

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①⑪ N° de publication :

2 988 898

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

12 52769

⑤① Int Cl⁸ : G 21 F 5/10 (2013.01), G 21 F 5/012, G 21 C 19/07

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 28.03.12.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 04.10.13 Bulletin 13/40.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥③ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

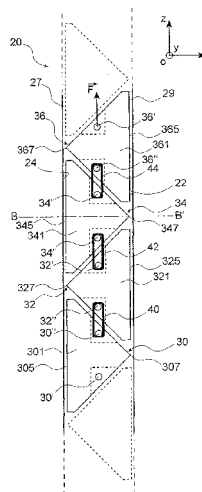
⑦② Inventeur(s) : BONNARD JEAN CLAUDE et DURET
BERNARD.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

⑦④ Mandataire(s) : BREVALEX Société à responsabilité
limitée.

⑤④ PROCEDE ET DISPOSITIF MOBILE PERMETTANT DE REDUIRE LES RESISTANCES THERMIQUES ENTRE
DEUX SOLIDES.

⑤⑦ On décrit ici un élément transmetteur (30, 32, 34, 36)
pour un panier de rangement de combustible nucléaire, de
forme sensiblement prismatique, comportant 3 faces princi-
pales (303, 303', 305, 325, 345, 365), dont une base et 2
surfaces planes secondaires, et deux faces latérales (301,
301'), en un matériau transmettant la chaleur, muni latérale-
ment de moyens pour assurer une traction de l'élément se-
lon une direction parallèle à la base.



FR 2 988 898 - A1



PROCEDE ET DISPOSITIF MOBILE PERMETTANT DE REDUIRE LES
RESISTANCES THERMIQUES ENTRE DEUX SOLIDES

DESCRIPTION

5 **DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR**

L'invention concerne un panier de rangement pour assemblages combustibles nucléaires constitué d'une pluralité d'alvéoles contiguës de grande longueur dans chacune desquelles peut être introduit un
10 assemblage combustible ou éventuellement les crayons de plusieurs assemblages combustibles.

Ces paniers de rangement (que l'on appelle également casiers ou « racks ») sont destinés au stockage et/ou au transport desdits assemblages
15 combustibles, éventuellement en emballages blindés ou non. Ils sont adaptés pour le combustible irradié, mais sont aussi utilisables pour du combustible neuf. Ils peuvent être utilisés en milieu sec ou humide, par exemple lors du stockage des combustibles en piscine ou
20 lors de leur introduction dans des emballages de transport ou stockage.

L'empilement de divers matériaux est la solution apportée au besoin des différentes fonctions d'un château de transport d'assemblages combustibles
25 (radioprotection, tenue aux chocs, aux feux...). Dans le cas de forte puissance à évacuer, une limite à la température interne résulte de la présence de jeux nécessaires à l'empilement.

Les problématiques liées à la sûreté et aux
30 transports de matières radioactives sont exposées dans

les documents « La sûreté des transports de matières radioactives », par B. Lenail, Revue Générale Nucléaire n° 1 2005 ; « Conception, fabrication et essais des emballages pour le transport des matières radioactives », par B.C. Bernardo, AIEA Bulletin Vol. 21, n°6 ou encore dans le document EP 0 752 151.

En général, les assemblages combustibles sont véhiculés à sec dans des châteaux contenant jusqu'à 12 assemblages (ou plus). Ces emballages de transport ont été agréés par les autorités compétentes françaises, britanniques et japonaises et répondent aux critères imposés par la réglementation AIEA pour les emballages de Type B. Ce type de château, utilisé depuis près de 40 ans, repose sur le principe des performances intrinsèque au colis (double barrière, tenue au feu...) qui empêche tout rejet de radioactivité.

Comme illustré en figure 1, de l'extérieur vers l'intérieur, un château comporte, sur sa grande longueur :

- une zone externe 2, qui peut être munie d'ailettes 4 de refroidissement,
- une couche 6 absorbant les neutrons,
- une virole 8 en acier,
- et un panier 10 de rangement pour assemblages combustibles nucléaires, comportant une ou plusieurs alvéoles contigües 12, de grande longueur, dans lesquelles peut être introduit un assemblage combustible ou éventuellement les crayons de plusieurs assemblages combustibles.

On connaît divers types de paniers à structure alvéolaire pour assemblages combustibles nucléaires. Ils assurent en général trois fonctions :

- le contrôle de la criticité, à sec ou en
5 présence d'eau, à l'état liquide ou gazeux (cette eau pouvant contenir des composés neutrophages, à base de bore par exemple), de l'ensemble des assemblages qui y sont rangés,
- une résistance mécanique suffisante qui
10 répond à deux objectifs : (i) assurer le maintien de la géométrie du panier chargé d'assemblages et éviter la détérioration des crayons combustibles lors des utilisations normales (manutention, transport...), (ii) assurer le contrôle de la criticité par maintien de la
15 géométrie du panier même en conditions accidentelles (choc et chute importants) selon les réglementations en vigueur,

- le transfert thermique, pour évacuer la chaleur dégagée dans le cas des assemblages irradiés.

20 Les paniers sont parfois conçus également en vue d'apporter un complément de blindage contre les radiations.

Le panier est généralement constitué d'une association de plusieurs matériaux, chacun d'eux
25 remplissant au moins une des trois fonctions citées ci-dessus. Les principaux matériaux utilisés sont, en général :

- l'acier inox ou l'aluminium (ou ses alliages) pour la fonction de résistance mécanique,
- 30 - l'aluminium ou le cuivre (ou leurs alliages) pour la fonction de transfert thermique,

- les composés au bore (comme les frittés à base de B₄C), les alliages de cuivre, d'aluminium ou d'acier inox contenant du bore pour la fonction de contrôle de la criticité.

5 Du point de vue des performances thermiques d'un château, l'évacuation de la puissance interne et la résistance à un feu de 800°C pendant 30 mn est actuellement résolue en jouant sur les matériaux (virole en acier, panier en aluminium...) et leur
10 performance (« compound » traversé par des ailettes, protection des joints...).

Pour une question de réalisation et surtout de montage, ce système avec des emboitements des différentes couches radiales nécessite, notamment pour
15 introduire plus aisément un assemblage ou le panier dans un château, de ménager des jeux au niveau des interfaces entre les différentes couches, en particulier entre assemblage et cavité mais aussi entre le panier et la virole. Ces jeux, par exemple d'environ
20 5 mm et 2 mm, peuvent être pénalisants au regard des besoins en transfert thermique.

En particulier, dans le cas de forte puissance à évacuer, la présence de ces jeux engendre de fortes résistances thermiques, donc de forts
25 gradients thermiques, ce qui augmente fortement la température maximale interne lorsqu'on souhaite accroître les puissances maximales admissibles (qui dépendent aussi des matériaux, du taux de combustion...).

Actuellement, le transport se fait sous
30 azote mais des gaz plus conducteurs (hélium) peuvent être utilisés , dans ce cas, des jeux interne et

externe, respectivement de 5 mm et 2 mm, suffisent pour transporter du combustible REP (réacteur à eau pressurisée) puisque les puissances sont faibles.

5 Mais il se pose le problème de pouvoir transporter des combustibles de plus forte puissance (par exemple de type combustible MOX ou bien des assemblages avec actinides dans le futur).

La possibilité d'une bonne évacuation des calories vers l'extérieur, sans dépasser des
10 températures internes rédhibitoires, est donc un problème clé pour l'avenir.

Dans ce cas, ce n'est pas tant la puissance totale transportée qui pose problème, mais plutôt le gradient thermique qui est créé par la présence des
15 jeux mentionnés ci-dessus.

Ainsi en utilisant la technologie actuelle d'une structure de type TN12, la puissance maximale d'un assemblage transporté sous hélium serait limitée à 2.5 kW sans dépasser 450°C et 4.5 kW sans dépasser
20 650°C alors que le besoin en puissance transportée pourrait être bien supérieur.

Le document WO 2011/161233 décrit un système qui permet de diminuer les résistances thermiques de contact dues aux jeux externes. Dans ce
25 système, les 4 parties d'un panier entrent en contact avec la virole en acier. Il en résulte un système simple, avec une amélioration des transferts radiaux, mais pas des jeux dits internes. Le gain, en termes de puissance évacuée, est donc faible.

30 Il se pose donc également le problème des jeux dits internes (entre assemblage et panier).

En effet, si on reprend le cas du château à un assemblage sous hélium, avec des jeux classiques (par exemple 5 mm en interne et 2 mm en externe) la puissance évacuable à 650°C est de 6.3 kW. Si on annule
5 le jeu externe, par exemple selon l'enseignement du document WO 2011/61233, elle passe à 6.75 kW, soit un accroissement de la puissance évacuable de, seulement, 8%. Si on annule les 2 jeux alors la puissance passe à 8.75 (soit un accroissement de + 40%). Mais, dans cette
10 technique, les surfaces mises en contact sont importantes (environ 1/4 de la surface externe du panier), si bien que, à moins d'avoir des tolérances de fabrication rédhibitoires, le contact peut se faire seulement sur une génératrice ou simplement quelques
15 zones.

Par conséquent, les jeux internes à un château de stockage ou de transport, dont les épaisseurs des jeux créent une résistance de contact importante, ainsi que les critères thermiques à ne pas
20 dépasser, conditionnent grandement la puissance évacuable lors d'un transport d'assemblages combustibles.

Un problème est donc d'améliorer les échanges thermiques internes à un château de transport afin de diminuer les températures atteintes en régime
25 nominal.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

On apporte ici une solution à cette limitation.

On décrit d'abord un élément transmetteur
30 de la chaleur pour un panier de rangement de

combustible nucléaire, de forme sensiblement prismatique, comportant 3 faces principales, dont une base et 2 surfaces planes secondaires, et deux faces latérales, en un matériau transmettant la chaleur, muni
5 latéralement de moyens pour assurer une traction de l'élément selon une direction parallèle à la base.

Chaque élément transmetteur est en un matériau qui conduit la chaleur, donc de bonne conductivité thermique, par exemple en un matériau
10 métallique tel que de l'aluminium ou du cuivre.

Les moyens pour assurer une traction de l'élément peuvent être placés sur les faces latérales. Par exemple chacune de ces faces latérales est munie d'au moins 2 plots ou 2 tenons.

15 En variante les moyens pour assurer une traction de l'élément peuvent comporter des encoches ou des évidements latéraux pratiqués dans l'élément, chaque évidement débouchant dans une des faces planes secondaires, et éventuellement dans la face latérale correspondante. Une paroi de chaque encoche comporte
20 des moyens, par exemple d'au moins 2 plots ou 2 tenons.

Un tel élément peut comporter au moins une bielle de traction, par exemple ayant un intérieur ajouré, ou pas, et coopérant avec les moyens pour
25 assurer une traction de l'élément selon une direction parallèle à la base.

Un tel élément peut avoir, dans un plan perpendiculaire à la base, une forme sensiblement triangulaire.

La base peut être plane, ou avoir au moins une courbure autour d'un axe sensiblement parallèle à la direction de traction.

Un élément de panier de rangement de combustible nucléaire, peut donc comporter :

- un premier empilement d'éléments transmetteurs du type décrit ci-dessus, chaque surface plane secondaire d'un élément étant en regard d'une surface plane secondaire d'un élément transmetteur voisin, de sorte que les bases des différents éléments transmetteurs sont alternativement tournées vers un côté de l'empilement puis vers l'autre, chaque élément transmetteur étant connecté à ses voisins par les moyens pour assurer une traction de l'élément selon une direction parallèle à la base,

- des moyens pour exercer une traction sur l'ensemble des éléments transmetteurs.

Dans un tel élément de panier de rangement, chaque surface plane secondaire d'un élément peut :

- être en contact avec une surface plane secondaire d'un élément transmetteur voisin lorsqu'aucune traction n'est exercée sur l'ensemble des éléments transmetteurs, notamment lorsqu'une pression est exercée sur l'ensemble des éléments,

- et être éloignée, de la surface plane secondaire d'un élément transmetteur voisin, lorsqu'une traction est exercée sur l'ensemble des éléments transmetteurs.

L'empilement d'éléments transmetteurs peut avoir une hauteur (h) inférieure à la hauteur totale de l'élément de panier. Dans ce cas, le reste du panier

est constitué d'un matériau transmetteur, empilé
au-dessus et au-dessous des éléments transmetteurs
décrits ci-dessus. La hauteur h est alors sensiblement
égale ou voisine de la longueur sur laquelle les
5 éléments combustibles produisent de la chaleur.

L'élément de panier peut comporter en outre
au moins un deuxième empilement d'éléments absorbants
tels que décrit ci-dessus, disposés dans une zone
séparée du premier empilement par une portion continue
10 de matériau. Ce deuxième empilement joue alors rôle
mécanique, mais un rôle thermique moindre.

Un panier élémentaire de rangement de
combustible nucléaire peut comporter une pluralité
d'éléments de panier de rangement de type décrit ci-
15 dessus, disposés de manière à délimiter une cavité
centrale de forme sensiblement carrée ou rectangulaire
ou hexagonale dans un plan perpendiculaire à la
direction de traction de chaque panier, selon la forme
de l'assemblage auquel il est destiné.

20 On peut donc constituer un château pour le
stockage et/ou le transport de combustible nucléaire,
comportant un panier élémentaire de rangement, du type
tel que décrit précédemment, le panier étant entouré(s)
d'une couche de protection périphérique pour
25 l'absorption des rayons gamma et une couche de
protection périphérique pour ralentir les neutrons.

On peut également constituer un château
pour le stockage et/ou le transport de combustible
nucléaire, comportant plusieurs paniers élémentaires de
30 rangement, par exemple en nombre compris entre 2 et 12,

chaque panier élémentaire étant du type tel que décrit précédemment.

Les paniers élémentaires sont placés dans un panier fixe lui-même ceinturé par une pluralité
5 d'éléments transmetteurs du type précédent qui assurent un contact thermique efficace avec les couches périphériques

Est également ici concerné un procédé de stockage et/ou de transport de crayon de combustible
10 nucléaire, comportant les étapes suivantes:

- exercer une traction sur les éléments de panier d'un panier de rangement tel que décrit ci-dessus, de manière à les amener depuis une position initiale à une position soulevée et à engendrer un jeu
15 entre chaque élément transmetteur et chacune des parois chaude et froide,

- introduire un ou plusieurs assemblages dans la cavité centrale,

- relâcher la traction, pour ramener les
20 éléments transmetteurs dans la position initiale, dans laquelle la base de chaque élément transmetteur est positionnée en contact avec l'une ou l'autre des parois chaude et froide. Lors de cette étape, l'effet de la gravitation peut suffire pour ramener les éléments
25 dans la position initiale, du fait de leur propre poids. On peut éventuellement ajouter une pression supplémentaire, ce qui permet de maintenir les éléments dans cette position même lorsque le panier est dans une position autre que la position verticale, par exemple
30 lorsqu'il est en position horizontale lors d'un transport.

Un tel procédé peut être précédé d'une étape d'introduction du panier de rangement dans une piscine, et suivi d'une étape d'extraction du panier chargé avec les crayons pour l'amener hors de la
5 piscine.

Dans l'invention, on met en œuvre des moyens pour appliquer une force sur un empilement d'éléments transmetteurs, ce qui permet au panier de modifier ses rayons internes et externes et ainsi de
10 réduire les espaces entre assemblage et panier et aussi entre panier et l'environnement extérieur, par exemple une virole.

Ainsi le panier adapte sa forme et épouse d'éventuelles déformations de l'assemblage.

15 L'invention permet donc de conserver des jeux importants lors de l'introduction de la charge puis de les résorber avant une opération ultérieure, par exemple une manutention ou un transport.

Dans le cas du transport d'assemblages, et
20 en particulier de fortes puissances, le système permet de réduire, et même d'annuler, les résistances thermiques de contact (directement liées au gap de gaz dans les jeux et à la conductibilité thermique du gaz). Mais il présente d'autres avantages :

25 - le placage du panier sur l'assemblage permet une tenue mécanique pendant le transport ; on n'a alors plus besoin d'introduire des cales comme c'était le cas auparavant,

- ce panier va adapter sa forme et épouser
30 d'éventuelles déformations longitudinales de l'assemblage,

- il réduit les coûts d'usinage actuels du panier,

- dans certains cas (notamment celui d'un assemblage dans un étui, on pourrait remplacer l'hélium du panier par de l'air sec ou de l'azote.

Par rapport à la technique décrite dans le document WO 2011/161233, où, on le rappelle, le contact peut se faire seulement sur une génératrice ou simplement quelques zones, l'invention décrite ici permet, par la multiplicité de ses surfaces de base d'augmenter le nombre de points de contact et d'avoir des surfaces de contact plus grandes. Plus les éléments transmetteurs sont de petite taille, meilleure est l'adaptation à la forme.

L'invention permet de minimiser les jeux internes et externes dans un panier, ce qui permet de réaliser le stockage et le transport en transport de certains assemblages, dont les puissances ($P > 8\text{kW}$) sont supérieures à celles dégagées actuellement. Elle permet également d'optimiser le nombre de transport des assemblages, puisque que aussi bien un assemblage unique, qu'une pluralité d'assemblage, peuvent être réalisés.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

On décrira à présent, à titre d'exemples non limitatifs, des modes de réalisation de l'invention, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1, déjà décrite, est une vue éclatée d'un château de structure connue,

- les figures 2A-2D et 3A-3B sont diverses vues d'éléments transmetteurs tels que décrits,
- les figures 4A-4C représentent 2 éléments liés par une biellette et leur mouvement relatif,
- 5 - les figures 5A-5D sont diverses vues d'éléments transmetteurs,
- les figures 6A et 6B représentent un empilement d'éléments transmetteurs, liés par des biellettes et leur mouvement relatif,
- 10 - les figures 7A et 7B sont des vues schématiques, respectivement d'un panier en position d'ouverture et d'un panier en position de fermeture,
- les figures 8A et 8B sont des vues d'un panier contenant un assemblage,
- 15 - les figures 9A-9E sont des étapes d'introduction d'un assemblage dans un panier,
- les figures 10A et 10B sont des vues de dessus de 2 systèmes, dont l'un contenant plusieurs assemblages, chacun de ces systèmes comportant au moins
- 20 un panier, une virole en acier et une résine,
- les figures 11, respectivement 12 et 13, représentent l'évolution de la température maximale possible en fonction des jeux internes et externes et de la puissance d'un assemblage, pour 1 assemblage,
- 25 respectivement 7 et 12 assemblages.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

On se réfère d'abord aux figures 2A (vue de côté, en coupe selon le plan AA' ou xOz de la figure 2B) et 2B (vue de dessus, en coupe selon le plan BB' ou xOy de la figure 2A) qui représentent un empilement

30

d'éléments transmetteurs 30, 32, 34, 36 de la chaleur d'un système 20 de panier selon un mode particulier de réalisation de l'invention.

Sur la figure 2A, on voit que les divers
5 éléments transmetteurs sont empilés suivants une direction Oz d'un trièdre trirectangle Oxyz. On a représenté également, sur cette figure et en figure 2B, deux parois 22, 24, qui sont respectivement les parois chaude et froide de l'environnement dans lequel
10 l'empilement est positionné (la paroi 22, dite paroi chaude, est du côté d'un assemblage chaud, situé dans l'intérieur du panier ; tandis que la paroi 24, dite froide, est celle de l'environnement immédiatement extérieur au panier). En dehors de cet environnement
15 les références 22 et 24 sont deux plans qui délimitent l'extension latérale de l'empilement, selon Ox, lorsqu'il est en position fermée ou abaissée, comme expliqué plus loin ; dans la suite on fait référence à 2 parois, mais on peut aussi bien lire 2 plans.

20 L'axe Ox est perpendiculaire aux 2 parois 22,24 tandis que les axes Oz et Oy leur sont parallèles. L'empilement s'étend selon une direction générale selon Oz.

Chaque élément de l'empilement a une forme
25 sensiblement prismatique, comme illustré en figure 2C pour un mode de réalisation d'un élément individuel 30. Les autres éléments de la figure 2A lui sont identiques ou similaires et, pour cette raison, toutes les parties - similaires ou identiques à celles qui sont décrites
30 en figure 2C - de ces autres éléments ne sont pas décrites en détail.

Plus spécifiquement, l'élément représenté en figure 2C est sensiblement un pentaèdre ou un prisme triangulaire, avec trois faces quadrilatérales 303, 303', 305 adjacentes deux à deux et deux faces
5 triangulaires 301, 301' non-adjacentes entre elles et sensiblement perpendiculaires à l'axe Oy.

Il comporte une base 305, qui, dans ce mode de réalisation, est plane et parallèle à une arête 307 qui s'étend selon l'axe Oy du trièdre trirectangle
10 Oxyz.

Selon un aspect particulier, illustré en figure 2D, les côtés et les angles peuvent être tronqués : on utilisera alors, quand même, l'expression « arête » ou « sommet ».

Entre l'arête 307, ou le sommet, et la base 305 s'étendent 2 surfaces 303, 303' que l'on pourra désigner, par commodité, respectivement par « surface supérieure » et « surface inférieure ». Dans l'exemple représenté, ces surfaces sont planes, mais
15 elles peuvent avoir d'autres formes, par exemple elles peuvent comporter des corrugations ou des ondulations, destinées à venir en contact, ou à s'assembler, avec des corrugations ou des ondulations correspondantes d'une surface plane d'un élément voisin.
20

Latéralement, selon l'axe Oy, l'élément est limité par deux parois ou faces latérales 301, 301'. Dans cet exemple de réalisation, ces deux dernières parois sont sensiblement perpendiculaires à la base 305 et sensiblement parallèles au plan xOz. Dans une
25 variante, représentée schématiquement en vue de dessus en figures 3A et 3B, les parois latérales (ici : 341,
30

341', l'élément représenté étant l'élément 34) sont inclinées et coupent donc à la fois les axes Ox et Oy . Dans le plan zOx , chacun de ces éléments transmetteurs a une forme sensiblement triangulaire, chaque triangle
5 présentant un grand côté et 2 petits côtés, qui sont de préférence de longueur sensiblement égale, le triangle étant lui-même sensiblement isocèle. De préférence encore, les trois côtés sont tronqués à leur extrémité, comme illustré en figure 2D, ou en figures 4A - 4C.
10 Dans le plan zOx , chacun a alors, strictement, non plus une forme sensiblement triangulaire, mais plutôt hexagonale, avec 3 grands côtés et 3 petits côtés qui alternent l'un avec l'autre.

La hauteur de ce triangle, ou la distance
15 entre l'arrête 307 ou le sommet et la base 305, est inférieur à l'écart entre les deux parois 22, 24. Ainsi, lorsque l'élément est positionné comme illustré en figure 2A, la distance maximale entre le sommet 307 de l'élément et sa base 305 permet de conserver un jeu
20 27, 29 entre cet élément et chacune des 2 parois 22, 24. Lorsque le dispositif est en position « fermée » (figures 4C, 6B et 7B) il subsiste des zones 270, 270', 290, 290' qui ne sont pas comblées avec une portion d'un élément absorbant. Ces jeux sont dimensionnés pour
25 permettre d'éviter tout contact entre un élément transmetteur et l'élément voisin de second rang (par exemple, sur la figure 2A, tout contact est évité entre les éléments 30 et 34, entre les éléments 32 et 36 etc.). Ces zones ne posent pas de problème du point de
30 vue thermique car la chaleur passe par les contacts créés entre les éléments voisins, entre 30 et 32, entre

32 et 34, entre 34 et 36 etc. Ces zones sont disposées, alternativement, vers chacune des parois 22, 24 ; même pleines de gaz, et donc isolantes, leur influence thermique est négligeable parce qu'elles sont shuntées
5 par un passage parallèle beaucoup plus conducteur thermiquement.

Sur la figure 2A on voit, de manière similaire à ce qui présenté en figure 2C, la base 325, 345, 365 des autres éléments 32, 34, 36, et leurs
10 arêtes, 327, 347, 367.

Les divers éléments 30, 32, 34, 36 sont empilés comme indiqué sur la figure 2A, la surface plane inférieure (respectivement supérieure) d'un premier élément étant en contact ou en regard de la
15 surface plane supérieure (respectivement inférieure) d'un deuxième élément immédiatement voisin, mais situé sous (respectivement : sur) ce premier élément, selon l'axe Oz.

Les grands côtés des éléments empilés sont
20 disposés, alternativement, vers la paroi 24 et vers la paroi 22. Autrement dit, un élément transmetteur 30 a une base dirigée vers la paroi 24 tandis que la base des éléments voisins est dirigée vers la paroi 22.

En position fermée ou abaissée de
25 l'empilement, deux éléments voisins peuvent s'appuyer l'un contre l'autre par l'une de leurs surfaces planes inférieure et supérieure, selon une interface 40. Celle-ci a la forme d'un segment de droite qui définit, avec une droite parallèle à l'axe Ox, ou
30 perpendiculaire aux parois 22, 24, un angle aigu A (par

exemple compris entre 30° et 60° , par exemple encore égal à, ou voisin de, 45°).

Dans l'exemple décrit ci-dessus, les faces 305, 325, etc sont planes.

5 En variante, cette face peut présenter une courbure, par exemple elle peut consister en une portion de cylindre, comme illustré en figures 3B, 5C et 5D avec les faces 345' (élément 34, figure 3B), et 305' (élément 30, figures 5C et 5D), l'axe du cylindre
10 étant parallèle à la direction de traction de l'ensemble de l'empilement. L'effet thermique de l'ensemble de l'empilement n'en est pas affecté en position fermée ou baissée de l'empilement, car les contacts entre les surfaces planes voisines de deux
15 éléments voisins restent identiques à ce qui a été décrit ci-dessus. La section de cet élément, selon un plan zOx , a encore une forme triangulaire ou comme celle de la figure 2D, la base 305 du triangle étant un segment de droite. En position abaissée de
20 l'empilement, la portion cylindrique de la paroi 345', 305' est tangente à la paroi extérieure ou au plan extérieur 24. Une telle courbure peut être utile pour épouser la forme d'un cylindre, les plans ou parois 22 et 24 étant souvent cylindriques (voir par exemple les
25 structures des figures 10 10b) suivant Un axe parallèle à la direction de traction.

Comme on le voit également sur les figures 2A - 2C , 3A - 3B et des figures 5A - 5D , chacune des faces latérales 301, 301', 321, 321', 341, 341', 361,
30 361' de chaque élément peut comporter deux tenons 30', 30'', 32', 32'', 34', 34'', 36', 36'', chaque tenon

étant proche d'une des surfaces planes inférieure et supérieure de l'élément correspondant. Les deux tenons d'une même face latérale sont sensiblement alignés selon une direction parallèle à la base de ce même
5 élément ou selon l'arête 305 dans la vue en coupe de la figure 2D (ou encore : selon la direction de traction). Chaque tenon a une forme sensiblement cylindrique, l'axe du cylindre étant dirigé de manière sensiblement perpendiculaire à la face latérale sur laquelle ce
10 tenon est situé.

Une bielle ou biellette 40, 42, 44, 46 relie les deux tenons les plus proches de deux éléments voisins. Cette biellette va donc définir l'écart maximum qu'il peut y avoir entre les deux surfaces
15 planes, inférieure et supérieure, les plus proches de deux éléments voisins, lorsque ceux-ci ne sont pas en contact. Elle définit également l'amplitude maximum du glissement possible d'une face plane d'un élément par rapport à la face plane en regard de l'élément voisin.

20 Ces biellettes, et les tenons correspondants, permettent d'appliquer à l'élément concerné une traction selon une direction parallèle, ou sensiblement parallèle, à l'axe Oz et/ou à l'intersection 305 de la base avec le plan zOx (cas des
25 figures 2D et 3B). Dans le cas de la figure 4A, la force appliquée sur chaque face a une composante également selon Ox, , mais cela est sans conséquence parce que, en position de traction (figure 4A) les éléments sont bloqués. Par conséquent, la force
30 résultante est là encore selon l'axe Oz. Comme on le voit sur la figure 2A, et comme expliqué ci-dessous,

une force F de direction Oz peut ainsi être appliquée ou transmise à chaque élément, la base de celui-ci restant parallèle à la paroi chaude ou froide correspondante vers laquelle elle est tournée. Dans la
5 mesure où chaque élément est disposé, selon l'axe Oz , entre deux autres éléments, chaque tenon subit une force de traction vers le haut, mais également le poids des éléments qui sont situés sous lui.

On peut ainsi assurer le déplacement
10 relatif des éléments constitutifs du panier, lorsque ceux-ci sont empilés et disposés entre les deux parois telles que les parois chaude et froide 22, 24.

Ces moyens vont permettre d'écarter les différents éléments par rapport à chacun de ses voisins
15 et donc d'induire entre deux faces latérales de deux éléments voisins un écart e , ces deux faces latérales restant parallèle entre elles. De même, il se produit, lors de l'écartement des différents éléments, un positionnement de ceux-ci de sorte qu'un espace au jeu
20 27, 29 est ménagé entre les différents éléments et les parois 22, 24.

Une biellette a par exemple la forme représentée en figure 2A ou 6A, cette forme est longitudinale et comporte une ouverture centrale, elle
25 aussi longitudinale. L'amplitude maximum de cette ouverture, c'est-à-dire la distance entre les faces internes des deux petits côtés de la biellette est égale à la distance maximum souhaitée entre les génératrices extérieures des deux tenons voisins de
30 deux éléments transmetteurs immédiatement voisins dans l'empilement. La biellette et son ouverture latérale

permettent à 2 éléments voisins de glisser l'un sur l'autre, en gardant leurs faces planes immédiatement voisines en contact. Par exemple, on voit en figure 2A que chacune des biellettes a une ouverture centrale qui permet aux deux éléments voisins 301 et 321, 321 et 341, 341 et 361... d'être écartés de manière à ce que leurs faces latérales voisines restent parallèles entre elles avec une distance e . Cette distance, ou cet écartement, permet aux éléments absorbants d'être en position « soulevée » afin de permettre l'introduction de barres d'éléments dans le panier. En position abaissée, les faces latérales des éléments voisins sont en contact l'une avec l'autre, comme illustré en figure 6B ou 7B. Les biellettes sont alors dans une position relâchée, la distance entre deux tenons voisins de deux éléments voisins étant inférieure à l'amplitude maximale définie par l'ouverture interne de chaque biellette.

Un autre mode de réalisation des biellettes est représenté en figures 4A-4C : chaque biellette 47 comporte deux ouvertures, chacune de ces ouvertures permettant d'accueillir un tenon 30'', 32'' d'un des éléments absorbants. L'une de ces ouvertures, celle qui est autour du tenon 30'', permet à la biellette de se déplacer seulement en rotation autour de ce tenon, mais pas en translation, tandis que l'autre ouverture lui permet de se déplacer en rotation autour du tenon 32'' et permet à l'élément 32 de se déplacer en translation : l'ouverture correspondante s'étend sur une plus grande longueur, environ depuis le milieu de la

biellette (dans le sens de sa longueur) jusqu'au côté intérieur d'une de ses extrémités latérales.

La distance entre les deux ouvertures et la longueur de la 2^{ème} ouverture sont choisies de manière à
5 ce que les deux éléments absorbants voisins puissent passer :

- d'une position dite initiale (figure 4A), dans laquelle les deux faces voisines de deux éléments voisins sont en contact, et un jeu 27, 29 est ménagé
10 entre la base de chacun des éléments et la paroi ou la paroi 22,24 à laquelle cette base fait face,

- à une position intermédiaire (figure 4B), dans laquelle les faces latérales voisines de deux éléments voisins sont écartées l'une de l'autre d'une
15 distance souhaitée, et chacune des bases se rapproche de la paroi 22, 24 correspondante,

- puis à une position de « placage » (figure 4C) dans laquelle 2 faces latérales voisines sont en contact l'une de l'autre ou plaquées l'une
20 contre l'autre, et la base de chacun des éléments est plaquée contre la paroi 22, 24 correspondante.

Dans ce mouvement, les extrémités de la biellette effectuent, sous l'action des moyens 21 (figure 7A), un mouvement sensiblement circulaire, sur
25 un cercle dont le centre est le centre de la biellette.

Un autre mode de réalisation d'un système de liaison entre les éléments voisins est illustré en figures 5A - 5D, les figures 5A - 5B correspondant à une réalisation avec une base 305 en forme de paroi
30 plane, les figures 5C - 5D correspondant à une

réalisation dont la base 305' a la forme d'une portion de cylindre.

Cette fois, l'élément 30 représenté comporte :

5 - deux encoches latérales, ou évidements latéraux, 203, 204, qui débouchent dans la face plane supérieure 303 et éventuellement (comme c'est le cas sur les figures 5A - 5D) dans la face latérale 301', 301 correspondante,

10 - deux encoches latérales, ou évidements latéraux, 205, 206, qui débouchent dans la face plane inférieure 303' et éventuellement dans la face latérale 301', 301 correspondante.

15 Dans la paroi intérieure de chaque encoche latérale est ici réalisé un trou de 203', 204' dans lequel on peut positionner un tenon, destiné à coopérer avec l'extrémité d'une bielle ou d'une biellette, comme déjà décrit ci-dessus.

20 Une paroi de chaque encoche est donc destinée à être munie des moyens, par exemple au moins 1 plot ou 1 tenon, pour coupler chaque élément à l'aide, par exemple, de deux biellettes, comme expliqué ci-dessus. Chaque encoche a un volume suffisant pour accueillir une partie d'extrémité de la biellette
25 correspondante.

30 Comme représenté en figure 7A, des moyens ou un mécanisme de traction 21 sont positionnés d'un côté du panier, en haut ou en bas de celui-ci. Des moyens comportant par exemple une ou plusieurs tiges 210 et/ou un ou plusieurs vérins sont reliés à l'élément d'extrémité de l'empilement d'éléments pour

communiquer à l'ensemble des éléments un mouvement ascendant ou descendant suivant l'axe Oz. Les moyens 21 peuvent permettre d'exercer une pression sur l'ensemble de l'empilement, lorsque celui-ci est en position fermée ou abaissée.

Lorsqu'on veut introduire un assemblage dans le panier, on exerce une force vers le haut, comme schématisé par les flèches F sur les figures 2A, 6A et 7A, parallèlement à l'axe Oz et à chacune des parois 22, 24.

Chaque élément du panier se sépare alors des éléments voisins, de la manière expliquée ci-dessus, en liaison avec les figures 4A - 4C, 6A - 6B et 7A - 7B. Ce mouvement libère des jeux 27, 29, 27', 29' dans le sens radial (figure 2A, 6A et 7A).

Une fois l'assemblage en place, on applique une force vers le bas (toujours selon l'axe Oz), ou bien c'est la force de gravitation qui attire les éléments absorbants vers le bas, les faces planes des éléments absorbants viennent en contact les uns avec les autres et les jeux internes et externes disparaissent (comme en figures 4C, 6B et 7B). À l'issue de cette phase, une force d'appui peut encore être exercée sur l'empilement d'éléments pour diminuer les résistances thermiques à l'interface solide-solide de chaque couple d'éléments voisins et garantir la tenue mécanique de l'ensemble, quelle que soit la position du château, y compris en position horizontale.

Comme on le voit dans les vues de dessus des figures 2B et 3 et dans la vue en perspective de la figure 2C, chaque élément absorbant s'étend sur une

longueur L limitée, par exemple comprise entre 100 mm et 200 mm ou encore 500 mm, cette longueur étant choisie en fonction des qualités de surface des éléments et de la qualité du transfert thermique souhaité. L peut être la longueur étirée d'un arc, notamment dans le cas d'une base telle que la base 345' de la figure 3B.

Par conséquent, un assemblage, qui a en général une forme cylindrique, va être entouré par une pluralité de n éléments de panier, disposés de manière sensiblement circulaire, chaque élément de panier couvrant un secteur d'environ $360^\circ/n$. Une telle disposition est représentée en figures 8A et 8B, pour un assemblage hexagonal, chaque élément de panier 60, 62, 64, 66, 68, 70 couvrant un secteur d'environ 60° . Les références 620-626 sont les éléments individuels deux éléments de panier 62. Les deux éléments d'extrémité 620 et 626 sont tronqués pour obtenir des surfaces planes, aux deux extrémités de l'empilement.

Sur ces figures 8A et 8B, on a représenté le système en trois dimensions, avec une rangée verticale d'éléments absorbants éliminée (ou un élément de panier éliminé) pour une meilleure visualisation. L'ensemble des éléments de panier est disposé pour définir une ouverture hexagonale interne à 17, dans laquelle un élément de combustible peut être introduit.

La figure 8A correspond à une situation d'ouverture, les éléments absorbants étant en position disjointe l'un de l'autre, comme illustré en figure 2A et en figure 4A. Un jeu, qui peut être important, est

alors créé entre la charge, qui est au centre du panier, et la paroi interne de ce panier.

La figure 8B correspond à une situation de fermeture, les éléments absorbants voisins étant en position de contacts l'un avec l'autre, comme illustré en figure 4C et en figure 6B. Dans cette position, tout jeu, qui se trouvait précédemment entre la charge et la surface interne du panier, est annulé.

Dans l'exemple de réalisation des figures 8A et 8B, l'hexagone 15 est la charge, sa paroi extérieure correspond à la paroi chaude (parois 22) de la figure 2A.

Dans cette réalisation, on note la présence d'une zone, entre deux cellules voisines d'un même étage, ou entre 2 éléments (par exemple 62 et 64) de panier, dans laquelle il n'y a pas d'éléments absorbants. Mais, pour la même raison que celle indiqué ci-dessus pour les jeux résiduels 270, 290, cela n'est pas gênant du point de vue de la conduction thermique ; en effet, la chaleur passe « à côté », dans des zones hautement conductrices du point de vue thermique (le rapport de la conductivité de l'aluminium sur celle de l'hélium est de 1000 et, sur celle de l'air, elle est d'environ 6000).

Une fois le système mis en place (figures 7B, 8B), l'évacuation des calories dans le sens radial est améliorée et il est en résulte une diminution importante des gradients thermiques radiaux.

Ainsi en utilisant un procédé de stockage mettant en œuvre un panier tel que décrit ci-dessus, la limite précédemment énoncée de 2.5 kW ($T_{\max} < 450^{\circ}\text{C}$) et

4.5 kW ($T_{\max} < 650^{\circ}\text{C}$) pour un TN12 passe respectivement à 3.5 kW et 6.5 kW. Lors d'un transport d'un assemblage, on peut donc atteindre 5 kW pour $T_{\max} < 450^{\circ}\text{C}$ et 9 kW pour $T_{\max} < 650^{\circ}\text{C}$.

5 La réalisation illustrée en figures 8A et 8B montre un panier (amputé d'une colonne d'éléments uniquement pour des questions de visibilité du dessin) et le tube hexagonal 15. Mais il est également possible d'introduire plusieurs assemblages, comme illustré en
10 figure 10B, qui représente une vue de dessus : dans ce cas, le panier comporte :

- une pluralité de paniers élémentaires 100-106,
 - une partie fixe 55 (un empilement de
15 disques en matériau conducteur de chaleur, par exemple en aluminium, chaque disque ayant les ouvertures appropriées pour laisser passer les paniers aux positions souhaitées),
 - une couronne d'éléments de panier 550
- 20 Chaque élément étant du type selon l'invention, comme déjà présenté ci-dessus.

Le panier ainsi constitué est disposé à l'intérieur d'un château, l'ensemble étant entouré d'une virole 54 en acier et d'une couche 52 en résine.
25 L'ensemble peut être muni d'ailettes 56 d'évacuation de la chaleur ; ce sont celles ailettes qui, sur la figure 10C, dépassent vers l'extérieur. On retrouve ces références 52, 54 sur la figure 10A, pour le cas d'un seul panier.

30 Un ensemble constitutif d'un château, peut donc comporter au moins un panier élémentaire tel que

décrit ci-dessus, mais également un ensemble de couches absorbantes, par exemple une couche 54 (qui peut être en acier forgé ou en plomb) pour absorber le rayonnement gamma, et une couche 52 (contenant beaucoup d'hydrogène) pour ralentir les neutrons.

Un panier élémentaire peut avoir la structure qui vient être décrite ci-dessus, sur toute sa hauteur.

Il peut également avoir une telle structure sur une hauteur h limitée, qui correspond à la puissance que l'on veut évacuer, par exemple environ 1 m, comme cela apparaît par exemple en figure 9A ou l'on voit que l'ensemble 20 des éléments mobiles s'étend sur une hauteur limitée de chaque paroi du panier (il s'agit de la hauteur sur laquelle les échanges thermiques ont lieu), le reste étant constitué par deux parties 20', 20'' uniformes.

En variante, comme illustrée en figure 9B, quelques éléments peuvent être disposés dans une partie dans laquelle il y n'a pas, ou peu, d'échanges thermiques, comme dans les zones 200, 200'. Ces éléments fonctionnent comme ce qui a déjà été décrit ci-dessus, mais ils n'ont alors qu'un rôle de blocage mécanique, et pas, ou peu, de rôle du point de vue thermique. Au contraire, l'ensemble 20 des éléments mobiles a, à la fois, un rôle thermique et mécanique. Les zones 200', 200 sont séparés de la zone ou de la portion 20 par une portion de matériau homogène et continue, non munie d'éléments absorbants tels que décrit ci-dessus.

Les figures 9A - 9E représentent les étapes d'un chargement de combustible dans un dispositif selon l'invention.

5 Dans un premier temps (figure 9A), cet ensemble, qui ne contient pas encore d'élément combustible, est plongé dans une piscine 120 et les couvercles 130 des différentes parties sont ouverts.

Puis (figure 9B) les éléments absorbants du panier sont soulevés, de la manière déjà expliquée ci-dessus, par traction sur l'ensemble des éléments, à 10 l'aide des moyens 21. On relâche ainsi leur maintien et on introduit des jeux entre la base de chaque élément et la surface 22, 24 vers laquelle elle est tournée (voir les explications données ci-dessus).

15 Le panier étant maintenu dans cette position soulevée, on peut introduire un élément combustible 15 (voir la figure 9C) dans l'ouverture centrale 17.

On inverse ensuite la force d'appui sur les 20 éléments de la paroi du panier, comme illustré en figure 9D, de manière à positionner les éléments absorbants en contact l'un de l'autre, et sans laisser du jeu entre les bases de ces éléments et les parois.

Enfin, l'ensemble est refermé, en ramenant 25 les couvercles dans leur position initiale (voir figure 9E).

L'ensemble peut ensuite être soulevé de la piscine pour égouttage.

On présente dans la suite des résultats 30 numériques pour des châteaux transportant 1, 7 ou 12 assemblages. Ces châteaux sont nommés TC1, TC2 ou TC12

selon qu'ils transportent 1, 2 ou 7 assemblages, ils sont inspirés de dimensions de châteaux actuels comme l'IL49 ou le TN12.

Pour une limite de 650°C, la puissance par assemblage va de 4kW6 (TC12) à 6kW3 (TC1) pour des jeux standards. Annuler ces jeux permettrait d'obtenir respectivement 6kW6 à 8kW8.

Ci-dessous, on chiffre les gains réalisés en termes de puissance évacuable pour un critère de température donné, pour le cas d'assemblages chargés en actinides mineurs.

La géométrie choisie pour le château est une géométrie multi couches :

- de type TN12 (utilisée dès qu'on a plus d'un assemblage à transporter), représenté en vue de dessus en figure 10B. Dans cette géométrie, le diamètre extérieur de la couche 550 est le même que celui du panier utilisé aujourd'hui ce qui ne modifie en rien le reste de la géométrie. La référence 54 désigne une virole en acier,

- ou de type IL49 (pour le transport d'un seul assemblage), représenté en vue de dessus en figure 10A. Dans cette géométrie, le diamètre extérieur D_e de la couche 52 de résine, et le diamètre extérieur du panier 100 d'aluminium sont conservés

Trois cas en ont été étudiés : le cas d'un seul assemblage, celui de 7 assemblages et celui de 12 assemblages.

Pour le cas d'un seul assemblage, la géométrie est de type IL49.

L'étude de l'effet des paramètres T_{max} et des jeux conduit aux résultats suivants, donnés en figure 11 sur laquelle :

- la courbe I correspond à 2 jeux de 1 mm chacun,
- la courbe II correspond à 1 jeu interne de 5 mm et 1 jeu externe de 1 mm,
- la courbe III correspond à 1 jeu interne de 5 mm et 1 jeu externe de 2 mm,
- la courbe IV correspond à 2 jeux de 5 mm,
- la courbe V correspond à 2 jeux de 0 mm, c'est-à-dire à un contact obtenu selon la présente invention,

Par exemple, pour une valeur maximale de 650°C :

- dans le cas de la courbe I, on peut évacuer 8kW,
- dans le cas standard (courbe III) on peut évacuer environ 6.3kW,
- et l'optimum est de 8.7kW lorsque les jeux disparaissent (courbe V).

Pour le cas de 7 assemblages, la géométrie est de type TN12.

Lors de l'étude paramétrique, on n'a étudié que le cas standard et celui où les jeux sont nuls (les autres cas étant compris entre ces 2 cas limites). L'étude de l'effet des paramètres T_{max} et des jeux conduit aux résultats suivants, donnés en figure 11 sur laquelle :

- la courbe I' correspond à 1 jeu interne de 5 mm et 1 jeu externe de 1 mm; dans ce cas standard

on peut évacuer 5.5kW par assemblage, soit une puissance totale de 39 kW et la résine a une température comprise entre 70°C et 88°C,

- la courbe II' correspond à 2 jeux de 5 0 mm.

Là encore, on voit que la réduction des jeux permet, à une température au centre maximal donné, d'augmenter la puissance évacuable.

Pour le cas de 12 assemblages, on a repris 10 la géométrie de type TN12.

Lors de l'étude paramétrique, on n'a étudié que le cas standard et celui où les jeux sont nuls (les autres cas étant compris entre ces 2 cas limites). L'étude de l'effet des paramètres Tmax et des jeux 15 conduit aux résultats suivants, donnés en figure 13 sur laquelle :

- la courbe I'' correspond à 1 jeu interne de 5 mm et 1 jeu externe de 1 mm ; dans ce cas standard on peut évacuer 4.5kW par assemblage, soit une 20 puissance totale de 54 kW, la température au centre étant inférieure à 650°C,

- la courbe II'' correspond à 2 jeux de 0 mm.

Dans ce cas de forte puissance la résine externe atteint une température de 80°C.

25 Les résultats de la figure 13 conduisent à la même conclusion : la réduction des jeux permet, à une température maximale donnée é »au centre, d'augmenter la puissance évacuable.

On a synthétisé dans le tableau II 30 ci-dessous la puissance évacuable, pour les trois configurations ci-dessus, et pour 2 températures

maximales différentes (450° C et 650° C). La puissance évacuable est indiquée pour chacun de ces cas, soulignée lorsque les jeux sont nuls.

	P évacuable par 1 assemblage		
	1 assemblage	7 assemblages	12 assemblages
Tmax=450 °C	3,3kw (<u>4,6kw</u>)	2,9kw (<u>4kw</u>)	2,5kw (<u>3,5kw</u>)
Tmax=650°C	6,3kw (<u>8,8kw</u>)	5,5kw (<u>7,6kw</u>)	4,6kw (<u>6,6kw</u>)

5

Tableau II

L'invention s'applique dans le domaine stockage et/ou du transport de matières radioactives de forte puissance, notamment de combustibles de forte puissance de la génération IV, par exemple encore d'assemblages chargés en actinides mineurs.

15

REVENDICATIONS

1. Elément transmetteur de la chaleur (30, 32, 34, 36) pour un panier de rangement de combustible nucléaire, de forme sensiblement prismatique, comportant 3 faces principales (303, 303', 305, 325, 345, 365), dont une base et 2 surfaces secondaires, et deux faces latérales (301, 301'), en un matériau transmettant la chaleur, muni latéralement de moyens pour assurer une traction de l'élément selon une direction parallèle à la base.

2. Elément selon la revendication 1, les moyens pour assurer une traction de l'élément :

- étant placés sur les faces latérales,
- ou comportant des encoches latérales ou des évidements latéraux (203, 204, 205, 206) pratiqués dans l'élément, chaque évidement débouchant dans une des faces planes secondaires, et éventuellement dans la face latérale correspondante (303).

3. Elément selon la revendication 2, les moyens pour assurer une traction de l'élément comportant au moins 2 plots ou 2 tenons (30', 30'', 32', 32'', 34', 34'', 36', 36''), placés sur chaque face latérale ou sur une paroi de chaque encoche latérale ou évidement latéral.

4. Elément selon l'une des revendications 1 à 3, comportant au moins une bielle (40, 42, 44, 47) de traction coopérant avec les moyens pour assurer une traction de l'élément selon une direction parallèle à la base.

5. Élément selon la revendication précédente, la biellette de traction ayant un intérieur au moins en partie ajouré.

5 6. Élément selon l'une des revendications précédentes, ayant, dans un plan perpendiculaire à la base, une forme sensiblement triangulaire.

7. Élément selon l'une des revendications
10 précédentes, la base étant plane ou formant une portion de cylindre (305').

8. Élément selon l'une des revendications précédentes, les surfaces secondaires (303, 303') étant
15 planes ou munies d'ondulations.

9. Élément (60, 62, 64, 66, 68, 70) de panier de rangement de combustible nucléaire, comportant :

- 20 - un premier empilement d'éléments absorbants selon l'une des revendications précédentes, disposé entre les deux parois, chaque surface secondaire d'un élément étant en regard d'une surface secondaire d'un élément absorbant voisin, les bases des
25 différents éléments absorbants étant alternativement tournées vers un côté de l'empilement, puis vers l'autre, chaque élément transmetteur étant connecté à ses voisins par les moyens pour assurer une traction de l'élément selon une direction parallèle à la base,
30 - des moyens (21) pour exercer une traction sur l'ensemble des éléments transmetteurs.

10. Élément (60, 62, 64, 66, 68, 70) de panier de rangement selon la revendication précédente, chaque surface secondaire d'un élément :

5 - étant en contact avec une surface secondaire d'un élément absorbant voisin lorsqu' aucune traction n'est exercée sur l'ensemble des éléments transmetteurs,

- et étant située à une distance non nulle, de ladite surface secondaire, et sensiblement parallèle
10 à celle ci, lorsqu'une traction est exercée sur l'ensemble des éléments transmetteurs.

11. Élément (60, 62, 64, 66, 68, 70) de panier de rangement selon la revendication 9 ou 10,
15 l'empilement d'éléments transmetteurs ayant une hauteur (h) inférieure à la hauteur totale de l'élément de panier.

12. Élément (60, 62, 64, 66, 68, 70) de
20 panier de rangement selon l'une des revendications 9 à 11, comportant en outre au moins un deuxième empilement d'éléments absorbants selon l'une des revendications 1 à 8, disposés dans une zone (200, 200') séparée du premier empilement par une portion continue de
25 matériau.

13. Panier de rangement de combustible nucléaire, comportant une pluralité d'éléments de panier de rangement selon l'une des revendications 9 à
30 12, disposés de manière à délimiter une cavité centrale (17) de forme sensiblement cylindrique ou carrée ou

rectangulaire ou hexagonale dans un plan perpendiculaire à la direction de traction de chaque panier.

5 14. Château pour le stockage et/ou le transport de combustible nucléaire, comportant au moins un panier de rangement selon la revendication précédente, entouré d'une couche de protection périphérique (54) pour l'absorption des rayons gamma et
10 une couche (52) de protection périphérique pour ralentir les neutrons.

 15. Château pour le stockage de combustible nucléaire, selon la revendication précédente,
15 comportant plusieurs paniers en nombre compris entre 2 et 12.

 16. Procédé de stockage et/ou de transport de crayon de combustible nucléaire (15), comportant les
20 étapes suivantes :

 - exercer une traction sur les éléments transmetteurs des éléments de panier d'un panier de rangement selon la revendication 13, de manière à les amener depuis une position initiale à une position
25 soulevée et à engendrer un jeu (27, 29) entre chaque élément transmetteur et les deux plans (22,24) qui définisse les surfaces chaudes et froides,

 - introduire un ou plusieurs crayons de combustible dans la cavité centrale (17),

30 - relâcher les éléments transmetteurs, pour les ramener dans la position initiale, dans laquelle la

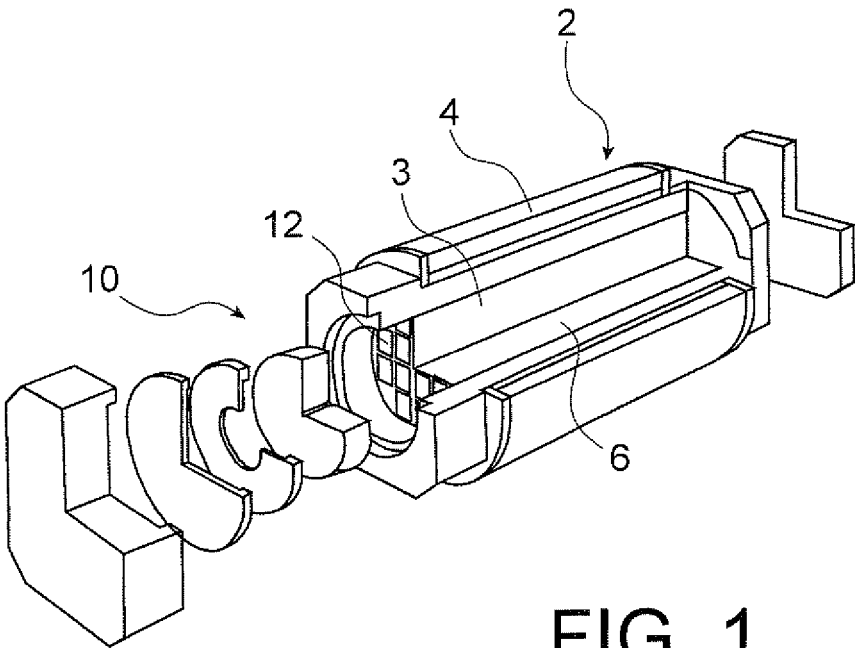
base de chaque élément transmetteur est positionnée en contact avec l'une ou l'autre des deux parois (22,24) chaude et froide.

5 17. Procédé selon la revendication 16, comportant une étape préalable d'introduction du panier de rangement dans une piscine (12), et une étape ultérieure d'extraction de la piscine, du panier chargé avec les crayons.

10

 18. Procédé selon la revendication 16 ou 17, dans lequel chaque crayon de combustible à une puissance au moins égale à 7 kW ou 8 kW.

15



2 / 16

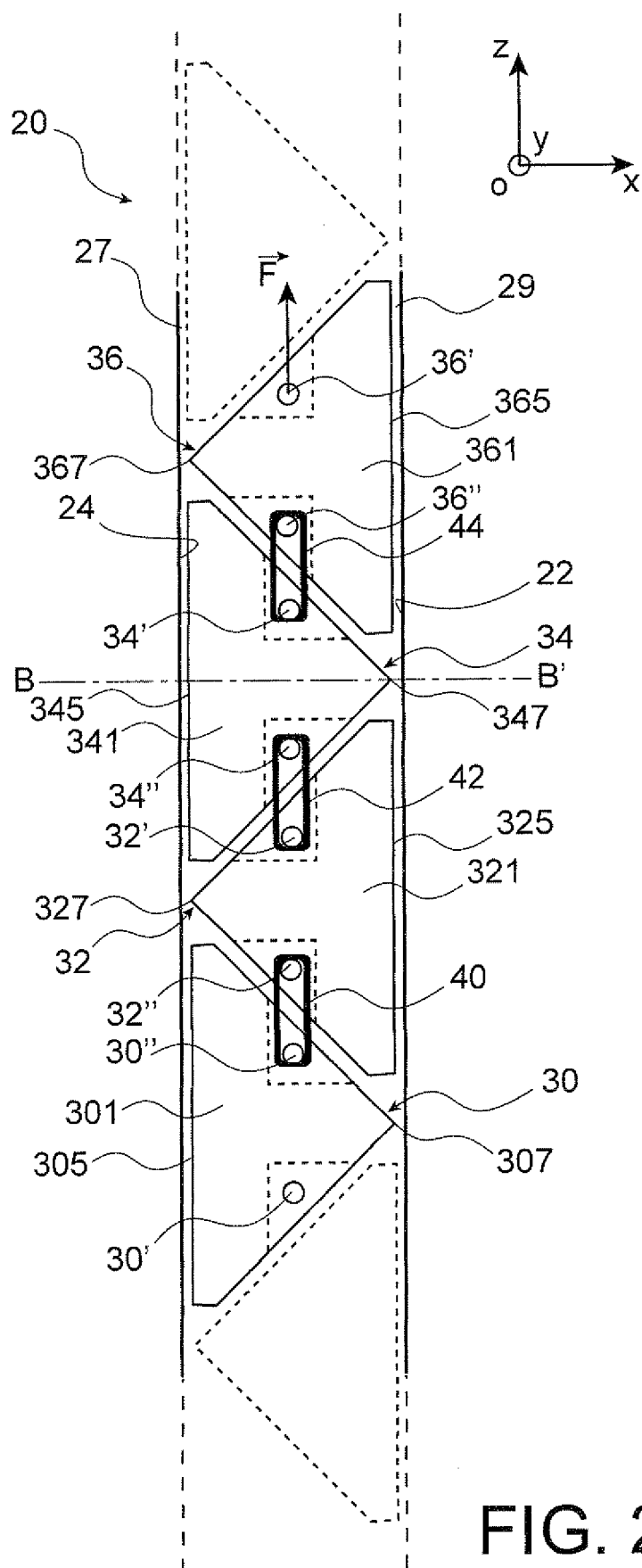
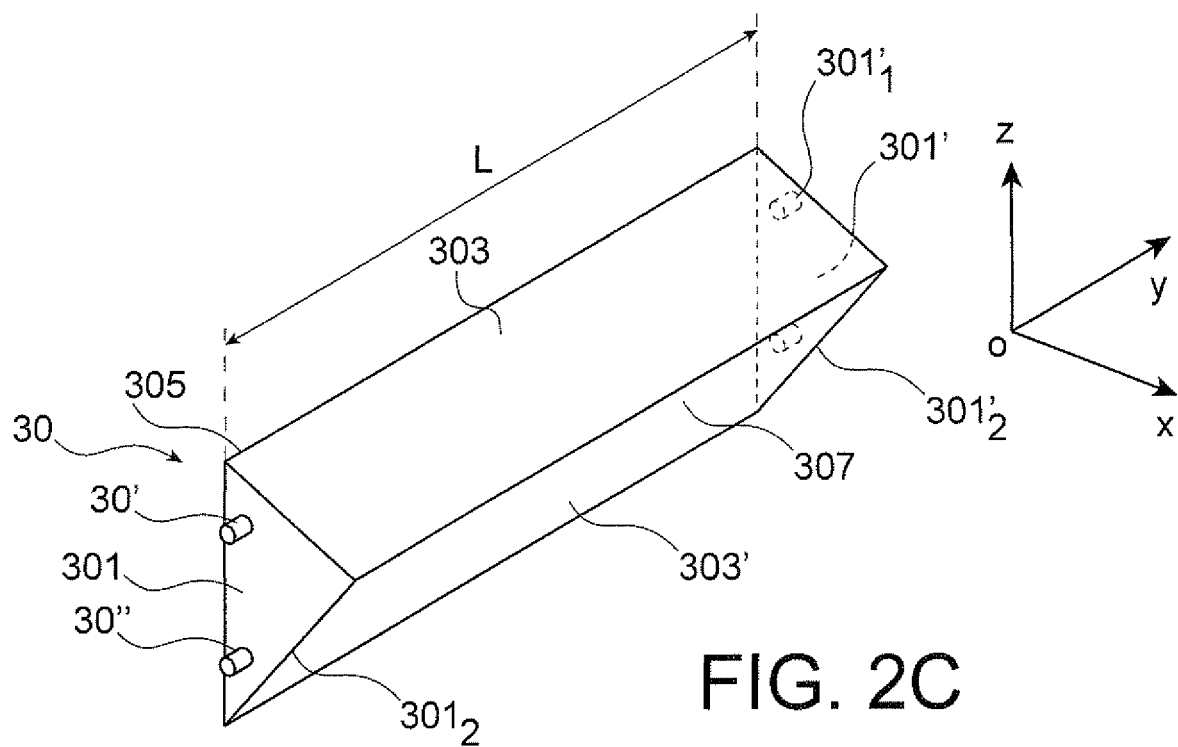
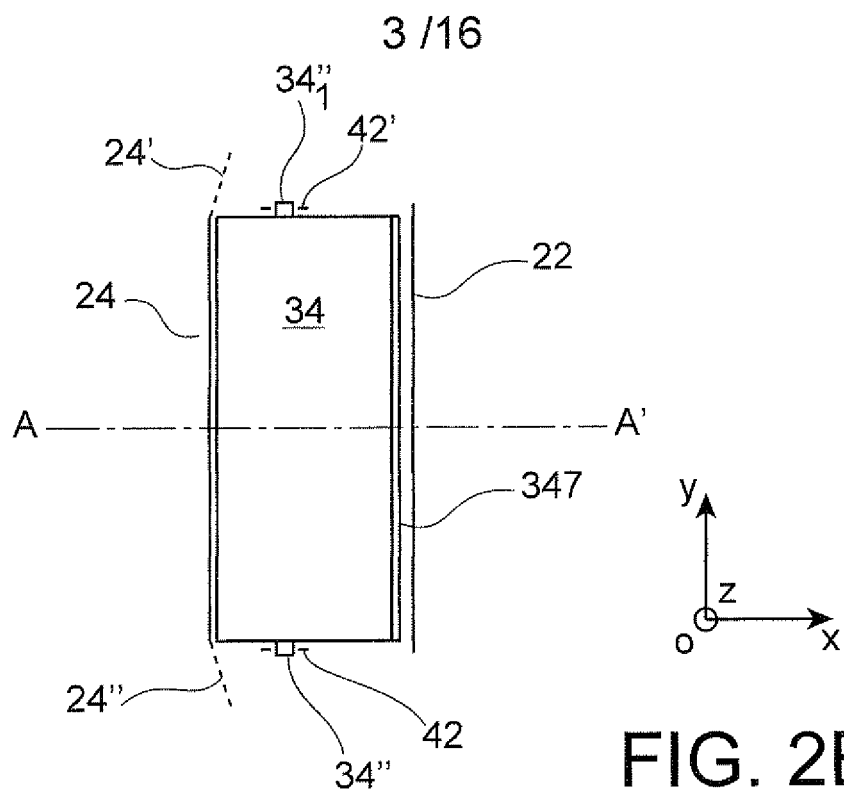


FIG. 2A



4 / 16

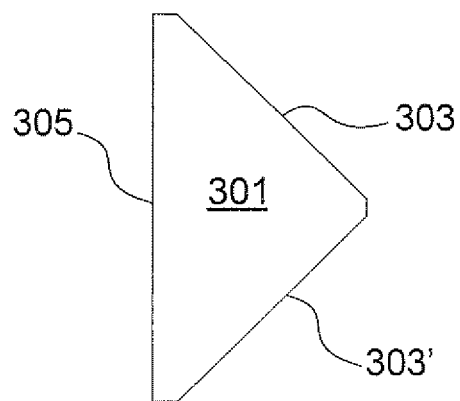


FIG. 2D

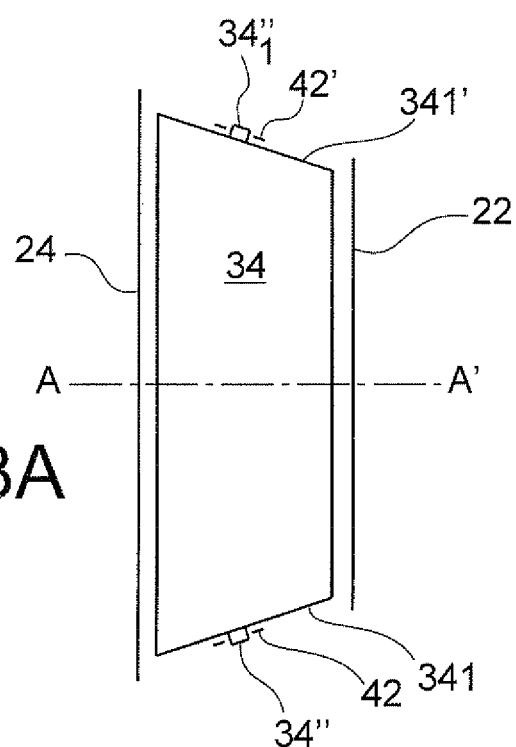


FIG. 3A

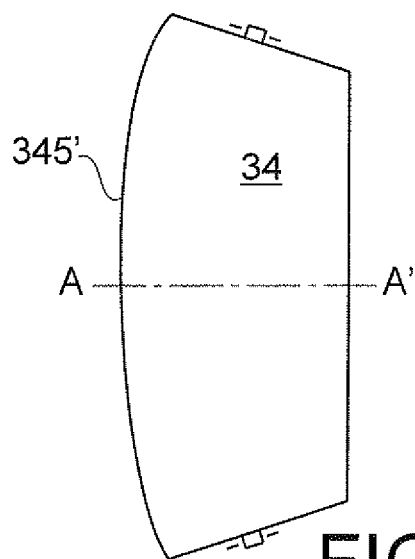


FIG. 3B

5 / 16

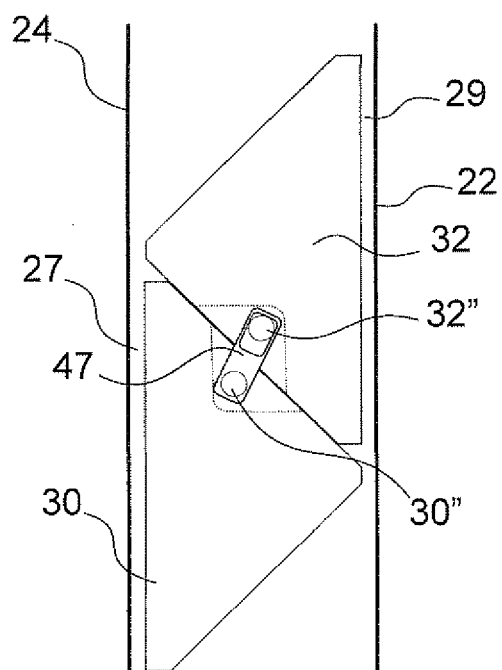


FIG. 4A

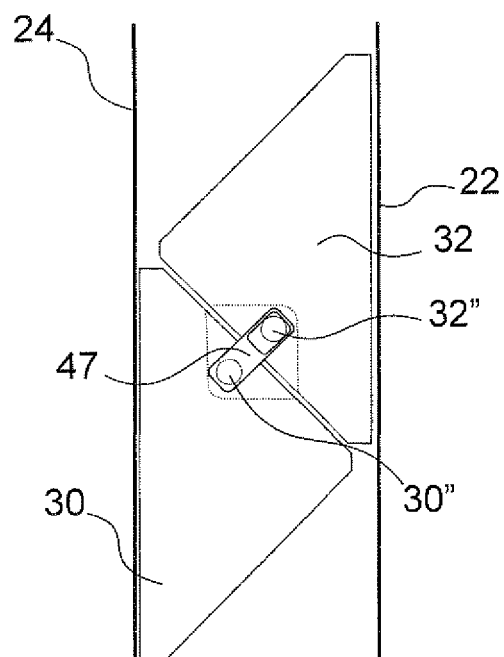


FIG. 4B

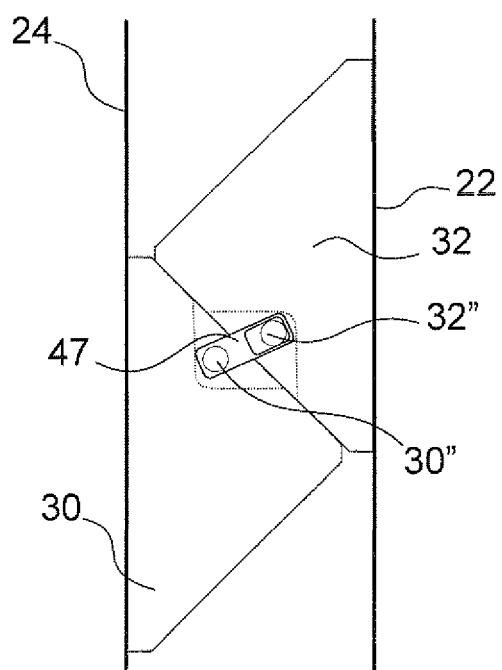
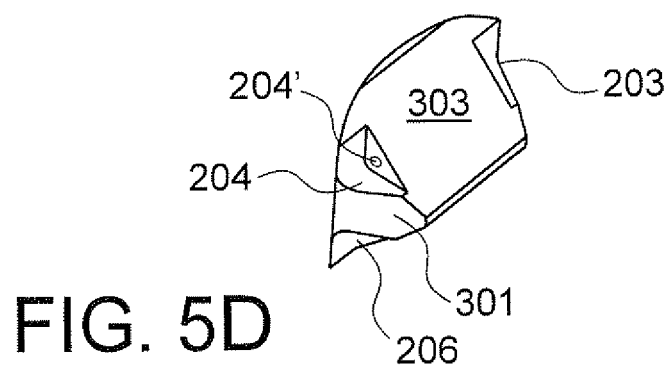
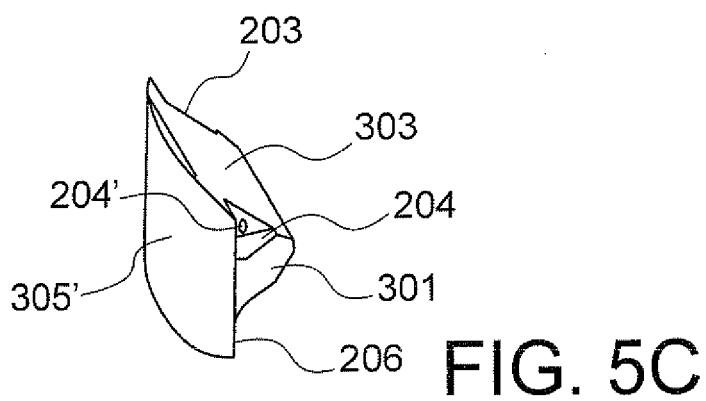
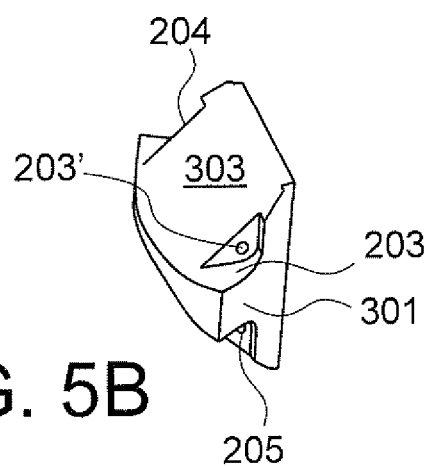
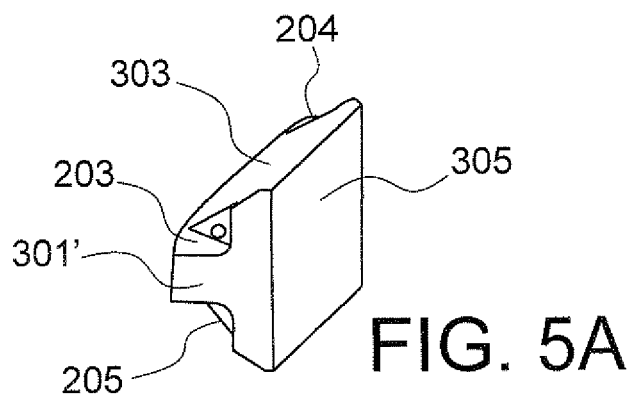


FIG. 4C

6 / 16



7 / 16

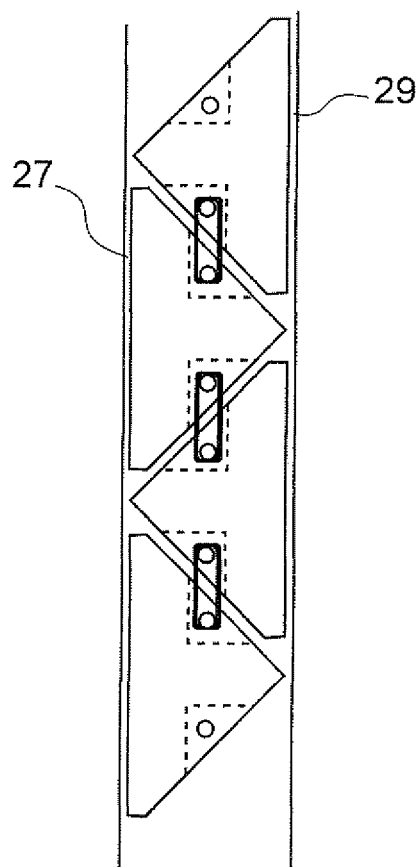


FIG. 6A

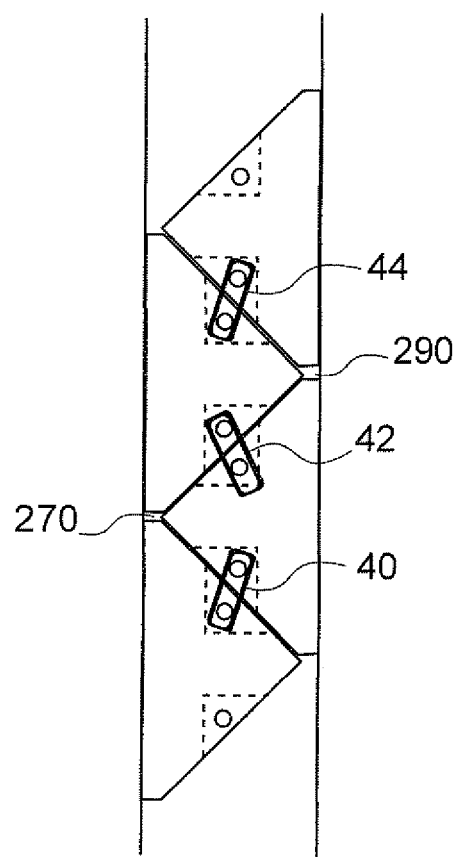


FIG. 6B

8 / 16

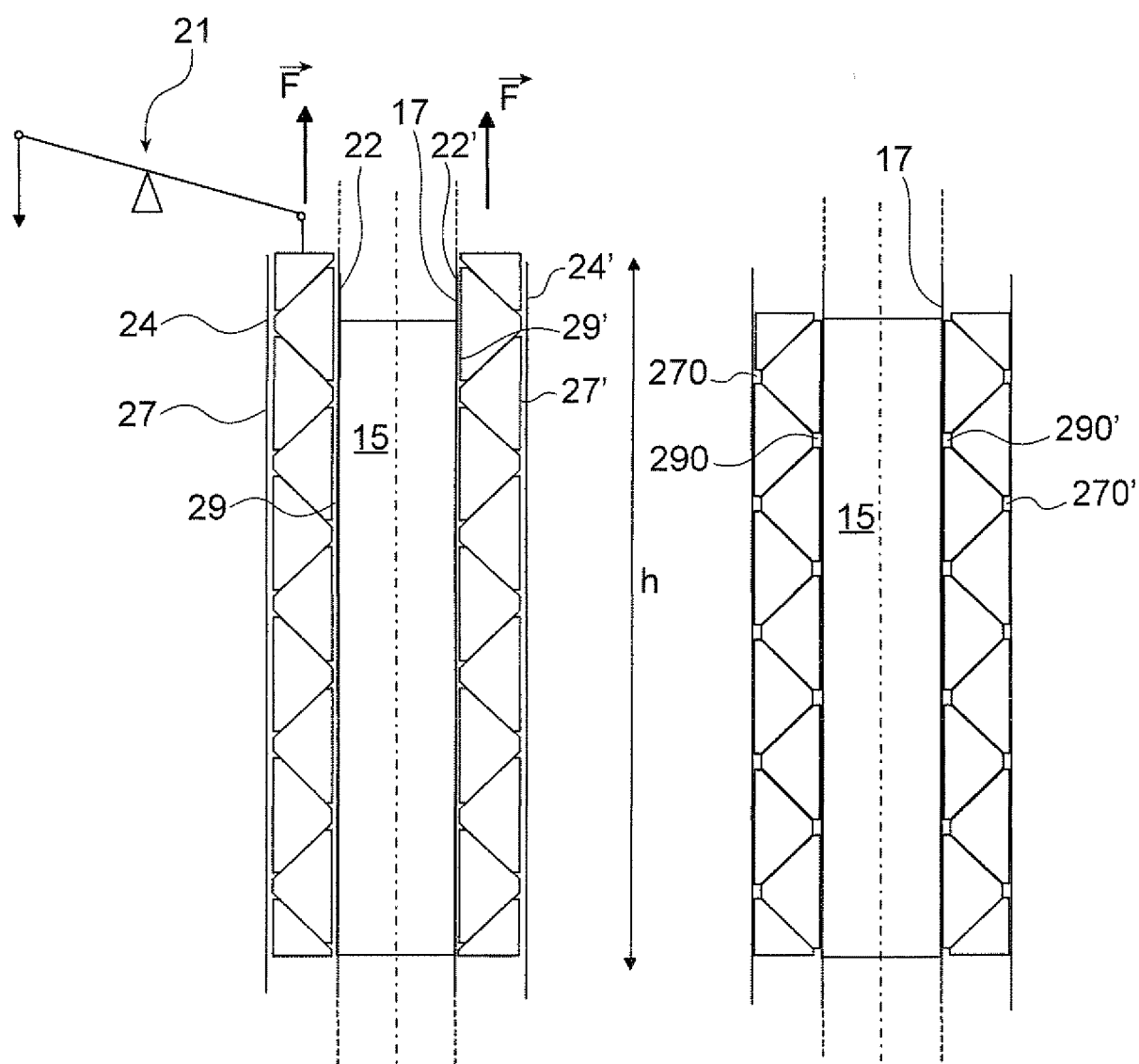


FIG. 7A

FIG. 7B

9 / 16

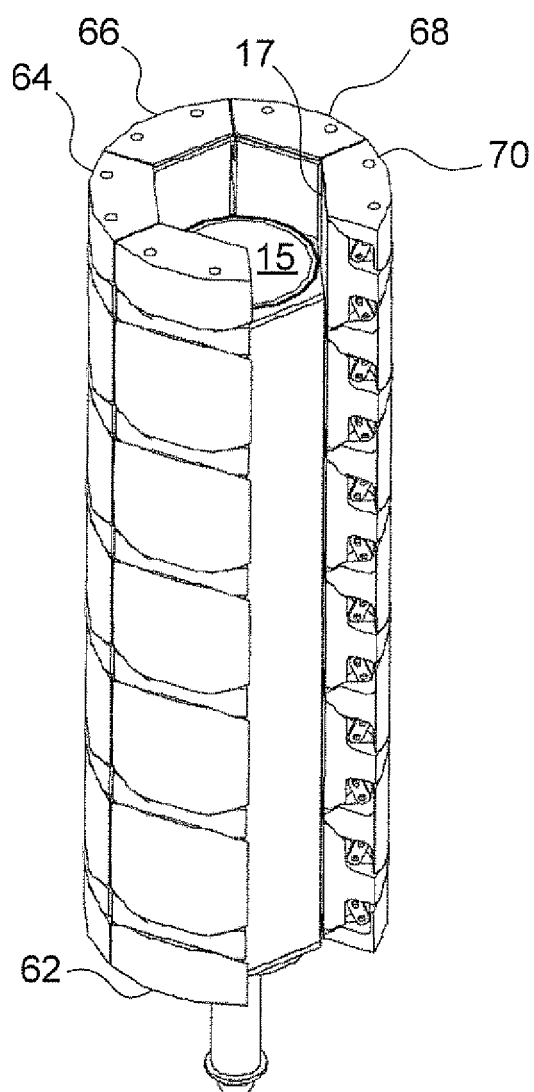


FIG. 8A

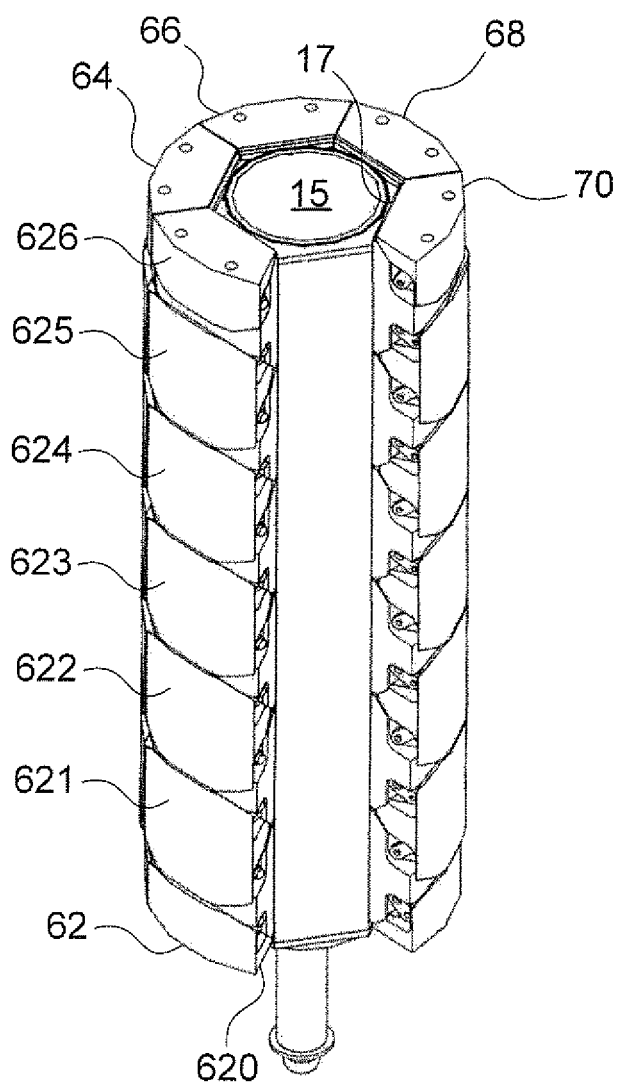


FIG. 8B

10/16

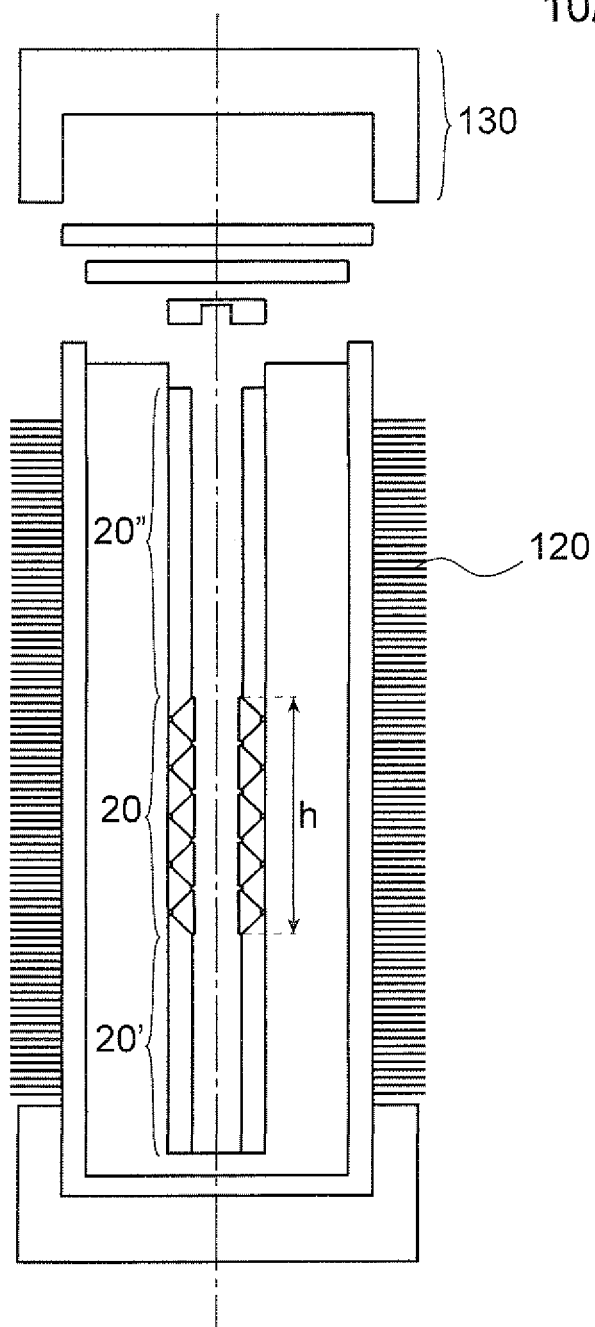


FIG. 9A

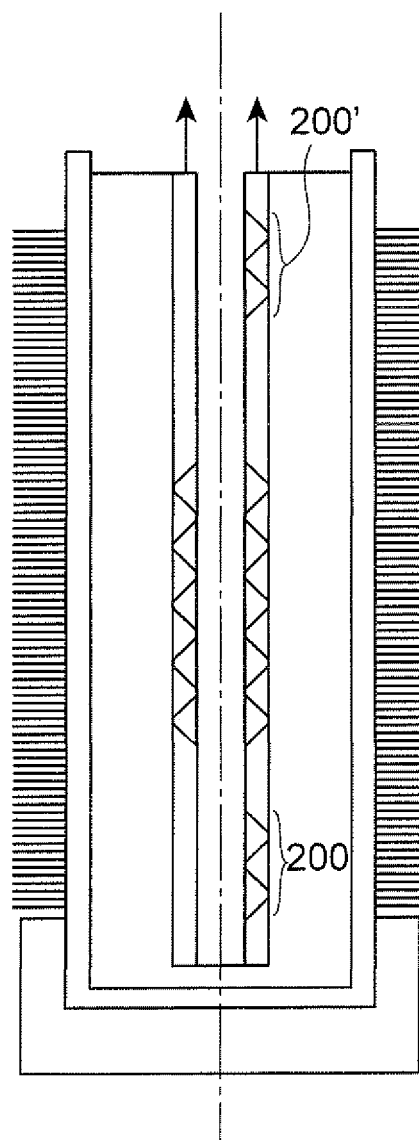


FIG. 9B

11/16

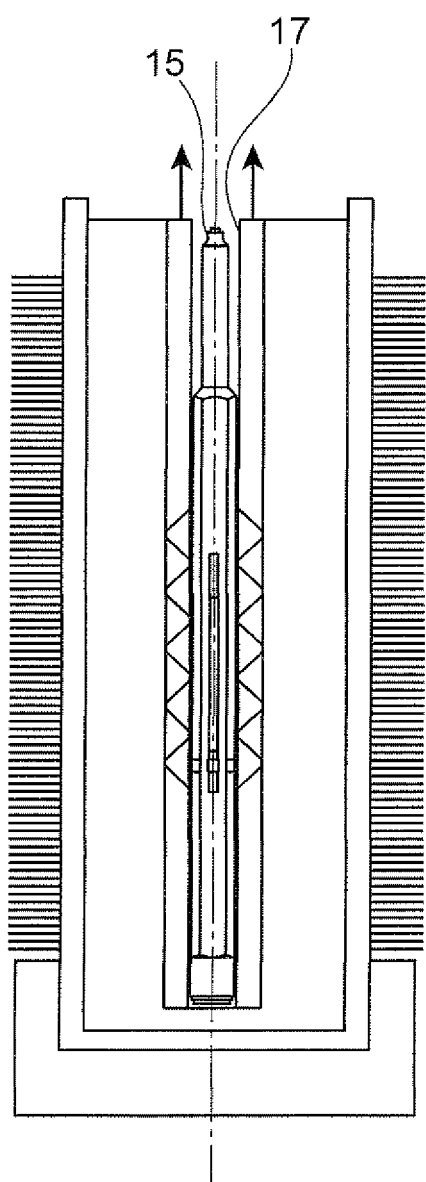


FIG. 9C

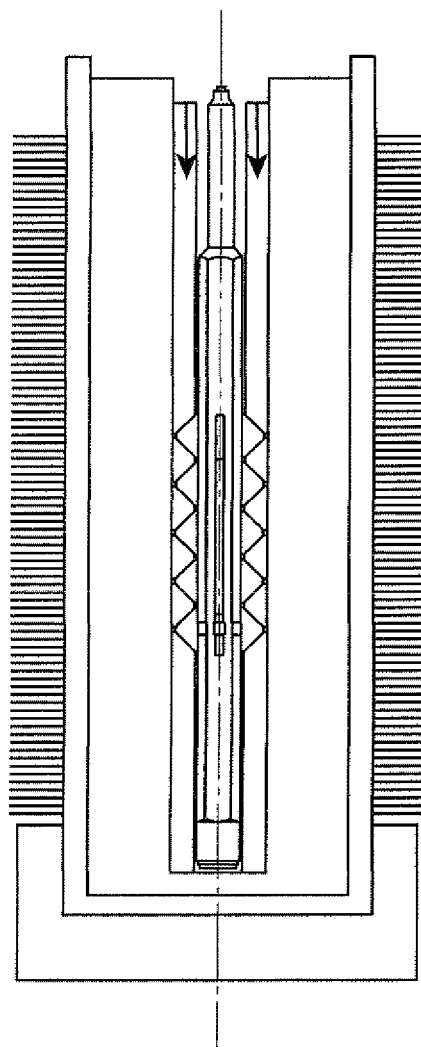


FIG. 9D

12/16

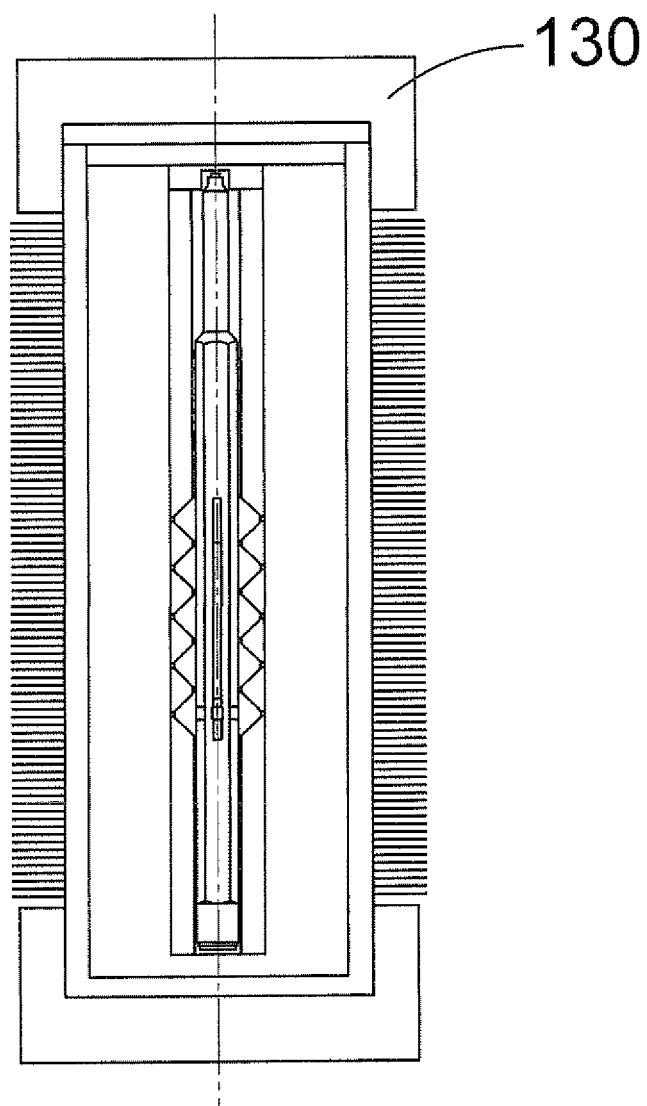
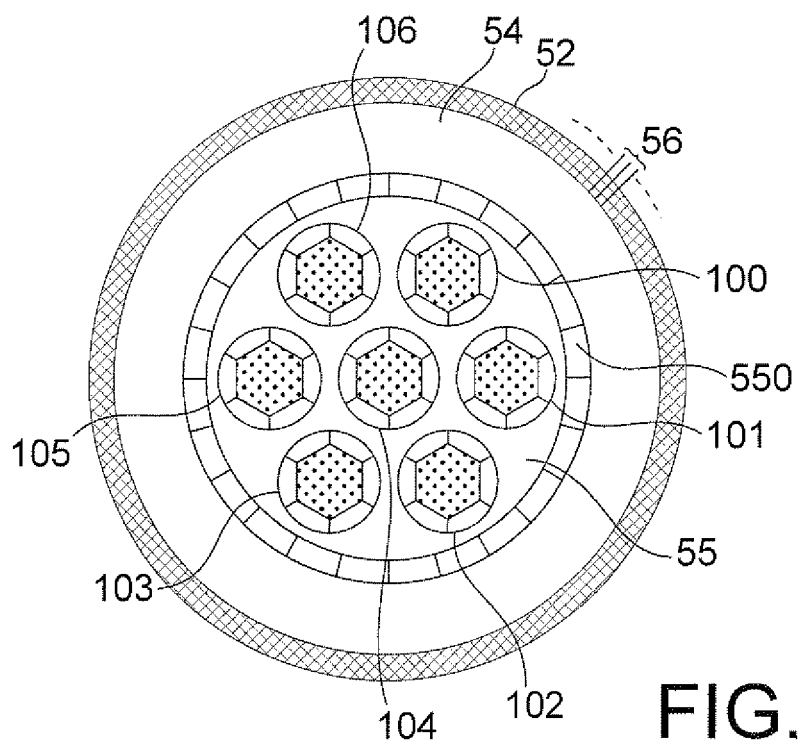
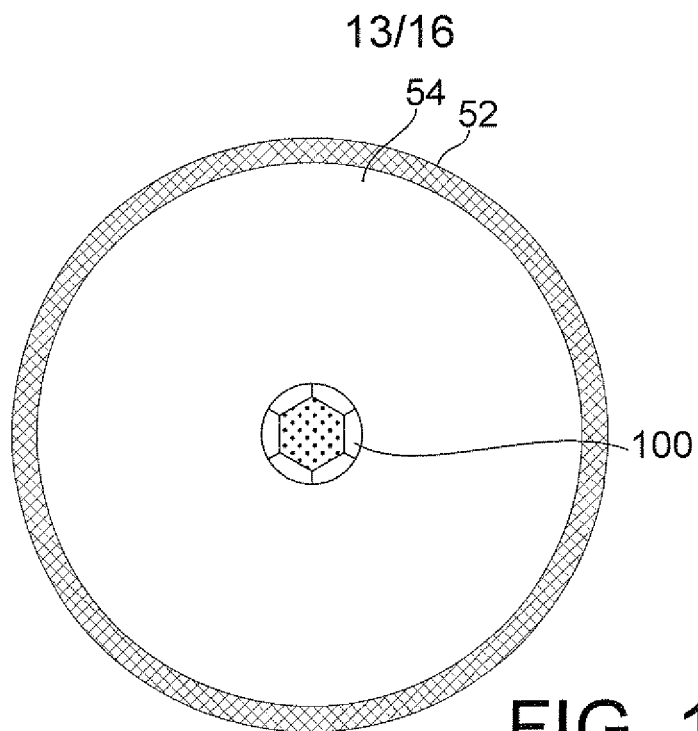


FIG. 9E



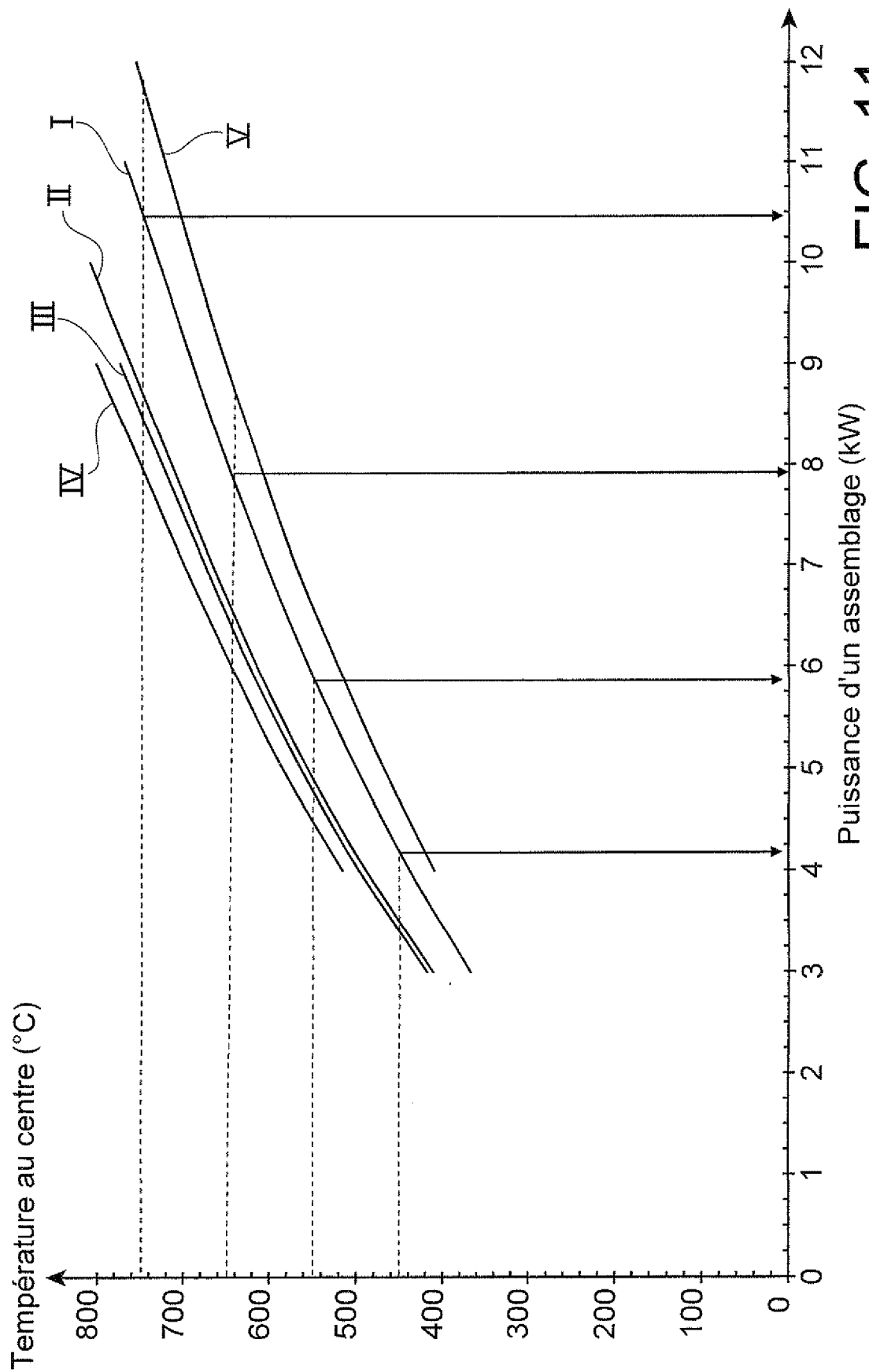


FIG. 11

15/16

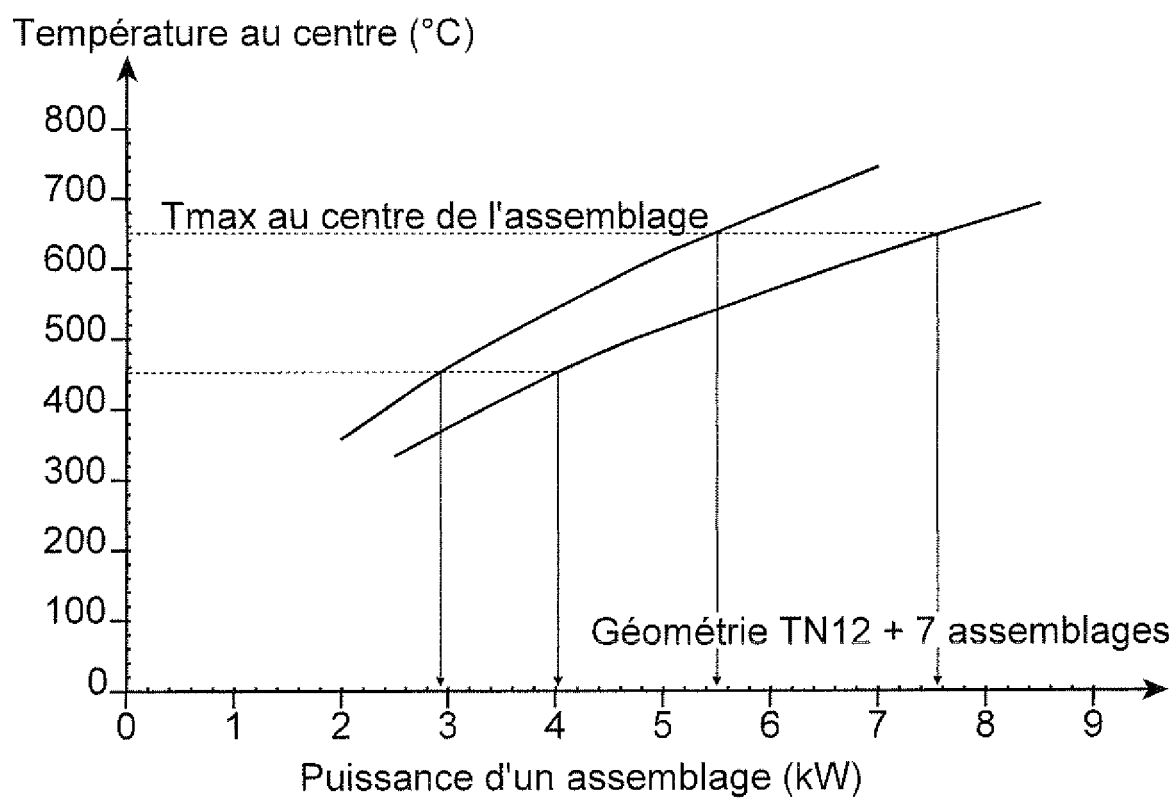
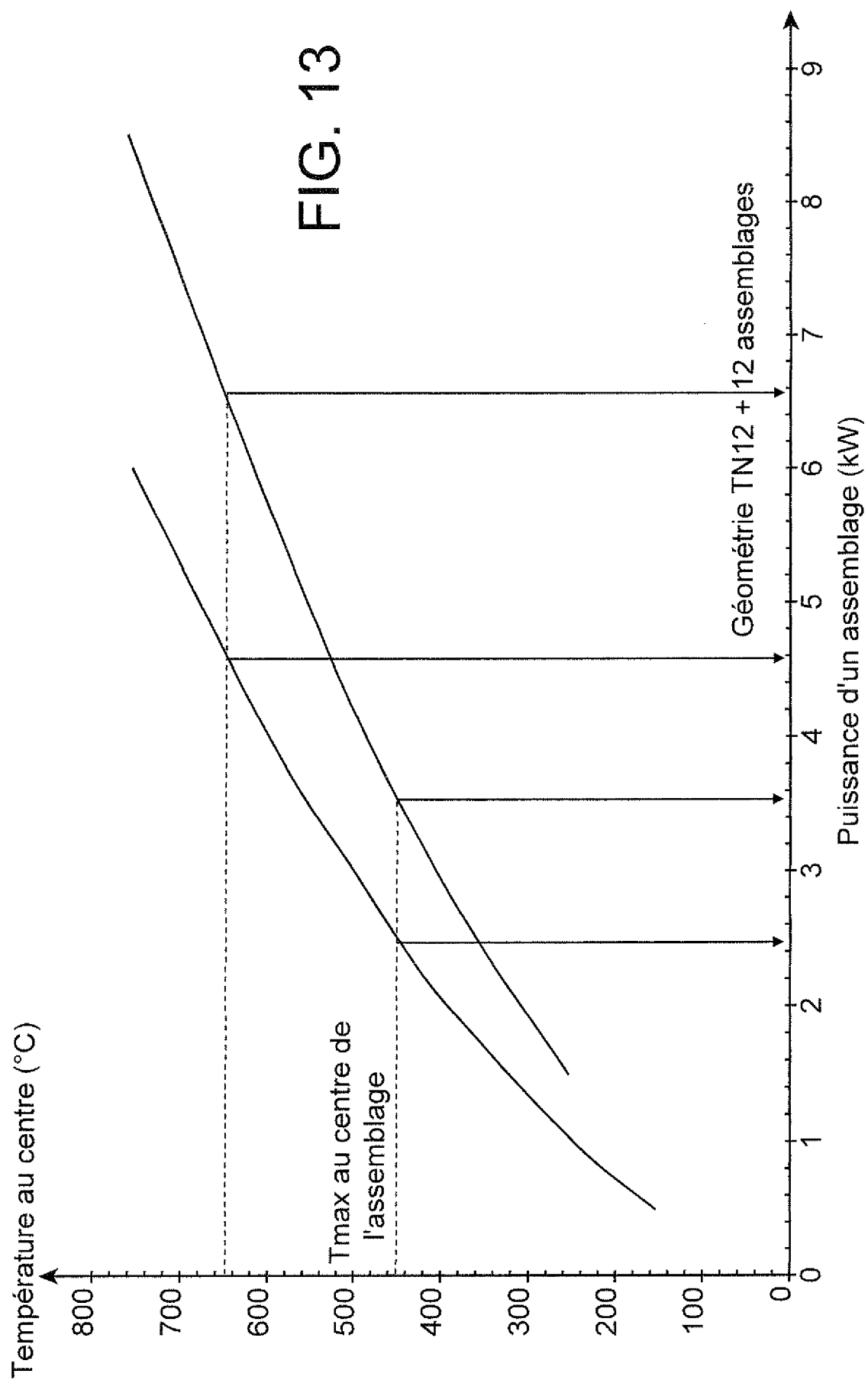


FIG. 12

16/16





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 764605
FR 1252769

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 3 119 933 A (ALLEN JOHN W) 28 janvier 1964 (1964-01-28)	1-8	G21F5/10
A	* colonne 3, ligne 63 - colonne 4, ligne 41; figures 1,3,8 * * colonne 5, ligne 14-58 *	9-18	G21F5/012 G21C19/07
X	WO 2011/161233 A1 (TN INT [FR]; ROGER CHRISTOPHE [FR]) 29 décembre 2011 (2011-12-29)	1,2,6-8	
A	* page 13, ligne 5 - page 15, ligne 15; figures 1,4,5 * * page 20, ligne 20 - page 21, ligne 8 *	3-5,9-18	
X	FR 2 865 571 A1 (COGEMA LOGISTICS [FR]) 29 juillet 2005 (2005-07-29)	1-3,6-8	
A	* page 10, ligne 13-30; figures 1,2 * * page 14, ligne 10 - page 15, ligne 4 *	4,5,9-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G21F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 décembre 2012		Sewtz, Michael	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1252769 FA 764605

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **06-12-2012**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3119933	A	28-01-1964	AUCUN	

WO 2011161233	A1	29-12-2011	FR 2961942 A1	30-12-2011
			WO 2011161233 A1	29-12-2011

FR 2865571	A1	29-07-2005	EP 1580763 A2	28-09-2005
			ES 2369086 T3	25-11-2011
			FR 2865571 A1	29-07-2005
			JP 2005208062 A	04-08-2005
			KR 20050076774 A	27-07-2005
			US 2005220255 A1	06-10-2005
