meilleure que 0,1 % sur une période de huit heures.

### **30.4 \*Alimentations en courant fort continu autres que celles spécifiées sous 30.3 possédant les deux caractéristiques suivantes :**

- a) Capables de produire en permanence, pendant une période de huit heures, un voltage égal ou supérieur de 100 V, avec une intensité de courant égale ou supérieure à 500 A; *et*
- b) Capables de produire en permanence, pendant une période de huit heures, une variation du courant ou de la tension inférieure à 0,1 %.

### **30.5 \*Alimentations en courant continu haute tension autres que celles spécifiées sous 30.2, possédant les deux caractéristiques suivantes :**

- a) Capables de produire en permanence, pendant une période de huit heures, un voltage égal ou supérieur de 100 V, avec une intensité de courant égale ou supérieure à 500 A; *et*
- b) Capables de produire en permanence, pendant une période de huit heures, une variation du courant ou de la tension inférieure à 0,1 %.

### **30.6 \*Pompes à vide possédant toutes les caractéristiques suivantes :**

- a) Un col d'entrée de 380 mm ou plus;
- b) Une vitesse de pompage égale ou supérieure à 15 m<sup>3</sup>/s; *et*
- c) Capables de produire un vide final meilleur que 13,3 MPa.

*Note technique :*

*La vitesse de pompage est déterminée au point de mesure avec de l'azote ou de l'air.*

*Le vide final est déterminé à l'entrée de la pompe, l'entrée de la pompe étant fermée.*

**30.7 \*Séparateurs électromagnétiques autres que ceux visés sous 30.1 ci-dessus, spécialement conçus pour des sources d'ions uniques ou multiples ou équipés de telles sources, capables de fournir un courant d'ionisation total égal ou supérieur à 50 mA**

*Note technique :*

*Une source unique d'ions de 50 mA ne peut pas produire plus de 3 g d'uranium hautement enrichi séparé par an à partir d'uranium naturel.*

*Note 1 :*

*La rubrique 30.7 recouvre les séparateurs capables d'enrichir les isotopes stables ainsi que ceux utilisés pour l'uranium.*

*Note 2 :*

*La rubrique 30.7 recouvre les séparateurs dont les sources et collecteurs d'ions se trouvent tous deux dans le champ magnétique ainsi que les configurations dans lesquelles ils sont extérieurs au champ.*

## **Instruments d'analyse et systèmes de commande-contrôle de processus utilisés dans l'enrichissement de l'uranium**

### **31. \*Spectromètres de masse**

Spectromètres de masse capables de mesurer des ions d'unités de masse atomique égales ou supérieures à 230 uma avec une résolution meilleure que 2 parties par 230, et leurs sources d'ions, comme suit :

#### **31.1 Spectromètres de masse à plasma à couplage inductif (SM/PCI)**

#### **31.2 Spectromètres de masse à décharge lumineuse (SMDL)**

#### **31.3 Spectromètres de masse à ionisation thermique (SMIT)**

#### **31.4 \*Spectromètres de masse à bombardement d'électrons ayant une chambre de source constituée, revêtue ou recouverte de plaques de matériaux résistant à l' $\text{UF}_6$**

#### **31.5 Spectromètres de masse à faisceau moléculaire possédant les deux caractéristiques suivantes :**

- a) Ayant une chambre de source constituée, revêtue ou recouverte de plaques en acier inoxydable ou en molybdène; *et*
- b) Ayant un piège à froid capable de refroidir jusqu'à 193 K (-80 °C) ou moins.

#### **31.6 \*Spectromètres de masse à faisceau moléculaire ayant une chambre de source constituée, revêtue ou recouverte de plaques de matériaux résistant à l' $\text{UF}_6$**

#### **31.7 \*Spectromètres de masse équipés d'une source ionique à microfluoration conçus pour être utilisés avec des actinides ou des fluorures actinides**

### **32. Instruments et systèmes de contrôle-commande pour usine d'enrichissement**

Instruments de contrôle de la température, de la pression, du pH, du niveau de fluide ou du débit, spécialement conçus pour être résistants à la corrosion par l' $\text{UF}_6$ , car constitués ou protégés par l'un des matériaux suivants :

- a) Acier inoxydable;
- b) Aluminium;
- c) Alliages d'aluminium;
- d) Nickel; *et*
- e) Alliages contenant 60 % de nickel ou plus.

### **33. \*Logiciels servant à contrôler les usines ou installations d'enrichissement de l'uranium**

## Installations de séparation d'autres isotopes

### 34. Installations et équipements de production d'eau lourde, de deutérium ou de composés de deutérium

#### *Note d'introduction :*

*Divers procédés permettent de produire de l'eau lourde. Toutefois, les deux procédés dont il a été prouvé qu'ils sont commercialement viables sont le procédé d'échange eau-sulfure d'hydrogène (procédé GS) et le procédé d'échange ammoniac-hydrogène.*

*Le procédé GS repose sur l'échange d'hydrogène et de deutérium entre l'eau et le sulfure d'hydrogène dans une série de tours dont la section haute est froide et la section basse chaude. Dans ces tours, l'eau s'écoule de haut en bas et le sulfure d'hydrogène gazeux circule de bas en haut. Une série de plaques perforées sert à favoriser le mélange entre le gaz et l'eau. Le deutérium est transféré à l'eau aux basses températures et au sulfure d'hydrogène aux hautes températures. Le gaz ou l'eau, enrichi en deutérium, est retiré des tours du premier étage à la jonction entre les sections chaudes et froides, et le processus est répété dans les tours des étages suivants. Le produit obtenu au dernier étage, à savoir de l'eau enrichie jusqu'à 30 % en deutérium, est envoyé dans une unité de distillation pour produire de l'eau lourde de qualité réacteur, c'est-à-dire de l'oxyde de deutérium à 99,75 %.*

*Le procédé d'échange ammoniac-hydrogène permet d'extraire le deutérium d'un gaz de synthèse par contact avec de l'ammoniac liquide en présence d'un catalyseur. Le gaz de synthèse est introduit dans les tours d'échange, puis dans un convertisseur d'ammoniac. Dans les tours, le gaz circule de bas en haut et l'ammoniac liquide s'écoule de haut en bas. Le deutérium est enlevé à l'hydrogène dans le gaz de synthèse et concentré dans l'ammoniac. L'ammoniac passe ensuite dans un craqueur d'ammoniac au bas de la tour, et le gaz est acheminé vers un convertisseur d'ammoniac en haut de la tour. L'enrichissement se poursuit dans les étages ultérieurs, et de l'eau lourde de qualité réacteur est produite par distillation finale. Le gaz de synthèse d'alimentation peut provenir d'une usine d'ammoniac qui, elle-même, peut être construite en association avec une usine de production d'eau lourde par échange ammoniac-hydrogène. Dans le procédé d'échange ammoniac-hydrogène, on peut aussi utiliser de l'eau ordinaire comme source de deutérium.*

*Un grand nombre d'articles de l'équipement essentiel des usines de production d'eau lourde par le procédé GS ou le procédé d'échange ammoniac-hydrogène sont communs à plusieurs secteurs des industries chimique et pétrolière. Ceci est particulièrement vrai pour les petites usines utilisant le procédé GS. Toutefois, seuls quelques articles sont disponibles « dans le commerce ». Le procédé GS et le procédé d'échange ammoniac-hydrogène exigent la manipulation de grandes quantités de fluides inflammables, corrosifs et toxiques sous haute pression. En conséquence, pour fixer les normes de conception et d'exploitation des usines et des équipements utilisant ces procédés, il faut accorder une attention particulière au choix et aux spécifications des matériaux pour garantir une longue durée de service avec des facteurs de sûreté et de fiabilité élevés. Le choix de l'échelle est fonction principalement de considérations économiques et*

*des besoins. Ainsi, la plupart des équipements seront préparés d'après les prescriptions du client.*

*Enfin, il convient de noter que, tant pour le procédé GS que pour le procédé d'échange ammoniac-hydrogène, des articles d'équipement qui, pris individuellement, ne sont pas spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde peuvent être assemblés en des systèmes qui sont spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde. On peut en donner comme exemples le système de production du catalyseur utilisé dans le procédé d'échange ammoniac-hydrogène et les systèmes de distillation de l'eau utilisés dans les deux procédés pour la concentration finale de l'eau lourde afin d'obtenir une eau de qualité réacteur.*

*Articles spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde, soit par le procédé d'échange eau-sulfure d'hydrogène, soit par le procédé d'échange ammoniac-hydrogène :*

#### **34.1 Tours d'échange eau-sulfure d'hydrogène**

Tours d'échange spécialement conçues ou préparées pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange eau-sulfure d'hydrogène et présentant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Fabriquées en acier au carbone fin (par exemple ASTM A516);
- b) Ayant un diamètre compris entre 6 m et 9 m;
- c) Capables de fonctionner à des pressions supérieures ou égales à 2 MPa;  
*et*
- d) Ayant une surépaisseur de corrosion de 6 mm ou plus.

#### **34.2 Soufflantes et compresseurs**

Soufflantes ou compresseurs centrifuges à étage unique sous basse pression (c'est-à-dire 0,2 MPa) pour la circulation de sulfure d'hydrogène (c'est-à-dire un gaz contenant plus de 70 % de H<sub>2</sub>S) spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange eau-sulfure d'hydrogène. Ces soufflantes ou compresseurs ont une capacité de débit supérieure ou égale à 56 m<sup>3</sup>/s lorsqu'ils fonctionnent à des pressions d'aspiration supérieures ou égales à 1,8 MPa, et sont équipés de joints conçus pour être utilisés en milieu humide en présence de H<sub>2</sub>S.

#### **34.3 Tours d'échange ammoniac-hydrogène**

Tours d'échange ammoniac-hydrogène d'une hauteur supérieure ou égale à 35 m ayant un diamètre compris entre 1,5 m et 2,5 m et pouvant fonctionner à des pressions supérieures à 15 MPa, spécialement conçues ou préparées pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange ammoniac-hydrogène. Ces tours ont aussi au moins une ouverture axiale à rebord du même diamètre que la partie cylindrique, par laquelle les internes de la tour peuvent être insérés ou retirés.

#### **34.4. Internes de tour et pompes d'étage**

Internes de tour et pompes d'étage spécialement conçus ou préparés pour des tours servant à la production d'eau lourde par le procédé d'échange ammoniac-hydrogène.

Les internes de tour comprennent des contacteurs d'étage spécialement conçus qui favorisent un contact intime entre le gaz et le liquide. Les pompes d'étage comprennent des pompes submersibles spécialement conçues pour la circulation d'ammoniac liquide dans un étage de contact à l'intérieur des tours.

#### **34.5 Craqueurs d'ammoniac**

Craqueurs d'ammoniac ayant une pression de fonctionnement supérieure ou égale à 3 MPa spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange ammoniac-hydrogène.

#### **34.6 Analyseurs d'absorption infrarouge**

Analyseurs d'absorption infrarouge permettant une analyse en ligne du rapport hydrogène/deutérium lorsque les concentrations en deutérium sont égales ou supérieures à 90 %.

#### **34.7 Brûleurs catalytiques**

Brûleurs catalytiques pour la conversion en eau lourde du deutérium enrichi, spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange ammoniac-hydrogène.

#### **34.8 Systèmes de concentration d'eau lourde**

Systèmes complets de concentration d'eau lourde ou colonnes pour de tels systèmes, spécialement conçus ou préparés pour obtenir de l'eau lourde de qualité réacteur par la teneur en deutérium.

*Note explicative :*

*Ces systèmes, qui utilisent habituellement la distillation de l'eau pour séparer l'eau lourde de l'eau ordinaire, sont spécialement conçus ou préparés pour produire de l'eau lourde de qualité réacteur (c'est-à-dire habituellement de l'oxyde de deutérium à 99,75 %) à partir d'une eau lourde à teneur moindre.*

#### **34.9 Catalyseurs au platine**

Catalyseurs au platine spécialement conçus ou préparés pour favoriser la réaction d'échange d'isotopes d'hydrogène entre l'hydrogène et l'eau en vue de la régénération du tritium de l'eau lourde ou pour la production d'eau lourde.

#### **34.10 Charges spéciales**

Charges spéciales à utiliser lors de la séparation de l'eau lourde de l'eau ordinaire et présentant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Constituées d'un tamis en bronze phosphoreux ou en cuivre (tous deux traités chimiquement de manière à améliorer leur mouillabilité); et
- b) Conçues pour être utilisées dans des colonnes de distillation vide.

**34.11 Pompes de circulation**

Pompes faisant circuler des solutions d'un catalyseur amide de potassium dilué ou concentré dans de l'ammoniac liquide ( $\text{KNH}_2/\text{NH}_3$ ) et possédant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Étanchéité totale à l'air (c'est-à-dire hermétiquement scellées);
- b) Capacité supérieure à 8,5 m<sup>3</sup>/h; *et*
- c) L'une des caractéristiques suivantes :
  - i) Pour les solutions amides de potassium concentrées (1 % ou plus), pression de régime de 1,5 à 60 MPa; *ou*
  - ii) Pour les solutions amides de potassium diluées (moins de 1 %), pression de régime de 20 à 60 MPa.

**34.12 Turbodétendeurs**

Turbodétendeurs ou ensembles turbodétendeur-compresseur possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Conçus pour fonctionner avec une température de sortie de 35 K (-238 °C) ou moins; *et*
- b) Conçus pour un débit d'hydrogène égal ou supérieur à 1 000 kg/h.

**34.13 Colonnes d'échange à plateaux eau-acide sulfhydrique et contacteurs internes**

- a) Colonnes d'échange à plateaux eau-acide sulfhydrique possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Pouvant fonctionner à des pressions égales ou supérieures à 2 MPa;
  - ii) Fabriquées en acier au carbone dont l'austénite a un numéro granulométrique ASTM (ou norme équivalente) égal ou supérieur à 5; *et*
  - iii) Un diamètre égal ou supérieur à 1,8 m.
- b) Contacteurs internes pour les colonnes d'échange à plateaux eau-acide sulfhydrique spécifiées sous 34.13 a).

*Note technique :*

*Les contacteurs internes des colonnes sont des plateaux segmentés ayant un diamètre assemblé effectif égal ou supérieur à 1,8 m; ils sont conçus pour faciliter le contact à contre-courant et sont fabriqués en aciers inoxydables dont la teneur en carbone est égale ou inférieure à 0,03 %. Il peut s'agir de plateaux perforés, de plateaux à soupapes, de plateaux à cloches ou de plateaux à grille.*

**34.14 Colonnes de distillation cryogénique à hydrogène possédant toutes les propriétés suivantes :**

- a) Conçues pour fonctionner à des températures intérieures égales ou inférieures à -238 °C (35 K);

- b) Conçues pour fonctionner à une pression intérieure de 0,5 à 5 MPa (5 à 50 atm);
- c) Fabriquées:
  - i) Soit en acier inoxydable à grain fin appartenant à la série 300 avec une faible teneur en soufre et dont l'austénite a un numéro granulométrique ASTM (ou norme équivalente) égal ou supérieur à 5; *ou*
  - ii) Soit dans des matériaux équivalents cryogéniques et compatibles avec H<sub>2</sub>; *et*
- d) Avec un diamètre intérieur égal ou supérieur à 1 m et une longueur effective égale ou supérieure à 5 m.

### **34.15 Convertisseurs à synthétiser l'ammoniac**

Unités à synthétiser l'ammoniac, dans lesquelles le gaz de synthèse (azote et hydrogène) est enlevé d'une colonne d'échange ammoniac/hydrogène à haute pression et l'ammoniac synthétique est renvoyé à la colonne en question.

## **35. \*Usines pour la séparation du lithium-6 et équipements spécialement conçus à cet effet**

Installations, usines et équipements pour la séparation des isotopes du lithium, comme suit :

### **35.1 \*Installations ou usines de séparation des isotopes du lithium**

### **35.2 \*Équipements pour la séparation des isotopes du lithium, comme suit :**

- a) Colonnes garnies pour les échanges liquide-liquide, spécialement conçues pour les amalgames de lithium;
- b) Pompes pour les amalgames de mercure et/ou de lithium;
- c) Cellules électrolytiques pour les amalgames de lithium;
- d) Évaporateurs pour solution concentrée de lithine.

## **36. \*Installations, usines et équipements pour le tritium, comme suit :**

### **36.1 \*Installations ou usines de production, régénération, extraction, concentration ou manipulation de tritium**

### **36.2 \*Équipements pour ces installations ou ces usines, comme suit :**

- a) Unités de réfrigération de l'hydrogène ou de l'hélium capables de refroidir jusqu'à 23 K (- 250 °C) ou moins, avec une capacité d'enlèvement de la chaleur supérieure à 150 W;
- b) Systèmes de stockage et de purification des isotopes d'hydrogène utilisant des hydrures métalliques comme support de stockage ou de purification.

*Note :*

*Voir aussi la rubrique 18.*

## Usines et équipements de conversion de l'uranium et du plutonium

### Note d'introduction 1 :

*Les usines et systèmes de conversion de l'uranium permettent de réaliser une ou plusieurs transformations de l'une des formes chimiques de l'uranium en une autre forme, notamment :*

- i) *Conversion des concentrés de minerai d'uranium en  $UO_3$ ;*
- ii) *Conversion d' $UO_3$  en  $UO_2$ ;*
- iii) *Conversion des oxydes d'uranium en  $UF_4$  ou  $UF_6$ ;*
- iv) *Conversion de l' $UF_6$  en  $UF_4$ ;*
- v) *Conversion de l' $UF_4$  en  $UF_6$ ;*
- vi) *Conversion de l' $UF_4$  en uranium métal;*
- vii) *Conversion des fluorures d'uranium en  $UO_2$ ;*
- viii) *Conversion des oxydes d'uranium en  $UCl_4$ .*

***La liste ci-dessus n'est pas exhaustive. Elle ne couvre que les principales méthodes de conversion. La présente rubrique recouvre tous les systèmes qui permettent de réaliser une ou plusieurs transformations de l'une des formes chimiques de l'uranium en une autre forme, qu'ils figurent ou non sur la liste.***

*Un grand nombre des articles de l'équipement essentiel des usines de conversion de l'uranium sont communs à plusieurs secteurs de l'industrie chimique. Par exemple, ces procédés peuvent faire appel à des équipements des types suivants : fours, fourneaux rotatifs, réacteurs à lit fluidisé, tours à flamme, centrifugeuses en phase liquide, colonnes de distillation et colonnes d'extraction liquide-liquide. Toutefois, seuls quelques articles sont disponibles « dans le commerce »; la plupart seront préparés d'après les besoins du client et les spécifications définies par lui. Il est essentiel d'accorder un soin particulier à leur conception pour prendre en compte les problèmes de criticité associés à l'uranium fortement enrichi. Parfois, lors de la conception et de la construction, il faut prendre spécialement en considération les propriétés corrosives de certains des produits chimiques en jeu ( $HF$ ,  $F_2$ ,  $ClF_3$  et fluorures d'uranium). Enfin, il convient de noter que, dans tous les procédés de conversion de l'uranium, des articles d'équipement qui, pris individuellement, ne sont pas spécialement conçus ou préparés pour la conversion de l'uranium peuvent être assemblés en des systèmes qui sont spécialement conçus ou préparés à cette fin.*

### Note d'introduction 2 :

*Les usines et systèmes de conversion du plutonium réalisent une ou plusieurs transformations de l'une des formes chimiques du plutonium en une autre forme, notamment :*

- i) *Conversion du nitrate de plutonium en  $PuO_2$ ;*
- ii) *Conversion de  $PuO_2$  en  $PuF_4$ ;*

iii) *Conversion de  $\text{PuF}_4$  en plutonium métal.*

*Les usines de conversion du plutonium sont associées habituellement à des usines de retraitement, mais peuvent aussi l'être à des installations de fabrication de combustible au plutonium. Un grand nombre des articles de l'équipement essentiel des usines de conversion du plutonium sont communs à plusieurs secteurs de l'industrie chimique. Par exemple, ces procédés peuvent faire appel à des équipements des types suivants : fours, fourneaux rotatifs, réacteurs à lit fluidisé, tours à flamme, centrifugeuses en phase liquide, colonnes de distillation et colonnes d'extraction liquide-liquide. Des cellules chaudes, des boîtes à gants et des manipulateurs télécommandés peuvent aussi être nécessaires. Toutefois, seuls quelques articles sont disponibles « dans le commerce »; la plupart seront préparés d'après les besoins du client et les spécifications définies par lui. Il est essentiel d'accorder un soin particulier à leur conception pour prendre en compte les risques d'irradiation, de toxicité et de criticité qui sont associés au plutonium. Parfois, lors de la conception et de la construction, il faut prendre spécialement en considération les propriétés corrosives de certains des produits chimiques en jeu (par exemple  $\text{HF}$ ). Enfin, il convient de noter que, dans tous les procédés de conversion du plutonium, des articles d'équipement qui, pris individuellement, ne sont pas spécialement conçus ou préparés pour la conversion du plutonium peuvent être assemblés en des systèmes qui sont spécialement conçus ou préparés à cette fin.*

### **37. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion des concentrés de minerai d'uranium en $\text{UO}_3$**

*Note explicative :*

*La conversion des concentrés de minerai d'uranium en  $\text{UO}_3$  peut être réalisée par dissolution du minerai dans l'acide nitrique et extraction de nitrate d'uranyle purifié au moyen d'un solvant tel que le phosphate tributylque. Le nitrate d'uranyle est ensuite converti en  $\text{UO}_3$  soit par concentration et dénitration, soit par neutralisation au moyen de gaz ammoniac afin d'obtenir du diuranate d'ammonium qui est ensuite filtré, séché et calciné.*

### **38. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_3$ en $\text{UF}_6$**

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UO}_3$  en  $\text{UF}_6$  peut être réalisée directement par fluoration. Ce procédé nécessite une source de fluor gazeux ou de trifluorure de chlore.*

### **39. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_3$ en $\text{UO}_2$**

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UO}_3$  en  $\text{UO}_2$  peut être réalisée par réduction de l' $\text{UO}_3$  au moyen d'ammoniac craqué ou d'hydrogène.*

#### 40. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_2$ en $\text{UF}_4$

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UO}_2$  en  $\text{UF}_4$  peut être réalisée en faisant réagir l' $\text{UO}_2$  avec de l'acide fluorhydrique gazeux (HF) à une température de 300 à 500 °C.*

#### 41. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_4$ en $\text{UF}_6$

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UF}_4$  en  $\text{UF}_6$  est réalisée par réaction exothermique avec du fluor dans un réacteur à tour. Pour condenser l' $\text{UF}_6$  à partir des effluents gazeux chauds, on fait passer les effluents dans un piège à froid refroidi à -10 °C. Ce procédé nécessite une source de fluor gazeux.*

#### 42. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_4$ en U métal

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UF}_4$  en uranium métal est réalisée par réduction au moyen de magnésium (grandes quantités) ou de calcium (petites quantités). La réaction a lieu à des températures supérieures au point de fusion de l'uranium (1 130 °C).*

#### 43. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_6$ en $\text{UO}_2$

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  peut être réalisée par trois procédés différents. Dans le premier procédé, l' $\text{UF}_6$  est réduit et hydrolysé en  $\text{UO}_2$  au moyen d'hydrogène et de vapeur. Dans le deuxième procédé, l' $\text{UF}_6$  est hydrolysé par dissolution dans l'eau; l'addition d'ammoniac à cette solution entraîne la précipitation de diuranate d'ammonium, lequel est réduit en  $\text{UO}_2$  par de l'hydrogène à une température de 820 °C. Dans le troisième procédé, l' $\text{UF}_6$ , le  $\text{CO}_2$  et le  $\text{NH}_3$  gazeux sont mis en solution dans l'eau, ce qui entraîne la précipitation de carbonate double d'uranyle et d'ammonium; le carbonate est combiné avec de la vapeur et de l'hydrogène à 500-600 °C pour produire de l' $\text{UO}_2$ . La conversion d' $\text{UF}_6$  en  $\text{UO}_2$  constitue souvent la première phase des opérations dans les usines de fabrication de combustible.*

#### 44. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UF}_6$ en $\text{UF}_4$

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UF}_6$  en  $\text{UF}_4$  est réalisée par réduction au moyen d'hydrogène.*

#### 45. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' $\text{UO}_2$ en $\text{UCl}_4$

*Note explicative :*

*La conversion d' $\text{UO}_2$  en  $\text{UCl}_4$  peut être réalisée par un des deux procédés suivants. Dans le premier, on fait réagir l' $\text{UO}_2$  avec du tétrachlorure de carbone ( $\text{CCl}_4$ ) à une température de 400 °C environ. Dans le second, on fait réagir l' $\text{UO}_2$  à une température de 700 °C environ en présence de noir de carbone (CAS 1333-86-4), de monoxyde de carbone et de chlore pour produire de l' $\text{UCl}_4$ .*

#### 46. \*Cellules électrolytiques pour la production de fluor

Cellules électrolytiques pour la production de fluor ayant une capacité de production supérieure à 10 g de fluor par heure et pièces et accessoires spécialement conçus à cette fin.

#### 47. \*Systèmes de conversion du nitrate de plutonium en oxyde

*Note explicative :*

*Les principales activités que comporte cette conversion sont les suivantes : stockage et ajustage de la solution, précipitation et séparation solide/liquide, calcination, manutention du produit, ventilation, gestion des déchets et contrôle du procédé. Les systèmes sont en particulier adaptés de manière à éviter tout risque de criticité et d'irradiation et à réduire le plus possible les risques de toxicité. Dans la plupart des usines de retraitement, ce procédé comporte la conversion du nitrate de plutonium en dioxyde de plutonium. D'autres procédés peuvent comporter la précipitation de l'oxalate de plutonium ou du peroxyde de plutonium.*

#### 48. \*Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la production de plutonium métal

*Note explicative :*

*Ce traitement comporte habituellement la fluoration du dioxyde de plutonium, normalement par l'acide fluorhydrique très corrosif, pour obtenir du fluorure de plutonium qui est ensuite réduit au moyen de calcium métal de grande pureté pour produire du plutonium métal et un laitier de fluorure de calcium. Les principales activités que comporte ce procédé sont les suivantes : fluoration (avec par exemple des équipements faits ou revêtus de métal précieux), réduction (par exemple dans des creusets en céramique), récupération du laitier, manutention du produit, ventilation, gestion des déchets et contrôle du procédé. Les systèmes sont en particulier adaptés de manière à éviter tout risque de criticité et d'irradiation et à réduire le plus possible les risques de toxicité. D'autres procédés comportent la fluoration de l'oxalate de plutonium ou du peroxyde de plutonium, suivie d'une réduction en métal.*

## Réacteurs nucléaires et équipement connexe

### 49. Réacteurs nucléaires et équipement connexe

#### 49.1 Réacteurs nucléaires complets

Réacteurs nucléaires pouvant fonctionner de manière à maintenir une réaction de fission en chaîne autoentretenue contrôlée.

*Note explicative :*

*Un « réacteur nucléaire » comporte essentiellement les articles se trouvant à l'intérieur de la cuve de réacteur ou fixés directement sur cette cuve, les équipements pour le réglage de la puissance dans le coeur, et les composants qui renferment normalement le fluide de refroidissement primaire du coeur du réacteur, entrent en contact direct avec ce fluide ou permettent son réglage.*

#### 49.2 Cuves pour réacteurs nucléaires

Cuves métalliques, ou éléments préfabriqués importants de telles cuves, qui sont spécialement conçues ou préparées pour contenir le coeur d'un réacteur nucléaire et les internes de réacteur.

*Note explicative :*

*La plaque de couverture de la cuve de réacteur tombe sous 49.2 en tant qu'élément préfabriqué important d'une telle cuve.*

#### 49.3 Machines pour le chargement et le déchargement du combustible nucléaire

Matériel de manutention spécialement conçu ou préparé pour introduire ou extraire le combustible d'un réacteur nucléaire.

*Note explicative :*

*Le matériel indiqué sous 49.3 peut être utilisé en marche ou est doté de dispositifs techniques perfectionnés de positionnement ou d'alignement pour permettre des opérations complexes de chargement à l'arrêt, telles que celles au cours desquelles il est normalement impossible d'observer le combustible directement ou d'y accéder.*

#### 49.4 Barres de commande pour réacteurs et équipements connexes

Barres spécialement conçues ou préparées pour maîtriser le processus de fission dans un réacteur nucléaire, et structures de support ou de suspension, mécanismes d'entraînement ou tubes de guidage des barres de commande.

#### 49.5 Tubes de force pour réacteurs

Tubes spécialement conçus ou préparés pour contenir les éléments combustibles et le fluide de refroidissement primaire d'un réacteur nucléaire, à des pressions de travail supérieures à 50 atmosphères.

#### 49.6 Tubes de zirconium

Zirconium métallique et alliages à base de zirconium, sous forme de tubes ou d'assemblages de tubes, spécialement conçus ou préparés pour être utilisés dans un

réacteur nucléaire, et dans lesquels le rapport hafnium/zirconium est inférieur à 1/500 parties en poids.

#### 49.7 Pompes du circuit primaire

Pompes spécialement conçues ou préparées pour faire circuler le fluide de refroidissement primaire pour réacteurs nucléaires.

*Note explicative :*

*Les pompes spécialement conçues ou préparées peuvent comprendre des systèmes complexes à dispositifs d'étanchéité simples ou multiples destinés à éviter les fuites du fluide de refroidissement primaire, des pompes à rotor étanche et des pompes dotées de systèmes à masse d'inertie. Cette définition englobe les pompes conformes à la norme NC-1 ou à des normes équivalentes.*

#### 49.8 Internes de réacteur nucléaire

Internes de réacteur nucléaire spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans un réacteur nucléaire, y compris les colonnes de support du coeur, les canaux de combustible, les écrans thermiques, les déflecteurs, les plaques à grille du coeur et les plaques de répartition.

*Note explicative 1 :*

*Les « internes de réacteur nucléaire » sont des structures importantes à l'intérieur d'une cuve de réacteur et remplissent une ou plusieurs fonctions, par exemple le support du coeur, le maintien de l'alignement du combustible, l'orientation du fluide de refroidissement primaire, la protection radiologique de la cuve de réacteur et le guidage de l'instrumentation se trouvant dans le coeur.*

*Note explicative 2 :*

*Les internes d'un réacteur (tels que colonnes et plaques de support du coeur et autres internes de la cuve, tubes guides pour barres de commande, écrans thermiques, déflecteurs, plaques à grille du coeur, plaques de diffuseur, etc.) sont normalement livrés par le fournisseur du réacteur. Parfois, certains internes de supportage sont inclus dans la fabrication de la cuve de réacteur. Ces articles sont d'une importance suffisamment cruciale pour la sûreté et la fiabilité du fonctionnement d'un réacteur (et, partant, du point de vue des garanties données et de la responsabilité assumée par le fournisseur du réacteur) pour que leur fourniture en marge de l'accord fondamental de fourniture du réacteur lui-même ne soit pas de pratique courante. C'est pourquoi, bien que la fourniture séparée de ces articles uniques, spécialement conçus et préparés, d'une importance cruciale, de grandes dimensions et d'un prix élevé, ne soit pas nécessairement considérée comme exclue du domaine en question, ce mode de fourniture est jugé peu probable.*

#### 49.9 Échangeurs de chaleur

Échangeurs de chaleur (générateurs de vapeur) spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans le circuit de refroidissement primaire d'un réacteur nucléaire.

*Note explicative :*

*Les générateurs de vapeur sont spécialement conçus ou préparés pour transférer la chaleur produite dans le réacteur (côté primaire) à l'eau d'alimentation*

(côté secondaire) en vue de la production de vapeur. Dans le cas d'un réacteur surgénérateur refroidi par métal liquide, dans lequel se trouve aussi un circuit intermédiaire de refroidissement du métal liquide, les échangeurs de chaleur qui servent à transférer la chaleur du côté primaire au circuit de refroidissement intermédiaire sont considérés comme susceptibles d'être contrôlés, en plus du générateur de vapeur.

#### 49.10 Instruments de détection et de mesure des neutrons

Instruments de détection et de mesure des neutrons spécialement conçus ou préparés pour évaluer les flux de neutrons dans le coeur d'un réacteur nucléaire.

*Note explicative :*

*La présente rubrique recouvre les instruments se trouvant dans le coeur et hors du coeur qui servent à mesurer les flux dans une large gamme, allant habituellement de  $10^4$  neutrons par  $\text{cm}^2$  par seconde à  $10^{10}$  neutrons par  $\text{cm}^2$  par seconde, ou plus. Par « hors du coeur », on entend les instruments qui se trouvent en dehors du coeur du réacteur nucléaire au sens donné à la rubrique 49, mais à l'intérieur de la protection biologique.*

#### 49.11 Deutérium et eau lourde

Deutérium, eau lourde (oxyde de deutérium) et tout composé de deutérium dans lequel le rapport atomique deutérium/hydrogène dépasse 1/5 000.

#### 49.12 Graphite de pureté nucléaire

Graphite d'une pureté supérieure à 5 ppm d'équivalent en bore et d'une densité de plus de  $1,50 \text{ g/cm}^3$ .

*Note explicative :*

*L'équivalent en bore (EB) peut être déterminé expérimentalement ou calculé en tant que somme de  $EB_z$  pour les impuretés (à l'exclusion d' $EB_{\text{carbone}}$ , étant donné que le carbone n'est pas considéré comme une impureté) y compris le bore, où :*

- i)  $EB_z(\text{ppm}) = FC \times \text{concentration de l'élément Z (en ppm)}$ ;*
- ii)  $FC$  est le facteur de conversion :  $(\sigma_z \times A_B)$  divisé par  $(\sigma_B \times A_z)$ ;*
- iii) Où  $\sigma_B$  et  $\sigma_z$  sont les sections efficaces de capture des neutrons thermiques (en barns) pour le bore naturel et l'élément Z, respectivement.*

#### 49.13 Simulateurs de réacteur nucléaire

Simulateurs électroniques spécialement conçus ou préparés pour simuler en vraie grandeur le fonctionnement et le réglage d'un réacteur nucléaire.

## Usines de fabrication de combustible nucléaire

### 50. Usines de fabrication d'éléments combustibles pour réacteurs nucléaires et équipement connexe

#### *Note d'introduction :*

*Les éléments combustibles sont fabriqués à partir d'une ou de plusieurs des matières brutes ou d'un ou de plusieurs produits fissiles. Pour les combustibles à oxydes, c'est-à-dire les plus communs, des équipements de compactage des pastilles, de frittage, de broyage et de granulométrie seront présents. Les combustibles à mélange d'oxydes sont manipulés dans des boîtes à gants (ou des enceintes équivalentes) jusqu'à ce qu'ils soient scellés dans le gainage. Dans tous les cas, le combustible est enfermé hermétiquement à l'intérieur d'un gainage approprié, lequel est conçu comme la première enveloppe entourant le combustible en vue de performances et d'une sûreté appropriées pendant le fonctionnement du réacteur. Par ailleurs, dans tous les cas, un contrôle précis des processus, des procédures et des équipements, fait suivant des normes extrêmement rigoureuses, est nécessaire pour obtenir un comportement prévisible et sûr du combustible.*

#### *Note explicative :*

*Les équipements désignés par le membre de phrase « et équipements spécialement conçus ou préparés » pour la fabrication d'éléments combustibles comprennent ceux qui :*

*Normalement se trouvent en contact direct avec le flux des matières nucléaires produites, ou bien traitent ou contrôlent directement ce flux;*

- i) Scellent les matières nucléaires à l'intérieur du gainage;*
- ii) Vérifient l'intégrité du gainage ou l'étanchéité; ou*
- iii) Vérifient le traitement de finition du combustible scellé.*

*Ces équipements ou ensembles d'équipements peuvent comprendre, par exemple :*

- i) Des stations entièrement automatiques d'inspection des pastilles spécialement conçues ou préparées pour vérifier les dimensions finales et les défauts de surface des pastilles combustibles;*
- ii) Des machines de soudage automatiques spécialement conçues ou préparées pour le soudage des bouchons sur les aiguilles (ou les barres) combustibles;*
- iii) Des stations automatiques d'essai et d'inspection spécialement conçues ou préparées pour la vérification de l'intégrité des aiguilles (ou des barres) combustibles.*

*Sous iii), on trouve habituellement des équipements :*

- a) D'examen par rayons X des soudures des bouchons d'aiguille (ou de barre);*
- b) De détection des fuites d'hélium à partir des aiguilles (ou des barres) sous pression; et*
- c) D'exploration gamma des aiguilles (ou des barres) permettant de vérifier que les pastilles combustibles sont correctement positionnées à l'intérieur.*

## Technologie et matériel de retraitement

### 51. \*Usines et matériel de retraitement d'éléments combustibles irradiés

#### *Note d'introduction :*

*Le retraitement du combustible nucléaire irradié sépare le plutonium et l'uranium des produits de fission et d'autres éléments transuraniens de haute activité. Différents procédés techniques peuvent réaliser cette séparation. Mais, avec les années, le procédé Purex est devenu le plus couramment utilisé et accepté. Il comporte la dissolution du combustible nucléaire irradié dans l'acide nitrique, suivie d'une séparation de l'uranium, du plutonium et des produits de fission, que l'on extrait par solvant en utilisant le phosphate tributylque mélangé à un diluant organique.*

*D'une usine Purex à l'autre, les opérations du processus sont similaires : dégainage des éléments combustibles irradiés, dissolution du combustible, extraction par solvant et stockage des solutions obtenues. Il peut y avoir aussi des équipements pour la dénitruration thermique du nitrate d'uranium, la conversion du nitrate de plutonium en oxyde ou en métal, et le traitement des solutions de produits de fission qu'il s'agit de convertir en une forme se prêtant au stockage de longue durée ou au stockage définitif. Toutefois, la configuration et le type particuliers des équipements qui accomplissent ces opérations peuvent différer selon les installations Purex pour diverses raisons, notamment selon le type et la quantité de combustible nucléaire irradié à retraiter et l'usage prévu des matières récupérées, et selon les principes de sûreté et d'entretien qui ont été retenus dans la conception de l'installation.*

*L'expression « usine de retraitement d'éléments combustibles irradiés » englobe les matériels et composants qui entrent normalement en contact direct avec le combustible irradié ou servent à contrôler directement ce combustible et les principaux flux de matières nucléaires et de produits de fission pendant le traitement.*

*Ces procédés, y compris les systèmes complets pour la conversion du plutonium et la production de plutonium métal, peuvent être identifiés par les mesures prises pour éviter la criticité (par exemple par la géométrie), les radioexpositions (par exemple par blindage) et les risques de toxicité (par exemple par confinement).*

#### 51.1 \*Machines à dégainer les éléments combustibles irradiés

#### *Note d'introduction :*

*Ces machines dégainent le combustible afin d'exposer la matière nucléaire irradiée à la dissolution. Des cisailles à métaux spécialement conçues sont le plus couramment employées, mais du matériel de pointe, tel que lasers, peut être utilisé.*

Machines télécommandées spécialement conçues ou préparées pour être utilisées dans une usine de retraitement au sens donné à ce terme ci-dessus, et destinées à désassembler, découper ou cisailer des assemblages, faisceaux ou barres de combustible nucléaire irradiés.

## 51.2 \*Dissolveurs

### *Note d'introduction :*

*Les dissolveurs reçoivent normalement les tronçons de combustible irradié. Dans ces récipients dont la sûreté-criticité est assurée, la matière nucléaire irradiée est dissoute dans l'acide nitrique; restent les coques, qui sont retirées du flux de traitement.*

Récipients « géométriquement sûrs » (de petit diamètre, annulaires ou plats) spécialement conçus ou préparés en vue d'être utilisés dans une usine de retraitement, au sens donné à ce terme ci-dessus, pour dissoudre du combustible nucléaire irradié, capables de résister à des liquides fortement corrosifs chauds et dont le chargement et l'entretien peuvent être télécommandés.

## 51.3 \*Extracteurs et matériel d'extraction par solvant

### *Note d'introduction :*

*Les extracteurs reçoivent à la fois la solution de combustible irradié provenant des dissolveurs et la solution organique qui sépare l'uranium, le plutonium et les produits de fission. Le matériel d'extraction par solvant est normalement conçu pour satisfaire à des paramètres de fonctionnement rigoureux tels que longue durée de vie utile sans exigences d'entretien ou avec facilité de remplacement, simplicité de commande et de contrôle, et adaptabilité aux variations des conditions du procédé.*

Extracteurs, tels que colonnes pulsées ou garnies, mélangeurs-décanteurs et extracteurs centrifuges, spécialement conçus ou préparés pour être utilisés dans une usine de retraitement de combustible irradié. Les extracteurs doivent pouvoir résister à l'action corrosive de l'acide nitrique. Les extracteurs sont normalement fabriqués, selon des exigences très strictes (notamment techniques spéciales de soudage, d'inspection et d'assurance et contrôle de la qualité), en acier inoxydable à bas carbone, titane, zirconium ou autres matériaux à haute résistance.

## 51.4 \*Récipients de collecte ou de stockage des solutions

### *Note d'introduction :*

*Une fois franchie l'étape de l'extraction par solvant, on obtient trois flux principaux. Dans la suite du traitement, des récipients de collecte ou de stockage sont utilisés, comme suit :*

*La solution de nitrate d'uranium est concentrée par évaporation et le nitrate est converti en oxyde. Cet oxyde est réutilisé dans le cycle du combustible nucléaire.*

*La solution de produits de fission de très haute activité est normalement concentrée par évaporation et stockée sous forme de concentrat liquide. Ce concentrat peut ensuite être évaporé et converti en une forme se prêtant au stockage temporaire ou définitif.*

*La solution de nitrate de plutonium est concentrée et stockée avant de passer aux stades ultérieurs du traitement. En particulier, les récipients de collecte ou de stockage des solutions de plutonium sont conçus pour éviter tout risque de criticité résultant des variations de concentration et de forme du flux en question.*

Récipients de collecte ou de stockage spécialement conçus ou préparés pour être utilisés dans une usine de retraitement de combustible irradié. Les récipients de collecte ou de stockage doivent pouvoir résister à l'action corrosive de l'acide nitrique. Ils sont normalement fabriqués à l'aide de matériaux tels qu'acier inoxydable à bas carbone, titane ou zirconium ou autres matériaux à haute résistance. Ils peuvent être conçus pour la conduite et l'entretien télécommandés et peuvent avoir, pour prévenir le risque de criticité, les caractéristiques suivantes :

- a) Parois ou structures internes avec un équivalent en bore d'au moins 2 %;  
*ou*
- b) Un diamètre maximum de 175 mm pour les récipients cylindriques; *ou*
- c) Une largeur maximum de 75 mm pour les récipients plats ou annulaires.

**51.5 Cellules de haute activité et matériel s'y rapportant spécialement conçus ou préparés pour la manipulation ou le traitement de radio-isotopes ou de sources de rayonnement pour des usages médicaux ou industriels, comme suit :**

- a) Fenêtres de protection contre les rayonnements à haute densité (verre au plomb ou autre matière), possédant toutes les caractéristiques suivantes ainsi que les cadres spécialement conçus à cet effet :
  - i) Un « côté froid » de plus de 0,09 m<sup>2</sup>;
  - ii) Une densité supérieure à 3 g/cm<sup>3</sup>; *et*
  - iii) Une épaisseur égale ou supérieure à 100 mm.

*Note technique :*

*Sous 51.5 a) i), l'expression « côté froid » désigne la zone d'observation de la fenêtre, où, de par la conception, l'intensité du rayonnement est la plus faible.*

- b) Caméras TV résistant aux effets des rayonnements, spécialement conçues ou réglées pour résister aux effets des rayonnements, capables de supporter plus de 5 x 10<sup>4</sup> Gy (silicium) sans dégradation fonctionnelle, et objectifs spécialement conçus pour y être utilisés;

*Note technique :*

*Les mots « Gy (silicium) » désignent l'énergie en joules par kilogramme absorbée par un échantillon non protégé de silicium exposé à un rayonnement ionisant.*

- c) « Robots » ou « effecteurs terminaux » possédant l'une des deux caractéristiques suivantes :
  - i) Spécialement conçus pour répondre aux normes nationales de sécurité applicables à la manipulation d'explosifs (par exemple répondant aux spécifications de la codification relative à l'électricité pour les explosifs); *ou*
  - ii) Spécialement conçus ou réglés pour résister aux rayonnements de manière à supporter une dose totale de plus de 5 x 10<sup>4</sup> Gy (silicium) sans dégradation fonctionnelle.

*Note technique :*

*Les mots « Gy (silicium) » désignent l'énergie en joules par kilogramme absorbée par un échantillon non protégé de silicium exposé à un rayonnement ionisant.*

- d) Unités de commande spécialement conçues pour chacun des « robots » ou « effecteurs terminaux » spécifiés sous 51.5 c).

*Note :*

*La définition donnée sous la rubrique 51.5 d) ne recouvre pas les robots spécialement conçus pour des applications industrielles non nucléaires telles que les cabines de pulvérisation de peinture dans l'industrie automobile.*

*Note technique 1 :*

*Sous 51.5 d), le terme « robot » désigne un mécanisme de manipulation qui peut être du type à trajectoire continue ou du type point à point, qui peut utiliser des « capteurs » et qui possède toutes les caractéristiques suivantes :*

- i) *Est multifonctionnel;*
- ii) *Est capable de positionner ou d'orienter des matières, des pièces, des outils ou des dispositifs spéciaux grâce à des mouvements variables en trois dimensions;*
- iii) *Comprend trois servo-mécanismes ou plus à boucle ouverte ou fermée, qui peuvent comprendre des moteurs pas à pas;*
- iv) *Possède une « programmabilité accessible à l'utilisateur » au moyen d'une méthode instruction/reproduction, ou au moyen d'un ordinateur qui peut être contrôlé par logique programmable, c'est-à-dire sans intervention mécanique.*

*Note technique 2 :*

*Dans la définition ci-dessus, le terme « capteurs » désigne des détecteurs d'un phénomène physique dont les données de sortie sont capables (après conversion en un signal qui peut être interprété par un contrôleur) de produire des « programmes » ou de modifier des instructions programmées ou des données numériques d'un « programme ». Cette définition comprend les « capteurs » à vision machine, à imageur à infrarouge, à imageur acoustique, les « capteurs » de contact, les « capteurs » de mesure de la position d'inertie, de classification optique ou acoustique, ou de mesure de la force ou du couple.*

*Note technique 3 :*

*Dans la définition ci-dessus, le terme « programmabilité accessible à l'utilisateur » désigne la possibilité pour l'utilisateur d'introduire, de modifier ou de remplacer des « programmes » à l'aide de moyens autres :*

- i) *Qu'un changement matériel au niveau des câbles ou des interconnexions;*
- ii) *Que l'introduction de commandes de fonctions, y compris l'entrée de paramètres.*

*Note technique 4 :*

*La définition ci-dessus ne comprend pas les dispositifs suivants :*

*Les mécanismes de manipulation qui ne peuvent être commandés qu'à la main ou par dispositif de commande à distance;*

*Les mécanismes de manipulation à séquence fixe qui sont des dispositifs à déplacement automatique fonctionnant conformément à des mouvements fixes programmés mécaniquement. Le « programme » est limité mécaniquement par des arrêts fixes tels que boulons d'arrêt ou cames de butée. La séquence des mouvements et la sélection des trajectoires ou des angles ne sont pas variables ou modifiables au moyen de dispositifs mécaniques, électroniques ou électriques;*

*Les mécanismes de manipulation à séquence variable programmée mécaniquement qui sont des dispositifs à mouvements automatiques fonctionnant conformément à des mouvements fixes programmés mécaniquement. Le « programme » est limité mécaniquement par des arrêts fixes mais réglables, tels que boulons d'arrêt ou cames de butée. La séquence des mouvements et la sélection des trajectoires ou des angles sont variables à l'intérieur du schéma du « programme » fixe. Les variations ou modifications du schéma du « programme » (par exemple changements de boulons d'arrêt ou échanges de cames de butée) dans un ou plusieurs axes de déplacement sont accomplies uniquement au moyen d'opérations mécaniques;*

*Les mécanismes de manipulation à séquence variable sans servo-commande, qui sont des dispositifs à mouvements automatiques fonctionnant conformément à des mouvements fixes programmés mécaniquement. Le « programme » est variable mais la séquence se déroule uniquement à partir d'un signal binaire émis par des dispositifs binaires électriques fixés mécaniquement ou des arrêts réglables;*

*Les grues d'empilage définies comme étant des systèmes de manutention à coordonnées cartésiennes, fabriquées comme partie intégrante d'un système vertical de récipients de stockage et conçues pour avoir accès au contenu de ces récipients en vue du stockage ou de la récupération.*

*Sous 51.5 d), le terme « effecteurs terminaux » englobe les préhenseurs, les « unités d'outillage actives » et tout autre outillage rattaché à la plaque située à l'extrémité du bras de manipulation d'un « robot ».*

*Dans la définition ci-dessus, l'expression « unités d'outillage actives » désigne des dispositifs d'application d'énergie, motrice ou autre, ou de détection à la pièce à travailler.*

- e) Télém manipulateurs utilisables pour accomplir des actions lors d'opérations de séparation radiochimiques et dans des cellules de haute activité, possédant l'une des deux caractéristiques suivantes :
  - i) Une capacité de traverser une paroi de cellule de 0,6 m ou plus (passage par le mur); ou
  - ii) Une capacité de passer par-dessus le sommet d'une paroi de cellule ayant une épaisseur égale ou supérieure à 0,6 m (passage par dessus le mur).

*Note technique :*

*Les télémanipulateurs transmettent les actions des opérateurs humains à un bras manipulateur et à un dispositif terminal à distance. Ils peuvent être du type maître-esclave ou être commandés par un manche à balai ou un clavier.*

**51.6 \*Cellules de haute activité et matériel s'y rapportant spécialement conçus ou préparés pour la manipulation et le traitement de matières nucléaires irradiées**

*Note explicative :*

*La séparation chimique à petite échelle du plutonium et de l'uranium de matières nucléaires irradiées nécessite une radioprotection contre l'activité gamma des produits de fission et la toxicité du plutonium. Cette séparation s'effectue normalement dans des cellules de plomb ou de béton spécialement conçues ou préparées qui sont dotées de hublots d'observation en verre à haute densité et de télémanipulateurs. La protection contre la toxicité du plutonium est obtenue en garnissant l'intérieur de la cellule de haute activité d'un revêtement étanche à l'air normalement fait en acier à bas carbone. Les cellules de haute activité comportent un système d'extraction d'air capable de maintenir une pression légèrement négative et équipé de filtres à très haute efficacité qui empêchent les aérosols de s'échapper dans l'environnement.*

## Équipement industriel et machines-outils

### 52. \*Machines-outils et unités de commande pour machines-outils

*Note :*

*Les points 52 à 64 concernent des types spécifiques de machines-outils et d'équipement industriel*

#### 52.1 \*Tours, fraiseuses et aléseuses présentant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- a) Plateaux sous vide permettant de supporter des pièces hémisphériques; *ou*
- b) Machines installées dans des boîtes à gant ou des dispositifs de confinement équivalents; *ou*
- c) Dispositifs de protection contre les explosions.

#### 52.2 Machines-outils pour enlever ou couper des métaux, des céramiques ou des composites qui, conformément aux spécifications techniques du fabricant, peuvent être équipées de dispositifs électroniques pour une commande de contournage simultanée dans deux axes ou plus, comme suit :

- a) Machines-outils à usiner au tour, rectifier, fraiser ou toute combinaison de celles-ci :
  - i) Possédant deux axes, ou plus, pouvant être coordonnés simultanément pour une commande de contournage; *et*
  - ii) Possédant l'une quelconque des caractéristiques suivantes :
    - A) Deux axes rotatifs de contournage, ou plus; *ou*
    - B) Une ou plusieurs broches inclinables de contournage; *ou*
    - C) Voile (déplacement axial) en une rotation de la broche inférieur à (meilleur que) 0,0008 mm (lecture totale de l'indicateur); *ou*
    - D) Faux-rond de rotation en une rotation de la broche inférieur à (meilleur que) 0,0006 mm (lecture totale de l'indicateur) pour les rectifieuses et aléseuses et à 0,0008 mm pour les tours; *ou*
    - E) La précision de positionnement lorsque toutes les compensations sont disponibles est inférieure à (meilleure que) :
      - I) 0,001E sur tout axe rotatif; *ou*
      - II) L'une des spécifications ci-après :
        - h 0,004 mm le long de tout axe linéaire (positionnement global) pour les rectifieuses; *ou*
        - h 0,006 mm le long de tout axe linéaire (positionnement global) pour les fraiseuses; *ou*

n 0,010 mm le long de tout axe linéaire (positionnement global) pour les tours; *ou*

- F) Capables de tourner ou de forer des diamètres égaux ou supérieurs à 2 m;
- b) Machines à usinage par étincelage (EDM) :
  - i) Du type à alimentation par fil ayant cinq axes ou plus, pouvant être coordonnés simultanément pour une commande de contournage;
  - ii) Du type sans fil ayant deux axes rotatifs de contournage ou plus, pouvant être coordonnés simultanément pour une commande de contournage;
- c) Autres machines-outils pour enlever des métaux, des céramiques ou des composites :
  - i) Au moyen :
    - A) De jets d'eau ou d'autres liquides, y compris ceux utilisant des additifs abrasifs; *ou*
    - B) D'un faisceau électronique; *ou*
    - C) D'un rayon laser; *et*
  - ii) Ayant deux axes rotatifs ou plus, qui :
    - A) Peuvent être coordonnés simultanément pour une commande de contournage; *et*
    - B) Ont une précision de positionnement inférieure à (meilleure que) 0,003E.

### **52.3 Unités de commande numérique pour machines-outils possédant l'une des caractéristiques suivantes :**

- a) Ayant plus de quatre axes à interpolation qui peuvent être coordonnés simultanément pour une commande de contournage; *ou*
- b) Ayant deux, trois ou quatre axes à interpolation qui peuvent être coordonnés simultanément pour une commande de contournage et possédant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :
  - i) Capacité de traiter en temps réel des données afin de modifier la trajectoire de l'outil pendant le travail sur machine-outil au moyen d'un calcul automatique et d'une modification des données du programme de pièce pour travailler dans deux axes, ou plus, au moyen de cycles de mesure et d'un accès aux données de base; *ou*
  - ii) Capacité de recevoir directement (en continu) et de traiter les données d'une conception assistée par ordinateur (CAO) pour la préparation interne des instructions machine; *ou*
  - iii) Capacité, sans modification, d'accepter, conformément aux spécifications techniques du fabricant, des pupitres supplémentaires qui permettraient d'accroître le nombre d'axes à interpolation qui peuvent être coordonnés simultanément pour une commande de

contournage, au-dessus des niveaux de commande même si elles ne comprennent pas ces pupitres supplémentaires.

**52.4 Pupitres de commande de mouvements spécialement conçus pour des machines-outils possédant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :**

- a) Existence d'une interpolation pour plus de quatre axes; *ou*
- b) Capacité de traiter en temps réel des données afin de modifier la trajectoire de l'outil pendant le travail sur machine-outil au moyen d'un calcul automatique et d'une modification des données du programme de pièce pour travailler dans deux axes, ou plus, au moyen de cycles de mesure et d'un accès aux données de base; *ou*
- c) Capacité de recevoir directement (en continu) et de traiter les données CAO pour la préparation interne des instructions machine.

**52.5 Logiciel**

- a) Logiciel spécialement conçu ou modifié pour le développement, la production ou l'utilisation du matériel visé aux rubriques 52.2, 52.3 ou 52.4;
- b) Logiciel spécifique, comme suit :
  - i) Logiciel conçu pour fournir une commande adaptative et possédant les deux caractéristiques suivantes :
    - A) Pour des unités de fabrication flexibles (UFF) qui comprennent au moins l'équipement décrit aux articles 52 et 54; *et*
    - B) Capables de produire ou de modifier en temps réel les données de programmes de pièce en utilisant les signaux obtenus simultanément au moyen d'au moins deux techniques de détection telles que :
      - I) Vision machine (classification optique);
      - II) Imageur à l'infrarouge;
      - III) Imageur acoustique (classification acoustique);
      - IV) Mesure par contact;
      - V) Positionnement inertiel;
      - VI) Mesure de force;
      - VII) Mesure de couple;
  - ii) Logiciel pour dispositifs électroniques autres que ceux décrits aux paragraphes 52.3 ou 52.4 qui fournit une capacité de commande numérique équivalente à celle indiquée à la rubrique 52.3.

**52.6 Composants et accessoires pour les machines-outils**

Composants et accessoires pour les machines-outils visés à la rubrique 52.2 comme suit :

- a) Assemblages de broches comprenant au moins des broches et des logements avec un mouvement radial (faux-rond de rotation) ou axial (voile) de l'axe en une rotation de la broche inférieure à (meilleur que) 0,0008 mm (lecture totale de l'indicateur);
- b) Unités linéaires de réaction de mise en position (par exemple dispositifs de type inductif, échelles graduées, systèmes à laser ou à infrarouge) ayant, avec compensation, une précision globale meilleure que  $800 + (600 \times L \times 10^{-3})$  nm, où L est égale à la longueur effective en millimètres de la mesure linéaire;

*Note*

*La rubrique 52.6 b) ne s'applique pas aux systèmes de mesure à interféromètre, sans boucle de rétroaction ouverte ou fermée comprenant un laser pour mesurer les erreurs de mouvement des chariots des machines-outils, des machines de contrôle dimensionnel ou tout équipement similaire.*

- c) Unités rotatives de réaction de mise en position (par exemple dispositifs de type inductif, échelles graduées, systèmes à laser ou à infrarouge) ayant, avec compensation, une précision d'arc inférieure à (meilleure que) 0,00025E;

*Note 1 :*

*La rubrique 52.6 c) ne s'applique pas aux systèmes de mesure à interféromètre, sans boucle de rétroaction ouverte ou fermée comprenant un laser pour mesurer les erreurs de mouvement des chariots des machines-outils, des machines de contrôle dimensionnel ou tout équipement similaire.*

*Note 2 :*

*La rubrique 52.6 c) ne s'applique pas aux machines de contrôle dimensionnel. Le paragraphe 54 s'applique aux machines de contrôle dimensionnel.*

- d) Assemblages à glissières comprenant un assemblage minimal de glissières, coulisseau et chariot possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Un lacet, un pas ou un rouleau inférieur à (meilleur que) 2 secondes d'arc (lecture totale de l'indicateur) (réf. : ISO 230-1) sur la totalité du déplacement;
  - ii) Une rectitude horizontale inférieure à (meilleure que) 2 µm par 300 mm de longueur; *et*
  - iii) Une rectitude verticale inférieure à (meilleure que) 2 µm sur la totalité du déplacement par 300 mm de longueur;
- e) Outils amovibles à tranchant diamanté unique possédant toutes les caractéristiques suivantes :
  - i) Un tranchant ne présentant pas de défaut ou d'éclat lorsqu'il est grossi 400 fois dans n'importe quelle direction;
  - ii) Un faux-rond du rayon de coupe inférieur à (meilleur que) 0,002 mm (lecture totale de l'indicateur) (également crête-à-crête); *et*
  - iii) Un rayon de coupe compris entre 0,1 et 5,0 mm inclus.

## 52.7 Composants et sous-ensembles

- a) Composants ou sous-ensembles spécialement conçus ou plaquettes à circuits imprimés avec composants montés et le logiciel nécessaire à cet effet, capables, conformément aux spécifications du fabricant, d'améliorer les unités de commande numérique, les pupitres de commande des mouvements, les machines-outils ou les dispositifs de rétroaction jusqu'aux spécifications indiquées aux rubriques 52.2, 52.3, 52.4, 52.6 b) et 52.6 c);
- b) Tables à rotation à mouvements croisés.

## 52.8 Technologie

- a) Technologie pour la production du matériel visé aux rubriques 52.2, 52.3, 52.4, 52.6 et 52.7.
- b) Autre technologie :
  - i) Pour le développement de graphiques interactifs comme partie intégrante d'unités de commande numérique pour la préparation ou la modification de programmes de pièce; *ou*
  - ii) Pour le développement de logiciel d'intégration en vue de l'incorporation dans des unités de commande numérique de systèmes experts destinés au soutien des décisions avancées pour les opérations sur place.

### *Note technique*

#### *« Précision »*

*Terme généralement utilisé sous la forme « manque de précision » défini comme étant l'écart maximal, positif ou négatif, d'une valeur indiquée par rapport à une norme acceptée ou vraie valeur;*

#### *« Commande adaptative »*

*Système de commande qui ajuste sa réponse en fonction des conditions détectées en cours de travail (réf. : ISO 2806-1980);*

#### *« Voile » (déplacement axial)*

*Déplacement axial en une rotation de la broche principale mesuré dans un plan perpendiculaire au plateau de la broche à un point proche de la circonférence du plateau de la broche (réf. : ISO 230, 1re partie – 1986, par. 5.63);*

#### *« Table à rotation à mouvements croisés »*

*Table permettant à la pièce à travailler de décrire une rotation et de basculer autour de deux axes non parallèles pouvant être coordonnés simultanément en vue d'une « commande de contournage »;*

#### *« Commande de contournage »*

*Deux mouvements ou plus exécutés suivant des instructions qui désignent à la fois la position assignée suivante et la vitesse d'avance vers cette position. Ces vitesses d'avance varient suivant une relation qui les lie les unes aux autres de façon à produire le contour désiré (réf. : ISO 2806-1980);*

#### *« Ordinateur numérique »*

*Équipement qui, sous la forme d'une ou de plusieurs variables discrètes, peut :*

- i) *Accepter des données;*

- ii) *Mettre en mémoire des données ou des instructions sur des supports de stockage fixes ou modifiables (vivants);*
- iii) *Traiter des données conformément à un ordre stocké d'exécution d'instructions qui peut être modifié; et*
- iv) *Fournir des données de sortie.*

*N. B. : Les modifications d'un ordre stocké d'exécution d'instructions comprennent le remplacement des dispositifs de stockage fixes mais non une modification matérielle au niveau des câbles ou des connexions.*

*« Unité de fabrication flexible (UFF) »*

*Ensemble qui comprend une combinaison des éléments suivants au moins :*

- i) *Un ordinateur numérique possédant sa propre mémoire principale et son propre équipement associé; et*
- ii) *Au moins deux des machines décrites aux paragraphes 52, 53, 54 et 55.*

*N. B. : L'« unité de fabrication flexible » (UFF) est parfois appelée « système de fabrication flexible » (SFF) ou « cellule de fabrication flexible » (CFF).*

*« Laser »*

*Assemblage de composants qui produisent une lumière cohérente amplifiée par une émission stimulée de rayonnements;*

*« Mémoire principale »*

*Mémoire opératrice pour l'enregistrement de données ou d'instructions auxquelles il est possible d'accéder rapidement par l'intermédiaire d'une unité centrale de traitement. Elle comprend le stockage interne d'un ordinateur numérique et toute extension hiérarchique de celui-ci, telle qu'une antémémoire ou une mémoire étendue à accès non séquentiel;*

*« Microprogramme »*

*Suite d'instructions élémentaires maintenue dans une mémoire spéciale et dont l'exécution est déclenchée par l'introduction de son instruction de référence dans un registre d'instructions;*

*« Pupitre de commande des mouvements »*

*Assemblage électronique spécialement conçu pour donner à un système de traitement de l'information la possibilité de coordonner simultanément le mouvement des axes des machines-outils en vue d'une commande de contour-nage;*

*« Commande numérique »*

*Commande automatique d'un processus réalisée par un dispositif qui interprète des données numériques introduites en général au fur et à mesure du déroulement du processus (réf. : ISO 2382);*

*« Programme de pièce »*

*Ensemble ordonné d'instructions définissant dans un langage et un format donnés la suite des opérations à faire exécuter par une commande automatique. Le programme est soit écrit sous forme de programme machine sur un support de données à l'entrée, soit utilisé comme données d'entrée pour le*

traitement dans un ordinateur en vue d'obtenir le programme machine (réf. : ISO 2806-1980);

« Précision de positionnement »

La précision de positionnement de machines-outils à commande numérique doit être déterminée et présentée en association avec les exigences ci-dessous :

- i) Conditions d'essai (ISO 230/2, par. 3) :
  - a) Pendant 12 heures avant et durant les mesures, la machine-outil et l'équipement de mesure de précision seront conservés à la même température ambiante. Pendant la période qui précède les mesures, les chariots de la machine seront continuellement soumis aux phases de travail de la même manière qu'ils seront soumis aux phases de travail pendant les mesures de précision;
  - b) La machine sera équipée de tout dispositif de compensation mécanique, électronique ou logiciel qui doit être exporté avec la machine;
  - c) La précision des instruments de mesure utilisés pour les mesures sera au moins quatre fois plus précise que la précision attendue de la machine-outil;
  - d) L'alimentation en énergie pour l'actionnement des chariots sera comme suit :
    - A) La variation de la tension du réseau ne sera pas supérieure à  $\pm 10$  % de la tension de régime nominale;
    - B) La variation de la fréquence ne sera pas supérieure à  $\pm 2$  Hz de la fréquence normale;
    - C) Les pertes en ligne et les interruptions de courant ne sont pas autorisées;
- ii) Programme d'essai (ISO 230/2, par. 4) :
  - a) La vitesse d'avance (vitesse des chariots) pendant les mesures sera la vitesse d'avance rapide;

N. B. : Dans le cas de machines-outils qui produisent des surfaces de qualité optique, la vitesse d'avance sera égale ou inférieure à 50 mm par minute.

  - b) La limite de déplacement de l'axe jusqu'à l'autre limite sans retourner à la position de départ pour chaque mouvement jusqu'au point visé;
  - c) Les axes qui ne sont pas en train d'être mesurés seront maintenus à mi-trajet pendant le contrôle d'un axe;
- iii) Présentation des résultats des essais (ISO 230/2, par. 2); les résultats des mesures doivent comprendre :
  - a) La précision de positionnement; et
  - b) L'erreur moyenne de réversibilité.

*« Programme »*

*Suite d'instructions permettant d'accomplir un processus ou convertible en une forme pouvant être exécutée par un ordinateur;*

*« Traitement en temps réel »*

*Traitement de données par un ordinateur en réaction à un événement extérieur selon les exigences de temps imposées par l'événement extérieur;*

*« Robot »*

*Mécanisme de manipulation qui peut être du type à trajectoire continue ou du type point à point, qui peut utiliser des capteurs et possède toutes les caractéristiques suivantes :*

- i) Est multifonctionnel;*
- ii) Est capable de positionner ou d'orienter des matériaux, des pièces, des outils ou des dispositifs spéciaux grâce à des mouvements variables en trois dimensions;*
- iii) Comprend trois servomécanismes, ou plus, à boucle ouverte ou fermée, qui peuvent comprendre des moteurs pas-à-pas; et*
- iv) Possède une programmabilité accessible à l'utilisateur au moyen d'une méthode instruction/reproduction ou au moyen d'un ordinateur qui peut être une commande logique programmable, c'est-à-dire sans intervention mécanique.*

*N. B. : La définition ci-dessus ne comprend pas les dispositifs suivants :*

- a) Mécanismes de manipulation qui ne peuvent être commandés que manuellement ou par télémanipulateur;*
- b) Mécanismes de manipulation à séquence fixe qui sont des dispositifs automatiques de déplacement fonctionnant conformément à des mouvements programmés fixés mécaniquement. Le programme est mécaniquement limité par des arrêts fixes tels que boulons de butée ou cames de butée. La séquence des mouvements et le choix des trajectoires ou angles ne sont pas variables ou modifiables à l'aide de moyens mécaniques, électroniques ou électriques;*
- c) Mécanismes de manipulation à séquence variable commandés mécaniquement, qui sont des dispositifs automatiques de déplacement fonctionnant conformément à des mouvements programmés fixés mécaniquement. Le programme est mécaniquement limité par des arrêts fixes mais modifiables, tels que boulons de butée et cames de butée. La séquence des mouvements et le choix des trajectoires ou des angles sont variables à l'intérieur du schéma du programme fixe. Les variations ou les modifications apportées au schéma du programme (par exemple changement des boulons de butée ou échange des cames de butée) dans un ou plusieurs axes de mouvement sont accomplies uniquement à l'aide d'opérations mécaniques;*
- d) Mécanismes de manipulation à séquence variable sans servocommande, qui sont des dispositifs automatiques de déplacement fonctionnant conformément à des mouvements programmés fixés méca-*

*iquement. Le programme est variable mais la séquence se déroule uniquement à l'aide du signal binaire provenant de dispositifs binaires électriques fixés mécaniquement ou d'arrêts réglables;*

- e) Grues empileuses définies comme étant des systèmes de manipulation à coordonnées cartésiennes fabriqués comme partie intégrante d'une pile verticale de réservoirs de stockage et conçus pour accéder au contenu de ces réservoirs en vue du stockage ou de la récupération;*
- f) Robots spécialement conçus pour des applications industrielles non nucléaires, telles que les opérations de peinture au pistolet pour automobiles.*

*« Terminaux » (ou effecteurs)*

*Les terminaux comprennent les préhenseurs, les unités d'usinage actives et tout autre outil fixé au poignet du manipulateur d'un robot;*

*« Faux-rond de rotation »*

*Déplacement radial au cours d'une rotation de la broche principale mesuré dans un plan perpendiculaire à l'axe de la broche à un point situé sur la surface rotative externe ou interne faisant l'objet de l'essai (réf. : ISO 230, partie 1-1986, par. 5.61);*

*« Capteurs »*

*Détecteurs d'un phénomène physique dont les données de sortie sont capables (après conversion en un signal qui peut être interprété par un contrôleur) de produire des programmes ou de modifier des instructions programmées ou des données numériques d'un programme. Cette définition comprend les capteurs à vision machine, à imageur à infrarouge, à imageur acoustique, les capteurs de contact, les capteurs de mesure de la position d'inertie, de classification optique ou acoustique, ou de mesure de la force ou du couple;*

*« Logiciel »*

*Ensemble d'un ou de plusieurs programmes ou microprogrammes fixé sur tout support matériel d'expression;*

*« Broche inclinable »*

*Broche porte-outils qui, durant le processus d'usinage, modifie la position angulaire de sa ligne centrale par rapport à tout autre axe;*

*« Programmabilité accessible à l'utilisateur »*

*La possibilité pour l'utilisateur d'introduire, de modifier ou de remplacer des programmes à l'aide de moyens autres :*

- i) Qu'un changement matériel au niveau des câbles ou des interconnexions; ou*
- ii) Que l'introduction de commandes de fonctions, y compris l'entrée de paramètres.*

### **53. Machines à repousser et à fluotourner**

Machines à fluotourner, machines à repousser capables d'effectuer des opérations de fluotournage et des mandrins, comme suit :

**53.1 Machines :**

- a) Qui possèdent trois galets ou plus (actifs ou de guidage); *et*
- b) Qui, conformément aux spécifications techniques du fabricant, peuvent être équipées d'unités de commande numérique ou d'une unité de commande par ordinateur.

**53.2 Mandrins conçus pour former des rotors cylindriques d'un diamètre intérieur compris en 75 et 400 mm**

*Note :*

*La rubrique 53.1 s'applique aux machines n'ayant qu'un seul galet conçu pour déformer le métal plus deux galets auxiliaires qui servent de support, mais qui ne participent pas directement à l'opération de déformation.*

**54. Machines de contrôle des dimensions**

Machines, dispositifs ou systèmes de contrôle des dimensions, comme suit, et logiciel spécialement conçu à cet effet :

**54.1 Machines de contrôle des dimensions commandées par ordinateur ou à commande numérique et possédant les deux caractéristiques suivantes :**

- a) Deux axes ou plus; *et*
- b) Une « incertitude de mesure » unidimensionnelle de la longueur égale ou inférieure à (meilleure que)  $(1,25 + L/1000) \mu\text{m}$  (L étant la longueur mesurée en millimètres) (réf. : VDI/VDE 2617, parties 1 et 2).

**54.2 Dispositifs de mesure du déplacement angulaire et linéaire, comme suit :**

- a) Instruments de mesure linéaire ayant l'une quelconque des caractéristiques suivantes :
  - i) Systèmes de mesure de type sans contact ayant une « résolution » égale ou inférieure à (meilleure que)  $0,2 \mu\text{m}$  à l'intérieur d'une gamme de mesures pouvant atteindre 0,2 mm; *ou*
  - ii) Systèmes à transformateur différentiel à variable linéaire (TDVL) ayant les deux caractéristiques suivantes :
    - A) Une « linéarité » égale ou inférieure à (meilleure que) 0,1 % à l'intérieur d'une gamme de mesures pouvant atteindre 5 mm, *et*
    - B) Une dérive égale ou inférieure à (meilleure que) 0,1 % par jour à une température ambiante de référence de la chambre d'essai égale à  $\pm 1 \text{ K}$ ; *ou*
  - iii) Systèmes de mesure ayant les deux caractéristiques suivantes :
    - A) Présence d'un « laser »; *et*

- B) Maintien pendant au moins 12 heures avec une gamme de température variant de  $\pm 1$  K autour d'une température de référence et une pression de référence :
- I. D'une « résolution » sur leur déviation totale égale à  $0,1 \mu\text{m}$  ou mieux, *et*
  - II. Avec une « incertitude de mesure » égale ou inférieure à (meilleure que)  $(0,2 + L/2000) \mu\text{m}$  (L étant la longueur mesurée en millimètres);

*Note :*

*La rubrique 54.2 a) iii) ne s'applique pas aux systèmes de mesure à interférométrie, sans rétroaction à boucle ouverte ou fermée, comprenant un « laser » pour mesurer les erreurs de mouvements des chariots des machines-outils, des machines de contrôle dimensionnel ou équipements similaires.*

- b) Instruments de mesure angulaire ayant une « déviation de position angulaire » égale ou inférieure à (meilleure que)  $0,00025^\circ$ ;

*Note :*

*La rubrique 54.2 b) ne s'applique pas aux instruments optiques tels que les autocollimateurs utilisant la collimation de la lumière pour détecter le déplacement angulaire d'un miroir.*

- c) Systèmes permettant un contrôle simultané linéaire-angulaire de semi-coques et présentant les deux caractéristiques suivantes :
  - i) Une « incertitude de mesure » sur tout axe linéaire égale ou inférieure à (meilleure que)  $3,5 \mu\text{m}$  par 5 mm, *et*
  - ii) Une déviation de position angulaire égale ou inférieure à  $0,02\text{E}$ .

*Note :*

*Le logiciel spécialement conçu pour les systèmes décrits à la rubrique 54.2 c) comprend le logiciel permettant une mesure simultanée de l'épaisseur et du contour des parois.*

*Note technique 1 :*

*La rubrique 54 s'applique aux machines-outils qui peuvent servir de machines de mesure si elles répondent aux critères définis pour la fonction de machine de mesure ou si elles les surpassent.*

*Note technique 2 :*

*Les machines décrites au paragraphe 54 doivent être signalées si elles dépassent le seuil spécifié en n'importe quel point de sa plage de fonctionnement.*

*Note technique 3 :*

*La sonde utilisée pour déterminer l'« incertitude de mesure » d'un système de contrôle dimensionnel est telle que décrite dans VDI/VDE 2617, parties 2, 3 et 4.*

*Note technique 4 :*

*Tous les paramètres des valeurs de mesure dans le présent article correspondent à des valeurs plus/moins, c'est-à-dire pas à la totalité de la bande.*

*« Incertitude de mesure »*

*Paramètre caractéristique qui détermine dans quelle plage autour de la valeur de sortie se situe la valeur correcte de la variable mesurable avec un niveau de confiance égal à 95 %. Elle comprend les déviations systématiques non corrigées, l'effet réactif non corrigé et les écarts aléatoires (réf. : VDI/VDE 2617).*

*« Résolution »*

*Incrément le plus petit d'un dispositif de mesure; pour les instruments numériques, le pas de progression (bit) le plus petit (réf. : ANSI B-89.1.12).*

*« Linéarité »*

*(Généralement mesurée sous forme de non-linéarité) déviation maximale de la caractéristique réelle (moyenne des valeurs maximales et minimales relevées), qu'elle soit positive ou négative, par rapport à une ligne droite placée de façon à uniformiser et minimiser les écarts maximaux.*

*« Déviation de la position angulaire »*

*Écart maximum entre la position angulaire et la position angulaire réelle mesurée avec une très grande précision après que la monture de travail de la table ait quitté sa position initiale (réf. : VDI/VDE 2617. Projet : « Rotary table on coordinate measuring machines »).*

## **55. Presses à compression isostatique (à froid et à chaud)**

« Presses à compression isostatique », et équipement apparenté, comme suit :

### **55.1 « Presses à compression isostatique » :**

- a) Capables d'atteindre une pression de régime maximale égale ou supérieure à 69 Mpa; *et*
- b) Possédant une chambre dont le diamètre intérieur de la cavité est supérieur à 152 mm;

### **55.2 Matrices, moules et commandes spécialement conçues pour les « presses à compression isostatique » définies à la rubrique 55.1**

*Note technique 1 :*

*À la rubrique 55, le terme « presse isostatique » désigne un équipement capable de pressuriser une cavité fermée en recourant à divers moyens (gaz, liquide, particules solides, etc.) afin de créer une pression homogène dans toutes les directions à l'intérieur de la cavité sur une pièce ou un matériau.*

*Note technique 2 :*

*À la rubrique 55, la dimension intérieure de la chambre est celle de la chambre dans laquelle tant la température de régime que la pression de régime ont été atteintes et ne comprend pas l'appareillage. Cette dimension sera la plus petite des dimensions soit du diamètre intérieur de la chambre de compression, soit du diamètre intérieur de la chambre isolée du four selon celle des deux chambres qui se trouve à l'intérieur de l'autre.*

## **56. \*Équipement de fabrication et d'assemblage de rotors**

### **56.1 \*Équipement d'assemblage de rotors pour l'assemblage de sections, chicanes et bouchons de tubes de rotors**

*Note :*

*La rubrique 56.1 s'applique aux mandrins de précision, aux dispositifs de fixation et aux machines d'ajustement fretté.*

### **56.2 \*Équipement à dresser pour rotors en vue de l'alignement des sections de tubes de rotor par rapport à un axe commun**

*Note :*

*Cet équipement comprend normalement des capteurs de mesure de précision reliés à un ordinateur qui commande ensuite l'action de dispositifs de serrage pneumatiques, par exemple en vue d'aligner les sections de tubes de rotor.*

### **56.3 \*Mandrins et matrices pour la production de soufflets à circonvolution unique**

*Note technique :*

*Les soufflets visés à la rubrique 56.3 possèdent toutes les caractéristiques suivantes :*

- i) Diamètre intérieur compris entre 75 et 400 mm;*
- ii) Longueur égale ou supérieure à 12,7 mm;*
- iii) Circonvolution unique d'une profondeur supérieure à 2 mm; et*
- iv) Fabriqués en alliages d'aluminium à résistance élevée, en acier maraging, ou en « matières fibreuses ou filamenteuses » ayant une résistance élevée.*

## **57. \*Machines à équilibrer centrifuges**

Machines à équilibrer centrifuges multiplans, fixes ou mobiles, horizontales ou verticales, comme suit, et logiciel spécialement conçu pour ces machines :

### **57.1 \*Machines à équilibrer centrifuges, conçues pour équilibrer des rotors flexibles d'une longueur égale ou supérieure à 400 mm et possédant toutes les caractéristiques suivantes :**

- a) Diamètre utile ou diamètre de tourillon égal ou supérieur à 75 mm;
- b) Masse capable de varier entre 0,9 et 23 kg; *et*
- c) Vitesse de révolution d'équilibrage pouvant atteindre plus de 5 000 tr/mn;

### **57.2 \*Machines à équilibrer centrifuges conçues pour équilibrer les composants cylindriques creux de rotors et présentant toutes les caractéristiques suivantes :**

- a) Diamètre de tourillon égal ou supérieur à 75 mm;
- b) Masse capable de varier entre 0,9 et 23 kg;

- c) Capacité d'équilibrer jusqu'à un déséquilibre résiduel de 0,010 kg mm/kg par plan, ou mieux; *et*
- d) Être du type actionné par courroie.

## **58. \*Machines à enrouler les matières fibreuses ou filamenteuses et équipement apparenté**

### **58.1 \*Machines à enrouler les filaments**

- a) Dans lesquelles les mouvements de positionnement, d'enveloppement et d'enroulement des matières fibreuses ou filamenteuses sont coordonnés et programmés en deux axes ou plus;
- b) Capables de fabriquer des structures ou des feuilles composites à partir de « matières fibreuses ou filamenteuses »; *et*
- c) Capables d'enrouler des rotors cylindriques d'un diamètre compris entre 75 et 400 mm et d'une longueur égale ou supérieure à 400 mm;

### **58.2 \*Commandes de coordination et de programmation pour les machines décrites à la rubrique 58.1**

### **58.3 \*Mandrins pour les machines décrites à la rubrique 58.1**

## **59. Soudeuses par faisceau d'électrons**

Soudeuses par faisceau d'électrons ayant une enceinte de 0,5 m<sup>3</sup> ou plus.

## **60. Systèmes de projection au plasma**

Systèmes de projection au plasma, sous atmosphère ou sous vide.

## **61. Fours à oxydation**

Fours à oxydation sous vide présentant toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Ayant une alimentation en vapeur capable d'introduire dans le bas du four de la vapeur légèrement surchauffée à un débit contrôlé;
- b) Capable de contenir une moufle d'un diamètre efficace de 600 mm ou plus et d'une hauteur efficace de 1 200 mm ou plus; *et*
- c) Ayant un élément radiant pour chauffer uniformément la moufle à une température de 673 K (400 °C) ou plus.

*Note technique :*

*Les fours à oxydation servent à déposer une couche d'oxyde contrôlée sur la surface des composants de centrifugeuse fabriqués en acier maraging.*

## **62. \*Fours à haute température**

### **62.1 \*Fours à induction sous atmosphère contrôlée (sous vide ou gaz inerte), et alimentations électriques, comme suit :**

- a) Fours :
  - i) Capable de fonctionner à des températures supérieures à 1123 K (850 °C);
  - ii) Possédant des bobines d'induction de 600 mm de diamètre, ou moins; *et*
  - iii) Conçus pour des alimentations électriques de 5 kW ou plus;

*Note technique*

*La rubrique 62.1 a) n'interdit pas les fours conçus pour le traitement des tranches à semi-conducteurs. De tels fours doivent toutefois être signalés à l'AIEA.*

- b) Des alimentations électriques, d'une puissance de 5 kW ou plus, spécialement conçues pour les fours définis à la rubrique 63.1 a).

### **62.2 \*Fours de fusion et de coulée sous vide ou sous une autre atmosphère contrôlée pour métallurgie, et équipements apparentés, comme suit :**

- a) Fours de coulée et de refusion à arc :
  - i) Dont la capacité des électrodes consommables est comprise entre 1000 et 20000 cm<sup>3</sup>; *et*
  - ii) Capables de fonctionner à des températures de fusion supérieures à 1973 K (1700 °C);
- b) Fours de fusion à faisceaux d'électrons et fours à atomisation et à fusion à plasma :
  - i) Ayant une puissance égale ou supérieure à 50 kW; *et*
  - ii) Capables de fonctionner à des températures de fusion supérieures à 1473 K (1200 °C);
- c) Systèmes de commande et de contrôle par ordinateur spécialement conçus pour l'un ou l'autre des fours définis aux rubriques 62.2 a) ou 62.2 b).

## **63. Matériel d'essais à vibrations**

Systèmes et matériel d'essais à vibrations, composants et logiciel conçus à cet effet, comme suit :

### **63.1 Systèmes d'essais à vibrations électrodynamiques :**

- a) Utilisant des techniques d'autorégulation ou de commande en boucles fermées et incorporant une unité de commande numérique;
- b) Capables de faire vibrer un système de 10 g de valeur efficace (moyenne quadratique) ou plus, sur toute la gamme de 20 à 2000Hz; *et*

- c) Capables de transmettre des forces égales ou supérieures à 50kN, mesurées « table nue »;

- 63.2 Unités de commande numérique, combinées à un « logiciel spécialement conçu » pour les essais à vibrations, avec une largeur de bande en temps réel supérieure à 5 kHz, et conçues pour être utilisées avec les systèmes visés en 63.1**
- 63.3 Propulseurs à vibrations (agitateurs à secousses), avec ou sans amplificateurs connexes, capables de transmettre une force de 50 kN (11 250 livres) ou plus, mesurée « table nue », qui peuvent être utilisés pour les systèmes visés en 63.1**
- 63.4 Structures de support d'éprouvettes d'essai et unités électroniques conçues pour combiner des agitateurs multiples à secousses de façon à en faire un système complet capable de fournir une force combinée effective de 50 kN ou plus, mesurée « table nue », qui peuvent être utilisées pour les systèmes visés en 63.1**

*Note explicative*

*L'expression « table nue » se réfère à une table ou une surface plate dépourvue d'appareillage et d'accessoires.*

- 63.5 « Logiciel spécialement conçu » pour être utilisé avec les systèmes visés en 63.1 ou avec les unités électroniques visées en 63.4.**

## Équipement de développement de systèmes d'implosion

### 64. \*Équipement pour expériences hydrodynamiques

#### 64.1 \*Interféromètres de vitesse destinés à mesurer des vitesses supérieures à 1 km par seconde pendant des intervalles inférieurs à 10 $\mu$ s;

*Note :*

*La rubrique 64.1 s'applique aux interféromètres de vitesse tels que VISAR (interféromètres de vitesse pour tout réflecteur) et DLI (interféromètres Doppler-laser).*

#### 64.2 \*Jauges au manganin pour des pressions supérieures à 10 GPa;

#### 64.3 \*Capteurs de pression à quartz pour des pressions supérieures à 10 GPa;

#### 64.4 \*Pindomes;

#### 64.5 \*Systèmes Schliering pour mesurer les variations de densité dans une explosion;

#### 64.6 \*Transducteurs de pression capables de mesurer la pression absolue en tout point de l'intervalle 0-13 kPa, et possédant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Capteurs de pression constitués ou protégés par de l'aluminium, des alliages d'aluminium, du nickel ou des alliages de nickel contenant plus de 60 % de nickel en poids; *et*
- b) Possédant l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes :
  - i) Une déviation totale inférieure à 13 kPa et une « précision » supérieure à  $\pm 1$  % de la déviation totale; *ou*
  - ii) Une déviation totale égale ou supérieure à 13 kPa et une « précision » supérieure à  $\pm 130$  Pa.

*Notes techniques :*

*Dans la rubrique 64.6, les transducteurs de pression sont des dispositifs qui convertissent les mesures de pression en un signal électrique.*

*Dans la rubrique 64.6, la « précision » englobe la non-linéarité, l'hystérésis et la répétabilité à la température ambiante.*

### 65. Matériel radiologique à éclair

Générateurs de rayonnement X à éclair ou accélérateurs d'électrons pulsés présentant l'une des deux séries de caractéristiques suivantes :

- a) Caractéristiques 1
  - i) Une énergie électronique de pointe de l'accélérateur égale ou supérieure à 500 keV mais inférieure à 25 MeV; *et*
  - ii) Un facteur de mérite (K) égal ou supérieur à 0,25; *ou*
- b) Caractéristiques 2
  - i) Une énergie électronique de pointe de l'accélérateur égale ou supérieure à 25 MeV; *et*

- ii) Une puissance de pointe supérieure à 50 MW.

*Notes techniques :*

*Le facteur de mérite (K) est défini comme suit :*

$$K = 1,7 \times 10^3 V^{2,65} Q$$

*où V est l'énergie électronique de pointe en millions d'électronvolts et Q la charge totale accélérée en coulombs lorsque la durée d'impulsion du faisceau d'accélération est inférieure ou égale à 1 µs; lorsque la durée d'impulsion du faisceau d'accélération est supérieure à 1 µs, Q est la charge maximale accélérée en 1 µs (Q est égale à l'intégrale de i par rapport à t, divisée par 1 µs ou la durée de l'impulsion du faisceau selon la valeur la moins élevée ( $Q = \int i dt$ ), i étant le courant du faisceau en ampères et t le temps en secondes.*

*Puissance de pointe = (potentiel de pointe en volts) x (courant de pointe du faisceau en ampères).*

*Dans les machines basées sur des cavités d'accélération à micro-ondes, la durée de l'impulsion du faisceau est égale soit à 1 µs soit à la durée du groupe de faisceaux résultant d'une impulsion de modulation des micro-ondes, selon la valeur la plus petite.*

*Dans les machines basées sur des cavités d'accélération à micro-ondes, le courant de pointe des faisceaux est le courant moyen pendant la durée du groupe de faisceaux.*

## **66. \*Systèmes à canons**

Canons à étages multiples à gaz léger ou autres systèmes à canons à grande vitesse (systèmes à bobine, systèmes électromagnétiques ou électrothermiques, ou autres systèmes avancés) capables d'accélérer des projectiles jusqu'à 2 km par seconde ou plus.

## **67. \*Caméras à miroir à rotation mécanique**

Caméras à miroir à rotation mécanique, comme suit, et composants spécialement conçus pour ces caméras :

### **67.1 \*Caméras à images ayant une cadence d'enregistrement supérieure à 225 000 mages par seconde;**

### **67.2 \*Caméras à fente ayant une vitesse d'inscription supérieure à 0,5 mm/µs.**

*Note :*

*Dans la rubrique 67, les composants de ces caméras comprennent leurs dispositifs électroniques de synchronisation et leurs assemblages de rotors constitués par les turbines, les miroirs et les supports.*

## **68. \*Caméras électroniques à fente, caméras électroniques à images et composants**

**68.1 \*Caméras électroniques à fente capables d'un pouvoir de résolution temporelle égal ou inférieur à 50 ns;**

**68.2 \*Tubes à fente pour les caméras spécifiées dans la rubrique 68.1;**

**68.3 \*Caméras électroniques à images (ou à obturateur électronique) capables d'une durée d'exposition égale ou inférieure à 50 ns;**

**68.4 \*Tubes à images et imageurs à semi-conducteurs destinés à être utilisés avec les caméras spécifiées dans la rubrique 68.3, comme suit :**

- a) Tubes intensificateurs d'images avec mise au point sur « proximité », dont la cathode photovoltaïque est déposée sur une couche conductrice transparente afin de diminuer la résistance de couche de la cathode photovoltaïque;
- b) Tubes intensificateurs vidicons au silicium et à grilles où un système rapide permet de séparer les photoélectrons de la cathode photovoltaïque avant qu'ils ne soient projetés contre la plaque de l'intensificateur vidicon au silicium;
- c) Obturateur électro-optique à cellule Kerr ou à cellule de Pockel; ou
- d) Autres tubes à images et imageurs à semi-conducteurs ayant un temps de déclenchement pour images rapides inférieur à 50 ns spécialement conçus pour les caméras spécifiées dans la rubrique 68.3.

**68.5 \*Modules ou ensembles électroniques (par exemple modules d'extension) conçus pour des appareils de prises de vues d'instrumentation, et qui permettent à ces appareils de satisfaire aux spécifications de performances décrites dans les rubriques 68.1 et 68.3;**

**68.6 \*Imageurs à semi-conducteurs ayant une surface égale ou supérieure à 40 cm<sup>2</sup> et un rendement quantique supérieur à 50 %.**

## **69. Calculateurs numériques**

Calculateurs numériques et microprocesseurs dont la performance théorique pondérée (PTP) est supérieure à 28 000 millions d'opérations théoriques par seconde (Motps).

*Note 1 :*

*Cette rubrique s'applique aux clusters parallèles, y compris ceux assemblés au moyen de techniques réseau disponibles dans le commerce, capables d'un niveau de performance global supérieur à 28 000 Mtops.*

*Note 2 :*

*Cette rubrique ne s'applique pas aux ordinateurs indispensables à des applications médicales et incorporés dans les équipements ou les systèmes conçus ou modifiés au service d'applications médicales identifiables et spécialisées. Les équipements comprenant des ordinateurs qui satisfont aux spécifications précitées ou les dépassent doivent toutefois être déclarés auprès de l'AIEA.*

## 70. \*Codes d'ordinateurs pour les explosifs nucléaires

Codes hydrodynamiques, codes neutroniques, codes de transport des photons et/ou fichiers de données sur l'équation d'état et les constantes nucléaires connexes pouvant être utilisés pour établir les calculs concernant les armes nucléaires à implosion ou à rapprochement.

*Note :*

*Cette rubrique s'applique aux logiciels, aux équations ou aux données sous toute forme utilisable pour établir les calculs concernant les armes à implosion ou à rapprochement.*

## 71. \*Détonateurs et systèmes d'amorçage à points multiples

### 71.1 Détonateurs d'explosifs à commande électrique, comme suit :

- a) Amorce à pont (AP);
- b) Fil à exploser (FE);
- c) Percuteur; et
- d) Initiateurs à feuille explosive (IFE).

*Note :*

*La rubrique 71.1 ne s'applique pas aux détonateurs qui n'utilisent que des explosifs primaires, comme l'azoture de plomb.*

*Note technique :*

*Les détonateurs en question utilisent tous un petit conducteur électrique (amorce à pont, fil à exploser ou feuille) qui se vaporise avec un effet explosif lorsqu'une impulsion électrique rapide à haute intensité passe par ledit conducteur. Dans les détonateurs de type « non percuteur », le conducteur à explosion amorce une détonation chimique dans un matériau de contact fortement explosif comme le PETN (tétranitrate de pentaérythritol). Dans les détonateurs à percuteur, la vaporisation à action explosive du conducteur électrique amène un « percuteur » à passer au-dessus d'un écartement et l'impact du percuteur sur un explosif amorce une détonation chimique. Dans certains cas, le percuteur est actionné par une force magnétique. L'expression détonateur « à feuille explosive » peut se référer à un détonateur AP ou à un détonateur à percuteur. De même, le terme « initiateur » est parfois employé au lieu du terme « détonateur ».*

### 71.2 Systèmes utilisant un détonateur unique ou plusieurs détonateurs conçus pour amorcer pratiquement simultanément une surface explosive (de plus de 5 000 mm<sup>2</sup>) à partir d'un signal unique de mise à feu (avec un temps de propagation de l'amorçage sur la surface en question inférieur à 2,5 µs);

### 71.3 Détonateurs d'explosifs instantanés à commande optique.

*Note technique :*

*Ces détonateurs sont parfois appelés percuteurs à laser. Ils opèrent au moyen d'un faisceau laser qui évapore la surface d'un percuteur, produisant un plasma qui permet au percuteur de passer au-dessus d'un écartement.*

## **72. \*Conformateurs d'ondes**

Conformateurs d'ondes destinés à amorcer uniformément la surface d'une charge explosive.

## **73. \*Dispositifs de mise à feu et générateurs d'impulsions équivalents à haute intensité**

### **73.1 \*Dispositifs de mise à feu de détonateurs d'explosions conçus pour actionner les détonateurs à commande multiple indiqués dans la rubrique 71;**

### **73.2 \*Générateurs d'impulsions électriques modulaires (contacteurs à impulsions) possédant l'ensemble des caractéristiques suivantes :**

- a) Conçus pour une utilisation portative, mobile, ou exigeant une robustesse;
- b) Enfermés dans un boîtier étanche aux poussières;
- c) Capables de fournir leur énergie en moins de 15  $\mu$ s;
- d) Ayant une intensité supérieure à 100 A;
- e) Ayant un temps de montée inférieur à 10  $\mu$ s dans des charges inférieures à 40 ohms.

*Note 1 :*

*Le temps de montée est défini comme étant l'intervalle entre des amplitudes de courant de 10 % à 90 % lors de l'actionnement d'une charge ohmique.*

*Note 2 :*

*La rubrique 73.2 e) s'applique aux dispositifs de commande à lampe à xénon.*

- f) N'ayant aucune dimension supérieure à 25,4 cm;
- g) Pesant moins de 25 kg (55 lbs); *et*
- h) Conçus pour être utilisés à l'intérieur d'une vaste gamme de températures (-50 °C à 100 °C) ou conçus pour une utilisation aérospatiale.

## **74. Dispositifs de commutation**

### **74.1 Tubes à cathode froide (y compris les tubes au krytron à gaz et les tubes au sprytron à vide), qu'ils soient ou non remplis de gaz, fonctionnant de manière similaire à un éclateur à étincelle, et possédant toutes les caractéristiques suivantes :**

- a) Comprenant trois électrodes ou plus;
- b) Tension anodique nominale de pointe égale ou supérieure à 2 500 V;
- c) Courant de plaque nominal de pointe égal ou supérieur à 100 A; *et*
- d) Temporisation de l'anode égale ou inférieure à 10  $\mu$ s.

**74.2 Éclateurs à étincelle déclenchés possédant les deux caractéristiques suivantes :**

- a) Temporisation de l'anode égale ou inférieure à 15  $\mu$ s; *et*
- b) Prévus pour un courant de pointe égal ou supérieur à 500 A;

**74.3 Modules ou assemblages à commutation rapide possédant toutes les caractéristiques suivantes :**

- a) Tension anodique nominale de pointe supérieure à 2 000 V;
- b) Courant de plaque nominal de pointe égal ou supérieur à 500 A; *et*
- c) Temps de commutation égal ou inférieur à 1  $\mu$ s.

**75. Condensateurs à décharge pulsée**

Condensateurs à décharge pulsée possédant l'une des deux séries de caractéristiques suivantes :

**75.1 Caractéristiques 1**

- a) Tension nominale supérieure à 1,4 kV;
- b) Accumulation d'énergie supérieure à 10 J;
- c) Capacité supérieure à 0,5  $\mu$ F; *et*
- d) Inductance série inférieure à 50 nH; *ou*

**75.2 Caractéristiques 2**

- a) Tension nominale supérieure à 750 V;
- b) Capacité supérieure à 0,25  $\mu$ F; *et*
- c) Inductance série inférieure à 10 nH.

**76. Matières hautement explosives**

Substances ou mélanges hautement explosifs contenant l'un ou l'autre des produits suivants :

**76.1 Cyclotétraméthylènetétranitramine (HMX);****76.2 Cyclotriméthylènetrinitramine (RDX);****76.3 Triaminotrinitrobenzène (TATB);****76.4 Hexanitrostilbène (HNS), sauf s'il entre dans la composition de produits pharmaceutiques;****76.5 Tout explosif ayant une densité cristalline supérieure à 1,8 g/cm<sup>3</sup> et une vitesse de détonation supérieure à 8 000 m/s; ou****76.6 Tétranitrate de pentaérythritol (PETN), sauf s'il entre dans la composition de produits pharmaceutiques.**

## Autres matériels

### 77. \*Creusets

#### 77.1 \*Creusets constitués ou revêtus de l'une quelconque des matières suivantes :

- a) Fluorure de calcium ( $\text{CaF}_2$ );
- b) Zirconate (métazirconate) de calcium ( $\text{CaZrO}_3$ );
- c) Sulfure de cérium ( $\text{Ce}_2\text{S}_3$ );
- d) Oxyde d'erbium (erbine) ( $\text{Er}_2\text{O}_3$ );
- e) Oxyde d'hafnium ( $\text{HfO}_2$ );
- f) Oxyde de magnésium ( $\text{MgO}$ );
- g) Alliage nitruré niobium-titane-tungstène (approximativement 50 % de Nb, 30 % de Ti et 20 % de W);
- h) Oxyde d'yttrium (yttria) ( $\text{Y}_2\text{O}_3$ ); *ou*
- i) Oxyde de zirconium (zircone) ( $\text{ZrO}_2$ ).

#### 77.2 \*Creusets constitués ou revêtus de tantale ayant un degré de pureté égal ou supérieur à 99,9 %;

#### 77.3 \*Creusets présentant les deux caractéristiques ci-après :

- a) Constitués ou revêtus de tantale ayant un degré de pureté égal ou supérieur à 98 %; *et*
- b) Recouverts de carbure, de nitrure ou de borure de tantale ou toute combinaison de ces substances.

### 78. Systèmes générateurs de neutrons

#### 78.1 \*Systèmes générateurs de neutrons, y compris les tubes, présentant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Conçus pour fonctionner sans système à vide extérieur; *et*
- b) Faisant appel à l'accélération électrostatique pour induire une réaction deutérium-deutérium ou tritium-deutérium.

#### 78.2 Systèmes générateurs de neutrons qui utilisent le plasma focus intense pour induire une réaction deutérium-deutérium ou tritium-deutérium.

### 79. Matériel électronique pour la temporisation ou la mesure d'intervalles de temps

#### 79.1 Dispositifs numériques de temporisation ayant une résolution égale ou inférieure à 50 ns pour des intervalles de temps égaux ou supérieurs à 1 $\mu\text{s}$ ;

- 79.2 Appareils multicanaux (trois ou plus) ou modulaires de mesure d'intervalles de temps et matériels chronométriques ayant une résolution temporelle inférieure à 50 ns pour des intervalles de temps supérieurs à 1  $\mu$ s.**

## **80. Oscilloscopes**

Oscilloscopes et enregistreurs de signaux transitoires et composants spécialement conçus, comme suit :

- 80.1 Oscilloscopes analogiques non modulaires ayant une « largeur de bande » égale ou supérieure à 1 GHz;**

- 80.2 Systèmes à oscilloscope analogique modulaire possédant une des deux caractéristiques suivantes :**

- a) Une unité centrale ayant une « largeur de bande » égale ou supérieure à 1 GHz; *ou*
- b) Des modules embrochables à « largeur de bande » individuelle égale ou supérieure à 4 GHz.

- 80.3 Oscilloscopes analogiques d'échantillonnage pour l'analyse de phénomènes récurrents avec une « largeur de bande » effective supérieure à 4 GHz;**

- 80.4 Oscilloscopes numériques et enregistreurs de signaux transitoires employant des techniques de conversion analogique-numérique, capables de stocker des phénomènes transitoires en prélevant suivant un programme séquentiel des échantillons uniques à des intervalles successifs inférieurs à 1 ns (supérieurs à 1 giga-échantillon par seconde), convertissant en numérique jusqu'à une résolution de 8 bits ou plus et mettant en mémoire 256 échantillons ou plus.**

*Note 1 :*

*Les composants spécialement conçus pour les oscilloscopes analogiques sont les suivants :*

- i) Plaques embrochables;*
- ii) Amplificateurs extérieurs;*
- iii) Préamplificateurs;*
- iv) Dispositifs d'échantillonnage; et*
- v) Tubes à rayons cathodiques.*

*Note 2 :*

*Par « largeur de bande », il faut entendre la bande des fréquences dans laquelle la déflexion sur le tube à rayons cathodiques ne descend pas en dessous de 70,7 % de celle enregistrée au point maximal et mesurée avec une tension constante à l'entrée de l'amplificateur de l'oscilloscope.*

## 81. Générateurs d'impulsions rapides

Générateurs d'impulsions rapides présentant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Générateurs d'impulsions rapides avec une tension de sortie supérieure à 6 V dans une charge ohmique de moins de 55 ohms; *et*
- b) Un temps de transition des impulsions inférieur à 500 ps.

*Note technique :*

*À la rubrique 81 b), le temps de transition des impulsions est défini comme étant l'intervalle entre une amplitude de tension de 10 % et de 90 %.*

## 82. Amplificateurs d'impulsion

Amplificateurs d'impulsion présentant les caractéristiques ci-après :

- a) Gain supérieur à 6 dBs;
- b) Largeur de bande de base supérieure à 500 MHz (ayant le point de demi-puissance à basse fréquence inférieur à 1 MHz et le point de demi-puissance à haute fréquence inférieur à 1 MHz et supérieur à 500 MHz); *et*
- c) Une tension de sortie supérieure à 2 volts en 55 ohms ou moins (correspondant à une puissance de sortie supérieure à 16 dBm dans un système de 50 ohms).

## 83. Tubes photomultiplicateurs

Tubes photomultiplicateurs présentant les deux caractéristiques ci-après :

- a) Surface photocathodique supérieure à 20 cm<sup>2</sup>; *et*
- b) Temps de montée de l'impulsion anodique inférieure à 1 ns.

## 84. Convertisseurs de fréquence

Convertisseurs de fréquence autres que ceux visés sous 23.4, dotés de toutes les caractéristiques suivantes :

- a) Sortie multiphasée capable de produire une puissance égale ou supérieure à 40 W;
- b) Capacité de fonction dans la gamme 600-2 000 Hz;
- c) Distorsion harmonique totale inférieure à 10 %; *et*
- d) Contrôle de la fréquence inférieur à 0,1 %.

## 85. Valves à obturateur à soufflet

Valves présentant les caractéristiques suivantes :

- a) Une « taille nominale » égale ou supérieure à 5 mm;
- b) Munies d'un obturateur à soufflet; *et*
- c) Faites entièrement ou revêtues intérieurement d'une couche d'aluminium, d'alliage d'aluminium, de nickel ou d'alliage de nickel contenant plus de 60 % de nickel en poids.

*Note technique :*

*Pour les valves ayant des diamètres différents à l'entrée et à la sortie, on entend par « taille nominale » à la rubrique 85 a) le diamètre le plus petit.*

## **86. Compresseurs et pompes à vide scroll**

Compresseurs et pompes à vide scroll à obturateur à soufflet dans lesquels toutes les surfaces qui entrent en contact avec le gaz industriel sont faites de l'un ou l'autre des matériaux suivants : aluminium, alliage d'aluminium, oxyde d'aluminium, acier inoxydable, nickel, alliage de nickel, bronze phosphoreux et fluoropolymères.

## **87. Accélérateurs d'ions**

Accélérateurs d'ions présentant les deux caractéristiques suivantes :

- a) Capacité d'accélérer les ions à des énergies entre 120 MeV et 20 GeV; *et*
- b) Un facteur de mérite (K) égal ou supérieur à 82.

*Note technique :*

*Le facteur de mérite K se définit comme  $K=I(E-120)$  où I est le courant du faisceau moyen en mA et E est l'énergie finale en MeV.*

## Appendice 1

### Principes généraux

La description d'un article figurant dans l'annexe s'applique à cet article à l'état neuf ou d'occasion.

Lorsque la description d'un article de l'annexe 3 ne comprend ni qualifications, ni spécifications, il faut considérer qu'elle s'applique à toutes les variétés de cet article. Les sous-titres des catégories sont uniquement destinés à faciliter les recherches et ne modifient en rien l'interprétation des définitions des articles.

Il ne peut être porté atteinte à l'objectif des contrôles par le biais du transfert de parties de composants.

Il ne peut être porté atteinte à l'objectif des contrôles par le biais du transfert à l'Iraq d'un article (y compris d'une installation) non contrôlé et comprenant un ou plusieurs composants soumis au contrôle lorsque le ou les composants soumis au contrôle constituent le principal élément de l'article en question et peuvent être enlevés ou utilisés à d'autres fins. Pour déterminer si le ou les composants soumis au contrôle constituent l'élément principal, les autorités chargées de la délivrance des autorisations doivent apprécier les facteurs de quantité, de valeur et de savoir-faire technologique impliqués ainsi que d'autres circonstances spéciales qui pourraient avoir comme effet que le ou les composants soumis au contrôle deviennent le principal élément de l'article fourni.

## Appendice 2

### Contrôle des technologies et des logiciels

Le transfert d'une « technologie » ou de « logiciels » directement associés à l'un quelconque des articles énumérés à l'annexe 3 fera l'objet d'un examen et d'un contrôle aussi approfondis que l'article lui-même.

Le transfert d'une « technologie » ou de « logiciels » concernant des articles interdits est lui aussi interdit.

L'autorisation du transfert à l'Iraq de tout article énuméré à l'annexe 3 qui n'est pas interdit à l'Iraq peut entraîner le transfert au même utilisateur final de la « technologie » ou des « logiciels » minimaux requis pour l'installation, la mise en oeuvre, l'entretien et la réparation de l'article.

Les contrôles relatifs aux transferts de « logiciels » ne s'appliquent pas aux logiciels :

- a) Généralement disponibles pour le public en étant :
  - i) En vente libre au détail à partir d'un stock;
  - ii) Conçus pour être installés par l'utilisateur sans suivi important de la part du fournisseur;
- b) Du « domaine public ».

## Appendice 3

### Liste des activités nucléaires autorisées par la résolution 707 du Conseil de sécurité

*L'annexe 4 du Plan est reproduite ci-après pour plus de commodité.*

#### Annexe 4

### Liste des activités nucléaires autorisées par la résolution 707 du Conseil de sécurité

Les applications pacifiques suivantes des isotopes importés d'autres États après l'approbation préalable de l'AIEA sont autorisées :

#### 1. Applications agricoles

- 1.1 Fertilité du sol, irrigation et rendement des cultures
- 1.2 Amélioration des plantes et phytogénétique
- 1.3 Production animale et soins vétérinaires
- 1.4 Lutte phytosanitaire
- 1.5 Conservation des aliments
- 1.6 Autres usages autorisés par l'AIEA

#### 2. Applications industrielles

- 2.1 Radiographie et autres méthodes d'essais non destructifs
- 2.2 Automatisation industrielle et contrôle de la qualité
- 2.3 Application des indicateurs radioactifs dans l'industrie pétrolière, la chimie et la métallurgie
- 2.4 Mise en valeur des ressources en eau et des ressources minérales
- 2.5 Traitement industriel par irradiation
- 2.6 Autres usages autorisés par l'AIEA

#### 3. Applications médicales

- 3.1 Diagnostic et médecine thérapeutique, y compris la dosimétrie
- 3.2 Radiothérapie par téléthérapie et radiothérapie transcutanée
- 3.3 Études sur la nutrition et l'environnement en relation avec la santé
- 3.4 Autres usages autorisés par l'AIEA

## Appendice 4

### Définitions

#### « Assistance technique »

L'assistance technique peut prendre les formes suivantes : instruction, qualifications, formation, connaissances pratiques, services de conseils.

#### Note

*L'assistance technique peut comprendre un transfert de « données techniques ».*

#### « Développement »

Se rapporte à toutes les phases précédant la « production », telles que :

- Étude
- Recherche relative à la conception
- Analyse fonctionnelle
- Concepts de l'avant-projet
- Assemblage et essais de prototypes
- Projets pilotes de production
- Définition des données techniques
- Processus de conversion des données techniques en produit
- Conception de la configuration
- Conception de l'intégration
- Plans d'exécution

#### « Données techniques »

Les « données techniques » peuvent prendre la forme de calques, schémas, plans, diagrammes, maquettes, formules, données et spécifications techniques, manuels et modes d'emploi sous une forme écrite ou enregistrés sur d'autres supports ou dispositifs tels que disques, bandes magnétiques ou mémoire morte.

#### « Du domaine public »

Il convient d'entendre ici le fait que la « technologie » ou le « logiciel » a été rendu disponible sans restrictions quant à une diffusion plus vaste. (Les restrictions résultant d'un copyright n'empêchent pas la « technologie » ou le « logiciel » d'être « du domaine public ».)

#### « Linéarité »

(Généralement mesurée sous forme de non-linéarité) Déviation maximale de la caractéristique réelle (moyenne des valeurs maximales et minimales relevées), qu'elle soit positive ou négative, par rapport à une ligne droite placée de façon à uniformiser et réduire au minimum les écarts maximaux.

**« Logiciel »**

Un ou plusieurs « programmes » ou « microprogrammes » enregistrés sur un support.

**« Logiciel spécial »**

Combinaison minimale de systèmes d'exploitation, de systèmes de diagnostic, de systèmes de maintenance et de logiciel d'application nécessaire à l'exécution sur un matériel particulier de la fonction pour laquelle il a été conçu. Pour permettre à un matériel incompatible d'exécuter la même fonction, il faut :

- Modifier ce logiciel; ou
- Ajouter des programmes.

**« Matière brute »**

- Par « matière brute », il faut entendre l'uranium contenant le mélange d'isotopes qui se trouve dans la nature; l'uranium appauvri en uranium 235; le thorium; l'une quelconque des matières mentionnées ci-dessus sous forme de métal, d'alliage, de composé chimique ou de concentré;
- L'expression « matière brute » est interprétée comme ne s'appliquant pas au minerai ni aux résidus de minerai comme le concentré d'uranium, composé essentiellement de  $U_3O_8$ .

**« Matières directement utilisables »**

Matières nucléaires pouvant être utilisées pour la fabrication d'éléments d'explosifs nucléaires sans transmutation ni enrichissement supplémentaire, comme le plutonium contenant moins de 80 % de plutonium 238, l'uranium fortement enrichi et l'uranium 233. Les composés chimiques, les mélanges de matières directement utilisables (MOX, par exemple) et le plutonium présent dans les combustibles irradiés entrent aussi dans cette catégorie. Les matières directement utilisables non irradiées requièrent en principe un traitement moins long et moins poussé que les matières directement utilisables irradiées (présentes dans le combustible irradié).

**« Mélange d'oxydes (MOX) »**

Combustible composé d'un mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium. Le combustible MOX est utilisé pour le recyclage du combustible irradié retraité (après séparation des déchets) dans les réacteurs à neutrons thermiques et comme combustible pour les réacteurs surgénérateurs rapides. Le combustible MOX est considéré comme un produit fissile spécial et comme une matière directement utilisable.

**« Microprogramme »**

Suite d'instructions élémentaires, maintenue dans une mémoire spéciale, et dont l'exécution est déclenchée par l'introduction de son instruction de référence dans un registre d'instruction.

**« Plutonium »**

Élément radioactif présent sous forme de traces dans la nature, ayant pour nombre atomique 94 et pour symbole Pu. Lorsqu'il est produit par irradiation de combustibles à l'uranium, le plutonium contient des pourcentages variables des isotopes 238, 239, 240, 241 et 242. Le plutonium est considéré comme un produit fissile spécial et comme une matière directement utilisable.

**« Précision »**

Terme généralement utilisé sous la forme « manque de précision » défini comme étant l'écart maximal, positif ou négatif, d'une valeur indiquée par rapport à une norme acceptée ou vraie valeur.

**« Production »**

Couvrir toutes les phases de la production, telles que :

- Construction
- Technique de la production
- Fabrication
- Intégration
- Assemblage (montage)
- Inspection
- Essais
- Assurance de qualité

**« Produit fissile spécial »**

- Par « produit fissile spécial », il faut entendre le plutonium 239; l'uranium 233; l'uranium enrichi en uranium 235 ou 233; tout produit contenant un ou plusieurs des isotopes ci-dessus. L'expression « produit fissile spécial » ne s'applique pas aux matières brutes;
- Par « uranium enrichi en uranium 235 ou 233 », il faut entendre l'uranium contenant soit de l'uranium 235, soit de l'uranium 233, soit ces deux isotopes en quantité telle que le rapport entre la somme de ces deux isotopes et l'isotope 238 soit supérieur au rapport entre l'isotope 235 et l'isotope 238 dans l'uranium naturel.

**« Programme »**

Suite d'instructions permettant d'accomplir un processus ou convertible en une forme pouvant être exécutée par un ordinateur.

**« Recherche scientifique fondamentale »**

Travaux expérimentaux ou théoriques entrepris principalement en vue d'acquérir de nouvelles connaissances sur les principes fondamentaux des phénomènes et des faits observables et ne visant pas essentiellement un but ou un objectif pratique spécifique.

**« Technologie »**

Ce terme désigne l'information spécifique nécessaire pour le « développement », la « production » ou l'« utilisation » de tout article de la liste. Cette information peut prendre la forme de « données techniques » ou d'« assistance technique ».

**« Uranium appauvri »**

Uranium ayant une teneur en isotope 235 inférieure à celle de l'uranium naturel, c'est-à-dire uranium présent dans le combustible irradié provenant de réacteurs à uranium naturel et dans les rejets des usines d'enrichissement d'uranium.

**« Uranium enrichi »**

Uranium ayant une teneur en isotope 235 supérieure à celle de l'uranium naturel. L'uranium enrichi est considéré comme un produit fissile spécial.

**« Uranium faiblement enrichi »**

Uranium enrichi à moins de 20 % d'uranium 235.

**« Uranium fortement enrichi »**

Uranium enrichi à 20 % ou plus d'uranium 235. L'uranium fortement enrichi est considéré comme un produit fissile spécial et comme une matière directement utilisable.

**« Uranium naturel »**

Uranium normalement présent dans la nature, ayant une masse atomique de 238 environ et contenant de l'uranium 234 en quantités extrêmement faibles, 0,7 % d'uranium 235 et 99,3 % d'uranium 238.

**« Uranium 233 »**

Isotope de l'uranium produit par la transmutation du thorium 232 et considéré comme un produit fissile spécial et comme une matière directement utilisable.

**« Utilisation »**

Ce terme désigne la mise en oeuvre, l'installation (y compris l'installation sur le site même), l'entretien (le contrôle), les réparations, la révision et la remise en état.

## Appendice 5

### Système international d'unités et abréviations

Le Système international d'unités (SI) est utilisé dans la présente annexe. Dans tous les cas, la grandeur physique définie en unités SI doit être considérée comme la valeur officielle recommandée pour les contrôles. Les paramètres de certaines machines-outils sont toutefois indiqués dans les unités habituellement utilisées, qui ne sont pas des unités SI.

Les symboles et abréviations (avec leurs préfixes indiquant un multiple ou un sous-multiple) couramment utilisés dans la présente annexe sont les suivants :

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| A   | ampère(s)                                             |
| Bq  | becquerel(s)                                          |
| °C  | degré(s) Celsius                                      |
| Ci  | curie(s)                                              |
| cm  | centimètre(s)                                         |
| dB  | décibel(s)                                            |
| dBm | décibel(s) rapporté(s) à 1 milliwatt                  |
| g   | gramme(s)                                             |
| g   | accélération de la pesanteur (9,81 m/s <sup>2</sup> ) |
| GBq | gigabecquerel(s)                                      |
| GH  | gigahertz                                             |
| GPa | gigapascal(s)                                         |
| Gy  | gray                                                  |
| h   | heure(s)                                              |
| Hz  | hertz                                                 |
| J   | joule(s)                                              |
| K   | kelvin                                                |
| keV | millier(s) d'électronvolts                            |
| kg  | kilogramme(s)                                         |
| kHz | kilohertz                                             |
| kN  | kilonewton(s)                                         |
| kPa | kilopascal(s)                                         |
| kV  | kilovolt(s)                                           |
| kW  | kilowatt(s)                                           |
| m   | mètre(s)                                              |
| mA  | milliampère(s)                                        |

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
| MeV     | million(s) d'électronvolts                    |
| MHz     | mégahertz                                     |
| ml      | millilitre(s)                                 |
| mm      | millimètre(s)                                 |
| MPa     | mégapascal(s)                                 |
| mPa     | millipascal(s)                                |
| MW      | mégawatt(s)                                   |
| $\mu$ F | microfarad(s)                                 |
| $\mu$ m | micromètre(s)                                 |
| $\mu$ s | microseconde(s)                               |
| N       | newton(s)                                     |
| nm      | nanomètre(s)                                  |
| ns      | nanoseconde(s)                                |
| nH      | nanohenry(s)                                  |
| ps      | picoseconde(s)                                |
| RMS     | root mean square (valeur quadratique moyenne) |
| tr/mn   | tours par minute                              |
| s       | seconde(s)                                    |
| T       | tesla(s)                                      |
| V       | volt(s)                                       |
| W       | watt(s)                                       |

## Index

### – A –

Acier inoxydable, 27, 28, 31, 39, 46, 47, 48, 50, 55, 66, 67, 98  
 Acier maraging (martensitique), 17  
 Adsorbants, 37  
 Alimentations  
   en courant fort, 48  
   haute tension, 48  
 Alliage nitruré niobium-titane-tungstène, 95  
 Alliages d'aluminium, 14, 51  
 Alliages de nickel, 88  
 Aluminium, 14, 23, 27, 28, 30, 31, 39, 84, 88, 98  
 Amalgames de lithium  
   cellules d'électrolyse pour  
   colonnes d'échange liquide-liquide pour  
   pompes à , 55, 56  
 Amorce à pont, 91  
 Amplificateurs d'impulsion, 97  
 Amplificateurs extérieurs, 96  
 Amplificateurs pour oscillateurs à colorants organiques  
   accordables fonctionnant en mode pulsé, 43  
 Analyse isotopique  
   collecteur adapté, 26, 30, 34, 41  
 Analyseurs d'absorption infrarouge, 53  
 Antennes.  
   hyperfréquence. See Sources d'énergie hyperfré-  
   quence et antennes  
 Appareils de déplacement Raman  
   à parahydrogène, 44  
 Appareils de réfrigération cryogéniques, 34, 42  
 Aramides  
   matières fibreuses et filamenteuses, 15  
 Assemblages collecteurs du produit  
   et des résidus, 40  
 Autoclaves, 25, 26, 29, 33, 42  
 AVLIS. Voir Systèmes laser et Séparation par laser sur  
   vapeur atomique

### – B –

Barres de commande pour réacteurs, 61  
 Barrières de diffusion gazeuse, 19, 27  
 Béryllium, 4, 14  
 Bismuth, 4, 14  
 Bobines excitatrices d'ions, 45  
 Bore, 4, 15  
 Bouchons d'extrémité supérieurs et inférieurs, 23  
 Brûleurs catalytiques, 53

### – C –

Calcium, 15  
 Caméras à images, 89  
 Caméras à miroir à rotation mécanique, 89  
 Caméras électroniques à fente, 90  
 Caméras TV  
   résistant aux effets des rayonnements, 67  
 Capteurs de pression à quartz, 88  
 Catalyseurs au platine, 54  
 Cellule de Pockel, 90  
 Cellule Kerr, 90  
 Cellules de haute activité, 67, 70  
 Cellules de réduction électrochimique, 36  
 Cellules électrolytiques pour la production  
   de fluor, 59  
 Centrifugeuses, 22  
 Charges spéciales, 54  
 Chicane  
   composants en forme de disque à l'intérieur du bol,  
   22, 23  
 Codes d'ordinateurs pour les explosifs nucléaires, 7, 91  
 Codes  
   de transport des photons, 91  
   hydrodynamiques, 91  
   neutroniques, 91  
 Collecteurs d'ions, 47  
 Collecteurs du produit  
   (pentafluorure d'uranium) (SILMO), 40  
 Collecteurs/tuyauteries, 26, 30, 33  
 Colonnes de distillation cryogénique à hydrogène, 55  
 Combustible nucléaire irradié, 13, 65, 66  
 Composants fixes, 24  
 Composants pour oscilloscopes, 96  
 Composants tournants  
   anneaux ou soufflets, 22, 23  
   assemblages rotors complets, 22  
   bols, 22  
   bouchons d'extrémité supérieurs et inférieurs, 23  
   chicanes, 22, 23  
   matériaux utilisés, 23  
 Compresseurs d'UF<sub>6</sub>/gaz porteur (SILMO), 40  
 Compresseurs et soufflantes à gaz, 28, 32  
 Condensateurs, 93  
 Conformateurs d'onde, 7  
 Contrôle des dimensions machines de, 80  
 Convertisseurs à synthétiser l'ammoniac, 55  
 Convertisseurs de fréquence, 26, 98  
 Craqueurs d'ammoniac, 53

Creusets, 95  
 CRISLA, 38, 42. *Voir Réaction chimique par activation laser isotopiquement sélective*  
 Cryoséparateurs, 34, 42  
 Cuves pour réacteurs, 60  
 Cyclotétraméthylènetétranitramine (HMX), 94  
 Cyclotriméthylènetrinitramine (RDX), 94

## – D –

Détonateurs, 91, 92  
 Deutérium, 14, 51, 53, 63, 95  
 Déviation de la position angulaire, 82  
 Diffuseurs, 27  
 Dispositifs de commande à lampe à xénon, 93  
 Dispositifs de commutation, 93  
 Dispositifs de mesure du déplacement angulaire et linéaire, 80  
 Dispositifs de mise à feu, 92  
 Dissolveurs, 66

## – E –

Eau lourde  
   (deutérium), 51  
   (oxyde de deutérium), 51  
 Échange chimique liquide-liquide, 34, 35  
 Échange chimique solide-liquide, 34  
 échange d'ions colonnes d', 37  
 Échangeurs de chaleur, 28, 32, 42, 62  
 Échangeurs de chaleur cryogéniques, 34  
 Échangeurs de chaleur pour le refroidissement de l' $UF_6$ , 28  
 Éclateurs à étincelle déclenchés, 93  
 Écopes, 25  
 effecteurs terminaux, 68, 69  
 Electroaimants superconducteurs, 46  
 Enceintes à vide (séparateurs électromagnétiques), 47  
 Enceintes de centrifugeuse composants fixes, 24  
 Enceintes de module séparateur, 40, 46  
 Enceintes renfermant les éléments de séparation, 32  
 Eregistreurs de signaux transitoires, 96  
 Enrichissement de l'uranium, 22, 35, 37, 38, 50, 51  
 Enrichissement par diffusion gazeuse, 5, 29, 30  
 Enrichissement par diffusion gazeuse, systèmes, matériel et composants auxiliaires, 27  
 Enrichissement par échange chimique, 34  
 Enrichissement par échange d'ions, 38  
 Enrichissement par le procédé électromagnétique, 47  
 Équipement de développement de systèmes d'implosion, 88

Équipement de fabrication de rotors, 2, 80, 83, 84, 90  
 Expériences hydrodynamiques, 88  
 Explosifs, 68, 91, 92, 94, 103  
 Extracteurs, 66

## – F –

Faisceau durée de l'impulsion du, 89  
 Faisceaux courant de pointe des, 89  
 Fenêtres de protection à haute densité, 67  
 Fenêtres métalliques pour les machines à rayons X, 14  
 Fil à exploser, 91  
 fils continus, 16  
 fluorure de calcium, 60  
 Fours à haute température, 6, 85  
 Fours à oxydation, 6, 85  
 Fours de fusion et de coulée sous vide ou sous une autre atmosphère contrôlée pour métallurgie, 86  
 Garnitures d'étanchéité d'arbres, 28, 32, 41  
 Garnitures d'étanchéité d'arbres SILMO, 38  
 Générateurs d'impulsions, 92  
 générateurs d'impulsions à haute intensité, 92  
 Générateurs d'impulsions rapides, 97  
 Graphite de pureté nucléaire, 63

## – H –

Hafnium, 4, 17  
 Hélium 3, 4  
 Hexanitrostilbène (HNS), 94  
 HMX. *See* Cyclotétraméthylènetétranitramine

## – I –

Impuretés métalliques, 15, 17, 37  
 Incertitude de mesure, 80, 81, 82  
 Initiateurs à feuille explosive (IFE), 91  
 Interféromètres de vitesse, 88  
 Internes de tour, 53

## – L –

Largeur de bande, 44, 86, 96, 97  
 Laser à  $CO_2$ , 42  
 Lasers à alexandrite, 44  
 Lasers à dioxyde de carbone à régime pulsé, 44  
 Lasers à excitation par impulsions, 44  
 Lasers à vapeur de cuivre, 42  
 Lasers dopés au néodyme, 43  
 Lasers ioniques, 43  
 Linéarité, 81, 82, 88, 102

## Liquide-liquide

- colonnes d'échange, 35
- contacteurs centrifuges, 35

## Lithium, 17

## Lithium-6 séparation du, 55

## Logiciel pour installations d'enrichissement de l'uranium, 5

## Logiciel pour robots et effecteurs terminaux, 68

## Logiciel pour Robots et effecteurs terminaux, 68

## – M –

## Machines à dégainer les éléments combustibles irradiés, 65

## Machines à enrouler les filaments, 84

## Machines à équilibrer centrifuges, 84

## Machines à fluotourner, 80

## Machines à repousser, 80

## Machines de contrôle des dimensions, 80

## Machines pour le chargement et le déchargement du combustible nucléaire, 61

## Machines-outils, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 81, 82, 106

## Magnésium, 4, 17

## Mandrins et matrices pour la production de soufflets, 83

## Matériaux filamenteux, 23

Matériaux résistant à l'UF<sub>6</sub>, 26, 28, 30, 31, 50

## Matériel d'essais à vibrations, 86

## Matériel électronique pour la mesure d'intervalles de temps, 96

## Matériel radiologique à éclair, 88

## Matières carbonées matières fibreuses ou filamenteuses, 15

## Matières en verre, 16

## Matières fibreuses ou filamenteuses, 15, 16

## MLIS, 38

## Module spécifique, 15, 16, 23

## Molybdène, 37, 50

## Monofilaments continus, 16

## – N –

## Nickel, 4, 18, 19, 51

## – O –

## Ordinateur numérique, 76

## Oscillateurs, 42, 43, 44

## Oscilloscopes, 96

Oxyde d'erbium (Er<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 95Oxyde d'hafnium (HfO<sub>2</sub>), 95

## Oxyde d'yttrium, 40, 46

Oxyde d'yttrium (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 39

## Oxyde de deutérium, 51

## Oxyde de magnésium (MgO), 95

Oxyde de zirconium (ZrO<sub>2</sub>), 95

## – P –

## Paliers de butée/amortisseurs composants fixes, 24

## Paliers de suspension magnétique composants fixes, 24

## PCI, 50

## Pentaérythritoltétranitrate (PETN), 94

## Percuteur, 91

PETN. *Voir Pentaérythritoltétranitrate*

## Pièces en oxyde, 14

## Pièces polaires, 48

## Pièces polaires (séparateurs électromagnétiques), 48

## Pièges à froid, 25, 26, 29, 33, 42

## Pindomes, 88

## Pompes à, 55

## Pompes à vide, 30, 33, 40, 98

## Pompes d'étage, 53

## Pompes de circulation, 54

## Pompes du circuit primaire, 61

## Pompes moléculaires composants fixes, 24

## Pouvoir de résolution unitaire, 26, 30, 34, 41

## Préamplificateurs, 96

## Presses à compression isostatique (à froid et à chaud), 82

## Procédé de séparation dans un plasma, 45

## Produits fissiles, 64

## Produits fissiles formes de, 9

## Propulseurs à vibrations (agitateurs à secousses), 86

## – R –

## Radionucléides émetteurs alpha, 20

## Radium-226, 17

RDX. *Voir Cyclotriméthylènetrinitramine*

## Réacteurs nucléaires, 60

## Réaction chimique par activation laser isotopiquement sélective, 38

## Récipients de collecte, 67

## Récipients de collecte des solutions, 66

Réfrigération cryogéniques. *Voir Appareils de réfrigération cryogénique*

## Résines échangeuses d'ions/adsorbants à réaction rapide, 37

## Résines poreuses macroréticulées, 37

## Résistance spécifique à la traction, 15, 16

## Résonance magnétique nucléaire, 47

Retraitement, 57, 60, 65, 66, 67  
 Robots, 68  
 Rubans, 16  
 Rubans continus, 16

## – S –

Sel, 47  
 Séparateurs électromagnétiques, 47, 49  
 Séparation au laser de molécules, 38  
 Séparation par laser sur vapeur atomique, 38  
 Soudeuses par faisceau d'électrons, 6, 85  
 Soufflantes et compresseurs, 52  
 Sources alpha, 20  
 Sources d'énergie hyperfréquence et antennes, 45  
 Sources d'ionisation par bombardement électronique, 26, 30, 34, 41  
 Sources d'ions, 26, 30, 34, 41, 48, 49, 50  
 Spectromètres à ionisation thermique, 50  
 Spectromètres de masse, 50  
 Spectromètres de masse à bombardement d'électrons, 50  
 Spectromètres de masse à décharge lumineuse, 50  
 Spectromètres de masse à faisceau moléculaire, 50  
 Spectromètres de masse à plasma à couplage inductif, 50  
 Spectromètres de masse pour  $UF_6$ , 26  
 Spectromètres de masse pour  $UF_6$ /sources d'ions, 30  
 Stations, 26, 30, 33, 42  
 Stations de liquéfaction, 30  
 Stations de solidification, 33, 42  
 Stators de moteur composants fixes, 24  
 Structures composites tubes, 16  
 Structures de support d'éprouvettes d'essai, 87  
 structures pelliculaires, 37  
 Sulfure de cérium ( $Ce_2S_3$ ), 95  
 Systèmes à canons, 7, 89  
 Systèmes à vide, 47  
 Systèmes à vide, 30, 33  
 Systèmes auxiliaires pour utilisation dans les usines d'enrichissement par ultracentrifugation, 47  
 Systèmes d'alimentation, 25, 29, 33, 41  
 Systèmes d'alimentation alimentation de l'aimant, 47  
 Systèmes d'alimentation alimentation haute tension, 47  
 Systèmes d'amorçage à points multiples, 7, 91  
 Systèmes d'oxydation échanges chimiques, 37  
 Systèmes de contrôle de procédé, 50  
 Systèmes de conversion d' $UO_3$  en  $UO_2$ , 56  
 Systèmes de conversion en  $UF_4$  ou  $UF_6$ , 56  
 Systèmes de conversion  $UCl_4$ , 56

Systèmes de conversion  $UF_4$  en  $UF_6$ , 56  
 Systèmes de conversion  $UF_4$  en uranium métal, 56  
 Systèmes de conversion  $UF_6$  en  $UF_4$ , 56  
 Systèmes de fluoration (SILMO), 41  
 Systèmes de manipulation chimique, 47  
 Systèmes de manipulation de l'uranium métal liquide, 39, 46  
 Systèmes de manipulation de l'uranium métal liquide (SILVA), 39  
 Systèmes de prélèvement du produit et des résidus, 29  
 Systèmes de préparation de l'alimentation (échange chimique), 36  
 Systèmes de projection au plasma, 85  
 Systèmes de réduction de l'uranium, 36  
 Systèmes de reflux (échange d'ions), 38  
 Systèmes de vaporisation de l'uranium (SILVA), 39  
 Systèmes générateurs de neutrons, 95  
 Systèmes générateurs de plasma d'uranium, 45  
 systèmes laser, 39, 42  
 Systèmes Schliering, 88

## – T –

Table nue, 86, 87  
 Tantale, 4, 21  
 TATB. *See* Triaminotrinitrobenzène  
 Télém manipulateurs, 70  
 Tension anodique nominale de pointe, 93  
 Thorium, 13, 103, 105  
 Titane, 4, 18  
 Tours d'échange ammoniac-hydrogène, 53  
 Tours d'échange eau-sulfure d'hydrogène, 52  
 Triaminotrinitrobenzène (TATB), 94  
 Trifluorure de chlore, 15  
 Tritium, 19  
 Tritium manipulation de, 19  
 Tubes à cathode froide, 93  
 Tubes à images, 90  
 Tubes à rayons cathodiques, 97  
 Tubes de force pour réacteurs, 61  
 Tubes photomultiplicateurs, 7, 97  
 Tubes vidicons, 90  
 Tubes vortex, 31, 32, 34  
 Tungstène, 4, 18  
 Tuyères de détente supersonique (SILMO), 40  
 Tuyères de séparation, 31, 34

## – U –

$UF_6$ /gaz porteur, 41  
 $UF_6$ /gaz porteur (hydrogène ou hélium), 40

Unités de commande numérique, 72, 86  
Rranium 235, 39, 103, 104, 105  
Uranium faiblement enrichi, 13, 105  
Uranium fortement enrichi, 13, 105  
Usines d'enrichissement par laser, 5, 38  
Usines d'enrichissement par procédé  
aérodynamique, 33  
Usines d'enrichissement par séparation dans  
un plasma, 45  
Usines de conversion de l'uranium, 57  
Usines de fabrication de combustible nucléaire, 64  
Usines de séparation des isotopes, 4, 22

– V –

Vannes, 27

– Z –

Zirconate de calcium ( $\text{CAZrO}_3$ ), 95  
Zirconium, 95

---