

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
23 décembre 2009 (23.12.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2009/153520 A2

- (51) Classification internationale des brevets : Non classée
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2009/051147
- (22) Date de dépôt international : 16 juin 2009 (16.06.2009)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 0853975 17 juin 2008 (17.06.2008) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : AREVA NC [FR/FR]; 33 rue La Fayette, F-75009 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : BARA, Jacques [FR/FR]; 2 route de Gazeran, Le Bois Dieu, F-78125 Hermeray (FR). MOTTIER, Daniel [FR/FR]; 25bis rue de l'Avenir, F-78320 Levis Saint Nom (FR).
- (74) Mandataires : LE ROUX, Martine et al.; Cabinet Beau De Lomenie, 158 rue de l'Université, F-75340 Paris Cedex 07 (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (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, SE, SI, SK, TR),

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : CASING INTERIOR AND CASING FOR THE DRY INTERMEDIATE STORAGE OF IRRADIATED FUEL ELEMENTS, AND INTERMEDIATE STORAGE METHOD

(54) Titre : INTERNE D'ETUI ET ETUI POUR L'ENTREPOSAGE A SEC D'ELEMENTS COMBUSTIBLES IRRADIES; PROCÈDE D'ENTREPOSAGE

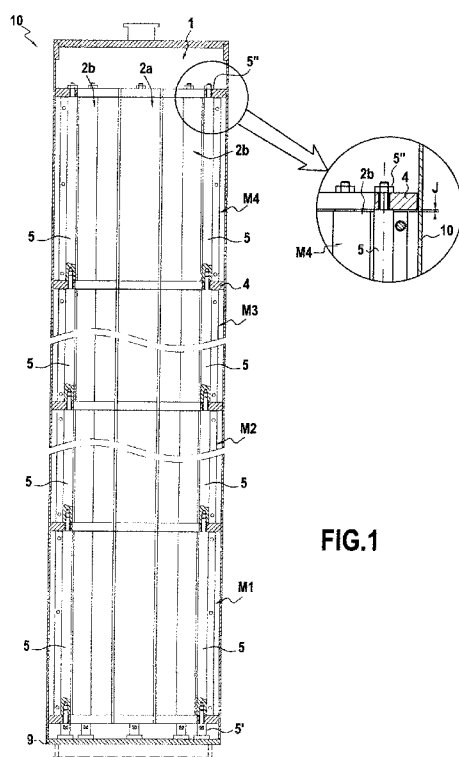


FIG.1

(57) Abstract : The invention relates to a casing interior (1) for the dry intermediate storage of at least one irradiated combustible element. Said casing interior (1) has a storied structure provided with at least two modules (M1, M2, M3, M4) positioned one above the other, each module (M1, M2, M3, M4) consisting of a good heat conductor material, with at least one receiving opening (2a, 2b) for said fuel element(s) in the central part and at least one recessed (3a, 3b) peripheral heat dissipator, and each module being arranged on a perforated bearing plate (4) in such a way as to enable the passage of said combustible element(s). The perforated bearing plates (4) of said structure are positioned and assembled by means of a holding system (5'+5''), with play (J) between the top of the module of a stepstorey (M_i) and the perforated bearing plate (4) of the storey (M_{i+1}) located directly above. The invention also relates to an intermediate storage casing (10) with such an interior (1), and to the corresponding storage method.

(57) Abrégé : La présente invention a pour objet : - un interne d'étui (1) convenant à l'entreposage à sec d'au moins un élément combustible

[Suite sur la page suivante]



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :
— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

irradié. Ledit interne étui (1) présente une structure étagée qui comprend au moins deux modules (M1, M2, M3, M4) superposés, chacun desdits modules (M1, M2, M3, M4), en un matériau bon conducteur thermique, avec alvéole(s) de réception (2a, 2b) pour le(s)dit(s) élément(s) combustible(s) en partie centrale et avec au moins un dissipateur de chaleur périphérique évidé (3a, 3b), étant agencé sur une plaque support ajourée (4) de façon à permettre le passage du(des)dit(s) élément(s) combustible(s); les plaques support ajourées (4) de ladite structure étant positionnées et assemblées au moyen d'un système de maintien (5'+5+5"), avec un jeu (J) ménagé entre le haut du module d'un étage (M_i) et la plaque support ajourée (4) de l'étage (M_{i+1}) immédiatement au dessus; - un étui (10) d'entreposage, équipé d'un tel interne d'étui (1); et - le procédé d'entreposage correspondant.

**Interne d'étui et étui pour l'entreposage à sec d'éléments
combustibles irradiés ; procédé d'entreposage**

La présente invention a pour objet :

- 5 - un interne d'étui (dispositif d'agencement interne d'un étui ; panier ou casier, interne à un étui) convenant à l'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié ;
- un étui d'entreposage à sec équipé d'un tel interne d'étui ; et
- 10 - un procédé d'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié, basé sur l'utilisation de tels étui et interne d'étui.

L'interne d'étui selon l'invention comprend, de façon caractéristique, une structure mixte au sein de laquelle la fonction thermique est dissociée de la fonction de tenue mécanique. Ceci est explicité plus avant.

- 15 Dans la description ci-après de l'invention présentement revendiquée, on entend par élément combustible irradié un élément combustible irradié ou un ensemble d'au moins deux éléments combustibles irradiés superposés. Un tel élément combustible irradié présente une structure verticale.

- 20 L'invention a été développée dans le contexte de l'entreposage à sec d'éléments combustibles irradiés. De tels éléments combustibles irradiés sont classiquement entreposés :

- soit dans l'attente d'un conditionnement convenant à leur stockage définitif (ils sont alors traités en tant que déchets) ;
- 25 - soit dans l'attente d'un traitement/recyclage en vue de leur valorisation.

- 30 A ce jour, l'entreposage à sec d'éléments combustibles irradiés n'est mis en œuvre que pour des éléments combustibles irradiés de faible puissance. La gestion de la conduction de la chaleur, pour assurer le refroidissement, n'est ainsi pas un problème critique. Lesdits éléments de faible puissance, à l'unité ou par deux, superposés, sont mis dans des étuis. Lesdits étuis ne sont pas équipés de structure de maintien. Lesdits étuis sont placés dans des paniers, lesquels paniers sont introduits dans des puits ventilés.

- 35 Dans un contexte voisin, on gère les problèmes de dissipation de calories. Ainsi, utilise-t-on, pour le transport d'éléments combustibles irradiés de forte puissance, des châteaux de transport spécifiques. Il s'agit

de structures lourdes, massives dans lesquelles on trouve, superposés, des blocs en aluminium coulé ; lesdits blocs stabilisant les éléments combustibles irradiés. Au sein desdits châteaux, lesdits blocs assurent une fonction thermique et une fonction de tenue mécanique.

5 Le problème technique abordé dans le cadre de la présente invention a été principalement celui de l'entreposage à sec, à l'unité ou par lots, d'éléments combustibles de plus forte puissance (présentant notamment, chacun, une puissance susceptible d'atteindre 5 kW) que ceux entreposés selon l'art antérieur. On voit plus loin que le système de
10 l'invention convient pour l'entreposage à sec de plusieurs éléments combustibles dans un même étui.

Quelle que soit la puissance en cause, il convient bien évidemment d'assurer le bon refroidissement des éléments combustibles irradiés entreposés pour éviter toute dégradation due à une température
15 excessive, pour assurer une tenue à long terme de la gaine desdits éléments combustibles. Le problème est d'autant plus critique que ladite puissance est élevée.

La bonne conduction de la chaleur de l'(des) élément(s) combustible(s) irradié(s) stocké(s) vers le système de refroidissement du
20 stockage devient, dans un contexte de puissance élevée, un paramètre très important, voire crucial. Cette conduction de la chaleur doit être assurée, évidemment, tout en maintenant l'(les) élément(s) combustible(s) irradié(s), en place, stable(s) dans l'étui d'entreposage, ce qui signifie que la structure de l'étui, y compris son interne d'étui
25 (agencement interne), doit conserver sa géométrie pendant toute la durée de l'entreposage.

Confrontés à un tel problème technique, les inventeurs proposent une solution innovante et performante basée sur une structure originale d'interne d'étui, structure étagée, mixte, à modules en un
30 matériau bon conducteur thermique (avantageusement l'aluminium), avec dissipateurs thermiques évités.

Selon son premier objet, la présente invention propose donc des internes d'étui originaux. Le concept d'interne d'étui est familier à l'homme du métier. On peut également parler de dispositif d'agencement interne
35 d'un étui, convenant, dans le cas présent, au positionnement stable des éléments combustibles à entreposer en son sein.

Les internes d'étui selon l'invention conviennent donc à l'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié. Ils présentent une structure originale. De façon caractéristique, ils présentent une structure étagée, qui comprend au moins deux modules

5 superposés ;

chacun desdits modules, en un matériau bon conducteur thermique, avec alvéole(s) de réception pour le(s)dit(s) élément(s) combustible(s) en partie centrale et au moins un dissipateur de chaleur évidé en périphérie (ci-après dénommé dissipateur de chaleur

10 périphérique évidé), étant agencé sur une plaque support ajourée de façon à permettre le passage du(des)dit(s) élément(s) combustible(s) ; les plaques support ajourées de ladite structure étant positionnées et assemblées au moyen d'un système de maintien avec un jeu ménagé entre le haut du module d'un étage et la plaque support ajourée de l'étage

15 immédiatement au-dessus.

Comme annoncé, ladite structure est mixte :

- la fonction thermique est assurée au moyen de modules en un matériau bon conducteur thermique (bon conducteur (bon dissipateur) de la chaleur). Par matériaux bons conducteurs thermiques, on entend dans

20 le présent texte, des matériaux dont la conductivité thermique est supérieure à $150 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Une telle définition est communément admise par les spécialistes des matériaux. Des matériaux de ce type (présentant une telle conductivité thermique) sont connus, communément utilisés à ce jour ; d'autres matériaux de ce type (présentant une telle conductivité

25 thermique) sont susceptibles d'être développés dans le futur. L'homme du métier connaît notamment l'argent, le cuivre, l'or et l'aluminium. Aucun de ces métaux n'est *a priori* écarté, à titre de matériau constitutif des modules. Toutefois, l'on conçoit bien que l'utilisation de l'argent ou de l'or pose plus particulièrement problème en terme de coût, que l'utilisation de

30 l'aluminium est à coup sûr préférée. Le cuivre peut assurément être employé mais l'on explique ci-après pourquoi l'aluminium est préféré. Le cuivre et l'aluminium sont tous deux de bons conducteurs thermiques, mais le cuivre a l'inconvénient d'être plus cher en approvisionnement et en mise en œuvre. Le cuivre est en effet beaucoup plus difficilement

35 adaptable aux géométries souhaitées que l'aluminium. L'aluminium est donc le matériau constitutif préféré des modules de l'interne d'étui selon

l'invention. Il est bon conducteur thermique (susceptible de subir un traitement de surface pour améliorer encore son émissivité), il est extrudable et de surcroît léger. Il est toutefois bien connu que sa résistance mécanique diminue de façon sensible avec l'augmentation de la température ; d'où le recours à une structure support (voir plus loin). Cette remarque peut tout à fait valoir pour un autre matériau bon conducteur thermique ;

- la fonction de tenue mécanique est assurée au moyen d'une structure support : plaques support ajourées et système de maintien. Ladite structure support est évidemment en un matériau à haute tenue mécanique, résistant à la chaleur. Elle est avantageusement réalisée en acier inoxydable. On conçoit que d'autres matériaux, tel le titane, peuvent convenir. On comprend qu'en termes de coût, l'acier inoxydable est préféré.

L'(Les) alvéole(s) des modules et l'(les)ouverture(s) des plaques support ainsi que le positionnement relatif desdits modules et plaques support conviennent bien évidemment au positionnement, à la verticale, des éléments combustibles.

Chaque module comporte au moins une alvéole en partie centrale et au moins un dissipateur de chaleur en périphérie. De façon caractéristique, le(s)dit(s) dissipateur(s) de chaleur périphérique(s) n'est (ne sont) pas un(des) élément(s) massif(s), mais une(des) pièce(s) évidée(s). On a généralement plusieurs dissipateurs de chaleur agencés en périphérie de chaque module. Dans le cadre de l'invention, la fonction thermique est assurée avec une optimisation de la quantité de matière nécessaire, d'où des économies substantielles, notamment dans un contexte de production en série.

Selon une variante, les modules de l'étui comportent une unique alvéole en partie centrale. Ladite unique alvéole est prévue pour recevoir un élément combustible irradié, *a priori* un élément combustible de forte puissance, d'une puissance telle que son co-stockage avec un autre élément pose problème (en termes de puissance).

Selon une autre variante, préférée, plusieurs alvéoles sont agencées dans la structure de chaque module constitutif de l'interne d'étui. Ledit interne d'étui est donc prévu pour l'entreposage d'un lot d'éléments combustibles, pour l'entreposage, à un même niveau, de

plusieurs éléments combustibles... au sein d'un même étui. Ceci est original : l'art antérieur associant un interne d'étui pour un élément combustible (ou deux éléments superposés) à un étui, donc un élément combustible (ou deux éléments combustibles superposés) à un étui. On

5 note incidemment qu'un interne d'étui prévu pour l'entreposage de n éléments combustibles (comportant des modules à n alvéoles) convient tout à fait pour l'entreposage de m éléments combustibles : $m \leq n$. Le choix de la valeur de m se fait en fonction de nombreux paramètres et avant toute chose en fonction de la puissance thermique en cause.

10 Dans le cadre de l'une ou l'autre des variantes ci-dessus, chaque logement vertical résultant de l'alignement des alvéoles des modules superposés est donc apte à recevoir un unique élément combustible irradié ou un ensemble d'au moins deux éléments combustibles irradiés superposés.

15 Un jeu fonctionnel est laissé entre le haut d'un module et la plaque support ajourée située immédiatement au-dessus. Cette disposition autorise la libre dilatation (sans contrainte) de ce module (avantageusement en aluminium), dont la dilatation peut être supérieure à celle de certains des éléments du système de maintien (du type tirants en

20 acier inoxydable, par exemple (voir plus loin)). On note incidemment ici que la plaque "support" ajourée supérieure ne supporte pas de module. Elle est dénommée plaque support par analogie. Elle est avantageusement identique aux autres plaques support, ceci n'est toutefois pas une obligation.

25 L'interne d'étui selon l'invention comprend donc des modules superposés, chacun desdits modules comportant une(des) alvéole(s) apte(s) à recevoir l'(les) élément(s) combustible(s) irradié(s) et au moins un dissipateur de chaleur périphérique évidé qui assure l'évacuation de la chaleur dudit(desdits) élément(s) combustible(s) vers la paroi de l'étui (à

30 l'intérieur duquel ledit interne d'étui est appelé à être agencé).

De manière avantageuse, les éléments constitutifs d'un module – alvéole(s) + dissipateur(s) de chaleur – sont des éléments extrudés (obtenus par extrusion).

35 La hauteur des modules résulte de calculs mécaniques et des possibilités de réalisation. Des hauteurs mises en jeu, de l'ordre du mètre pour un module, permettent une fabrication aisée des modules (en

aluminium, notamment) par extrusion. Une telle mise en œuvre industrielle est particulièrement avantageuse en ce qu'elle permet de limiter le coût desdits modules.

Le nombre de modules d'un interne d'étui est évidemment
5 ajusté à la longueur de l'(des) élément(s) combustible(s) à entreposer au sein dudit interne d'étui. Ce nombre dépend donc généralement de ladite longueur et des technologies de fabrication en cause. On peut indiquer que la structure étagée d'un interne d'étui selon l'invention peut ainsi comporter 2, 3, 4, 5 ou 6 étages (= 2, 3, 4, 5 ou 6 modules superposés).
10 Cette indication est, en aucune façon, limitative.

De manière générale et plus particulièrement dans ce contexte avantageux d'éléments extrudés constituant les modules, on a, très avantageusement, le au moins un dissipateur périphérique (l'(unique) dissipateur périphérique ou les dissipateurs périphériques) desdits
15 modules à base d'un élément extrudé avec ou sans ailette(s) et avec surface(s) de rayonnement. Ledit au moins un dissipateur de chaleur périphérique peut ainsi se trouver optimisé en termes de poids, de performance, de coût, de facilité de fabrication... Au sein d'un étui de section circulaire, on trouve avantageusement un interne d'étui de section
20 circulaire lui aussi, et donc très avantageusement au moins un dissipateur périphérique avec surface(s) courbe(s) de rayonnement (et avec ou sans ailette(s)).

Les modules des internes d'étui de l'invention sont ainsi avantageusement constitués de plusieurs éléments extrudés qui sont
25 assemblés entre eux par vissage ou par tout autre méthode d'assemblage (soudage, par exemple) et positionnés de manière précise, au moyen de pions, par exemple. Un desdits éléments extrudés (pré-existants) peut ainsi consister en au moins une alvéole pré-constituée. A partir de ladite au moins une alvéole pré-constituée, on est susceptible, en ajoutant
30 d'autres éléments extrudés, de construire le module (avec alvéole(s) centrale(s) et dissipateur(s) de chaleur périphérique(s)). Pour des géométries réduites (simples), le module peut être réalisé en une unique pièce extrudée.

L'épaisseur des parois des modules, plus précisément des parois
35 de la au moins une alvéole (de l'(unique) alvéole ou des alvéoles) et du(des) dissipateur(s) de chaleur, est avantageusement optimisée en vue

d'assurer une bonne conduction thermique pour une masse (d'aluminium, notamment) la plus faible possible.

La géométrie et la capacité d'entreposage en éléments combustibles d'un interne d'étui de l'invention résulte de calculs thermiques : elles dépendent de la puissance des combustibles à entreposer. Le nombre d'alvéoles est donc adapté à la puissance des combustibles à entreposer. La forme desdites alvéoles est bien évidemment adaptée à, voire optimisée en référence à, la forme desdits combustibles à entreposer. Un interne d'étui de l'invention (de section circulaire) comporte ainsi avantageusement 1, 4, 7, 12 ou 15 alvéoles (de section carrée) ; ce qui correspond à l'optimum de remplissage d'un cercle avec des alvéoles de section carrée. Un tel optimum est recherché pour obtenir la meilleure capacité lors de l'entreposage. On note incidemment toutefois que l'interne d'étui de l'invention et son étui associé ne présentent pas forcément une section circulaire, que les alvéoles ne présentent pas forcément des sections carrées et on rappelle incidemment que l'entreposage peut être mis en œuvre avec des alvéoles vides (il est alors non optimisé). Il y a évidemment avantageusement optimisation en nombre d'alvéoles et forme desdites alvéoles, d'une part (en référence à la structure de l'interne d'étui) et en nombre d'alvéoles occupées, d'autre part (en référence au procédé d'entreposage mis en œuvre au sein d'un étui équipé d'un interne d'étui selon l'invention). L'homme du métier est à même de mettre en œuvre cette optimisation.

La structure support d'un interne d'étui selon l'invention renferme donc les plaques support ajourées (chaque module repose sur une telle plaque, ajourée pour permettre le passage du (des) élément(s) combustible(s)) et le système de maintien de l'ensemble desdites plaques.

Pour assurer sa fonction, ladite structure support est en un matériau à haute tenue mécanique. On a vu plus haut qu'elle est avantageusement en acier inoxydable. On a également vu plus haut que le matériau constitutif des modules est avantageusement l'aluminium. On associe très avantageusement dans un interne d'étui de l'invention des modules en aluminium et une structure support en acier inoxydable.

Le système de maintien comprend avantageusement des tirants qui assurent une double fonction. D'une part, ils assurent le positionnement et l'assemblage des différentes plaques support et d'autre

part, ils conviennent pour transférer la charge de l'interne d'étui à l'étui dans lequel il est destiné à être logé. Très avantageusement, ces mêmes tirants sont utilisés pour assurer le positionnement (stable) de chaque module sur sa plaque support. Dans le cadre de cette variante très
5 avantageuse, lesdits tirants assurent donc une triple fonction.

De tels tirants sont donc avantageusement réalisés en acier inoxydable. Dans le cadre d'un mode de réalisation préféré, des tirants, dont la longueur correspond à celle d'un étage (d'un module), sont emboîtés entre eux par vissage et appelés à être stabilisés de la même
10 façon (par vissage) en parties inférieure et supérieure de l'interne d'étui. Au moins trois tirants interviennent généralement à chaque étage.

Dans la structure de l'interne d'étui selon l'invention, la reprise de la charge d'un module s'effectue par l'intermédiaire de chaque plaque support et par le système de maintien (tirants de la variante avantageuse
15 explicitée ci-dessus). De ce fait, un module de ladite structure ne subit pas le poids des modules situés au-dessus de lui et la contrainte mécanique qui lui est appliquée se trouve ainsi réduite, compatible avec les caractéristiques mécaniques de son matériau constitutif (aluminium, de préférence). La charge de l'ensemble de l'interne d'étui est appelée à être
20 supportée par l'étui (le fond de l'étui) au sein duquel ledit interne d'étui est destiné à être agencé.

On a indiqué ci-dessus, de façon nullement limitative, que l'interne d'étui selon l'invention peut notamment comporter 2, 3, 4, 5 ou 6 étages (2, 3, 4, 5 ou 6 modules superposés).

25 De façon nullement limitative, on peut également indiquer ici que les alvéoles des modules présentent une section carrée, hexagonale ou circulaire. En tout état de cause, ladite section doit convenir pour que lesdites alvéoles puissent recevoir les éléments combustibles. Les ouvertures des plaques support doivent de la même façon convenir. On a
30 généralement lesdites alvéoles et lesdites ouvertures de même forme, de même dimension.

Les propos ci-dessus sont illustrés de façon nullement limitative par les figures annexées.

Selon son deuxième objet, la présente invention concerne un
35 étui pour l'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié. De façon caractéristique, ledit étui renferme un interne d'étui tel que

décrit ci-dessus (premier objet de la présente invention) et comporte un fond capable de supporter la masse dudit interne d'étui et celle dudit au moins un élément combustible appelé à y prendre appui (celle de l'(unique) élément combustible appelé à y prendre appui ou celle des
5 éléments combustibles appelés à y prendre appui). Par fond dudit étui, on entend la structure de celui-ci, sur laquelle vont reposer l'interne d'étui et la partie inférieure dudit au moins un élément combustible stocké, après son passage au travers de la plaque support inférieure (plaque support du premier étage, du premier module) de l'interne d'étui. En vis-à-vis dudit
10 fond, ledit étui est évidemment susceptible de recevoir un couvercle pour constituer un étui étanche.

Avantageusement, ledit étui de l'invention et son interne d'étui ont des sections de sensiblement même(s) dimension(s) (de sensiblement même diamètre, dans l'hypothèse la plus fréquente où lesdits étui et
15 interne d'étui sont des cylindres droits de section circulaire). En tout état de cause, lesdits étuis et internes d'étui présentent avantageusement la forme de cylindres droits. Le jeu entre l'étui de l'invention et son interne d'étui est avantageusement le plus réduit possible, en référence à l'optimisation de la dissipation thermique. Il doit toutefois permettre
20 l'introduction et le positionnement dudit interne d'étui dans ledit étui, *i.e.* la mise en place des modules dans l'étui.

L'interne d'étui est avantageusement stabilisé à l'intérieur de l'étui. On peut ainsi prévoir des systèmes de maintien, convenant pour éviter le déplacement dudit interne d'étui (de ses modules) au sein de
25 l'étui, plus particulièrement en cas de renversement dudit étui.

Selon son troisième objet, la présente invention concerne un procédé d'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié (d'un (unique) élément combustible irradié ou d'éléments combustibles irradiés). De façon classique, ledit procédé comprend :

30 - le conditionnement stable dudit au moins un élément combustible irradié dans un étui au sein duquel la chaleur dégagée par ledit au moins un élément est dissipée sans altération de la structure dudit au moins un élément,

- l'entreposage dudit étui étanche dans un puits vertical refroidi
35 par circulation d'air.

De façon caractéristique, l'étui utilisé dans le cadre dudit procédé est un étui de l'invention (second objet de la présente invention), c'est-à-dire un étui équipé d'un interne d'étui de l'invention (premier objet de la présente invention).

5 Un tel étui permet une optimisation de l'entreposage : entreposer le maximum de combustibles (le maximum de puissance en fait) dans le minimum de volume.

Selon des variantes de mise en œuvre particulièrement préférées :

10 - le procédé de l'invention est mis en œuvre avec un étui qui renferme plusieurs éléments combustibles (à un même niveau) ; et/ou
- ledit procédé de l'invention concerne l'entreposage d'au moins un élément combustible de forte puissance (jusqu'à 5 kW ; par exemple, issu d'un réacteur à eau légère).

15 Le procédé de l'invention n'est pas limité à ses variantes de mise en œuvre particulièrement préférées. Ainsi, il peut aussi bien convenir à l'entreposage d'un unique élément combustible de forte puissance, qu'à l'entreposage d'un unique ou de plusieurs éléments combustibles de faible ou plus ou moins forte puissance. Qui peut le plus,
20 peut le moins. On rappelle que la structure de l'étui en cause a été optimisée pour une évacuation maximale de la chaleur dégagée.

On se propose maintenant de décrire l'invention en référence aux figures annexées. Lesdites figures montrent deux modes de réalisation d'un dispositif (interne d'étui) de l'invention.

25 La figure 1 est une vue, en coupe longitudinale, d'un étui de l'invention, c'est-à-dire équipé d'un interne d'étui de l'invention. Ledit étui est montré, vide, sans élément combustible irradié disposé en son sein.

La figure 2 est une vue en perspective, éclatée, d'un module de l'interne d'étui, montré sur la figure 1, entre deux plaques support.

30 Les figures 3A, 3B et 3C sont des vues de dessus des éléments constitutifs du module montré sur la figure 2. Plus précisément, la figure 3A montre un dissipateur de chaleur périphérique d'angle ; la figure 3B un dissipateur de chaleur périphérique en forme de T et la figure 3C l'alvéole centrale.

35 La figure 4 est une vue de dessus d'un module d'un interne d'étui selon un autre mode de réalisation.

La figure 5 montre en perspective une plaque support d'un interne d'étui selon ledit autre mode de réalisation.

Sur la figure 1, on montre donc un interne d'étui 1 agencé à l'intérieur d'un étui 10. Lesdits interne d'étui 1 et étui 10 présentent une
5 forme cylindrique (celle de cylindres droits à section circulaire).

L'interne d'étui 1 comporte quatre étages. Sa structure comprend quatre modules M1, M2, M3 et M4, disposés chacun, sur une plaque support ajourée 4. Un jeu J est ménagé entre le haut de chaque module (un tel jeu autorise la libre dilatation dudit module, notamment en
10 aluminium) et la plaque support du module de l'étage supérieur.

Les alvéoles 2a (centrales) et 2b (1^{ère} couronne) des quatre modules M1, M2, M3 et M4 ainsi que les ouvertures correspondantes 2 (centrales) et 2' (1^{ère} couronne) des plaques support 4 (voir la figure 2) sont évidemment mises en coïncidence de façon à générer dans la
15 structure de l'interne d'étui 1 les logements verticaux pour les éléments combustibles.

Les tirants 5 sont utilisés, dans le cadre du mode de réalisation avantageux représenté :

- pour positionner et assembler les plaques support 4 entre
20 elles,

- pour permettre le transfert de la charge de l'interne d'étui 1 à l'étui 10. On a montré en 5' une vis de fixation d'un tirant 5 inférieur posée sur la partie basse 9 de l'étui 10 et en 5" un écrou de fixation d'un tirant 5 supérieur à la plaque "support" 4 supérieure de l'interne d'étui 1.
25 On comprend qu'ainsi la reprise de la charge d'un module Mi s'effectue par l'intermédiaire de chaque plaque support 4 et par les tirants 5, qu'ainsi la charge de l'ensemble de l'interne d'étui 1 est supportée par l'étui 10,

- pour positionner les modules M1, M2, M3 et M4, chacun, respectivement, sur sa plaque support 4 (voir la figure 2).

30 La figure 2 montre donc le module inférieur M1 (identique aux autres modules M2, M3 et M4) ainsi que la plaque support 4 inférieure (plaque support dudit module M1) et la plaque support 4 intermédiaire (plaque support du module M2, ménagée entre lesdits modules M1 et M2).

35 Le module M1 comprend sept alvéoles : l'alvéole centrale 2a, pré-constituée, et six alvéoles de couronne 2b, obtenues par construction,

suite à la mise en place des dissipateurs de chaleur périphériques 3a et 3b. Ces dissipateurs de chaleur présentent des structures évidées, de deux types de géométrie. Ils sont montrés sur ladite figure 2 ainsi que sur les figures 3A et 3B. Les dissipateurs 3a, au nombre de quatre, sont des
5 dissipateurs d'angle ; les dissipateurs 3b, au nombre de deux, sont en forme de T. Lesdits dissipateurs 3a et 3b présentent des géométries optimisées en référence à leurs performances, au compromis poids/performance/facilité de fabrication. Il s'agit donc de structures évidées, obtenues par extrusion, avec ailette 31 et surface de
10 rayonnement courbe 32, particulièrement opportunes en référence au rayonnement thermique.

Dans la structure desdits dissipateurs 3a et 3b, il est prévu des logements 8 pour les tirants 5. Lesdits tirants 5 ont leurs extrémités 5b et 5a filetées de façon à coopérer, respectivement, en partie inférieure, avec
15 les vis de fixation 5' (dans la mesure où M1 est le module du premier étage de l'interne d'étui 1) et, en partie supérieure, avec l'extrémité inférieure filetée 5b du tirant 5 du module M2 (de l'étage supérieur, non représenté). L'extrémité 5a du tirant 5 du module M4 est appelée, elle, à coopérer avec l'écrou de fixation 5" (voir la figure 1 et la description
20 ci-dessus de ladite figure).

L'alvéole centrale 2a est positionnée au centre des autres éléments (dissipateurs 3a et 3b) au moyen de pions de centrage 6. On réalise, en considérant les figures 3A, 3B et 3C, que, dans l'épaisseur des parois de ladite alvéole centrale 2a sont en fait prévus des logements 6'
25 pour lesdits pions de centrage 6, prévus sur les dissipateurs 3a et 3b. Lesdits dissipateurs 3a et 3b (six éléments périphériques) sont réunis entre eux par vissage. On a schématisé en 7 les vis en cause.

On voit clairement sur la figure 2 que, selon le mode de réalisation avantageux présenté, les tirants 5 assurent le positionnement,
30 stable, du module M1 (de ses alvéoles constitutives 2a et 2b) sur la plaque support 4 (inférieure).

Les plaques support 4 (plaque inférieure, support du module M1 et plaque supérieure, support du module M2) sont évidemment ajourées pour permettre le passage des éléments combustibles à stocker
35 dans l'étui 1, c'est-à-dire que lesdites plaques 4 présentent des ouvertures 2 et 2' correspondant, respectivement, aux alvéoles 2a et 2b. Lesdites

plaques 4 présentent également des trous 41 pour le passage des tirants 5. Au niveau de ces trous 41, sont plus précisément solidarisés, pour la plaque inférieure, les extrémités inférieures des tirants 5 (représentés) aux vis de fixation 5' et, pour la plaque supérieure, les extrémités supérieures desdits tirants 5 aux extrémités inférieures des tirants 5 non représentés sur la figure 2 (mais représentés sur la figure 1) du module M2, de l'étage supérieur. Lesdites plaques 4 présentent enfin des fentes 42 qui assurent une communication entre les étages de l'interne d'étui 1, disposé dans l'étui 10.

A la considération des figures 4 et 5, on réalise que, selon le second mode de réalisation représenté, l'interne d'étui de l'invention comprend quinze alvéoles : trois alvéoles dites centrales 20a, dix alvéoles dites d'une première couronne 20b et deux dites d'une seconde couronne 20c.

L'ensemble des alvéoles est réalisé à partir de simples morceaux de profilés, obtenus par extrudage puis assemblés par des points de soudure à leurs extrémités. Pour les alvéoles localisées en périphérie de l'ensemble, des dispositifs, également assemblés par points de soudure, sont installés pour assurer la liaison des alvéoles entre elles et pour assurer un bon positionnement de l'ensemble par rapport aux dissipateurs de chaleur périphériques 30.

Le module représenté résulte donc essentiellement du montage d'une première pièce comportant les alvéoles 20a et certaines parois des alvéoles 20b et 20c et des quatre dissipateurs de chaleur périphériques 30.

Lesdits dissipateurs 30 sont des pièces extrudées, évidées. Ils comportent des ailettes 301 et des surfaces de rayonnement courbes 302 ainsi que les passages 80 pour les tirants (non représentés). On a représenté en 70 les vis de fixation desdits dissipateurs 30 entre eux.

Sur la plaque support 40 (figure 5), on retrouve

- les ouvertures 20, 20' et 20'' correspondantes respectivement aux alvéoles 20a, 20b et 20c ;
- les trous 401 (correspondant aux passages 80) pour le passage des tirants ;
- les fentes 402 de communication entre les étages.

On se propose enfin d'illustrer l'invention par les deux exemples ci-après.

Exemple 1

5 On a réalisé un interne d'étui 1 tel que représenté aux figures 1 et 2.

Ledit interne d'étui comprend 4 modules en aluminium de 1080 mm de hauteur, reposant chacun sur une plaque horizontale ajourée en acier inoxydable.

10 Chaque module est donc constitué de 7 éléments, aux trois géométries différentes :

- une alvéole centrale,
- deux dissipateurs périphériques en forme de T, et
- quatre dissipateurs périphériques d'angle

15 et comprend 7 alvéoles (voir les figures 1, 2, 3A, 3B et 3C et la description ci-dessus de celles-ci).

Ledit interne d'étui a été positionné dans un étui en acier inoxydable avec un jeu de 3 mm au rayon. L'agencement interne d'étui/étui est tel que représenté sur la figure 1.

20 L'étui obtenu est donc susceptible de recevoir jusqu'à 7 éléments combustibles irradiés, notamment de type REP (Réacteur à Eau Pressurisée). Un tel étui, avec interne d'étui à 7 alvéoles, convient parfaitement pour l'entreposage à sec d'éléments combustibles irradiés REP 900 ; la puissance thermique d'un tel élément combustible irradié
25 pouvant atteindre 1,6 kW. Une telle puissance de 1,6 kW correspond à la puissance thermique résiduelle d'un élément combustible de type REP 900 MW stocké 5 ans après passage en réacteur.

Un tel étui est également susceptible de recevoir des ensembles (d'une hauteur totale adéquate) d'éléments combustibles irradiés
30 superposés.

Exemple 2

On a réalisé un interne d'étui avec des modules du type de celui représenté à la figure 4 et des plaques support du type de celle
35 représentée à la figure 5 (interne d'étui "analogue" à celui montré à la figure 1).

Ledit interne d'étui comprend 4 modules en aluminium de 1080 mm de hauteur, reposant chacun sur une plaque horizontale ajourée en acier inoxydable.

Chaque module comprend donc :

- 5 - un ensemble constituant le corps de 15 alvéoles, et
- quatre dissipateurs périphériques évidés complétant le ceinturage des alvéoles périphériques.

Ledit interne d'étui a été positionné dans un étui en acier inoxydable avec un jeu de 3 mm au rayon. L'agencement interne
10 d'étui/étui est du type de celui représenté sur la figure 1.

L'étui obtenu est donc susceptible de recevoir jusqu'à 15 éléments combustibles irradiés, notamment des combustibles REB (Réacteur à Eau Bouillante) de type 8 x 8. Un tel étui, avec interne d'étui à 15 alvéoles, convient parfaitement pour l'entreposage à sec de
15 combustibles irradiés REB de type 8 x 8 ; la puissance thermique d'un tel combustible irradié pouvant atteindre 0,6 kW.

Un tel étui est également susceptible de recevoir des ensembles (d'une hauteur totale adéquate) d'éléments combustibles irradiés superposés.

REVENDECATIONS

1. Interne d'étui (1) convenant à l'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié, caractérisé en ce qu'il présente une structure étagée qui comprend au moins deux modules (M1, M2, M3, M4) superposés, chacun desdits modules (M1, M2, M3, M4), en un matériau bon conducteur thermique, avec alvéole(s) de réception (2a, 2b ; 20a, 20b, 20c) pour le(s)dit(s) élément(s) combustible(s) en partie centrale et avec au moins un dissipateur de chaleur périphérique évidé (3a, 3b ; 30), étant agencé sur une plaque support ajourée (4 ; 40) de façon à permettre le passage du(des)dit(s) élément(s) combustible(s) ; les plaques support ajourées (4 ; 40) de ladite structure étant positionnées et assemblées au moyen d'un système de maintien (5'+5+5''), avec un jeu (J) ménagé entre le haut du module d'un étage (M_i) et la plaque support ajourée (4 ; 40) de l'étage (M_{i+1}) immédiatement au dessus.

2. Interne d'étui (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite au moins une alvéole (2a, 2b ; 20a, 20b, 20c) et ledit au moins un dissipateur de chaleur périphérique évidé (3a, 3b ; 30) de chaque module (M1, M2, M3, M4) sont à base d'éléments extrudés.

3. Interne d'étui (1) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit au moins un dissipateur de chaleur périphérique évidé (3a, 3b ; 30) est un élément extrudé avec ou sans ailette(s) (31 ; 301) et avec surface(s) de rayonnement (32 ; 302).

4. Interne d'étui (1) selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que chaque module (M1, M2, M3, M4) de sa structure étagée comprend au moins une alvéole préconstituée (2a ; 20a).

5. Interne d'étui (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que chaque module (M1, M2, M3, M4) de sa structure étagée comporte 1, 3, 4, 7, 12 ou 15 alvéoles (2a+2b ; 20a+20b+20c).

6. Interne d'étui (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que lesdits modules sont en aluminium ; et/ou, avantageusement et, ledit système de maintien (5'+5+5'') et lesdites plaques support ajourées (4 ; 40) sont en un matériau à haute tenue mécanique, sont avantageusement en acier inoxydable.

7. Interne d'étui (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit système de maintien (5'+5+5'') comprend des tirants (5) pour, d'une part, le positionnement et l'assemblage des plaques support (4 ; 40) et, d'autre part, le transfert de charge dudit interne d'étui (1) à l'étui (10) dans lequel il est destiné à être logé.

8. Interne d'étui (1) selon la revendication 7, caractérisé en ce que lesdits tirants (5) assurent le positionnement de chaque module (M1, M2, M3, M4) sur sa plaque support (4 ; 40).

9. Interne d'étui (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que sa structure étagée comporte 2, 3, 4, 5 ou 6 modules superposés (M1+M2+M3+M4).

10. Interne d'étui (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ladite au moins une alvéole (2a, 2b ; 20a, 20b, 20c) présente une section carrée, hexagonale ou circulaire.

11. Etui (10) convenant à l'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié, caractérisé en ce qu'il renferme un interne d'étui (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 et comporte un fond (9) capable de supporter la masse dudit interne d'étui (1) et celle dudit au moins un élément combustible appelé à y prendre appui.

12. Etui (10) selon la revendication 11, caractérisé en ce que ledit étui (10) et son interne d'étui (1), qui présentent avantageusement la forme de cylindres droits, ont des sections de sensiblement même(s) dimension(s).

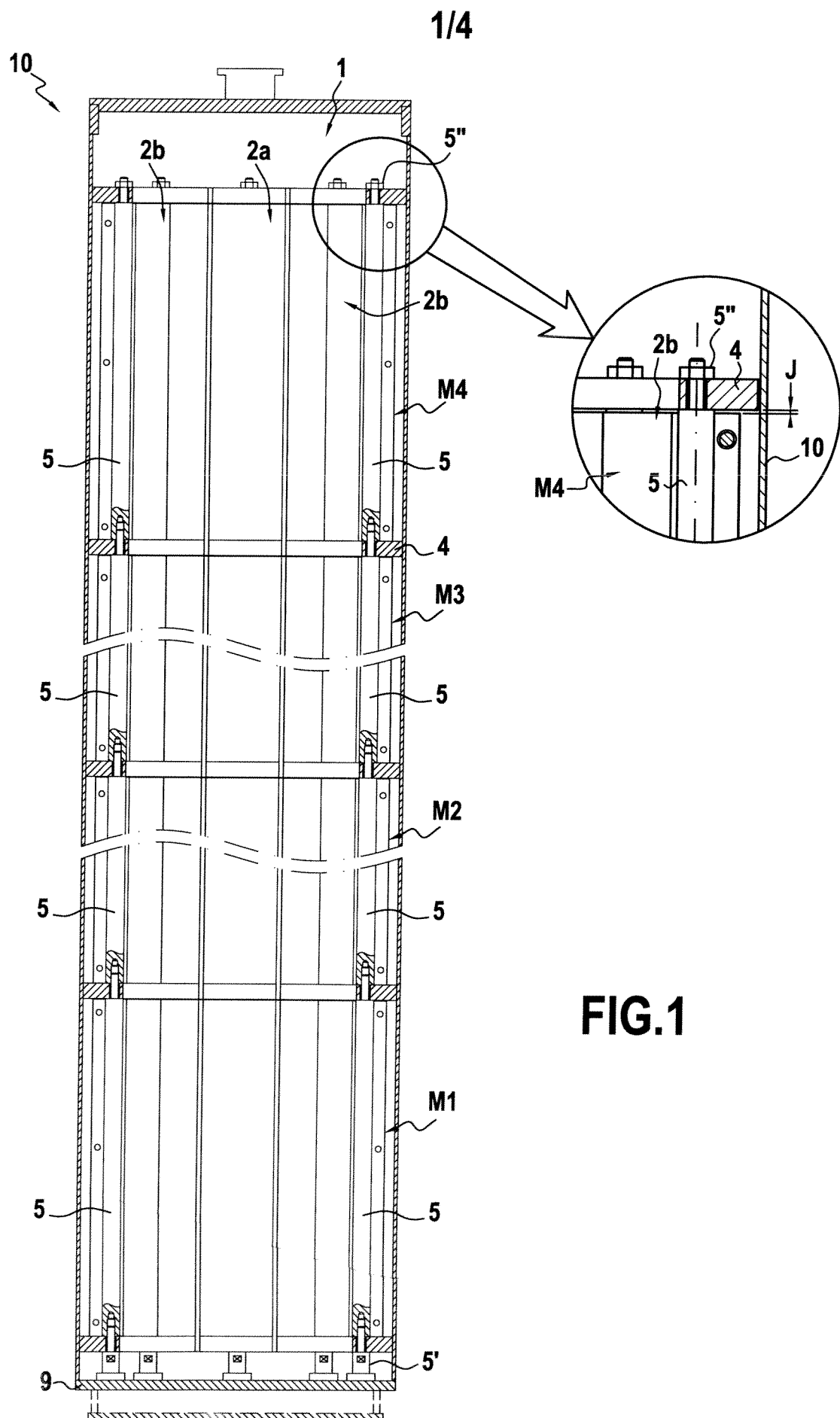
13. Procédé d'entreposage à sec d'au moins un élément combustible irradié comprenant :

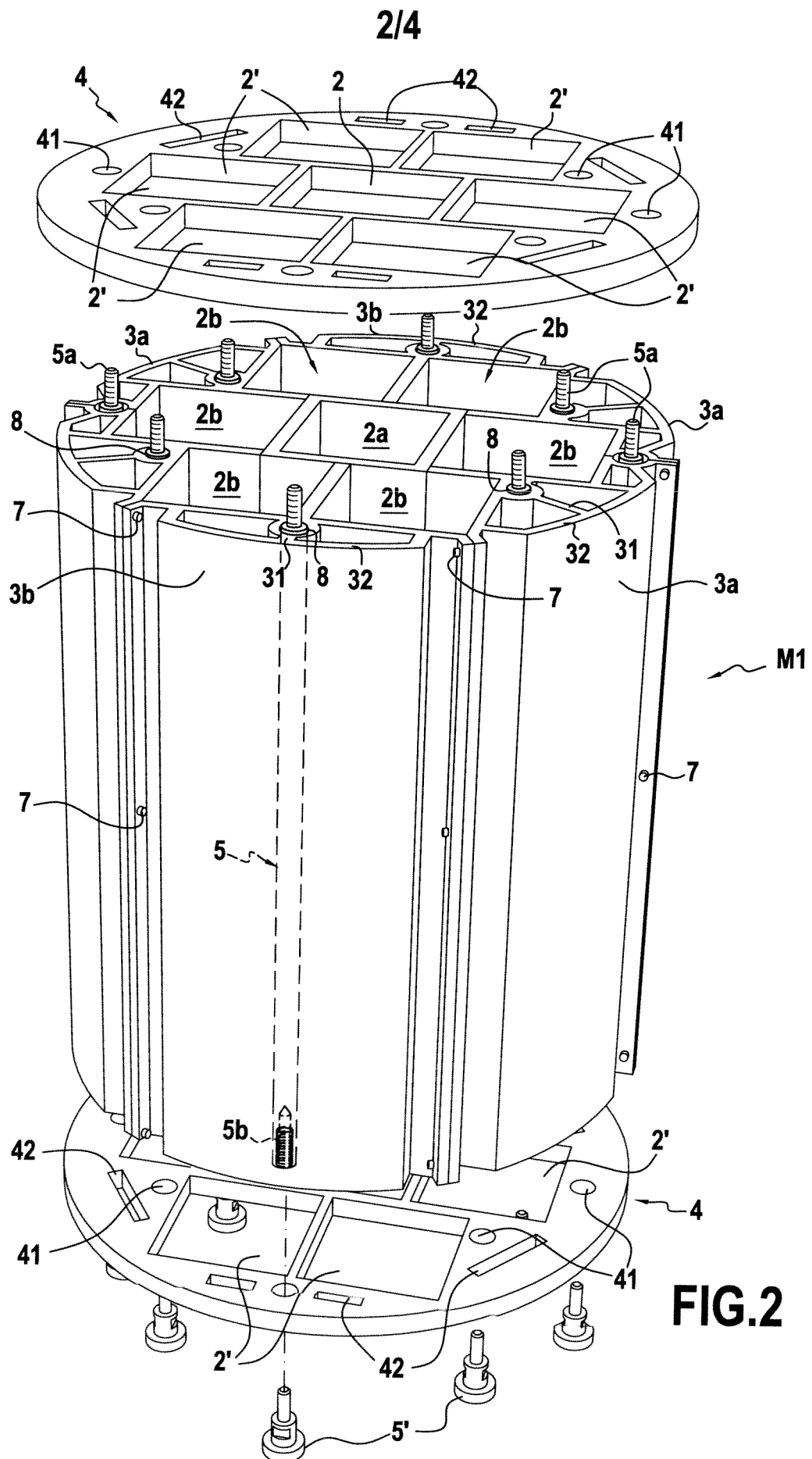
- le conditionnement stable dudit au moins un élément combustible irradié dans un étui au sein duquel la chaleur dégagée par ledit au moins un élément est dissipé sans altération de la structure dudit au moins un élément,

- l'entreposage dudit étui étanche dans un puits vertical refroidi par circulation d'air, caractérisé en ce que ledit étui est un étui (10) selon la revendication 11 ou 12.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que ledit étui (10) renferme plusieurs éléments combustibles.

15. Procédé selon la revendication 13 ou 14, caractérisé en ce que ledit au moins un combustible irradié est un élément dont la puissance est inférieure ou égale à 5 kW.





3/4

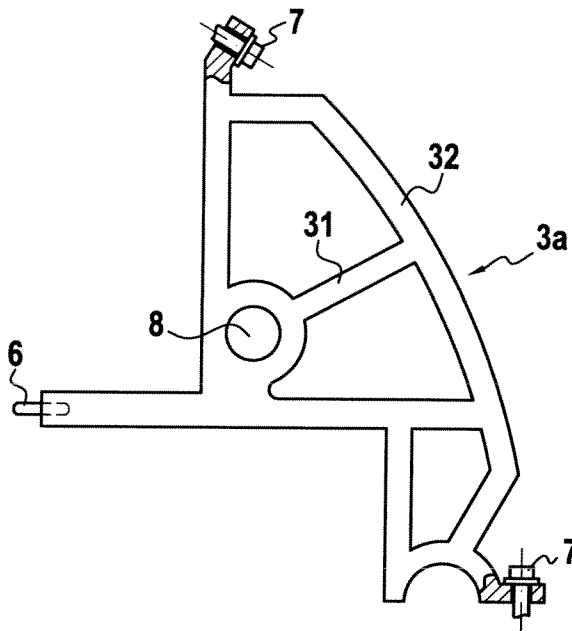


FIG.3A

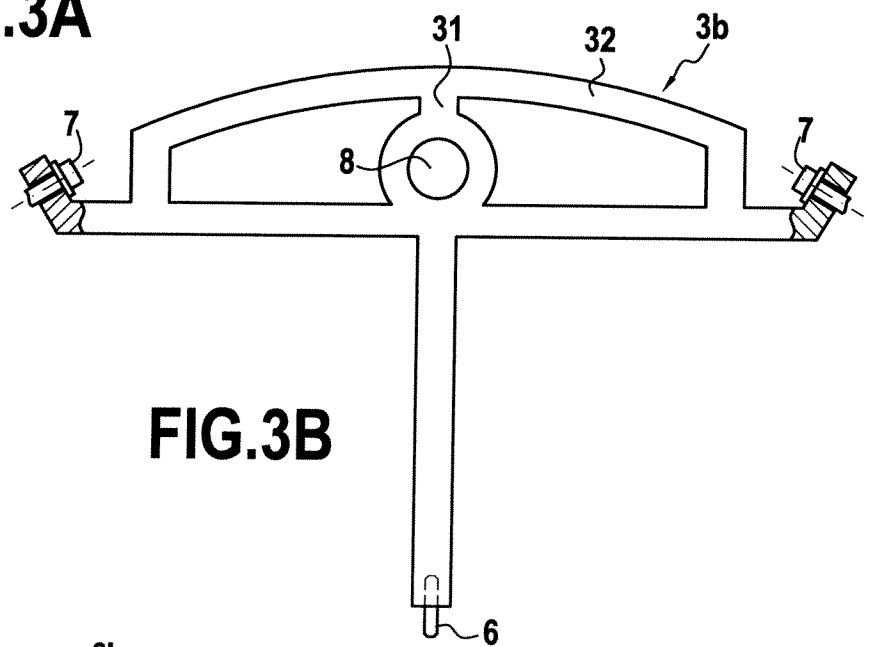


FIG.3B

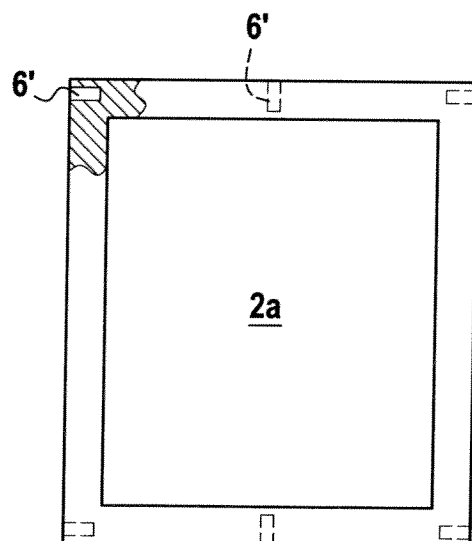


FIG.3C

4/4

