
Communication en date du 18 février 2020 reçue de la mission permanente du Danemark concernant l'exportation de matières nucléaires et de certaines catégories d'équipements et d'autres matières

1. Le Directeur général a reçu de la mission permanente du Danemark une communication en date du 18 février 2020 concernant la décision d'amender la liste de base du Comité Zangger, qu'elle lui demandait de porter à l'attention de tous les États Membres, accompagnée de sa pièce jointe. Cette communication est signée par la Présidente du Comité Zangger, M^{me} Louise Flugger Callesen, au nom des gouvernements des États suivants : Afrique du Sud, Allemagne, Argentine, Australie, Autriche, Bélarus, Belgique, Bulgarie, Canada, Chine, Croatie, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Japon, Kazakhstan, Luxembourg, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Corée, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie et Ukraine¹.
2. Conformément à la demande formulée, cette communication et sa pièce jointe sont reproduites ci-après pour l'information de tous les États Membres.

¹ L'Union européenne est un observateur permanent.

DANMARKS AMBASSADE & FASTE MISSION
Wien

Vienne, le 18 février 2020

Monsieur le Directeur général,

Au nom des gouvernements des États suivants : Afrique du Sud, Allemagne, Argentine, Australie, Autriche, Bélarus, Belgique, Bulgarie, Canada, Chine, Croatie, Danemark, Espagne, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Italie, Japon, Kazakhstan, Luxembourg, Norvège, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République de Corée, République tchèque, Roumanie, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie et Ukraine¹, j'ai l'honneur de vous communiquer la décision portant amendement de la liste de base du Comité Zangger.

Les gouvernements mentionnés plus haut ont décidé d'amender comme suit la liste du Comité Zangger, afin de définir plus clairement le niveau de mise en œuvre que tous les États Membres du Comité Zangger considèrent comme essentiel pour l'application des Accords :

Annexe du Mémoire B :

- 2.2. : Cette modification de la note explicative vise à clarifier l'exemption de contrôle du graphite de pureté nucléaire non destiné à être utilisé dans un réacteur nucléaire.
- 3.1., avec une modification correspondante de la note d'introduction du point 3 : Cette modification étend la description des dispositifs de rupture de gaine du combustible.
- 3.2. : Cette modification élargit la nomenclature du matériel utilisé dans les dissolvants.

En outre, plusieurs coquilles du texte anglais ont été corrigées.

Par souci de clarté, le texte intégral de la liste de base est joint à la présente communication.

Les gouvernements susmentionnés ont décidé d'agir conformément aux arrangements ainsi révisés et de les appliquer conformément à leur législation nationale respective. Comme il a été fait jusqu'à présent, chacun de ces gouvernements se réserve le droit d'interpréter et d'appliquer à sa discrétion les procédures indiquées dans les documents susmentionnés et de contrôler, s'il le souhaite, l'exportation d'articles pertinents autres que ceux qui sont énumérés dans les pièces jointes susmentionnées.

Pour ce qui concerne les échanges à l'intérieur de l'Union européenne, les gouvernements des États qui sont membres de l'Union européenne appliqueront cette décision à la lumière de leurs engagements en tant qu'États membres de l'Union.

¹ L'Union européenne est un observateur permanent.

Je vous serais reconnaissante de bien vouloir distribuer la présente communication et sa pièce jointe à tous les États Membres de l'AIEA comme circulaire d'information (INFCIRC/209/Rev.5).

Je saisis cette occasion pour vous renouveler, personnellement et au nom des gouvernements mentionnés plus haut, l'assurance de notre très haute considération.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur général, les assurances de ma très haute considération.

[signé]

Louise Fluger Callesen
Présidente du Comité Zangger

LISTE DE BASE RÉCAPITULATIVE

MÉMORANDUM A

1. INTRODUCTION

Le gouvernement a été appelé à examiner des procédures relatives à l'exportation de matières nucléaires, compte tenu de l'engagement qu'il a pris de ne pas fournir de matières brutes ou de produits fissiles spéciaux à un État non doté d'armes nucléaires, quel qu'il soit, à des fins pacifiques, à moins que lesdites matières brutes ou lesdits produits fissiles spéciaux ne soient soumis à des garanties dans le cadre d'un accord avec l'Agence internationale de l'énergie atomique.

2. DÉFINITION DES MATIÈRES BRUTES ET DES PRODUITS FISSILES SPÉCIAUX

La définition des matières brutes et des produits fissiles spéciaux adoptée par le gouvernement est celle qui est énoncée à l'article XX du Statut de l'Agence :

a) « MATIÈRE BRUTE »

Par « matière brute », il faut entendre l'uranium contenant le mélange d'isotopes qui se trouve dans la nature ; l'uranium dont la teneur en ^{235}U est inférieure à la normale ; le thorium ; toutes les matières mentionnées ci-dessus sous forme de métal, d'alliage, de composés chimiques ou de concentrés ; toute autre matière contenant une ou plusieurs des matières mentionnées ci-dessus à des concentrations que le Conseil des gouverneurs fixera de temps à autre ; et telles autres matières que le Conseil des gouverneurs désignera de temps à autre.

b) « PRODUIT FISSILE SPÉCIAL »

i) Par « produit fissile spécial », il faut entendre le plutonium 239 (^{239}Pu), l'uranium 233 (^{233}U); l'uranium enrichi en uranium 235 ou 233 ; tout produit contenant un ou plusieurs des isotopes ci-dessus ; et tels autres produits fissiles que le Conseil des gouverneurs désignera de temps à autre. Toutefois, le terme « produit fissile spécial » ne s'applique pas aux matières brutes.

ii) 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.

3. APPLICATION DE GARANTIES

Le gouvernement cherche exclusivement à assurer, le cas échéant, l'application de garanties dans les États non dotés d'armes nucléaires qui ne sont pas parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP)*, en vue d'empêcher que les

matières nucléaires soumises aux garanties ne soient détournées de leurs utilisations pacifiques vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs nucléaires explosifs. Si le gouvernement se propose de fournir à un tel État des matières brutes ou des produits fissiles spéciaux à des fins pacifiques :

a) Il précisera à l'intention de l'État destinataire, comme condition de fourniture, que les matières brutes ou produits fissiles spéciaux, ou les produits fissiles spéciaux obtenus dans ces matières ou produits ou résultant de leur utilisation, ne doivent pas être détournés vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires ; et

b) Il s'assurera que les matières brutes ou produits fissiles spéciaux en question seront, à cette fin, soumis à des garanties dans le cadre d'un accord avec l'Agence et conformément à son système de garanties.

4. EXPORTATIONS DIRECTES

En cas d'exportations directes de matières brutes ou de produits fissiles spéciaux à destination d'États non dotés d'armes nucléaires qui ne sont pas partie au TNP, le gouvernement s'assurera, avant d'autoriser l'exportation des matières et produits en question, que ceux-ci feront l'objet d'un accord de garanties avec l'Agence aussitôt que l'État destinataire en aura assumé la responsabilité, et au plus tard lorsque ces matières et produits seront parvenues à destination.

5. RETRANSFERTS

En exportant des matières brutes ou des produits fissiles spéciaux à destination d'un État doté d'armes nucléaires qui n'est pas partie au TNP, le gouvernement exigera des assurances suffisantes que lesdites matières et produits ne seront pas réexportés à destination d'un État non doté d'armes nucléaires qui n'est pas partie au TNP, à moins que des dispositions correspondant à celles mentionnées ci-dessus ne soient prises pour faire accepter l'application de garanties par l'État auquel les matières ou produits réexportés sont destinés.

6. DIVERS

Les exportations des articles spécifiés à l'alinéa a) ci-dessous et les exportations de matières brutes ou de produits fissiles spéciaux à destination d'un pays donné, dans un délai d'une année civile (1^{er} janv.-31 déc.), en quantités inférieures à celles indiquées à l'alinéa b) ci-dessous, ne sont pas concernées par les procédures décrites ci-dessus :

a) Plutonium ayant une teneur isotopique en plutonium 238 (²³⁸Pu) supérieure à 80 % ; produits fissiles spéciaux utilisés en quantités de l'ordre du gramme ou en quantités inférieures comme élément sensible dans des appareils ; et matières brutes au sujet desquelles le gouvernement s'est assuré qu'elles seront exclusivement utilisées dans des activités non nucléaires, telles que la production d'alliages ou de céramiques ;

b) Produits fissiles spéciaux 50 grammes effectifs ;
Uranium naturel 500 kilogrammes ;
Uranium appauvri 1 000 kilogrammes ; et
Thorium 1 000 kilogrammes.

MÉMORANDUM B

1. INTRODUCTION

Le gouvernement a été appelé à examiner des procédures relatives à l'exportation de certaines catégories d'équipements et de matières, compte tenu de l'engagement qu'il a pris de ne pas fournir d'équipements ou de matières spécialement conçus ou préparés pour le traitement, l'utilisation ou la production des produits fissiles spéciaux à un État non doté d'armes nucléaires, quel qu'il soit, à des fins pacifiques, à moins que les matières brutes ou les produits fissiles spéciaux obtenus, traités ou utilisés dans l'équipement ou les matières en question ne soient soumis à des garanties dans le cadre d'un accord avec l'Agence internationale de l'énergie atomique.

2. LISTE DES ÉQUIPEMENTS OU MATIÈRES SPÉCIALEMENT CONÇUS OU PRÉPARÉS POUR LE TRAITEMENT, L'UTILISATION OU L'OBTENTION DE PRODUITS FISSILES SPÉCIAUX

Les équipements ou matières spécialement conçus ou préparés pour traiter, utiliser ou obtenir des produits fissiles spéciaux sont énumérés dans la liste suivante adoptée par le gouvernement (ci-après dénommée « la liste de base ») (les quantités inférieures aux valeurs indiquées étant considérées comme pratiquement négligeables) :

2.1. Réacteurs nucléaires et équipements et composants spécialement conçus ou préparés pour ces réacteurs (voir annexe, section 1) ;

2.2. Matières non nucléaires pour réacteurs (voir annexe, section 2) ;

2.3. Usines de retraitement d'éléments combustibles irradiés, et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin (voir annexe, section 3) ;

2.4. Usines de fabrication d'éléments combustibles, et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin (voir annexe, section 4) ;

2.5. Usines de séparation des isotopes de l'uranium naturel, de l'uranium appauvri ou d'un produit fissile spécial, et équipements, autres que les appareils d'analyse, spécialement conçus ou préparés à cette fin (voir annexe, section 5) ;

NOTE EXPLICATIVE

Pour certains procédés de séparation isotopique, le gouvernement reconnaît l'analogie étroite qui existe entre les usines et équipements d'enrichissement de l'uranium et les usines et équipements de séparation des isotopes stables à des fins de recherche, à des fins médicales ou à d'autres fins industrielles non nucléaires. À cet égard, le gouvernement devrait examiner soigneusement ses mesures juridiques, y compris les règles d'octroi de licences d'exportation et les pratiques en matière de sécurité, pour les activités de séparation des isotopes stables afin d'assurer, comme justifié, l'application des mesures de protection appropriées. Le gouvernement reconnaît que, dans certains cas, les mesures de protection requises pour les activités de séparation des isotopes stables seront essentiellement les mêmes que les mesures de protection requises pour l'enrichissement de l'uranium. (cf. Note d'introduction à la section 5 de l'annexe à la liste de base)

2.6. Usines de production ou de concentration d'eau lourde, de deutérium et de composés de deutérium, et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin (voir annexe, section 6).

2.7. Usines de conversion de l'uranium et du plutonium pour la fabrication d'éléments combustibles, et de séparation des isotopes de l'uranium, telles que définies dans les sections 4 et 5 de l'annexe respectivement, et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin (voir annexe, section 7).

3. APPLICATION DE GARANTIES

Le gouvernement cherche exclusivement à assurer, le cas échéant, l'application de garanties dans les États non dotés d'armes nucléaires qui ne sont pas parties au Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP), en vue d'empêcher que les matières nucléaires soumises aux garanties ne soient détournées de leurs utilisations pacifiques vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires. Si le gouvernement se propose de fournir à un tel État des articles énumérés dans la liste de base, à des fins pacifiques :

a) Il précisera à l'intention de l'État destinataire, comme condition de fourniture, que les matières brutes ou produits fissiles spéciaux obtenus, traités ou utilisés dans l'installation pour laquelle l'article est fourni ne doivent pas être détournés vers des armes nucléaires ou d'autres dispositifs explosifs nucléaires ; et

b) Il s'assurera que les matières brutes ou produits fissiles spéciaux en question seront, à cette fin, soumis à des garanties dans le cadre d'un accord avec l'Agence et conformément à son système de garanties.

4. EXPORTATIONS DIRECTES

En cas d'exportations directes à destination d'États non dotés d'armes nucléaires qui ne sont pas parties au TNP, le Gouvernement s'assurera, avant d'autoriser l'exportation des équipements ou des matières en question, que ces équipements ou ces matières feront l'objet d'un accord de garanties avec l'Agence.

5. RETRANSFERTS

En exportant des articles énumérés dans la liste de base, le gouvernement exigera des assurances suffisantes que lesdits articles ne seront pas réexportés à destination d'un État non doté d'armes nucléaires qui n'est pas partie au TNP, à moins que des dispositions correspondant à celles mentionnées ci-dessus ne soient prises pour faire accepter l'application de garanties par l'État auquel les articles réexportés sont destinés.

6. DIVERS

Le gouvernement se réserve toute liberté en ce qui concerne l'interprétation et la mise en œuvre de son engagement mentionné au paragraphe 1 ci-dessus, ainsi que le droit d'exiger, s'il le désire, que des garanties du genre susmentionné soient appliquées aux articles qu'il exporte en plus de ceux qui sont spécifiés au paragraphe 2 ci-dessus.

ANNEXE
PRÉCISIONS CONCERNANT DES ARTICLES ÉNUMÉRÉS DANS
LA LISTE DE BASE
(conformément à la section 2 du Mémoire B)

1. Réacteurs nucléaires et équipements et composants spécialement conçus ou préparés pour ces réacteurs

NOTE D'INTRODUCTION

Les divers types de réacteurs nucléaires peuvent être caractérisés par le modérateur utilisé (graphite, eau lourde, eau ordinaire ou aucun), le spectre des neutrons qu'ils contiennent (thermiques, rapides), le fluide de refroidissement utilisé (eau, métal liquide, sel fondu, gaz) ou leur fonction ou type (réacteurs de puissance, réacteurs de recherche, réacteurs d'essai). Le but est que tous ces types de réacteurs nucléaires soient couverts par la présente entrée et toutes ses sous-entrées lorsqu'elles sont applicables. La présente entrée ne s'applique pas aux réacteurs à fusion.

1.1. Réacteurs nucléaires complets

Réacteurs nucléaires pouvant fonctionner de manière à maintenir une réaction de fission en chaîne auto-entretenue 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 cœur, et les composants qui renferment normalement le fluide de refroidissement primaire du cœur du réacteur, entrent en contact direct avec ce fluide ou permettent son réglage.

EXPORTATIONS

L'exportation du jeu complet d'articles importants ainsi délimité n'aura lieu que conformément aux procédures énoncées dans le Mémoire. Les divers articles de cet ensemble fonctionnellement délimité, qui ne seront exportés que conformément aux procédures énoncées dans le Mémoire, sont énumérés sous 1.2. à 1.11. Conformément au paragraphe 6 du Mémoire, le gouvernement se réserve le droit d'appliquer les procédures énoncées dans le Mémoire à d'autres articles dudit ensemble fonctionnellement délimité.

1.2. Cuves pour réacteurs nucléaires

Cuves métalliques, ou éléments préfabriqués importants de telles cuves, qui sont spécialement conçues ou préparées pour contenir le cœur d'un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus, ainsi que les internes de réacteur au sens donné à cette expression sous 1.8. ci-dessous.

NOTE EXPLICATIVE

Le point 1.2 couvre les cuves pour réacteurs nucléaires quelle que soit leur pression nominale et inclut les cuves sous pression et les calandres. La plaque de couverture de la cuve de réacteur tombe sous 1.2 en tant qu'élément préfabriqué important d'une telle cuve.

1.3. Machines pour le chargement et le déchargement du combustible nucléaire

Équipements de manutention spécialement conçus ou préparés pour introduire ou extraire le combustible d'un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus.

NOTE EXPLICATIVE

Ces équipements peuvent être utilisés en marche ou sont dotés 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.

1.4. Barres de commande et équipements pour réacteurs nucléaires

Barres spécialement conçues ou préparées pour maîtriser le processus de fission dans un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus, et structures de support ou de suspension, mécanismes d'entraînement ou tubes de guidage des barres de commande.

1.5. Tubes de force pour réacteurs nucléaires

Tubes spécialement conçus ou préparés pour contenir à la fois les éléments combustibles et le fluide de refroidissement primaire d'un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus.

NOTE EXPLICATIVE

Les tubes de force sont des parties des canaux de combustible conçues pour fonctionner à des pressions élevées, parfois au-delà de 5 MPa.

1.6. Gaines de combustible nucléaire

Tubes en zirconium métallique ou en alliages à base de zirconium (ou assemblages de tubes) spécialement conçus ou préparés pour être utilisés pour le gainage du combustible d'un réacteur nucléaire, au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus, et en quantité supérieure à 10 kg.

N.B. : Pour les tubes de force en zirconium, voir 1.5. Pour les tubes de calandre en zirconium, voir 1.8.

NOTE EXPLICATIVE

Dans les tubes en zirconium métallique ou en alliages à base de zirconium destinés à être utilisés dans un réacteur nucléaire, le rapport hafnium/zirconium est généralement inférieur à 1/500 parties en poids.

1.7. Pompes ou circulateurs du circuit primaire

Pompes ou circulateurs spécialement conçus ou préparés pour faire circuler le fluide de refroidissement primaire pour réacteurs nucléaires au sens donné à cette expression sous 1.1 ci-dessus.

NOTE EXPLICATIVE

Les pompes ou circulateurs spécialement conçus ou préparés comprennent les pompes pour réacteurs refroidis par eau, les circulateurs pour réacteurs refroidis par gaz, et les pompes électromagnétiques et mécaniques pour réacteurs refroidis par métal liquide. Ces équipements 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 sous-section NB (composants de la classe 1), division I, section III du Code de la Société américaine des ingénieurs mécaniciens (ASME) ou à des normes équivalentes.

1.8. Internes de réacteur nucléaire

Internes de réacteur nucléaire spécialement conçus ou préparés pour une utilisation dans un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1 ci-dessus. Ils incluent, par exemple, les colonnes de support du cœur, les canaux de combustible, les tubes de calandre, les écrans thermiques, les déflecteurs, les plaques à grille du cœur et les plaques de répartition.

NOTE EXPLICATIVE

Les internes de réacteur nucléaire sont des structures importantes à l'intérieur d'une cuve de réacteur qui remplissent une ou plusieurs fonctions, par exemple le support du cœur, 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 cœur.

1.9. Échangeurs de chaleur

- a) Générateurs de vapeur spécialement conçus ou préparés pour le circuit de refroidissement primaire ou intermédiaire d'un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1 ci-dessus.
- b) Autres échangeurs de chaleur spécialement conçus ou préparés pour le circuit de refroidissement primaire d'un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1 ci-dessus.

NOTE EXPLICATIVE

Les générateurs de vapeur sont spécialement conçus ou préparés pour transférer la chaleur produite dans le réacteur à l'eau d'alimentation en vue de la production de vapeur. Dans le cas d'un réacteur à neutrons rapides dans lequel se trouve aussi un circuit intermédiaire de refroidissement, le générateur de vapeur est dans le circuit intermédiaire.

Dans un réacteur refroidi par gaz, un échangeur de chaleur peut être utilisé pour transférer la chaleur vers un circuit secondaire à gaz entraînant une turbine à gaz.

Pour ces articles, les contrôles ne s'appliquent pas aux échangeurs de chaleur des systèmes de support du réacteur tels que le circuit de refroidissement d'urgence ou le circuit d'évacuation de la chaleur résiduelle.

1.10. Détecteurs de neutrons

Détecteurs de neutrons spécialement conçus ou préparés pour évaluer les flux de neutrons dans le cœur d'un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus.

NOTE EXPLICATIVE

Cette expression désigne les détecteurs se trouvant dans le cœur et hors du cœur qui servent à mesurer les flux dans une large gamme, commençant habituellement à 10^4 neutrons par cm^2 par seconde. Par « hors du cœur », on entend les instruments qui se trouvent en dehors du cœur du réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus, mais à l'intérieur de la protection biologique.

1.11. Écrans thermiques externes

Écrans thermiques externes spécialement conçus ou préparés en vue d'être utilisés dans un réacteur nucléaire, au sens donné à cette expression sous 1.1., pour réduire la perte de chaleur ainsi que pour protéger la cuve de confinement.

NOTE EXPLICATIVE

Les écrans thermiques externes sont des structures importantes placées sur la cuve de réacteur qui réduisent la perte de chaleur du réacteur et la température à l'intérieur de la cuve de confinement.

2. Matières non nucléaires pour réacteurs

2.1. 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, destinés à être utilisés dans un réacteur nucléaire, au sens donné à cette expression sous 1.1 ci-dessus, et fournis en

quantités dépassant 200 kg d'atomes de deutérium pendant une période d'une année civile (1^{er} janv.-31 déc.), quel que soit le pays destinataire.

2.2. Graphite de pureté nucléaire

Graphite d'une pureté supérieure à cinq ppm (parties par million) d'équivalent en bore et d'une densité de plus de 1,50 g/cm³, qui est destiné à être utilisé dans un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1 ci-dessus, en quantité supérieure à 1 kg.

NOTE EXPLICATIVE

Aux fins du contrôle des exportations, le gouvernement déterminera si les exportations de graphite répondant aux spécifications ci-dessus sont destinées ou non à être utilisées dans un réacteur nucléaire. Le graphite d'une pureté supérieure à cinq ppm (parties par million) d'équivalent en bore et d'une densité de plus de 1,50 g/cm³, qui n'est pas destiné à être utilisé dans un réacteur nucléaire au sens donné à cette expression sous 1.1. ci-dessus n'est pas visé par le présent paragraphe.

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

$EBZ \text{ (ppm)} = FC \times \text{concentration de l'élément } z \text{ (en ppm)}$; FC est le facteur de conversion : $(\sigma Z \times AB)$ divisé par $(\sigma B \times AZ)$; σB et σZ sont les sections efficaces de capture des neutrons thermiques (en barns) pour le bore naturel et l'élément z, respectivement ; et AB et AZ sont les masses atomiques du bore naturel et de l'élément z, respectivement.

3. Usines de retraitement d'éléments combustibles irradiés et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin

NOTE D'INTRODUCTION

Le retraitement du combustible nucléaire irradié sépare le plutonium et l'uranium des produits de fission et d'autres éléments transuraniens très fortement radioactifs. 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, des opérations du processus similaires sont réalisées, notamment le dégainage et/ou le tronçonnage des éléments combustibles irradiés, la dissolution du combustible, l'extraction par solvant et le stockage des solutions obtenues. Il peut y avoir aussi des équipements pour la dénitrification 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 à l'entreposage 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 auront été retenus dans la conception de l'installation.

Une usine de retraitement d'éléments combustibles irradiés abrite les équipements et composants qui entrent normalement en contact direct avec le combustible irradié et servent à le contrôler directement 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).

EXPORTATIONS

L'exportation du jeu complet d'articles importants ainsi délimité n'aura lieu que conformément aux procédures énoncées dans le Mémoire. Conformément au paragraphe 6 du Mémoire, le gouvernement se réserve le droit d'appliquer les procédures énoncées dans le Mémoire à d'autres articles dudit ensemble fonctionnellement délimité.

Articles considérés comme tombant dans la catégorie visée par le membre de phrase « et équipements spécialement conçus ou préparés » pour le retraitement d'éléments combustibles irradiés :

3.1. Machines à dégainer et machines à tronçonner les éléments combustibles irradiés

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 mettre à nu ou à préparer les matières nucléaires dans des assemblages, des faisceaux ou des barres de combustible en vue de leur traitement.

NOTE EXPLICATIVE

Ces machines découpent, tronçonnent, cisailent ou brisent d'une autre manière la gaine du combustible pour mettre à nu les matières nucléaires irradiées ou préparer le combustible en vue de leur traitement. Des cisailles spécialement conçues sont le plus couramment employées, mais des équipements de pointe, tels que lasers, machines à peler ou autres techniques, peuvent être utilisés. Le dégainage consiste à retirer la gaine du combustible nucléaire irradié avant la dissolution de celui-ci.

3.2. Dissolveurs

Cuves de dissolution ou dissolveurs utilisant des dispositifs mécaniques 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, l'utilisation et l'entretien peuvent être télécommandés.

NOTE EXPLICATIVE

Les dissolveurs reçoivent normalement le combustible irradié sous forme solide. Les combustibles nucléaires comportant une gaine fabriquée avec des matériaux tels que le zirconium, l'acier inoxydable ou des alliages de tels matériaux doivent être dégainés et/ou cisailés ou tronçonnés avant d'être chargés dans le dissolveur pour permettre à l'acide d'atteindre la matrice du combustible. Le combustible nucléaire irradié est normalement dissout dans des acides minéraux forts, comme l'acide nitrique, et toute gaine non dissoute est retirée. Si certaines caractéristiques de conception, comme des récipients de petit diamètre, annulaires ou plats, peuvent être utilisées pour assurer la sûreté-criticité, elles ne sont pas indispensables. Des contrôles administratifs, comme des chargements de petite taille ou une teneur en matières fissiles faible, peuvent être appliqués en leur lieu et place. Les cuves de dissolution et les dissolveurs comportant des dispositifs mécaniques sont normalement fabriqués avec des matériaux tels que l'acier inoxydable à bas carbone, le titane ou le zirconium, ou d'autres matériaux à haute résistance. Les dissolveurs peuvent comporter des systèmes de retrait de la gaine ou des déchets de dégainage ainsi que des systèmes de contrôle et de traitement des effluents gazeux radioactifs. Ces dissolveurs peuvent être conçus pour être télécommandés, car leur chargement, leur utilisation et leur entretien s'effectuent normalement derrière un blindage épais.

3.3. Extracteurs et équipements d'extraction par solvant

Extracteurs (tels que colonnes pulsées ou garnies, mélangeurs-décanteurs ou 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 de contrôle de la qualité), en acier inoxydable à bas carbone, titane, zirconium ou autres matériaux à résistance élevée.

NOTE EXPLICATIVE

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. Les équipements d'extraction par solvant sont normalement conçus 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 d'état du procédé.

3.4. Récipients de collecte ou d'entreposage des solutions

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

- 1) Des parois ou structures internes avec un équivalent en bore d'au moins 2 % ;
- 2) Un diamètre maximal de 175 mm pour les récipients cylindriques ; ou
- 3) Une largeur maximale de 75 mm pour les récipients plats ou annulaires.

NOTE EXPLICATIVE

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 :

- a) La solution de nitrate d'uranium purifié est concentrée par évaporation et soumise à une opération de dénitrification qui assure la conversion du nitrate en oxyde d'uranium. Cet oxyde est réutilisé dans le cycle du combustible nucléaire.
- b) La solution de produits de fission très fortement radioactive 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 à l'entreposage ou au stockage définitif.
- c) La solution de nitrate de plutonium purifié est concentrée et stockée avant de passer aux stades ultérieurs du traitement. En particulier, les récipients de collecte ou d'entreposage des solutions de plutonium sont conçus pour éviter les problèmes de criticité résultant des changements de concentration et de forme du flux en question.

3.5. Systèmes de mesure neutronique pour le contrôle de processus

Systèmes de mesure neutronique spécialement conçus ou préparés pour être combinés et utilisés avec des systèmes automatisés de contrôle de processus dans une usine de retraitement d'éléments combustible irradiés.

NOTE EXPLICATIVE

Ces systèmes ont une capacité de mesure et de discrimination neutronique active et passive afin de déterminer la quantité de produits fissiles et leur composition. Le système complet se compose d'un générateur de neutrons, d'un détecteur de neutrons, d'amplificateurs et d'équipement électronique de traitement de signal.

Cette entrée exclut les instruments de détection et de mesure neutronique conçus pour la comptabilité et le contrôle des matières nucléaires ou toute autre application non liée à l'intégration et à l'utilisation de systèmes automatisés de contrôle de processus dans une usine de retraitement d'éléments combustibles irradiés.

4. Usines de fabrication d'éléments combustibles pour réacteurs nucléaires, et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin

NOTE D'INTRODUCTION

Les éléments combustibles sont fabriqués à partir d'une ou de plusieurs des matières brutes ou d'un ou de plusieurs des produits fissiles spéciaux mentionnés à la partie A de la présente annexe. 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 :

- a) Normalement se trouvent en contact direct avec le flux des matières nucléaires produites, ou bien traitent ou contrôlent directement ce flux ;
- b) Scellent les matières nucléaires à l'intérieur du gainage ;
- c) Vérifient l'intégrité du gainage ou l'étanchéité ;
- d) Vérifient le traitement de finition du combustible scellé ; ou
- e) Sont utilisés pour l'assemblage des éléments combustibles pour réacteurs.

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

- 1) 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 ;
- 2) Des machines de soudage automatiques spécialement conçues ou préparées pour le soudage des bouchons sur les aiguilles (ou les barres) combustibles ;
- 3) Des stations automatiques d'essai et d'inspection spécialement conçues ou préparées pour la vérification de l'intégrité des aiguilles (ou des barres) combustibles ;

4) Des systèmes spécialement conçus ou préparés pour la fabrication des gaines de combustible nucléaire.

Sous 3, 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) pour vérifier que les pastilles combustibles sont correctement positionnées à l'intérieur.

5. Usines de séparation des isotopes de l'uranium naturel, de l'uranium appauvri ou d'un produit fissile spécial et équipements, autres que les appareils d'analyse, spécialement conçus ou préparés à cette fin

NOTE D'INTRODUCTION

Les usines et les équipements de séparation des isotopes de l'uranium présentent, dans de nombreux cas, une analogie étroite avec les usines et les équipements de séparation des isotopes stables. Dans certains cas particuliers, les contrôles visés à la section 5 s'appliquent aussi aux usines et équipements prévus pour la séparation des isotopes stables. Ces contrôles d'usines et d'équipements de séparation des isotopes stables sont complémentaires aux contrôles des usines et des équipements spécialement conçus ou préparés pour le traitement, l'utilisation ou la production des produits fissiles spéciaux visés dans la liste de base. Ces contrôles des utilisations des isotopes stables (section 5), complémentaires, ne s'appliquent pas aux équipements utilisant le procédé de séparation électromagnétique.

Les procédés pour lesquels les contrôles visés à la section 5 s'appliquent au même degré, que l'utilisation envisagée soit la séparation des isotopes de l'uranium ou la séparation des isotopes stables, sont : l'ultracentrifugation, la diffusion gazeuse, le procédé de séparation dans un plasma et les procédés aérodynamiques.

Avec certains procédés, l'analogie indiquée ci-dessus pour la séparation des isotopes de l'uranium dépend de l'élément (isotope stable) qui est séparé. Ces procédés sont : les procédés par laser (par exemple la séparation des isotopes par irradiation au laser de molécules et la séparation des isotopes par laser sur vapeur atomique), l'échange chimique et l'échange d'ions. Les gouvernements doivent par conséquent évaluer ces procédés sur la base du cas par cas pour appliquer dès lors les contrôles visés à la section 5 relatifs aux utilisations des isotopes stables.

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

5.1. Centrifugeuses et assemblages et composants spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans les centrifugeuses

NOTE D'INTRODUCTION

Ordinairement, la centrifugeuse à gaz se compose d'un cylindre à paroi mince d'un diamètre compris entre 75 mm et 650 mm, placé 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 réduire le plus possible 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'hexafluorure d'uranium (UF₆) 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.

5.1.1. 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 section. Lorsqu'ils sont réunis, les cylindres sont joints les uns aux autres par les soufflets ou anneaux flexibles décrits sous 5.1.1 c) ci-après. Le rotor est équipé d'une ou de plusieurs chicanes internes et de bouchons d'extrémité, comme indiqué sous 5.1.1 d) et e) ci-après, s'il est prêt à l'emploi. Toutefois, l'assemblage complet ne peut être livré que partiellement monté.

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 650 mm et fabriqués dans un ou plusieurs des matériaux à rapport résistance/densité élevé décrits dans la NOTE EXPLICATIVE de la présente section.

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 650 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 section.

d) Chicanes :

Composants en forme de disque d'un diamètre compris entre 75 mm et 650 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'UF₆ 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 section.

e) Bouchons d'extrémité supérieurs et inférieurs :

Composants en forme de disque d'un diamètre compris entre 75 mm et 650 mm spécialement conçus ou préparés pour s'adapter aux extrémités du bol et maintenir ainsi l'UF₆ 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 section.

NOTE EXPLICATIVE

Les matériaux utilisés pour les composants tournants des centrifugeuses comprennent :

- a) Les aciers maraging ayant une charge limite de rupture égale ou supérieure à 1,95 GPa ;
- b) Les alliages d'aluminium ayant une charge limite de rupture égale ou supérieure à 0,46 GPa ;
- c) Des matériaux filamenteux pouvant être utilisés dans des structures composites et ayant un module spécifique égal ou supérieur à $3,18 \times 10^6$ m, et une charge limite de rupture spécifique égale ou supérieure à $7,62 \times 10^4$ m (le « module spécifique » est le module de Young exprimé en N/m² divisé par le poids volumique exprimé en N/m³ ; la « charge limite de rupture spécifique » est la charge limite de rupture exprimée en N/m² divisée par le poids volumique exprimé en N/m³).

5.1.2. Composants fixes

a) Paliers de suspension magnétique :

1. 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'UF₆ (voir la NOTE EXPLICATIVE de la section 5.2). L'aimant est couplé à une pièce polaire ou à un deuxième aimant fixé sur le bouchon d'extrémité supérieur décrit sous 5.1.1 e). L'aimant peut être annulaire et avoir un rapport entre le diamètre extérieur et le diamètre intérieur inférieur ou égal à 1,6/1. Il peut avoir une perméabilité initiale égale ou supérieure à 0,15 H/m, une rémanence égale ou supérieure à 98,5 % ou une densité d'énergie électromagnétique supérieure à 80 kJ/m³. 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.

2. Paliers magnétiques actifs spécialement conçus ou préparés pour être utilisés avec des centrifugeuses à gaz.

NOTE EXPLICATIVE

Ces paliers ont généralement les caractéristiques suivantes :

- Ils sont conçus pour maintenir centré un rotor tournant à 600 Hz ou plus, et
- Ils sont associés à un système d'alimentation électrique fiable et/ou sans coupure pour pouvoir fonctionner pendant plus d'une heure.

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 5.1.1 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 650 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 réluctance) alimentés en courant alternatif multiphasé pour fonctionnement synchrone dans le vide avec une fréquence de 600 Hz ou plus et une puissance de 40 VA ou plus. Les stators peuvent être constitués par des enroulements multiphasés sur des noyaux de fer doux feuilletés comprenant des couches minces d'épaisseur 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 d'au plus de 30 mm d'épaisseur, ayant subi un usinage de précision aux extrémités en vue de recevoir les paliers et qui est muni d'une ou plusieurs brides pour le montage. Les extrémités usinées sont parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe longitudinal du cylindre avec une déviation au plus égale à 0,05 degré. L'enceinte peut également être formée d'une structure de type alvéolaire permettant de loger plusieurs assemblages rotors.

f) Écopes :

Tubes spécialement conçus ou préparés pour extraire l'UF₆ 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.

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

NOTE D'INTRODUCTION

Les systèmes, matériel et composants auxiliaires d'une usine d'enrichissement par centrifugation gazeuse sont les systèmes nécessaires pour introduire l'UF₆ dans les centrifugeuses, pour relier les centrifugeuses les unes aux autres en cascades pour obtenir des taux d'enrichissement de plus en plus élevés et pour prélever l'UF₆ dans les centrifugeuses en tant que « produit » et « résidus », ainsi que le matériel d'entraînement des centrifugeuses et de commande de l'usine.

Habituellement, l'UF₆ 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 « résidus » 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'UF₆ 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. Le matériel, composants et tuyauteries sont fabriqués suivant des normes très rigoureuses de vide et de propreté.

NOTE EXPLICATIVE

Certains des articles énumérés ci-dessous, soit sont en contact direct avec l'UF₆ 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'UF₆ comprennent le cuivre, les alliages de 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 fluorés.

5.2.1. 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'UF₆ et comprenant :

- a) Des autoclaves, fours et systèmes d'alimentation utilisés pour introduire l'UF₆ dans le processus d'enrichissement ;
- b) Des pièges à froid ou des pompes utilisés pour retirer l'UF₆ du processus d'enrichissement en vue de son transfert ultérieur après réchauffement ;
- c) Des stations de solidification ou de liquéfaction utilisées pour retirer l'UF₆ 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'UF₆ dans des conteneurs.

5.2.2. Collecteurs et tuyauteries

Tuyauteries et collecteurs spécialement conçus ou préparés pour la manipulation de l'UF₆ à l'intérieur des cascades de centrifugeuses. La tuyauterie est habituellement 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 ou revêtu de matériaux résistant à l'UF₆ (voir la NOTE EXPLICATIVE de la présente section) et est fabriqué suivant des normes très rigoureuses de vide et de propreté.

5.2.3. Vannes spéciales d'arrêt et de réglage

- a) Vannes d'arrêt spécialement conçues ou préparées pour agir sur les flux d'UF₆ gazeux du gaz d'entrée, du produit ou des résidus de chaque centrifugeuse à gaz.
- b) Soufflets d'arrêt ou de réglage, manuels ou automatiques, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆ et ayant un diamètre intérieur compris entre 10 et 160 mm, spécialement conçues ou préparées pour utilisation dans des systèmes principaux ou auxiliaires d'usines d'enrichissement par centrifugation gazeuse.

NOTE EXPLICATIVE

Les vannes spécialement conçues ou préparées comprennent généralement les vannes à soufflet, les vannes à fermeture rapide, les vannes à action rapide et d'autres types de vannes.

5.2.4. Spectromètres de masse pour UF₆/sources d'ions

Spectromètres de masse spécialement conçus ou préparés, capables de prélever des échantillons en direct sur les flux d'UF₆ gazeux et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

1. Capables de mesurer des ions d'unités de masse atomique égales ou supérieures à 320 uma et ayant une résolution meilleure que 1 partie par 320 ;
2. Sources d'ions constituées ou revêtues de nickel, d'alliages nickel-cuivre contenant 60 % de nickel en poids, ou d'alliages nickel-chrome ;
3. Sources d'ionisation par bombardement électronique ; et
4. Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

5.2.5. Convertisseurs de fréquence

Convertisseurs de fréquence (également connus sous le nom de convertisseurs ou d'inverseurs) spécialement conçus ou préparés pour l'alimentation des stators de moteurs décrits sous 5.1.2. d), ou parties, composants et sous-assemblages de convertisseurs de fréquence, ayant les deux caractéristiques suivantes :

1. Sortie multiphasée égale ou supérieure à 600 Hz ; et
2. Stabilité élevée (avec un contrôle de la fréquence supérieur à 0,2 %).

5.3. 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' UF_6 , 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_6 . 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.

5.3.1. Barrières de diffusion gazeuse et matériaux des barrières

- a) Filtres minces et poreux spécialement conçus ou préparés, qui ont des pores de 10 à 100 nm, 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_6 (voir NOTE EXPLICATIVE de la section 5.4.).
- 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 en poids, l'oxyde d'aluminium et les polymères d'hydrocarbures totalement fluorés résistants à l' UF_6 ayant une pureté égale ou supérieure à 99,9 % en poids, une taille des grains inférieure à 10 μm et une grande uniformité de cette taille, qui sont spécialement préparés pour la fabrication de barrières de diffusion gazeuse.

5.3.2. Diffuseurs

Enceintes spécialement conçues ou préparées, hermétiquement scellées, prévues pour contenir la barrière de diffusion gazeuse, constituées ou revêtues des matériaux résistant à l' UF_6 (voir la NOTE EXPLICATIVE de la section 5.4.).

5.3.3. Compresseurs et soufflantes à gaz

Compresseurs ou soufflantes à gaz spécialement conçus ou préparés, ayant une capacité d'aspiration de l'UF₆ de 1 m³/min ou plus et une pression de sortie pouvant aller jusqu'à 500 kPa, et conçus pour fonctionner longtemps en atmosphère d'UF₆, et assemblages séparés de compresseurs et soufflantes à gaz de ce type. Ces compresseurs et soufflantes à gaz ont un rapport de compression égal ou inférieur à 10/1 et sont constitués ou revêtus de matériaux résistant à l'UF₆ (voir la NOTE EXPLICATIVE de la section 5.4.).

5.3.4. 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'UF₆. Ces garnitures sont normalement conçues pour un taux de pénétration de gaz tampon inférieur à 1 000 cm³/min.

5.3.5. Échangeurs de chaleur pour le refroidissement de l'UF₆

Échangeurs de chaleur spécialement conçus ou préparés, constitués ou revêtus de matériaux résistant à l'UF₆ (voir la NOTE EXPLICATIVE de la section 5.4.), et prévus pour un taux de variation de la pression due à une fuite qui est inférieur à 10 Pa/h pour une différence de pression de 100 kPa.

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

NOTE D'INTRODUCTION

Les systèmes, le matériel et les composants auxiliaires des usines d'enrichissement par diffusion gazeuse sont les systèmes nécessaires pour introduire l'UF₆ 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'UF₆ 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'UF₆ 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'UF₆ gazeux est liquéfié avant d'être

transféré dans des conteneurs de transport ou d'entreposage 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.

NOTE EXPLICATIVE

Les articles énumérés ci-dessous, soit sont en contact direct avec l' UF_6 gazeux, soit contrôlent directement le flux de gaz dans la cascade. Les matériaux résistants à la corrosion par l' UF_6 comprennent le cuivre, les alliages de cuivre, l'acier inoxydable, l'aluminium, l'oxyde d'aluminium, les alliages d'aluminium, le nickel ou les alliages contenant 60 % ou plus de nickel, et les polymères d'hydrocarbures fluorés.

5.4.1. 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 résistants à la corrosion par l' UF_6 et comprenant :

- a) Des autoclaves, fours et systèmes d'alimentation utilisés pour introduire l' UF_6 dans le processus d'enrichissement ;
- b) Des pièges à froid ou des pompes utilisés pour retirer l' 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' 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' UF_6 dans des conteneurs.

5.4.2. Collecteurs/tuyauteries

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

NOTE EXPLICATIVE

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

5.4.3. 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.

b) Pompes à vide spécialement conçues pour fonctionner en atmosphère d'UF₆, et constituées ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆ (voir la NOTE EXPLICATIVE de la présente section). Ces pompes peuvent être rotatives ou volumétriques, être à déplacement et dotées de joints en fluorocarbures et être pourvues de fluides de service spéciaux.

5.4.4. Vannes spéciales d'arrêt et de réglage

Soufflets d'arrêt ou de réglage, manuels ou automatiques, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆ (voir NOTE EXPLICATIVE de la présente section), spécialement conçus ou préparés pour installation dans des systèmes principaux et auxiliaires d'usines d'enrichissement par diffusion gazeuse.

5.4.5. Spectromètres de masse pour UF₆/sources d'ions

Spectromètres de masse spécialement conçus ou préparés, capables de prélever des échantillons en direct sur les flux d'UF₆ gazeux et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

1. Capables de mesurer des ions d'unités de masse atomique égales ou supérieures à 320 uma et ayant une résolution meilleure que 1 partie par 320 ;
2. Sources d'ions constituées ou revêtues de nickel, d'alliages nickel-cuivre contenant 60 % ou plus de nickel en poids, ou d'alliages nickel-chrome ;
3. Sources d'ionisation par bombardement électronique ; et
4. Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

5.5. 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'UF₆ 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'UF₆, toutes les surfaces des équipements, tuyauteries et instruments (qui sont en contact avec le gaz) doivent être constituées ou revêtues de matériaux qui restent stables au contact de l'UF₆.

NOTE EXPLICATIVE

Les articles énumérés dans la présente section soit sont en contact direct avec l'UF₆ 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'UF₆. Aux fins de la section relative aux articles pour enrichissement par procédé aérodynamique, les matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆ comprennent le cuivre, les alliages de cuivre, l'acier inoxydable, l'aluminium, l'oxyde d'aluminium, les alliages d'aluminium, le nickel ou les alliages contenant 60 % ou plus de nickel en poids, et les polymères d'hydrocarbures fluorés.

5.5.1. 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, résistant à la corrosion par l'UF₆, à l'intérieur desquels un écorceur sépare en deux fractions le gaz circulant dans la tuyère.

5.5.2. 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'UF₆ et 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.

5.5.3. Compresseurs et soufflantes à gaz

Compresseurs et soufflantes à gaz spécialement conçus ou préparés, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par le mélange UF₆/gaz porteur (hydrogène ou hélium).

5.5.4. 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, tels que définis au paragraphe 5.5.3. ci-dessus, 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'UF₆ et de gaz porteur.

5.5.5. 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'UF₆.

5.5.6. Enceintes renfermant les éléments de séparation

Enceintes spécialement conçues ou préparées, constituées ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆, destinées à recevoir les tubes vortex ou les tuyères de séparation.

5.5.7. 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'UF₆ et comprenant :

- a) Des autoclaves, fours ou systèmes d'alimentation utilisés pour introduire l'UF₆ dans le processus d'enrichissement ;
- b) Des pièges à froid utilisés pour retirer l'UF₆ du processus d'enrichissement en vue de son transfert ultérieur après réchauffement ;
- c) Des stations de solidification ou de liquéfaction utilisées pour retirer l'UF₆ 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'UF₆ dans des conteneurs.

5.5.8. Collecteurs/tuyauteries

Tuyauteries et collecteurs constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆, spécialement conçus ou préparés pour la manipulation de l'UF₆ 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.

5.5.9. Systèmes et pompes à vide

- a) Systèmes à vide spécialement conçus ou préparés comprenant des distributeurs à vide, des collecteurs à vide et des pompes à vide et conçus pour fonctionner en atmosphère d'UF₆ ;
- b) Pompes à vide spécialement conçues ou préparées pour fonctionner en atmosphère d'UF₆, et constituées ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆. Ces pompes peuvent être dotées de joints en fluorocarbures et pourvues de fluides de service spéciaux.

5.5.10. Vannes spéciales d'arrêt et de réglage

Soufflets d'arrêt ou de réglage, manuels ou automatiques, constitués ou revêtus de

matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆ et ayant un diamètre de 40 mm ou plus spécialement conçus ou préparés pour installation dans des systèmes principaux et auxiliaires d'usines d'enrichissement par procédé aérodynamique.

5.5.11. Spectromètres de masse pour UF₆/sources d'ions

Spectromètres de masse spécialement conçus ou préparés, capables de prélever des échantillons en direct sur les flux d'UF₆ gazeux et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

1. Capables de mesurer des ions d'unités de masse atomique égales ou supérieures à 320 uma et ayant une résolution meilleure que 1 partie par 320 ;
2. Sources d'ions constituées ou revêtues de nickel, d'alliages nickel-cuivre contenant 60 % ou plus de nickel en poids, ou d'alliages nickel-chrome ;
3. Sources d'ionisation par bombardement électronique ;
4. Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

5.5.12. Systèmes de séparation de l'UF₆ et du gaz porteur

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour séparer l'UF₆ du gaz porteur (hydrogène ou hélium).

NOTE EXPLICATIVE

Ces systèmes sont conçus pour réduire la teneur en UF₆ du gaz porteur à 1 ppm ou moins et peuvent comprendre les équipements suivants :

- a) Échangeurs de chaleur cryogéniques et cryoséparateurs capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à 153 K (-120 °C) ;
- b) Appareils de réfrigération cryogéniques capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à 153 K (-120 °C) ;
- c) Tuyères de séparation ou tubes vortex pour séparer l'UF₆ du gaz porteur ; ou
- d) Pièges à froid d'UF₆ capables de congeler celui-ci.

5.6. 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 minimales 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'oxydo-réduction 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 d'acide chlorhydrique concentré chaud, les équipements doivent être constitués ou revêtus de matériaux spéciaux résistant à la corrosion.

5.6.1. Colonnes d'échange liquide-liquide (échange chimique)

Colonnes d'échange liquide-liquide à contre-courant avec apport d'énergie mécanique, spécialement conçues ou préparées pour l'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange chimique. Afin de les rendre résistantes à la corrosion par les solutions concentrées d'acide hydrochlorhydrique, ces colonnes et leurs internes sont normalement constitués ou revêtus de matériaux plastiques appropriés (polymères d'hydrocarbures fluorés, par exemple) ou de verre. Les colonnes sont normalement conçues de telle manière que le temps de séjour correspondant à un étage soit de 30 secondes au plus.

5.6.2. 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 organique 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, ces contracteurs sont normalement constitués ou revêtus de matériaux plastiques appropriés (polymères d'hydrocarbures fluorés, par exemple) ou 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).

5.6.3. 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).

5.6.4. 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 polymères d'hydrocarbures fluorés, le sulfate de polyphényle ou le polyéther sulfone et le graphite imprégné de résine.

5.6.5. 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 :

- a) 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 ;
- b) 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.

5.6.6. 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 373 K (100 °C) et 473 K (200 °C).

5.6.7. 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'absorbant, 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) résistant à la corrosion par des solutions d'acide chlorhydrique concentré, et peuvent fonctionner à des températures comprises entre 373 K (100 °C) et 473 K (200 °C) et à des pressions supérieures à 0,7 MPa.

5.6.8. Systèmes de reflux (échange d'ions)

- a) Systèmes de réduction chimique ou électrochimique spécialement conçus ou préparés pour régénérer l'agent de réduction chimique utilisé dans les cascades d'enrichissement de l'uranium par le procédé d'échange d'ions.
- b) Systèmes d'oxydation chimique ou électrochimique spécialement conçus ou préparés pour régénérer l'agent d'oxydation chimique utilisé 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 régénérerait 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 régénérerait alors Fe^{3+} par oxydation de Fe^{2+} .

5.7. Systèmes, équipements 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, parfois mélangée à un ou plusieurs autres gaz. Ces procédés sont notamment connus sous les dénominations courantes suivantes :

- première catégorie - séparation des isotopes par laser sur vapeur atomique ;
- deuxième catégorie - séparation des isotopes par irradiation au laser de molécules, y compris une réaction chimique par activation laser isotopiquement sélective.

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

- a) des dispositifs d'alimentation en vapeur d'uranium métal (en vue d'une photoionisation sélective) ou des dispositifs d'alimentation en vapeur d'un composé de l'uranium (en vue d'une photodissociation sélective ou d'une excitation/activation sélective) ;

b) 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 enrichis et appauvris comme « produit » et « résidus » dans les procédés de la seconde catégorie ;

c) des systèmes laser de procédé pour exciter sélectivement la forme uranium 235 ;

d) 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 et optique-laser qui sont disponibles.

NOTE EXPLICATIVE

Un grand nombre des articles énumérés dans la présente section 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 direct avec l'uranium ou l' UF_6 sont constituées entièrement ou revêtues de matériaux résistant à la corrosion. Aux fins de la section 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, les alliages de cuivre, l'acier inoxydable, l'aluminium, l'oxyde d'aluminium, les alliages d'aluminium, le nickel, les alliages contenant 60 % ou plus de nickel en poids et les polymères d'hydrocarbures fluorés.

5.7.1. Systèmes de vaporisation de l'uranium (méthodes basées sur la vapeur atomique)

Systèmes de vaporisation de l'uranium métal spécialement conçus ou préparés pour utilisation dans l'enrichissement par laser.

NOTE EXPLICATIVE

Ces systèmes, qui peuvent contenir des canons à électrons, sont conçus pour fournir au niveau de la cible une puissance (1 kW ou plus) suffisante pour produire de la vapeur d'uranium métal à un rythme requis pour la fonction d'enrichissement par laser.

5.7.2. Systèmes de manipulation de l'uranium métal liquide ou de l'uranium métal vaporisé et leurs composants (méthodes basées sur la vapeur atomique)

Systèmes de manipulation de l'uranium fondu, des alliages d'uranium fondu ou de la vapeur d'uranium métal spécialement conçus ou préparés pour être utilisés dans l'enrichissement par laser, ou leurs composants spécialement conçus ou préparés à cette fin.

NOTE EXPLICATIVE

Les systèmes de manipulation de l'uranium métal liquide peuvent comprendre des creusets et des équipements de refroidissement pour ceux-ci. Les creusets et autres parties de ces systèmes qui sont en contact avec l'uranium fondu, les alliages d'uranium fondu ou la vapeur d'uranium métal sont constitués ou revêtus de matériaux ayant une résistance appropriée à la corrosion et à la chaleur. Les matériaux appropriés peuvent comprendre le tantale, le graphite revêtu d'oxyde d'yttrium, le graphite revêtu d'autres oxydes de terres rares ou des mélanges de ces substances.

5.7.3. Assemblages collecteurs du « produit » et des « déchets » d'uranium métal (méthodes basées sur la vapeur atomique)

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

NOTE EXPLICATIVE

Les composants de ces assemblages sont constitués ou revêtus de matériaux résistant 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.

5.7.4. Enceintes de module séparateur (méthodes basées sur la vapeur atomique)

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 des « 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.

5.7.5. Tuyères de détente supersonique (méthodes moléculaires)

Tuyères de détente supersonique, résistant à la corrosion par l' UF_6 , spécialement conçues ou préparées pour refroidir les mélanges d' UF_6 et de gaz porteur jusqu'à 150 K (-123 °C) ou moins.

5.7.6. Collecteurs du « produit » ou des « résidus » (méthodes moléculaires)

Composants ou dispositifs spécialement conçus ou préparés pour recueillir le produit ou les résidus d'uranium après illumination par laser.

NOTE EXPLICATIVE

Dans un exemple de séparation des isotopes par irradiation au laser de molécules, les collecteurs du produit servent à recueillir le pentafluorure d'uranium (UF_5) enrichi solide. Ces collecteurs peuvent être à filtre, à impact ou à cyclone, ou des combinaisons de tels collecteurs, et doivent être résistants à la corrosion en milieu UF_5/UF_6 .

5.7.7. Compresseurs d' UF_6 /gaz porteur (méthodes moléculaires)

Compresseurs spécialement conçus ou préparés pour les mélanges d' UF_6 et de gaz porteur, prévus pour un fonctionnement de longue durée en atmosphère d' UF_6 . Les composants de ces compresseurs qui sont en contact avec le gaz de procédé sont constitués ou revêtus de matériaux résistants à la corrosion par l' UF_6 .

5.7.8. Garnitures d'étanchéité d'arbres (méthodes moléculaires)

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 UF_6 /gaz porteur.

5.7.9. Systèmes de fluoration (méthodes moléculaires)

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour fluorer l' UF_5 (solide) en UF_6 (gazeux).

NOTE EXPLICATIVE

Ces systèmes sont conçus pour fluorer la poudre d' UF_5 , puis recueillir l' UF_6 , dans les conteneurs destinés au produit, ou le réintroduire comme produit d'alimentation 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' 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 l'entreposage et le transfert du fluor (ou d'autres agents de fluoration appropriés) et pour la collecte et le transfert de l' UF_6 .

5.7.10. Spectromètres de masse pour UF_6 /sources d'ions (méthodes moléculaires)

Spectromètres de masse spécialement conçus ou préparés, capables de prélever des échantillons en direct sur les flux d' UF_6 gazeux et ayant toutes les caractéristiques suivantes :

1. Capables de mesurer des ions d'unités de masse atomique égales ou supérieures à 320 uma et ayant une résolution meilleure que 1 partie par 320 ;
2. Sources d'ions constituées ou revêtues de nickel, d'alliages nickel-cuivre contenant 60 % ou plus de nickel en poids, ou d'alliages nickel-chrome ;
3. Sources d'ionisation par bombardement électronique ; et
4. Collecteur adapté à l'analyse isotopique.

5.7.11. Systèmes d'alimentation/systèmes de prélèvement du produit et des résidus (méthodes moléculaires)

Systèmes ou équipements spécialement conçus ou préparés pour les usines d'enrichissement, constitués ou revêtus de matériaux résistant à la corrosion par l'UF₆ et comprenant :

- a) Des autoclaves, fours ou systèmes d'alimentation utilisés pour introduire l'UF₆ dans le processus d'enrichissement ;
- b) Des pièges à froid utilisés pour retirer l'UF₆ du processus d'enrichissement en vue de son transfert ultérieur après réchauffement ;
- c) Des stations de solidification ou de liquéfaction utilisées pour retirer l'UF₆ 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'UF₆ dans des conteneurs.

5.7.12. Systèmes de séparation de l'UF₆ et du gaz porteur (méthodes moléculaires)

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour séparer l'UF₆ du gaz porteur.

NOTE EXPLICATIVE

Ces systèmes peuvent comprendre des appareils des types suivants :

- a) Échangeurs de chaleur cryogéniques ou cryoséparateurs capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à 153 K (-120 °C) ;
- b) Appareils de réfrigération cryogéniques capables d'atteindre des températures inférieures ou égales à 153 K (-120 °C) ;
- c) Pièges à froid d'UF₆ capables de congeler celui-ci.

Le gaz porteur peut être l'azote, l'argon ou un autre gaz.

5.7.13. Systèmes laser

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

NOTE EXPLICATIVE

Un système laser contient habituellement des composants optiques et électroniques pour la gestion du faisceau (des faisceaux) laser et la transmission vers la chambre de séparation isotopique. Le système laser employé pour les méthodes basées sur la vapeur atomique comprend généralement des lasers à colorants organiques accordables pompés par un autre type de laser (laser à vapeur de cuivre ou certains lasers à l'état solide par exemple). Le système laser employé pour les méthodes moléculaires peut comprendre des lasers à dioxyde de carbone ou à excimère et une cellule optique à multipassages. Dans les deux méthodes, les systèmes laser requièrent une stabilisation de la fréquence pour pouvoir fonctionner pendant de longues périodes.

Les lasers et les composants de laser dans les procédés d'enrichissement par laser sont les suivants :

Lasers, amplificateurs lasers et oscillateurs, comme suit :

- a. Lasers à vapeur de cuivre possédant les deux caractéristiques suivantes :
 1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 500 et 600 nm ;
et
 2. Une puissance moyenne de sortie égale ou supérieure à 30 W ;
- b. Lasers à argon ionisé possédant les deux caractéristiques suivantes :
 1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 400 et 515 nm ;
et
 2. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 40 W ;
- c. Lasers dopés au néodyme (autres que les lasers à verre) à longueur d'onde de sortie comprise entre 1 000 et 1 100 nm, possédant l'une des deux caractéristiques suivantes :
 1. Excitation par impulsions et modulation du facteur Q, avec une durée d'impulsion égale ou supérieure à 1 ns, et possédant l'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
 2. Comportant un doubleur de fréquence produisant une longueur d'onde de sortie comprise entre 500 et 550 nm avec une puissance moyenne de sortie supérieure à 40 W ;
- d. Oscillateurs à colorants organiques accordables fonctionnant en mode pulsé unique possédant toutes les caractéristiques suivantes :

1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 300 et 800 nm ;
 2. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 1 W ;
 3. Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 1 kHz ; et
 4. Une durée d'impulsion inférieure à 100 ns ;
- e. Amplificateurs lasers et oscillateurs à colorants organiques accordables possédant toutes les caractéristiques suivantes :
1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 300 et 800 nm ;
 2. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 30 W ;
 3. Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 1 kHz ; et
 4. Une durée d'impulsion inférieure à 100 ns ;

Note : La rubrique 3.A.2.e. ne s'applique pas aux oscillateurs fonctionnant en mode unique.

- f. Lasers à alexandrite possédant toutes les caractéristiques suivantes :
1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 720 et 800 nm ;
 2. Une largeur de bande égale ou inférieure à 0,005 nm ;
 3. Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 125 Hz ; et
 4. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 30 W ;
- g. Lasers à dioxyde de carbone à régime pulsé possédant toutes les caractéristiques suivantes :
1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 9000 et 11000 nm ;
 2. Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 250 Hz ;
 3. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 500 W ; et
 4. Une durée d'impulsion inférieure à 200 ns ;

Note : La rubrique g. ne s'applique pas aux lasers industriels à CO₂ 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 durée d'impulsion supérieure à 200 ns.

- h. Lasers à excitation par impulsions (XeF, XeCl, KrF) possédant toutes les caractéristiques suivantes :
1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 240 et 360 nm ;
 2. Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 250 Hz ; et
 3. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 500 W ;

- i. Déphaseurs 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 à monoxyde de carbone (CO) à régime pulsé possédant toutes les caractéristiques suivantes :
 1. Fonctionnant à des longueurs d'onde comprises entre 5000 et 6000 nm ;
 2. Une fréquence de récurrence d'impulsions supérieure à 250 Hz ;
 3. Une puissance moyenne de sortie supérieure à 200 W ; et
 4. Une durée d'impulsion inférieure à 200 ns.

Note : La rubrique j. ne s'applique pas aux lasers industriels à CO 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 durée d'impulsion supérieure à 200 ns.

5.8. Systèmes, équipements et composants spécialement conçus ou préparés 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}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}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 ».

5.8.1. Sources d'énergie hyperfréquence et antennes

Sources d'énergie hyperfréquence et antennes spécialement conçues ou préparées pour produire ou accélérer des ions et ayant les caractéristiques suivantes : fréquence supérieure à 30 GHz et puissance de sortie moyenne supérieure à 50 kW pour la production d'ions.

5.8.2. 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.

5.8.3. Systèmes générateurs de plasma d'uranium

Systèmes spécialement conçus ou préparés pour produire du plasma d'uranium destiné à être utilisé dans les usines de séparation dans un plasma.

5.8.4. 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.

5.8.5. Enceintes de module séparateur

Conteneurs cylindriques spécialement conçus ou préparés pour les usines d'enrichissement par séparation 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 composants internes et sont constituées d'un matériau non magnétique approprié tel que l'acier inoxydable.

5.9. Systèmes, équipements 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 du tétrachlorure d'uranium (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.

5.9.1. 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.

5.9.2. Alimentations haute tension

Alimentations haute tension spécialement conçues ou préparées pour les sources d'ions et ayant toutes les caractéristiques suivantes : capables de fournir en permanence, pendant une période de 8 heures, une tension de sortie égale ou supérieure à 20 000 V avec une intensité de sortie égale ou supérieure à 1 A et une variation de tension inférieure à 0,01 %.

5.9.3. Alimentations des aimants

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

1. Capables de produire en permanence, pendant une période de 8 heures, un courant d'intensité supérieure à 500 A à une tension supérieure ou égale à 100 V ;
2. Avec des variations d'intensité et de tension inférieures à 0,01 %.

6. Usines de production ou de concentration d'eau lourde, de deutérium et de composés de deutérium et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin

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 les 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(e) en deutérium, est retiré(e) 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 (en poids), 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 % (en poids).

Le procédé d'échange ammoniac-hydrogène permet d'extraire le deutérium d'un gaz de synthèse par contact avec de l'ammoniac liquide (NH_3) 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 de l'hydrogène dans le gaz de synthèse et concentré dans le NH_3 . Le NH_3 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 :

6.1. Tours d'échange eau-sulfure d'hydrogène

Tours d'échange d'un diamètre de 1,5 m ou plus, pouvant fonctionner à des pressions supérieures ou égales à 2 MPa, spécialement conçues ou préparées pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange eau-sulfure d'hydrogène.

6.2. 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 H₂S) 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 m³/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 H₂S.

6.3. 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.

6.4. 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 de NH_3 liquide dans un étage de contact à l'intérieur des tours.

6.5. Craqueurs de NH_3

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.

6.6. 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 % en poids.

6.7. 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.

6.8. Systèmes complets de concentration d'eau lourde ou colonnes pour de tels systèmes

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 du D_2O à 99,75 % en poids) à partir d'une eau lourde à teneur moindre.

6.9. Convertisseurs d'ammoniac ou unités à synthétiser l'ammoniac

Convertisseurs de NH_3 ou unités à synthétiser l'ammoniac spécialement conçus ou préparés pour la production d'eau lourde par le procédé d'échange ammoniac-hydrogène.

NOTE EXPLICATIVE

Ces convertisseurs ou unités utilisent du gaz de synthèse (azote et hydrogène) provenant d'une (ou de plusieurs) colonne(s) d'échange ammoniac-hydrogène à haute pression, et le NH_3 synthétisé est renvoyé à la (ou aux) colonne(s) d'échange.

7. Usines de conversion de l'uranium et du plutonium pour la fabrication d'éléments combustibles et de séparation des isotopes de l'uranium, telles que définies dans les sections 4 et 5 de l'annexe respectivement, et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin

EXPORTATIONS

L'exportation du jeu complet d'articles importants ainsi délimité n'aura lieu que conformément aux procédures énoncées dans le Mémoire. L'ensemble des usines, des systèmes et des équipements spécialement conçus ou préparés ainsi délimité peut servir pour le traitement, la production ou l'utilisation de produits fissiles spéciaux.

7.1. Usines de conversion de l'uranium et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin

NOTE D'INTRODUCTION

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 : conversion du trioxyde d'uranium (UO_3) en dioxyde d'uranium (UO_2), conversion des oxydes d'uranium en tétrafluorure d'uranium (UF_4), en UF_6 ou en UCl_4 , conversion de l' UF_4 en UF_6 , conversion de l' UF_6 en UF_4 , conversion de l' UF_4 en uranium métal et conversion des fluorures d'uranium en UO_2 . 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. 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 (acide fluorhydrique (HF), fluor (F_2), trifluorure de chlore (ClF_3) et fluorures d'uranium), ainsi que les problèmes de criticité nucléaire. 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.

7.1.1. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d' UO_3 en UF_6

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d' UO_3 en UF_6 peut être réalisée directement par fluoration. Ce procédé nécessite une source de F_2 ou de ClF_3 .

7.1.2. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UO₃ en UO₂

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UO₃ en UO₂ peut être réalisée par réduction de l'UO₃ au moyen de NH₃ craqué ou d'hydrogène.

7.1.3. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UO₂ en UF₄

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UO₂ en UF₄ peut être réalisée en faisant réagir l'UO₂ avec du HF gazeux à une température de 573 à 773 K (300 à 500 °C).

7.1.4. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UF₄ en UF₆

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UF₄ en UF₆ est réalisée par réaction exothermique avec du fluor dans un réacteur à tour. Pour condenser l'UF₆ à partir des effluents gazeux chauds, on fait passer les effluents dans un piège à froid refroidi à 267 K (-10 °C). Ce procédé nécessite une source de F₂ gazeux.

7.1.5. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UF₄ en uranium métal

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UF₄ 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, de 1 403 K (1 130 °C).

7.1.6. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UF₆ en UO₂

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UF₆ en UO₂ peut être réalisée par trois procédés différents. Dans le premier procédé, l'UF₆ est réduit et hydrolysé en UO₂ au moyen d'hydrogène et de vapeur. Dans le deuxième procédé, l'UF₆ est hydrolysé par dissolution dans l'eau ; l'addition de NH₃ à cette solution entraîne la précipitation de diuranate d'ammonium, lequel est réduit en UO₂ par de l'hydrogène à une température de 1 093 K (820 °C). Dans le troisième procédé, l'UF₆, le CO₂ et le NH₃ gazeux sont mis en solution dans l'eau, ce qui entraîne la précipitation de carbonate double d'uranyle et d'ammonium. Le carbonate double d'uranyle et d'ammonium est combiné avec de la vapeur et de l'hydrogène à 773-873 K (500 à 600 °C) pour produire de l'UO₂.

La conversion d'UF₆ en UO₂ constitue souvent la première phase des opérations dans les usines de fabrication de combustible.

7.1.7. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UF₆ en UF₄

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UF₆ en UF₄ est réalisée par réduction au moyen d'hydrogène.

7.1.8. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion d'UO₂ en UCl₄

NOTE EXPLICATIVE

La conversion d'UO₂ en UCl₄ peut être réalisée par un des deux procédés suivants. Dans le premier, on fait réagir l'UO₂ avec du tétrachlorure de carbone (CCl₄) à une température de 673 K (400 °C) environ. Dans le second, on fait réagir l'UO₂ à une température de 973 K (700 °C) environ en présence de noir de carbone (CAS 1333-86-4), de monoxyde de carbone et de chlore pour produire de l'UCl₄.

7.2. Usines de conversion du plutonium et équipements spécialement conçus ou préparés à cette fin

NOTE D'INTRODUCTION

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 : conversion du nitrate de plutonium (PuN) en dioxyde de plutonium (PuO₂), conversion de PuO₂ en tétrafluorure de plutonium (PuF₄) et conversion de PuF₄ 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 le 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.

7.2.1. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la conversion du nitrate de plutonium en oxyde

NOTE EXPLICATIVE

Les principales activités que comporte cette conversion sont : entreposage 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 PuN en PuO₂. D'autres procédés peuvent comporter la précipitation de l'oxalate de plutonium ou du peroxyde de plutonium.

7.2.2. Systèmes spécialement conçus ou préparés pour la production de plutonium métal

NOTE EXPLICATIVE

Ce traitement comporte habituellement la fluoration du PuO₂, normalement par le HF, 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 nécessite cette conversion sont : la fluoration (avec par exemple un matériel fait ou revêtu de métal précieux), la réduction (par exemple dans des creusets en céramique), la récupération du laitier, la manutention du produit, la ventilation, la gestion des déchets et le 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 comprennent la fluoration de l'oxalate de plutonium ou du peroxyde de plutonium, suivie d'une réduction en métal.

Les symboles et abréviations (assortis de leurs préfixes indiquant un multiple ou un sous-multiple) qui sont employés couramment dans la présente annexe sont les suivants :

A	-	ampère(s)	-	Intensité du courant électrique
CSA	-	Chemical Abstracts Service	-	
° C	-	degré(s) Celsius	-	Température
cm	-	centimètre(s)	-	Longueur
cm ²	-	centimètre(s) carré(s)	-	Superficie
cm ³	-	centimètre(s) cube(s)	-	Volume
°	-	degré(s)	-	Angle
g	-	gramme(s)	-	Masse
GHz	-	gigahertz	-	Fréquence
GPa	-	gigapascal(s)	-	Pression
H	-	henry(s)	-	Inductance électrique
h	-	heure(s)	-	Durée
Hz	-	hertz	-	Fréquence
kg	-	kilogramme(s)	-	Masse
kHz	-	kilohertz	-	Fréquence
kJ	-	kilojoule(s)	-	Énergie (travail ou chaleur)
kPa	-	kilopascal(s)	-	Pression
kW	-	kilowatt(s)	-	Puissance
K	-	kelvin	-	Température (en thermodynamique)
m	-	mètre(s)	-	Longueur
m ²	-	mètre(s) carré(s)	-	Superficie
m ³	-	mètre(s) cube(s)	-	Volume
mA	-	milliampère(s)	-	Intensité du courant électrique
min	-	minute(s)	-	Durée
MPa	-	mégapascal(s)	-	Pression
mm	-	millimètre(s)	-	Longueur
µm	-	micromètre(s)	-	Longueur
N	-	newton(s)	-	Force
nm	-	nanomètre(s)	-	Longueur

Pa	-	pascal(s)	-	Pression
s	-	seconde(s)	-	Durée
V	-	volt(s)	-	Potentiel électrique
VA	-	voltampère(s)	-	Puissance apparente