

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2022/200719 A1**

(43) Date de la publication internationale  
29 septembre 2022 (29.09.2022)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :  
G21F 5/002 (2006.01) G21F 5/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2022/050491

(22) Date de dépôt international :  
17 mars 2022 (17.03.2022)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
FR2102945 24 mars 2021 (24.03.2021) FR

(71) Déposant : **ORANO NUCLEAR PACKAGES AND SERVICES** [FR/FR] ; 1 rue des Hérons, 78180 MONTIGNY-LE-BRETONNEUX (FR).

(72) Inventeurs : **VUILLERMOZ, Didier** ; 10 avenue Edouard Branly, 91220 BRETIGNY-SUR-ORGE (FR). **BI-GUET, Alexandre** ; Ibis rue Médéric, 93360 NEUILLY-PLAISANCE (FR). **BRUT, Stéphane** ; 3 rue Louis Jouvot, 78390 BOIS D'ARCY (FR). **HAMY, Charles-Edouard** ; 37 avenue Dubonnet, 92400 COURBEVOIE (FR). **TARDY, Marcel** ; 55 rue Lucien Sampaix, 92320 CHATILLON (FR).

(74) Mandataire : **AHNER, Philippe** ; BREVALEX, 95 rue d'Amsterdam, 75378 Paris cedex 8 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN,

(54) Title: ASSEMBLY FOR TRANSPORTING URANIUM HEXAFLUORIDE, COMPRISING SHOCK ABSORBER CAPS

(54) Titre : ENSEMBLE POUR LE TRANSPORT D'HEXAFLUORURE D'URANIUM, COMPRENANT DES CAPOTS AMORTISSEURS DE CHOC

[Fig. 2]

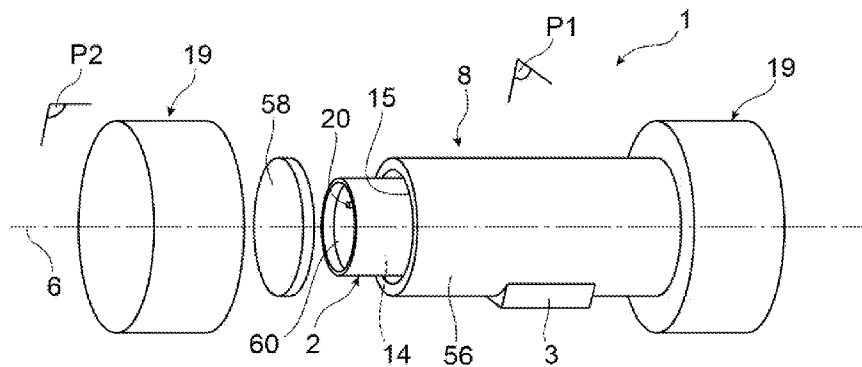


FIG. 2

(57) Abstract: The invention relates to an assembly (1) for transporting uranium hexafluoride, comprising: - a sealed internal container (2), defining a first containment enclosure (14) that is intended to be filled with uranium hexafluoride and has a cylindrical overall shape with a circular section, the first containment enclosure (14) being delimited by a lateral wall (16) extending around a longitudinal central axis (6) of the internal container, and by two opposite axial end walls (18) through which the longitudinal central axis (6) passes, at least one of the two opposite axial end walls (18) of the sealed internal container being equipped with a valve (20) for filling uranium hexafluoride; - a sealed external container (8) delimiting a second containment enclosure (15) which accommodates the internal container (2) in an extractable manner; and - two shock absorber caps (19) that are removably fixed respectively to two opposite axial ends of the external container (8).

(57) Abrégé : L'invention concerne un ensemble (1) pour le transport d'hexafluorure d'uranium, comprenant : - un conteneur interne étanche (2), définissant une première enceinte de confinement (14) destinée à être chargée d'hexafluorure d'uranium et présentant une forme générale cylindrique de section circulaire, la première enceinte de confinement (14) étant délimitée par une paroi latérale (16) s'étendant autour d'un axe central longitudinal (6) du conteneur interne, ainsi que par deux parois d'extrémité axiale opposées (18) traversées par l'axe central longitudinal (6), au moins l'une des deux parois d'extrémité axiale opposées (18) du conteneur interne étanche étant équipée d'une vanne (20) de remplissage d'hexafluorure d'uranium; - un conteneur externe étanche (8) délimitant une seconde



WO 2022/200719 A1

KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée:**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

---

enceinte de confinement (15) dans laquelle est logé, de manière extractible, le conteneur interne (2); et - deux capots amortisseurs de choc (19) fixés de manière démontable sur respectivement deux extrémités axiales opposées du conteneur externe (8).

**DESCRIPTION****TITRE : ENSEMBLE POUR LE TRANSPORT D'HEXAFLUORURE D'URANIUM, COMPRENANT DES CAPOTS AMORTISSEURS DE CHOC****DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention se rapporte au domaine du transport d'hexafluorure d'uranium, en particulier destiné à être réalisé entre une installation d'enrichissement et des sites de fabrication d'éléments combustibles nucléaires.

**ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

L'enrichissement de l'uranium à partir d'une teneur en  $U^{235}$  d'environ 0,71%, jusqu'à environ 5,0% et au-delà, est effectué dans des installations d'enrichissement sous la forme chimique d'hexafluorure d'uranium (UF<sub>6</sub>). L'UF<sub>6</sub> enrichi est ensuite utilisé pour la fabrication d'éléments combustibles nucléaires.

Le transport de l'uranium enrichi entre l'installation d'enrichissement et les sites de fabrication d'éléments combustibles se fait donc sous la forme chimique d'UF<sub>6</sub>. Dans une telle installation d'enrichissement, l'uranium est ainsi conditionné sous la forme d'hexafluorure d'uranium enrichi dans des cylindres étanches, également dénommés conteneurs internes étanches.

Outre les dangers résultant de sa radioactivité, voire de son caractère fissile, l'hexafluorure d'uranium présente également un fort risque chimique. La réglementation prévoit donc des prescriptions particulières pour le transport d'hexafluorure d'uranium enrichi.

A titre d'exemple indicatif, les conteneurs internes étanches doivent satisfaire les exigences spécifiques de la norme ISO 7195 qui régit la conception, la fabrication et l'utilisation de ces conteneurs internes étanches.

La quasi-totalité des conteneurs internes étanches utilisés actuellement pour le transport d'hexafluorure d'uranium enrichi répondent à la dénomination normalisée de « cylindre 30B ».

Cependant, pour les enrichissements supérieurs à 5%, la maîtrise de la sous-criticité peut s'avérer techniquement difficile avec les conteneurs internes conventionnels du type « cylindre 30B » ou équivalents.

5 Pour répondre à cette problématique, une première famille de solutions consiste à accepter l'introduction d'eau dans le conteneur interne étanche, ce qui impose néanmoins la mise en place d'éléments de poison neutronique à l'intérieur de ce conteneur. La capacité de chargement d'hexafluorure d'uranium se trouve bien évidemment altérée par la présence des éléments de poison neutronique au sein de la cavité définie par le conteneur interne. De plus, ces éléments de poison neutronique  
10 introduisent des risques de mauvais remplissage de l'hexafluorure d'uranium dans la cavité, du fait de l'éventuelle cristallisation de l'UF<sub>6</sub> autour des éléments de poison neutronique, tels que des barreaux borés. Enfin, cette solution entraîne des coûts de maintenance élevés, notamment en raison du besoin de vérification de l'épaisseur des éléments de poison neutronique, sensibles à la corrosion.

15 Une seconde famille de solutions consiste à exclure l'introduction d'eau dans le conteneur interne étanche, mais il nécessite dans ce cas une double paroi pour satisfaire le critère de sous-criticité. Ce type de conception implique de former une double barrière étanche à l'eau, comme par exemple celle divulguée dans le document US2014/0027315. Or ces solutions conduisent également à réduire le volume de stockage d'UF<sub>6</sub> dans la  
20 cavité du conteneur interne, ce qui n'est pas souhaitable. Leurs conceptions s'éloignent par ailleurs de celles des conteneurs internes conventionnels / normalisés du type « cylindre 30B » ou équivalents. En outre, l'espace annulaire prévu entre les deux parois d'un tel conteneur génère une inertie thermique néfaste, puisqu'elle provoque des contraintes fortes durant certaines phases d'exploitation nécessitant un chauffage du  
25 conteneur, par exemple lors du remplissage d'hexafluorure d'uranium dans la cavité du conteneur. Cette inertie thermique nécessite une durée de chauffage plus élevée et/ou une puissance de chauffage accrue, s'accompagnant nécessairement d'un impact négatif en termes de coûts.

Il existe par conséquent un besoin d'optimisation de la conception des ensembles existants pour le transport d'hexafluorure d'uranium, notamment lorsque celui-ci est enrichi à une valeur supérieure à 5%, du fait des risques de sur-criticité qui en découlent.

### EXPOSÉ DE L'INVENTION

- 5 L'invention a donc pour but de répondre au besoin identifié ci-dessus. Pour ce faire, l'invention a tout d'abord pour objet un ensemble pour le transport d'hexafluorure d'uranium, comprenant :
- un conteneur interne étanche, définissant une première enceinte de confinement destinée à être chargée d'hexafluorure d'uranium, le conteneur interne étanche
  - 10 présentant une forme générale cylindrique de section circulaire, la première enceinte de confinement étant délimitée par une paroi latérale s'étendant autour d'un axe central longitudinal du conteneur interne, ainsi que par deux parois d'extrémité axiale opposées traversées par l'axe central longitudinal, au moins l'une des deux parois d'extrémité axiale opposées du conteneur interne étanche étant équipée d'une vanne de remplissage
  - 15 d'hexafluorure d'uranium ainsi que d'un prolongement axial annulaire de protection de la vanne de remplissage d'hexafluorure d'uranium, le prolongement s'étendant axialement au-delà de la vanne de remplissage ;
  - un conteneur externe étanche délimitant une seconde enceinte de confinement dans laquelle est logé, de manière extractible, le conteneur interne étanche ; et
  - 20 - deux capots amortisseurs de choc fixés de manière démontable sur respectivement deux extrémités axiales opposées du conteneur externe étanche.

La nouvelle conception proposée permet de répondre au critère de sous-criticité même pour le transport d'hexafluorure d'uranium fortement enrichi (enrichissement supérieur à 5% en masse), grâce en particulier à la double enceinte de confinement qu'elle propose.

- 25 En outre, cette conception permet avantageusement d'utiliser des conteneurs internes conventionnels / normalisés existants du type « cylindre 30B » ou équivalents (en conservant notamment leurs capacités de chargement en hexafluorure d'uranium), tout en offrant des facilités de chauffage du conteneur interne étanche. En effet, en exploitation et plus particulièrement pour les besoins des opérations de remplissage

d'hexafluorure d'uranium, le conteneur interne peut être aisément extrait du conteneur externe étanche, pour pouvoir être ensuite plus facilement chauffé sans être contraint par les problèmes d'inertie thermique rencontrés dans l'art antérieur.

Enfin, la présence de capots amortisseurs aux extrémités axiales du conteneur externe permet de renforcer la résistance mécanique de l'ensemble, notamment pour satisfaire le critère mécanique en cas de chute, et ce sans pénaliser trop fortement la masse globale de l'ensemble.

L'invention présente de préférence au moins l'une des caractéristiques optionnelles suivantes, prises isolément ou en combinaison.

10 De préférence, le conteneur externe étanche comporte un étui ainsi qu'un couvercle fixé de manière démontable sur l'étui, ce dernier délimitant une ouverture d'introduction axiale du conteneur interne étanche dans la seconde enceinte de confinement.

De préférence, le conteneur interne est agencé dans le conteneur externe de sorte que la vanne de remplissage du conteneur interne fait face au couvercle du conteneur externe.

15 De préférence, une couche de matériau isolant neutronique, de préférence réalisée dans un matériau comprenant du bore et/ou hydrogéné, est prévue :

- sur une surface latérale externe du conteneur externe étanche ; et/ou
- sur une surface latérale interne du conteneur externe étanche ; et/ou
- lorsque le conteneur externe étanche présente une double paroi latérale, entre les deux parois de la double paroi latérale.

20 La ou les couches de matériau isolant neutronique permettent d'atteindre le facteur de multiplication effectif « Keff » souhaité, et donc de plus facilement répondre au critère de sous-criticité.

De préférence, la paroi latérale du conteneur externe étanche est en acier. Ce matériau est aussi préférentiellement utilisé pour le conteneur interne étanche.

De préférence, les parois latérales du conteneur externe étanche et du conteneur interne étanche sont en acier et présentent une épaisseur cumulée supérieure ou égale à 13 mm. Cette épaisseur cumulée permet non seulement de satisfaire le critère de résistance mécanique de l'ensemble, mais, de façon surprenante, elle contribue également à

30 satisfaire le critère de sous-criticité pour l'application souhaitée. En effet, il a été observé

que l'acier participe à la sous-criticité de l'ensemble, alors qu'habituellement, il demeure transparent ou quasi-transparent vis-à-vis des neutrons. Cet avantage inattendu semble résulter du spectre énergétique dégagé par l'hexafluorure d'uranium, visiblement différent de celui dégagé par d'autres sources, comme le combustible nucléaire irradié.

5 Ainsi, du fait de ce spectre énergétique particulier dans l'application souhaitée, l'acier va réagir différemment avec les neutrons émis par l'hexafluorure d'uranium. Ces parois en acier vont ainsi avantageusement contribuer à satisfaire le critère de sous-criticité, de préférence en association avec une ou plusieurs couches de matériau isolant neutronique, comme mentionné précédemment.

10 De préférence, l'un des deux capots amortisseurs de choc comporte un élément amortisseur de choc en regard axialement de la vanne de remplissage d'hexafluorure d'uranium prévue sur le conteneur interne étanche. Cet élément amortisseur permet ainsi de protéger convenablement la vanne de remplissage, correspondant généralement au point le plus vulnérable du conteneur interne étanche en cas de chute.

15 De préférence, chaque capot amortisseur de choc comporte un renforcement dans lequel est logée l'extrémité axiale associée du conteneur externe étanche.

De préférence, l'ensemble présente une longueur inférieure ou égale à la longueur d'un conteneur ISO de 20 pieds selon la direction de l'axe central longitudinal du conteneur interne étanche, et de préférence une longueur inférieure ou égale à la longueur d'un  
20 conteneur ISO de 15 pieds.

De préférence, le conteneur interne étanche est conçu pour répondre à la norme ISO 7195 portant sur le transport d'hexafluorure d'uranium, selon l'une quelconque des deux éditions parues en 2005 et 2020. Cette norme, s'inscrivant dans le domaine de l'énergie nucléaire, présente des conteneurs dits cylindres, portant notamment les références 5B,  
25 8A, 12B, 30B ou 30C (ce dernier cylindre n'étant concerné que par l'édition 2020 de la norme ISO 7195). L'invention est ainsi préférentiellement mise en œuvre avec ces cylindres 5B, 8A, 12B, 30B, 30C.

L'invention a également pour objet un système comprenant un véhicule de transport d'hexafluorure d'uranium, ainsi qu'au moins un ensemble tel que décrit ci-dessus, monté  
30 sur une plateforme de chargement de ce véhicule, qui est préférentiellement un véhicule

de transport routier, ferroviaire ou maritime. A cet égard, il est noté que chaque ensemble peut être monté directement sur la plateforme du véhicule, ou indirectement par l'intermédiaire d'un conteneur à plateau, lui-même destiné à être monté de manière amovible sur la plateforme du véhicule.

- 5 De préférence, chaque ensemble est orienté de sorte que l'axe central longitudinal de son conteneur interne étanche soit agencé parallèlement à une direction d'avancement du véhicule de transport. Cela rompt ainsi avec les solutions existantes, dans lesquelles l'axe du conteneur interne étanche est habituellement agencé orthogonalement à la direction d'avancement du véhicule.
- 10 De préférence, plusieurs ensembles sont montés sur la plateforme de chargement du véhicule, en étant empilés les uns sur les autres, et/ou agencés les uns derrière les autres selon la direction d'avancement du véhicule de transport, et/ou agencés les uns à côté des autres.
- Par exemple, plusieurs ensembles sont montés sur un conteneur plateau, couramment appelé « flatrack » (en anglais), lui-même monté sur la plateforme du véhicule.
- 15 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

Cette description sera faite au regard des dessins annexés parmi lesquels ;

- 20 [Fig. 1] représente une vue en perspective d'un système selon l'invention, comprenant un véhicule de transport d'hexafluorure d'uranium, ainsi que deux ensembles pour le transport d'hexafluorure d'uranium montés sur la plateforme de chargement du véhicule, l'un des deux ensembles étant représenté partiellement coupé pour davantage de clarté sur cette figure ;
- 25 [Fig. 2] est une vue en perspective éclatée de l'un des deux ensembles de transport montrés sur la figure 1, selon un mode de réalisation préféré de l'invention ;
- [Fig. 3] est une vue en coupe transversale de l'ensemble de transport, prise selon le plan P1 de la figure 2 ;

[Fig. 4] est une vue de côté du conteneur interne étanche logé à l'intérieur de l'ensemble montré sur les figures 2 et 3 ;

[Fig. 5] est une vue de face du conteneur interne montré sur la figure précédente, selon la direction axiale du conteneur interne, montrant la paroi d'extrémité axiale équipée d'une vanne de remplissage d'hexafluorure d'uranium ;

[Fig. 6] est une vue partielle agrandie de celle de la figure 4, montrant plus spécifiquement la vanne de remplissage du conteneur interne ;

[Fig. 7] est une vue en coupe axiale de l'ensemble de transport, prise selon le plan P2 de la figure 2 ; et

[Fig. 8] est une vue partielle et agrandie en coupe axiale de l'ensemble de transport, se présentant selon une alternative du mode de réalisation préféré montré sur les figures précédentes.

#### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

En référence tout d'abord à la figure 1, il est représenté un système 100 comprenant un véhicule de transport d'hexafluorure d'uranium, ce véhicule étant ici un véhicule de transport routier dont seule la partie remorque 202 a été représentée. Alternativement, il pourrait s'agir d'un véhicule de transport ferroviaire ou maritime, sans sortir du cadre de l'invention.

Le système 100 est complété par un ou plusieurs ensembles 1 spécifiques à la présente invention, montés de manière amovible sur la plateforme 205 de la remorque 202. Plus précisément, chaque ensemble 1 présente un corps latéral cylindrique solidaire d'un berceau 3, lui-même monté amovible sur un châssis 5 fixé sur la plateforme 205. Cette fixation du châssis 5 sur la plateforme 205 est également préférentiellement démontable. Selon une alternative non représentée, il peut être mis en œuvre un conteneur à plateau, également dénommé « flatrack » ou encore « conteneur maritime ». Dans ce cas de figure, le conteneur à plateau présente un plateau sur lequel sont montés les châssis 5 supportant les ensembles 1, avec ce plateau lui-même monté de manière amovible sur la plateforme 205 de la remorque 202.

Chaque ensemble 1 intègre un unique conteneur interne étanche 2, dont l'un est visible que très partiellement sur la figure 1. Ce conteneur interne étanche 2 est destiné à être chargé d'hexafluorure d'uranium, de préférence enrichi à une valeur supérieure à 5% en masse. Ici, ce sont deux ensembles de transport 1 qui sont agencés l'un derrière l'autre  
5 selon la direction d'avancement 206 du véhicule, en étant chacun fixé et en appui sur la plateforme 205. Alternativement ou simultanément, ces ensembles de transport 1 peuvent être empilés les uns sur les autres, ou encore, toujours alternativement ou simultanément, agencés les uns à côté des autres sur cette même plateforme.

Le nombre d'ensembles de transport 1 susceptibles d'être chargés sur la plateforme  
10 dépend notamment de la longueur de celle-ci, ainsi que de la longueur des ensembles 1. Selon la direction d'avancement 206 du véhicule 200, la plateforme 205 présente une longueur L1 égale ou sensiblement égale à la longueur d'une plateforme ISO de 40 pieds. Cela permet de mettre en œuvre l'invention avec des moyens standards, facilement disponibles sur le marché.

Par ailleurs, chaque ensemble de transport 1 est orienté sur la plateforme 205 de manière  
15 à ce que sa plus grande longueur L2 soit dans le sens de la direction d'avancement 206. Cette longueur L2 est préférentiellement inférieure ou égale à la longueur intérieure d'un conteneur à plateau ISO de 20 pieds (soit une longueur d'environ 5,7 mètres), et encore plus préférentiellement inférieure ou égale à la longueur intérieure d'un conteneur à  
20 plateau ISO de 15 pieds (soit une longueur d'environ 4,6 mètres). De cette manière, la plateforme 205 peut aisément transporter deux ensembles 1 l'un derrière l'autre, ou bien deux empilements d'ensembles 1 agencés l'un derrière l'autre.

Les ensembles de transport 1, qui seront détaillés ci-après, sont également agencés de telle sorte que l'axe central longitudinal 6 du conteneur interne étanche 2, soit orienté  
25 parallèlement à la direction d'avancement 206.

Par la suite, il va être décrit l'un des ensembles 1 de transport d'hexafluorure d'uranium enrichi à une valeur supérieure à 5%, selon un mode de réalisation préféré de l'invention. A cet égard, il est indiqué que tous les ensembles 1 destinés à être montés sur la  
30 plateforme 205 présentent une conception identique ou similaire à celle détaillée ci-après.

En référence aux figures 1 à 7, l'ensemble 1 comporte un conteneur externe étanche 8, formant l'enveloppe extérieure de l'ensemble, et délimitant une cavité 15. L'ensemble 1 comporte également un unique conteneur interne étanche 2, délimitant intérieurement un espace 14 de chargement d'hexafluorure d'uranium, cet espace 14 formant une

5 première enceinte de confinement. De plus, la cavité 15 délimitée intérieurement par le conteneur externe 8 forme une seconde enceinte de confinement 15, dans laquelle est logé, de manière extractible, l'unique conteneur interne étanche 2.

Egalement, deux capots amortisseurs de chocs 19 sont montés de manière démontable, respectivement sur les deux extrémités axiales opposées du conteneur externe étanche

10 8.

Le conteneur interne étanche 2 présente une forme générale cylindrique de section circulaire, centrée sur l'axe central longitudinal 6 du conteneur interne 2 concerné. Le conteneur interne 2 est disposé de manière à ce que son axe 6 soit parallèle à la plateforme sur laquelle l'ensemble 1 est destiné à être monté pour son transport. Plus

15 précisément en référence aux figures 4 à 6, le conteneur interne étanche 2, destiné au chargement d'hexafluorure d'uranium enrichi, correspond préférentiellement à un conteneur normalisé connu sous l'appellation « cylindre 30B ». Alternativement, il pourrait s'agir de l'un quelconque des cylindres 5B, 8A, 12B, 30C, répondant à la même norme ISO 7195.

Il comporte l'espace de chargement 14 formant la première enceinte de confinement, délimitée par une paroi latérale cylindrique 16 de section circulaire, s'étendant autour de l'axe 6. Cette paroi latérale 16 est complétée par deux parois opposées d'extrémité axiale 18, chacune de forme bombée vers l'extérieur et traversée en son centre par l'axe central longitudinal 6.

20

L'une des deux parois d'extrémité axiale 18 est équipée d'une vanne 20 de remplissage d'hexafluorure d'uranium, le mieux visible sur la figure 6. Cette vanne 20 s'étend en saillie axialement à partir de la paroi d'extrémité axiale 18, à l'extérieur de l'enceinte de confinement 14. Elle est protégée par un prolongement axial annulaire 22 de protection, s'étendant axialement au-delà de la vanne de remplissage 20. Ce prolongement 22

25

30 présente une forme cylindrique de section identique ou similaire à celle de la paroi

latérale 16 à proximité de sa jonction avec celle-ci, puis se termine par une extrémité 24 légèrement recourbée vers l'intérieur, en direction de l'axe 6. Un prolongement 22 identique ou similaire peut être prévu sur l'autre paroi d'extrémité axiale 18, par exemple pour protéger un bouchon de vidange 26.

5 Le conteneur externe étanche 8 prend ici la forme d'un « canister », c'est-à-dire d'un étui cylindrique 56 fermé par un couvercle 58 fixé de manière réversible à une extrémité axiale de cet étui. Au niveau de cette extrémité axiale de l'étui 56, c'est-à-dire celle opposée au fond de ce même étui, ce dernier délimite une ouverture 60 d'introduction axiale du conteneur interne étanche 2, dans la seconde enceinte de confinement 15  
10 délimitée par l'étui centré sur l'axe 6, et le couvercle 58 traversé orthogonalement par ce même axe.

Ici, un dispositif d'étanchéité (non représenté) est agencé au niveau de l'interface entre l'étui 56 et le couvercle 58, de manière à obtenir la seconde enceinte de confinement 15. Ce dispositif d'étanchéité peut être conventionnel, par exemple du même type que celui  
15 habituellement rencontré sur un couvercle d'un emballage classique de transport et/ou d'entreposage de matières radioactives. A titre d'exemple, il est prévu au moins un joint d'étanchéité, par exemple torique concentrique, disposé sur le couvercle, entre ce couvercle et l'extrémité du corps latéral de l'étui 56. Des vis permettant de fixer le couvercle sur le corps latéral de l'étui assurent la compression du joint entre le couvercle  
20 et le corps latéral.

L'ouverture 60 s'inscrit dans un plan orthogonal ou sensiblement orthogonal à l'axe 6 du conteneur interne unique 2 reçu dans l'étui 56. Avec une telle ouverture axiale 60, le conteneur interne 2 est destiné à être introduit dans l'étui 56 en étant déplacé dans une direction de déplacement parallèle à son axe 6.

25 L'intérieur de la seconde enceinte de confinement 15 et la surface extérieure du conteneur interne 2 présentent une complémentarité de forme, avec par exemple un jeu radial faible prévu entre les deux, en rapport à l'axe 6.

La paroi latérale et le fond de l'étui 56, ainsi que le couvercle 58, sont préférentiellement réalisés en acier, tout comme la paroi latérale 16 et les parois d'extrémité axiale 18 du  
30 conteneur interne 2. En outre, l'épaisseur cumulée des deux parois latérales en acier des

deux conteneurs 2, 8 est préférentiellement supérieure ou égale à 13 mm. Cela permet non seulement de conférer une résistance mécanique satisfaisante à l'ensemble 1, mais cette épaisseur d'acier permet également, de manière surprenante, de satisfaire le critère de sous-criticité pour l'application souhaitée, à savoir le transport d'UF6 enrichi.

5 Le critère de sous-criticité est également rempli grâce à la présence préférentielle d'une ou plusieurs couches de matériau isolant neutronique, réalisées par exemple dans un matériau comprenant du bore et/ou hydrogéné. A titre indicatif, il est noté que ce matériau isolant neutronique peut être un matériau très hydrogéné et sans bore, comme le silicone. Alternativement, ce matériau peut comporter du bore et pas d'hydrogène,  
10 comme un alliage d'aluminium au bore du type Al-B4C. Il peut également comporter de l'hydrogène et du bore, comme un polyéthylène haute densité (PEHD) boré.

Une telle couche peut par exemple être prévue sur une surface latérale externe du conteneur externe étanche 8, et/ou sur une surface latérale interne de ce dernier.

Dans l'alternative de réalisation montrée sur la figure 8, l'étui 56 du conteneur externe  
15 étanche 8 présente une double paroi latérale, formée par deux parois latérales 8', 8'', de préférence concentriques et définissant entre elles un espace annulaire au moins partiellement comblé par une telle couche de matériau isolant neutronique 40. Dans cette alternative, la paroi latérale 16 en acier du conteneur interne 2 présente une épaisseur E1, la paroi latérale 8' du conteneur externe 8 présente une épaisseur E'2,  
20 tandis que sa paroi latérale 8'' présente une épaisseur E''2. Dans ce contexte, c'est le cumul des épaisseurs E1, E'2, E''2 qui aboutit à une valeur supérieure ou égale à 13 cm, de manière à conférer des propriétés satisfaisantes pour l'ensemble 1, en matière de résistance mécanique et de sous-criticité.

Quel que soit le mode de réalisation envisagé, chacune des couches de matériau isolant  
25 neutronique énumérées ci-dessus peut être prévue seule sur l'ensemble 1, ou en combinaison avec une ou plusieurs autres de ces couches.

En référence plus spécifiquement à la figure 7, il est noté que le conteneur interne 2 est agencé dans l'enceinte de confinement 15 du conteneur externe 8, de sorte que la vanne de remplissage 20 soit axialement en regard du couvercle 58 du conteneur externe 8. De  
30 plus, ce couvercle 58 est protégé par la présence du capot amortisseur 19 monté sur

l'extrémité axiale correspondante du conteneur externe 8. Pour ce faire, le capot 19 présente un renforcement 21 dans lequel sont logés le couvercle 58, ainsi que l'extrémité axiale de l'étui 56 portant ce couvercle.

5 Le renforcement axial 21, améliorant la tenue mécanique du capot 19 sur le conteneur externe 8, est défini par une paroi externe métallique 23 du capot, de préférence en acier. Cette paroi externe 23 renferme un ou plusieurs éléments amortisseurs de choc 25, dont l'un ou plusieurs sont agencés en regard axialement de la vanne 20 de remplissage d'hexafluorure d'uranium prévue sur le conteneur interne étanche 2. Cet élément amortisseur 25 permet ainsi de protéger convenablement la vanne 20, correspondant à  
10 une zone particulièrement sensible du conteneur interne étanche 2 en cas de chute. Un agencement identique ou similaire est prévu à l'extrémité axiale opposée du conteneur externe 8, avec l'autre capot 19 pour protéger le bouchon de vidange 26 du conteneur interne 2.

Avec cet ensemble 1 sous forme de deux enveloppes imbriquées l'une dans l'autre et  
15 complétées par les capots amortisseurs 19, et dont les deux enveloppes intérieures 2, 8 définissent une double enceinte de confinement, l'invention permet de répondre au critère de sous-criticité même pour le transport d'hexafluorure d'uranium fortement enrichi, c'est-à-dire présentant un enrichissement supérieur à 5% en masse. De plus, cette conception permet d'utiliser des conteneurs internes 2 conventionnels / normalisés  
20 existants du type « cylindre 30B », ou équivalents mentionnés ci-dessus, conservant ainsi leurs capacités de chargement en hexafluorure d'uranium. Egalement, cette conception offre avantageusement des facilités pour le chauffage du conteneur interne étanche 2. En exploitation, et plus particulièrement pour les besoins des opérations de remplissage d'hexafluorure d'uranium, le conteneur interne 2 peut être facilement extrait du  
25 conteneur externe 8, pour pouvoir être ensuite plus facilement chauffé, par exemple dans un four prévu à cet effet, sans être sujet à des problèmes d'inertie thermique. Le temps de chauffage et/ou la puissance de chauffe peuvent avantageusement être réduits. Il est noté que le caractère extractible du conteneur interne 2 vis-à-vis du conteneur externe étanche 8, se comprend comme la capacité d'ouvrir la seconde enceinte de  
30 confinement 15 de manière non-destructive, c'est-à-dire de manière réversible de façon à

pouvoir ensuite la refermer, puis la rouvrir, etc. Cette fonctionnalité est préférentiellement obtenue en utilisant des moyens de fixation réversible entre différentes parties du conteneur externe 8, comme les boulons précités.

5 Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier à l'invention qui vient d'être décrite, uniquement à titre d'exemples non limitatifs, et dans la limite de la portée définie par les revendications annexées.

**REVENDICATIONS**

1. Ensemble (1) pour le transport d'hexafluorure d'uranium, caractérisé en ce qu'il comprend :

5 - un conteneur interne étanche (2), définissant une première enceinte de confinement (14) destinée à être chargée d'hexafluorure d'uranium, le conteneur interne étanche (2) présentant une forme générale cylindrique de section circulaire, la première enceinte de confinement (14) étant délimitée par une paroi latérale (16) s'étendant autour d'un axe central longitudinal (6) du conteneur interne, ainsi que par deux parois d'extrémité axiale opposées (18) traversées par l'axe central longitudinal (6), au moins l'une des deux parois d'extrémité axiale opposées (18) du conteneur interne étanche étant équipée d'une  
10 vanne (20) de remplissage d'hexafluorure d'uranium ainsi que d'un prolongement axial annulaire (22) de protection de la vanne de remplissage d'hexafluorure d'uranium (20), le prolongement (22) s'étendant axialement au-delà de la vanne de remplissage (20) ;

15 - un conteneur externe étanche (8) délimitant une seconde enceinte de confinement (15) dans laquelle est logé, de manière extractible, le conteneur interne étanche (2) ; et

- deux capots amortisseurs de choc (19) fixés de manière démontable sur respectivement deux extrémités axiales opposées du conteneur externe étanche (8).

2. Ensemble selon la revendication 1, caractérisé en ce que le conteneur externe étanche (8) comporte un étui (56) ainsi qu'un couvercle (58) fixé de manière démontable sur  
20 l'étui, ce dernier délimitant une ouverture (60) d'introduction axiale du conteneur interne étanche (2) dans la seconde enceinte de confinement (15).

3. Ensemble selon la revendication 2, caractérisé en ce que le conteneur interne (2) est agencé dans le conteneur externe (8) de sorte que la vanne de remplissage (20) du conteneur interne fait face au couvercle (58) du conteneur externe (8).

25 4. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une couche (40) de matériau isolant neutronique, de préférence réalisée dans un matériau comprenant du bore et/ou hydrogéné, est prévue :

- sur une surface latérale externe du conteneur externe étanche (8) ; et/ou
- sur une surface latérale interne du conteneur externe étanche (8) ; et/ou
- lorsque le conteneur externe étanche (8) présente une double paroi latérale, entre les deux parois (8', 8'') de la double paroi latérale.

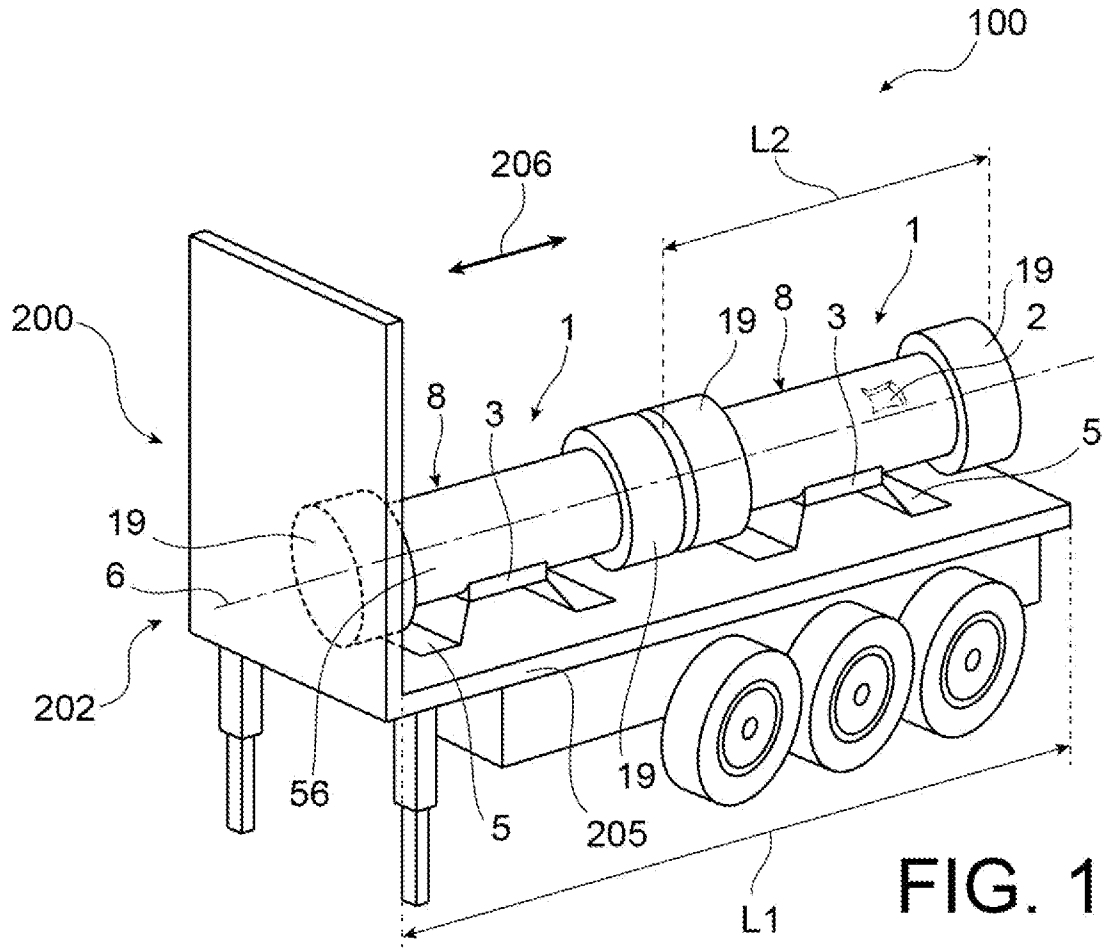
- 5 5. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la paroi latérale du conteneur externe étanche (8) est en acier.
6. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les parois latérales du conteneur externe étanche (8) et du conteneur interne étanche (2) sont en acier et présentent une épaisseur cumulée supérieure ou égale à 13  
10 mm.
7. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'un des deux capots amortisseurs de choc (19) comporte un élément amortisseur de choc (32) en regard axialement de la vanne (20) de remplissage d'hexafluorure d'uranium prévue sur le conteneur interne étanche (2).
- 15 8. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque capot amortisseur de choc (19) comporte un renforcement (21) dans lequel est logée l'extrémité axiale associée du conteneur externe étanche (8).
9. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il présente une longueur (L2) inférieure ou égale à la longueur d'un conteneur ISO de  
20 20 pieds selon la direction de l'axe central longitudinal (6) du conteneur interne étanche (2), et de préférence une longueur (L2) inférieure ou égale à la longueur d'un conteneur ISO de 15 pieds.
10. Ensemble selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le conteneur interne étanche (2) est conçu pour répondre à la norme ISO 7195  
25 portant sur le transport d'hexafluorure d'uranium.

11. Système (100) comprenant un véhicule (200) de transport d'hexafluorure d'uranium, ainsi qu'au moins un ensemble (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, monté sur une plateforme de chargement (205) de ce véhicule, qui est préférentiellement un véhicule de transport routier, ferroviaire ou maritime.

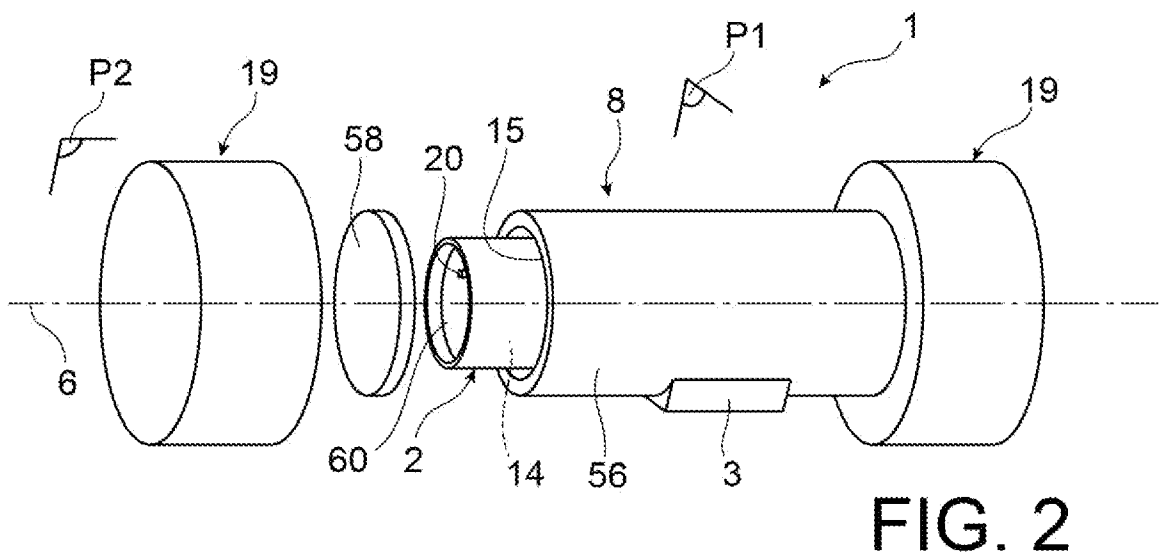
5 12. Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que chaque ensemble (1) est orienté de sorte que l'axe central longitudinal (6) de son conteneur interne étanche (2) soit agencé parallèlement à une direction d'avancement (206) du véhicule de transport.

10 13. Système selon la revendication 11 ou 12, caractérisé en ce que plusieurs ensembles (1) sont montés sur la plateforme de chargement (205) du véhicule, en étant empilés les uns sur les autres, et/ou agencés les uns derrière les autres selon la direction d'avancement (206) du véhicule de transport, et/ou agencés les uns à côté des autres.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

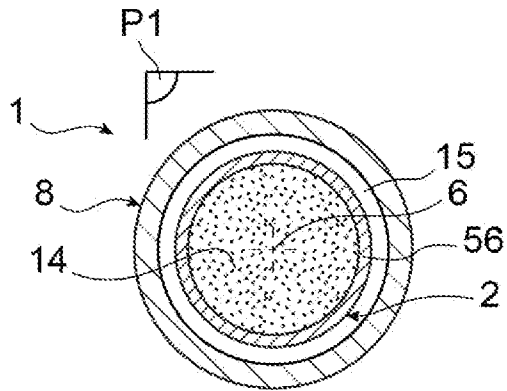


FIG. 3

5 [Fig. 4]

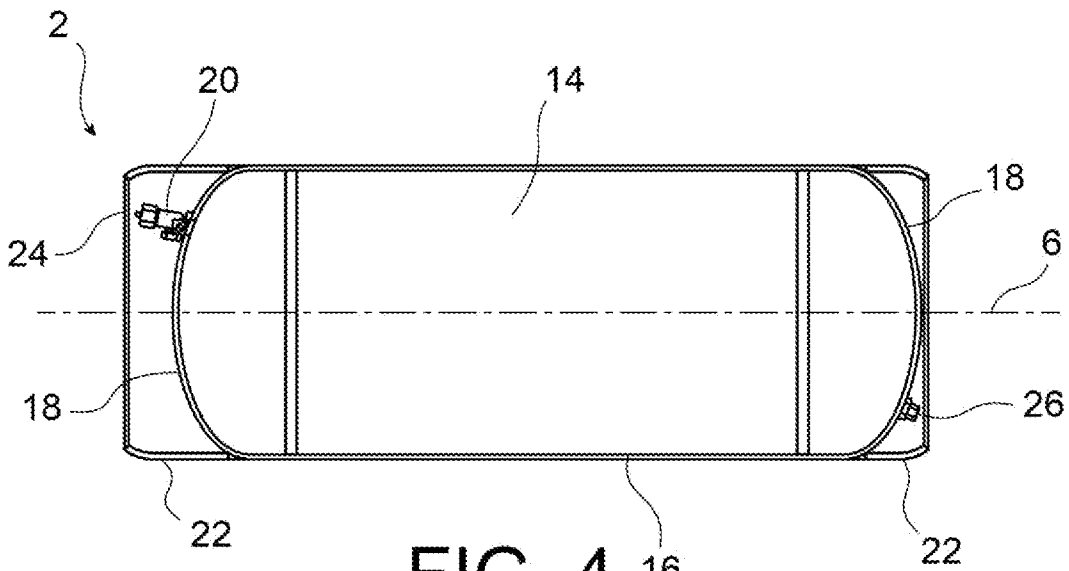


FIG. 4

[Fig. 5]

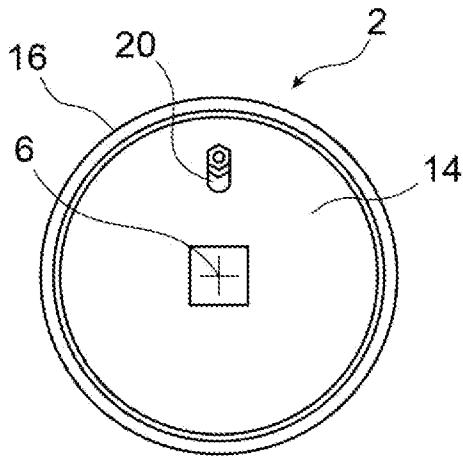


FIG. 5

[Fig. 6]

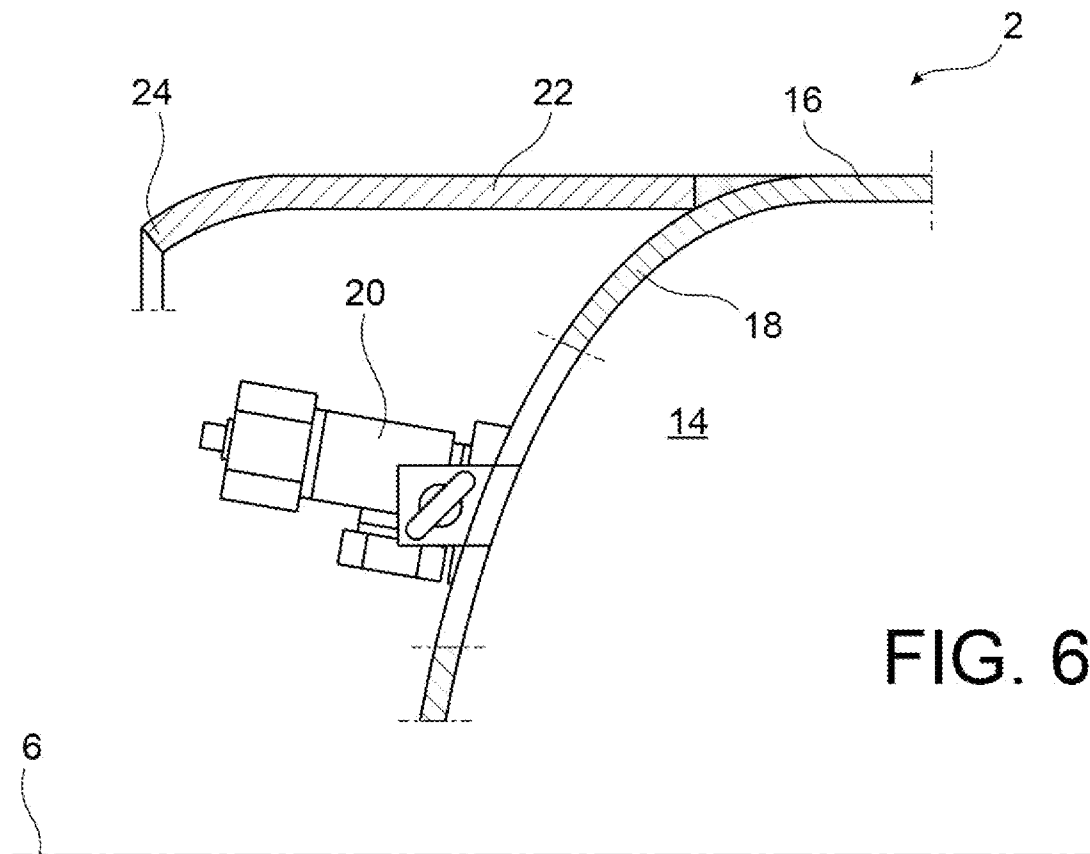


FIG. 6

[Fig. 7]

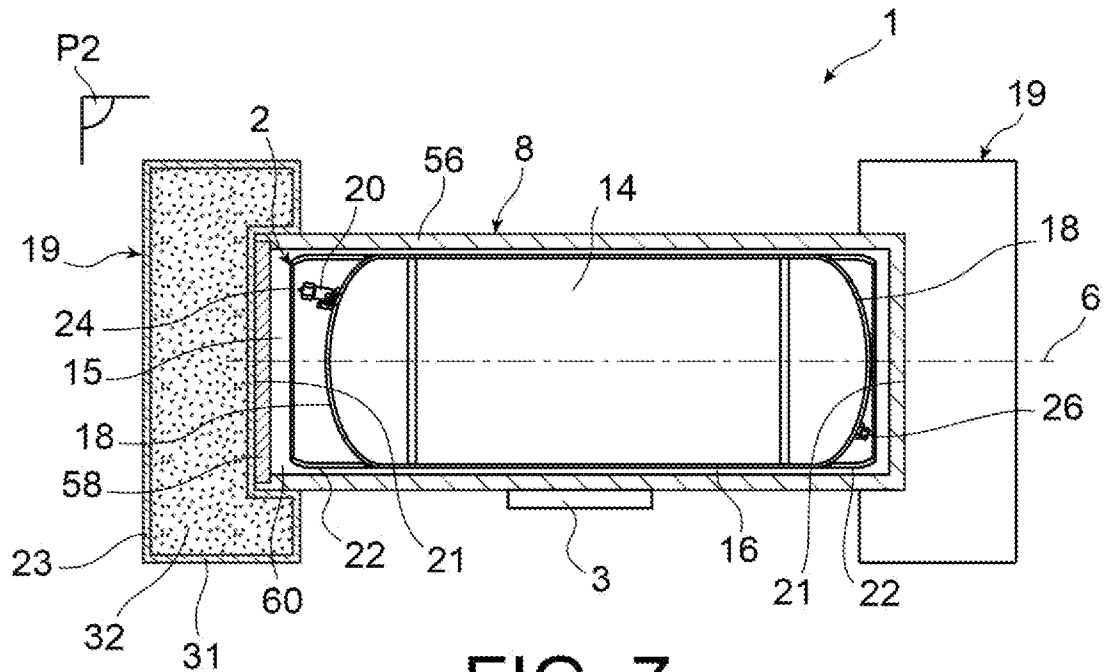


FIG. 7

5 [Fig. 8]

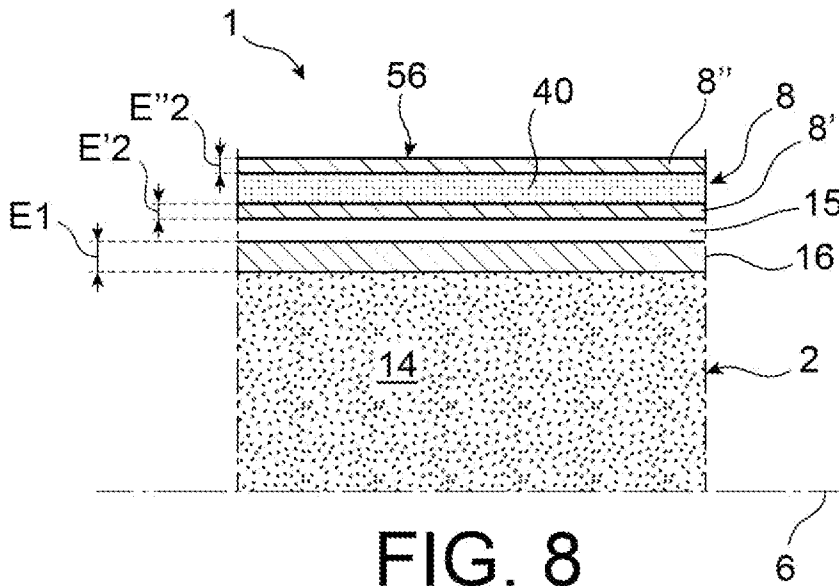


FIG. 8

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

**PCT/FR2022/050491**

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>G21F 5/002</i> (2006.01)i; <i>G21F 5/08</i> (2006.01)i  According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>  Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G21F; B65D; G21J  Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010043534 A1 (NUCLEAR CARGO & SERVICE GMBH [DE]; DAHER LHOTELLIER CSI [FR] ET AL.) 22 April 2010 (2010-04-22)	1,10-13
A	page 4, line 3 - page 11, line 8; figure 1	2-9
X	WO 2017194612 A1 (DAHER NUCLEAR TECH GMBH [DE]) 16 November 2017 (2017-11-16)	1,7-13
A	page 3, line 6 - page 16, line 12; claims 1-16; figures 1-5	2-6
Y	US 3484391 A (WHEATLEY SETH J ET AL) 16 December 1969 (1969-12-16)	1,10-13
A	column 5, line 5 - column 8, line 52	2-9
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search <b>20 June 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>28 June 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Lohberger, Severin</b>  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/FR2022/050491**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2010043534	A1	22 April 2010	DE	102008037569	A1	02 June 2010
				EP	2335251	A1	22 June 2011
				ES	2515969	T3	30 October 2014
				US	2011168600	A1	14 July 2011
				WO	2010043534	A1	22 April 2010
-----							
WO	2017194612	A1	16 November 2017	DE	102016108947	A1	16 November 2017
				EP	3455860	A1	20 March 2019
				WO	2017194612	A1	16 November 2017
-----							
US	3484391	A	16 December 1969	BE	697069	A	18 September 1967
				DE	1719271	A1	12 August 1971
				FR	1522623	A	26 April 1968
				GB	1142287	A	05 February 1969
				SE	335427	B	24 May 1971
				US	3484391	A	16 December 1969
-----							

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°  
**PCT/FR2022/050491**

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> <b>INV. G21F5/002 G21F5/08</b> <b>ADD.</b>		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) <b>G21F B65D G21J</b>		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) <b>EPO-Internal, WPI Data</b>		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
<b>Y</b>	<b>WO 2010/043534 A1 (NUCLEAR CARGO &amp; SERVICE GMBH [DE]; DAHER LHOTELLIER CSI [FR] ET AL.) 22 avril 2010 (2010-04-22)</b>	<b>1, 10-13</b>
<b>A</b>	<b>page 4, ligne 3 - page 11, ligne 8; figure 1</b>	<b>2-9</b>
-----		
<b>X</b>	<b>WO 2017/194612 A1 (DAHER NUCLEAR TECH GMBH [DE]) 16 novembre 2017 (2017-11-16)</b>	<b>1, 7-13</b>
<b>A</b>	<b>page 3, ligne 6 - page 16, ligne 12; revendications 1-16; figures 1-5</b>	<b>2-6</b>
-----		
<b>Y</b>	<b>US 3 484 391 A (WHEATLEY SETH J ET AL) 16 décembre 1969 (1969-12-16)</b>	<b>1, 10-13</b>
<b>A</b>	<b>colonne 5, ligne 5 - colonne 8, ligne 52</b>	<b>2-9</b>
-----		
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <span style="margin-left: 200px;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</span>		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention	
"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date	"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément	
"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)	"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier	
"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens	"&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
<b>20 juin 2022</b>	<b>28/06/2022</b>	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé  <b>Lohberger, Severin</b>	

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

**PCT/FR2022/050491**

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>WO 2010043534</b>	<b>A1</b>	<b>22-04-2010</b>	
		<b>DE 102008037569 A1</b>	<b>02-06-2010</b>
		<b>EP 2335251 A1</b>	<b>22-06-2011</b>
		<b>ES 2515969 T3</b>	<b>30-10-2014</b>
		<b>US 2011168600 A1</b>	<b>14-07-2011</b>
		<b>WO 2010043534 A1</b>	<b>22-04-2010</b>
-----			
<b>WO 2017194612</b>	<b>A1</b>	<b>16-11-2017</b>	
		<b>DE 102016108947 A1</b>	<b>16-11-2017</b>
		<b>EP 3455860 A1</b>	<b>20-03-2019</b>
		<b>WO 2017194612 A1</b>	<b>16-11-2017</b>
-----			
<b>US 3484391</b>	<b>A</b>	<b>16-12-1969</b>	
		<b>BE 697069 A</b>	<b>18-09-1967</b>
		<b>DE 1719271 A1</b>	<b>12-08-1971</b>
		<b>FR 1522623 A</b>	<b>26-04-1968</b>
		<b>GB 1142287 A</b>	<b>05-02-1969</b>
		<b>SE 335427 B</b>	<b>24-05-1971</b>
		<b>US 3484391 A</b>	<b>16-12-1969</b>
-----			