

12

# **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21 Numéro de dépôt: 85402093.0

22 Date de dépôt: 30.10.85

51 Int. Cl.<sup>4</sup>: **B 21 D 39/06**  
**B 24 C 3/32, C 21 D 7/06**

30 Priorité: 09.11.84 FR 8417130  
03.07.85 FR 8510175

43 Date de publication de la demande:  
21.05.86 Bulletin 86/21

84 Etats contractants désignés:  
BE CH DE GB IT LI SE

71 Demandeur: **FRAMATOME ET CIE.**  
Tour Flat 1, Place de la Coupole  
F-92400 Courbevoie(FR)

72 Inventeur: **Bianchi, Claude**  
39 rue de l'Amiral Mouchez  
F-75013 Paris(FR)

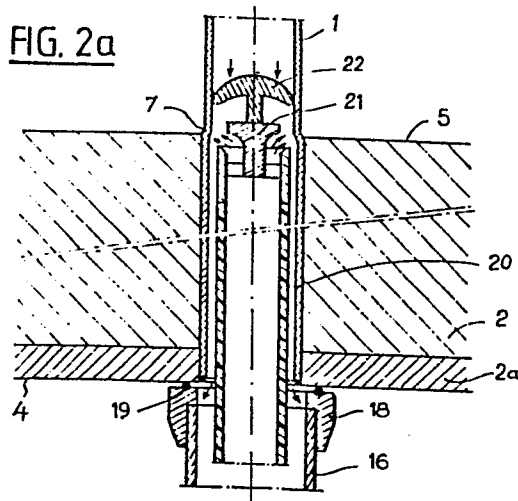
72 Inventeur: **Fournier, Yves**  
26 avenue Lacaille d'Esse  
F-71530 Chatenay Le Royal(FR)

72 Inventeur: **Jacquier, Paul**  
37 chemin des Bruyères  
F-69160 Tassin La Demi-Lune(FR)

74 Mandataire: **Bressand, Georges et al.**  
c/o CABINET LAVOIX 2 Place d'Estienne d'Orves  
F-75441 Paris Cedex 09(FR)

54 Procédé et dispositif de mise en compression par martelage d'un tube dégénérateur de vapeur serti dans une plaque tubulaire.

57 Pour effectuer une mise en compression par martelage d'un tube (1) de générateur de vapeur, on dirige un courant de gaz à grande vitesse chargé de particules d'une granulométrie comprise entre 50 et 500.10<sup>-6</sup>m, sur la surface interne du tube (1). Le jet de gaz est dirigé sur la surface interne du tube (1) dans des directions radiales et sur toute la périphérie de ce tube. Le débit massique des particules est supérieur à 0,008 kg/sec pour des tubes d'un diamètre intérieur voisin de 0,020 m. Le dispositif comporte une gaine souple (20) mobile à l'intérieur d'une enveloppe (16, 18) fixée de façon étanche sous la plaque tubulaire (2) autour du tube (1). A l'extrémité de la gaine (20) recevant du gaz chargé en particules, est disposée une buse d'injection (21).



L'invention concerne un procédé de mise en compression par martelage d'un tube de générateur de vapeur serti dans une plaque tubulaire, dans le but de limiter la corrosion sous tension.

5 Les générateurs de vapeur des réacteurs nucléaires à eau sous pression comportent une plaque tubulaire de grande épaisseur à l'intérieur de laquelle les tubes du faisceau du générateur sont sertis à chacune de leurs extrémités. Les tubes affleurent sur  
10 l'une des faces de la plaque tubulaire qui vient en contact avec le fluide primaire pendant le fonctionnement du générateur de vapeur et sont saillants par rapport à l'autre face de la plaque tubulaire pour déboucher dans le corps du générateur de vapeur rece-  
15 vant l'eau à vaporiser.

Le sertissage des tubes ou dudgeonnage est effectué en introduisant un outil, appelé dudgeon à l'intérieur du tube pour effectuer le laminage de sa paroi à l'intérieur de son logement dans la plaque  
20 tubulaire. Ce laminage du tube est effectué depuis son extrémité qui affleure sur la première face de la plaque tubulaire jusqu'à une zone située sensiblement au voisinage de la seconde face de la plaque tubulaire. Cette zone du tube située au voisinage de la face  
25 de sortie de la plaque tubulaire constitue donc la zone de séparation entre la partie du tube déformée par laminage dans l'alésage correspondant de la plaque tubulaire et la partie non déformée du tube. Cette zone est appelée zone de transition. Dans la zone de  
30 transition, la paroi du tube est le siège de contraintes résiduelles de traction importantes qui diminuent la résistance à la corrosion du tube aussi bien sur sa surface externe en contact avec l'eau à vaporiser que sur sa surface interne en contact avec le fluide pri-

maire.

On observe effectivement, dans les générateurs de vapeur des réacteurs nucléaires après une certaine durée de fonctionnement, une détérioration de certains tubes du faisceau à l'endroit où ils sortent de la plaque tubulaire, c'est à dire au voisinage de leurs zones de transition. Les destructions par corrosion se présentent sous forme de fissuration ou même de trous dans la paroi du tube. Des dégradations plus ou moins importantes des tubes dans des zones différentes de la zone de transition ont également été observées dans des générateurs de vapeur, après un certain temps de fonctionnement. L'origine de ces dégradations peut être attribuée dans certains cas à la présence de contraintes résiduelles, en particulier, en peau interne des tubes.

On a proposé dans le brevet français 77 13 196, déposé par la Société Framatome, d'effectuer un détensionnement mécanique des tubes des générateurs de vapeur après leur dudgeonnage dans la plaque tubulaire. Ce détensionnement est réalisé grâce à un dudgeon d'une conception spéciale qui permet de réaliser une légère expansion diamétrale du tube dans sa zone de transition. Cette opération a pour résultat de diminuer les contraintes dans la paroi du tube au voisinage de sa surface externe qui vient en contact avec l'eau à vaporiser. On diminue ainsi la corrosion due à l'eau d'alimentation du générateur de vapeur au voisinage de la plaque tubulaire.

Cependant, cette opération de détensionnement mécanique par expansion diamétrale à l'aide d'un dudgeon ne permet pas de réduire les contraintes dans la paroi du tube au voisinage de sa surface interne ou contraintes en peau interne du tube. La corrosion par

le fluide primaire constitué par de l'eau sous pression renfermant de l'acide borique et différentes bases de conditionnement, reste donc forte en peau interne du tube dans la zone de transition.

5                    On a également proposé un procédé de mise en compression par martelage de la surface interne du tube dans la zone de transition. Ce martelage du tube effectué par mise en rotation à très grande vitesse à l'intérieur du tube, d'une bande souple portant des  
10 billes de petites dimensions en matériau dur permet d'augmenter la résistance du tube à la corrosion par le fluide primaire. Cependant, en cas de rupture d'une bille en matériau dur, le frottement de cette bille présentant des arêtes vives sur la paroi interne du  
15 tube, au cours de la rotation de la bande souple, fait apparaître des rayures sur la paroi interne du tube. Ces rayures favorisent la corrosion du tube par le fluide primaire en peau interne.

                  On connaît également des techniques de durcissement interne de tubes tels que des tubes en acier moulé qui consistent à projeter des billes en matériau dur sur la surface intérieure de ces tubes moulés. Cette technique n'a cependant jamais été utilisée pour mettre en compression la peau interne des tubes dudgeonnés de petit diamètre tels que des tubes de générateur de vapeur de réacteur nucléaire sous pression dont le diamètre intérieur est un peu inférieur à 0,020 m. Les conditions opératoires retenues pour le durcissement intérieur des tubes en acier moulé ne  
25 sont évidemment pas transposables au cas des tubes dudgeonnés. Il est bien évident également que les dispositifs utilisés pour le durcissement interne du tube moulé ne sont pas applicables dans le cas de tubes dudgeonnés dans la plaque tubulaire d'un généra-  
30

teur de vapeur et tout particulièrement dans le cas où l'on opère sur un générateur de vapeur d'un réacteur nucléaire à eau sous pression, après sa mise en service, les tubes et la boîte à eau du générateur de vapeur étant alors plus ou moins irradiés.

Il convient dans ce cas de limiter au maximum la présence d'un opérateur au voisinage de la zone irradiée. Il faut donc maintenir l'ensemble de l'outillage du dispositif sur la plaque tubulaire, assurer l'étanchéité avec celle-ci, et commander automatiquement les mouvements de translation de la buse dans le tube, et enfin surveiller ces différentes phases de fonctionnement sans intervenir dans le générateur de vapeur.

Le but de l'invention est donc de proposer un procédé de mise en compression par martelage superficiel, d'un tube de générateur de vapeur serti dans une plaque tubulaire de façon qu'une de ses extrémités affleure sur l'une des faces de la plaque tubulaire et que les tubes soient saillants sur l'autre face de cette plaque, le sertissage du tube étant effectué par laminage de sa paroi à l'intérieur de la plaque tubulaire, entre son extrémité affleurant la première face et une zone située au niveau de la seconde face de la plaque tubulaire, ce procédé permettant de créer des contraintes de compression en peau interne du tube et donc d'améliorer la résistance à la corrosion par le fluide primaire du générateur de vapeur passant dans les tubes, sans entraîner de risques de rayures de la surface interne du tube.

Dans ce but, on dirige un courant de gaz à grande vitesse chargé de particules en un matériau d'une dureté supérieure à la dureté du matériau du tube et d'une granulométrie comprise entre 50 et

500.10<sup>-6</sup> m, sur la surface interne du tube, dans des directions radiales par rapport au tube et sur toute sa périphérie, la vitesse du gaz et la densité des particules dans ce gaz étant telle que le débit massique des particules venant frapper la surface interne du tube pour effectuer son détensionnement soit supérieur à 0,008 kg/sec et de préférence à 0,010 kg/sec, pour un tube d'un diamètre intérieur voisin de 0,020 mètre.

10 L'invention est également relative à un dispositif permettant de mettre en oeuvre le procédé suivant l'invention, en particulier sur un générateur de vapeur de réacteur nucléaire à eau sous pression, après sa mise en service.

15 On va maintenant décrire, à titre d'exemple non limitatif, en se référant aux Figures jointes en annexe, un mode de réalisation du procédé suivant l'invention et plusieurs modes de réalisation d'un dispositif utilisé pour sa mise en oeuvre.

20 - la Fig.1 est une demi-vue en coupe d'un tube dudgeonné dans une plaque tubulaire, avant son détensionnement;

- la Fig.2 est une vue en coupe de la boîte à eau d'un générateur de vapeur d'un réacteur nucléaire à eau sous pression dans laquelle on a mis en place un outillage pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention;

25 - la Fig.2a est une vue à plus grande échelle et en coupe du détail A de la Fig.2 montrant de façon schématique l'outillage en position de travail au niveau de la zone de transition d'un tube;

30 - la Fig.2b est une vue agrandie du détail B de la Fig.2;

- la Fig. 3 est une vue schématique de l'en-

semble du dispositif permettant la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention;

- la Fig. 4 est une vue à plus grande échelle du détail A de la Fig. 3 montrant un mode de réalisation préférentiel de l'outillage;

- la Fig. 5 est une vue agrandie du détail B de la Fig. 3;

- la Fig. 6 est une vue en élévation du mécanisme d'avance du tuyau de la buse d'injection;

- la Fig. 7 est une vue à plus grande échelle en coupe suivant la ligne VII-VII de la Fig. 6;

- la Fig. 8 est une vue en coupe d'un outillage pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention, et suivant une variante de réalisation.

Sur la Fig. 1, on voit un tube 1 d'un générateur de vapeur serti à l'intérieur d'un alésage 3 traversant une plaque tubulaire 2 sur toute son épaisseur. Le sertissage du tube 1 a été réalisé par dudgeonnage, c'est à dire par laminage de la paroi du tube à l'intérieur de son alésage, entre la face d'entrée 4 de la plaque tubulaire et la face de sortie 5 par laquelle le tube pénètre dans le corps de générateur de vapeur. L'extrémité 1a du tube 1 affleure sur la face 4 de la plaque tubulaire et une soudure entre cette extrémité 1a du tube et la plaque tubulaire complète la fixation du tube.

On voit que la partie déformée du tube comporte des zones laminées 8 successives correspondant aux différentes positions du dudgeon à l'intérieur du tube, pendant le sertissage. Au niveau de la face de sortie 5 de la plaque tubulaire, le tube 1 présente une zone de transition 7 d'une certaine longueur entre sa partie déformée et sa partie non déformée restée à son diamètre nominal. Dans cette zone 7, des contrain-

tes résiduelles de traction apparaissent en peau interne et en peau externe du tube après sertissage.

Sur la Fig.2, on voit la partie inférieure d'un générateur de vapeur comportant la plaque tubulaire 2 traversée par des tubes tels que 1 et une  
5 boîte à eau hémisphérique 10 du côté de la face d'entrée 4 de la plaque tubulaire.

La boîte à eau 10 est séparée en deux par une cloison 11, l'eau sous pression constituant le  
10 fluide primaire arrivant dans la boîte à eau d'un côté de la cloison 11 et sortant de cette boîte à eau de l'autre côté par des tubulures telles que 12. Chaque tube 1 plié en forme de U a l'une de ses extrémités débouchant dans une partie de la boîte à eau et son  
15 autre extrémité débouchant dans l'autre partie de la boîte à eau. Le fluide primaire peut ainsi circuler à l'intérieur de chacun des tubes dans la partie supérieure du générateur de vapeur non représentée sur la Fig.2, au-dessus de la face de sortie 5 de la plaque  
20 tubulaire 2.

On a également représenté sur la Fig.2, un outillage 15 introduit dans la boîte à eau du générateur de vapeur par un trou de visite 14. Cet outillage est mis en place et maintenu à l'intérieur de la plaque tubulaire, pendant l'opération de détensionnement  
25 des tubes, par un porte-outil 60 permettant de placer l'outillage successivement dans chacun des tubes à détensionner. Ce porte-outil peut être du type décrit dans le FR-A-2.309.314 déposé par la demanderesse.

30 On va maintenant décrire l'outillage 15 en se référant aux Fig.2a et 2b. Cet outillage comporte une gaine externe 16 reliée à l'une de ses extrémités à un manchon de dérivation 17 et engagée à son autre extrémité dans une cloche de fixation 18 maintenue



sous la plaque tubulaire 2 par le support d'outillage, avec interposition d'un joint d'étanchéité 19 entre la cloche 18 et la face d'entrée 5 de la plaque tubulaire constituée par la surface revêtue 2a de cette plaque venant en contact avec le fluide primaire.

A l'intérieur de la gaine 16 est engagée une gaine 20 de plus faible diamètre portant à sa partie supérieure une buse profilée 21 surmontée d'un bouchon centreur 22 dont le diamètre extérieur correspond au diamètre interne nominal du tube 1.

En amont du manchon de dérivation 17, la gaine intérieure 20 est reliée à un ensemble d'injection de particules comportant un moyen de pompage d'air sous pression et un distributeur de particules en quantité dosée dans le courant d'air sous pression. Lorsque l'outillage est en service, il arrive ainsi par la gaine centrale 20 de cet outillage, de l'air chargé en particules à grande vitesse. Les particules sont constituées par des micro-billes en acier inoxydable amagnétique dont la granulométrie est comprise entre 100 et  $300.10^{-6}$  m. Si le bouchon centreur 22 n'obture pas complètement le tube 1, on injecte de l'air dans la partie supérieure du tube, au-dessus du bouchon 22 pour renvoyer les billes vers le bas.

La gaine extérieure 16 et la gaine intérieure 20 de l'outillage sont constituées sur une partie de leur longueur par des tubes souples pouvant subir des flexions pour leur orientation à l'intérieur de la boîte à eau du générateur de vapeur.

La gaine intérieure 20 est montée glissante dans la branche 17a du manchon de dérivation 17 de façon à pouvoir être guidée à son entrée dans la gaine extérieure 16. La branche 17b du manchon de dérivation 17 est reliée à une station de pompage permettant

d'exercer une certaine aspiration dans la gaine extérieure 16, autour de la gaine intérieure 20.

Pour la mise en oeuvre du dispositif, le générateur de vapeur est à l'arrêt, refroidi et vidé de son eau ; la cloche 18 et la gaine extérieure 16 étant mises en place sous la plaque tubulaire à la verticale d'un tube 1 par un support d'outillage qui peut être déplacé à l'intérieur de la boîte à eau, on engage la gaine intérieure 20 dans la gaine extérieure 16 de façon que la partie supérieure comportant la buse d'injection 21 se trouve en face de la zone de transition 7 du tube. On effectue alors le martelage intérieur du tube sur toute la longueur de la zone de transition par déplacement en translation dans le sens ascendant de la gaine 20 et de la buse 21, à vitesse lente et régulière de l'ordre de 0,002 m/sec, la gaine intérieure 20 étant alimentée en un mélange d'air ou autre gaz sous pression et de micro-billes de grande dureté. Dans le cas des tubes de générateur de vapeur, en alliage de nickel dont le diamètre intérieur est voisin de 0,020m, on effectue un balayage d'une zone du tube située de part et d'autre de la face de sortie de la plaque tubulaire sur une longueur voisine de 0,20 m, cette zone enveloppant la zone de transition. Le réglage du débit d'air et de la densité de charge de cet air de projection en micro-billes est tel que le débit massique des billes est voisin de 0,010kg/sec. Les micro-billes propulsées dans l'air à grande vitesse (voisine de 300 m/s) ont un trajet qui est infléchi par la buse 21 de façon que leur direction soit sensiblement radiale lorsqu'elles viennent frapper la surface intérieure du tube dans la zone de transition. La répartition des billes est sensiblement homogène, si bien que l'ensemble de la périphérie du

tube subit un martelage.

Après leur impact, les billes sont aspirées dans l'espace entourant la gaine 20, d'abord à l'intérieur du tube 1 dans la plaque tubulaire, puis dans la  
5 gaine extérieure 16 avant d'être récupérées en aval des manchons 17.

Dans la partie du tube laminée à l'intérieur de la plaque tubulaire, les billes effectuent lors de leur retour avec l'air de projection aspiré par l'installation de pompage, un martelage de cette partie du  
10 tube comportant de légères aspérités entre les zones laminées 8.

En se reportant aux Fig. 3 à 7, on va maintenant décrire un mode de réalisation préférentiel d'un dispositif de mise en compression par martelage  
15 des tubes du générateur de vapeur représenté sur la figure 2. Les éléments correspondants du dispositif représenté sur les figures 2a et 2b et du dispositif représenté sur les figures 3 à 7 portent les mêmes re-  
20 pères.

Ce dispositif comporte à sa partie supérieure une tête d'injection désignée dans son ensemble par la référence 31 constituée par un corps tubulaire rigide 32. Une douille 33 (Fig. 4) munie d'un joint cir-  
25 culaire d'extrémité 34 est vissée sur la partie supérieure du corps 32.

L'ensemble de la tête d'injection 31 est positionné face au tube 1 qui débouche dans la plaque tubulaire 2, et maintenu en position par le porte-  
30 outil 60 qui peut se déplacer de façon autonome dans la boîte à eau. Ce porte-outil 60, représenté partiellement sur la Fig. 4, comporte un vérin 61 dont le cylindre 62 est solidaire dudit porte-outil 60 et dont le piston 63 est solidaire du corps 32 de la tête

d'injection 31 par l'intermédiaire d'une tige de prolongement 64 et d'un support 35. Le choix du vérin 61 est tel que par manque de pression, la tête d'injection 31 est en position haute par rapport au porte-outil 60. Par conséquent, lorsque le porte-outil 60 est à une distance déterminée de la plaque tubulaire 2, et que le vérin 61 n'est pas soumis à une pression d'air comprimé, la tête d'injection 31 appuie sur la face inférieure 4 de ladite plaque tubulaire et l'étanchéité est assurée par la force exercée de bas en haut sur le joint circulaire 34. Le corps 32 de la tête d'injection 31 est monté souple sur le support 35 de façon à aligner correctement l'axe de ladite tête sur l'axe du tube 1 à traiter, même s'il y a un défaut de positionnement du porte-outil 60.

La partie inférieure de la tête d'injection 31 est connectée à une gaine externe 16 par un raccord démontable rapide 37 représenté schématiquement sur la Fig. 3. L'autre extrémité de la gaine externe 16 est reliée à un manchon de dérivation 38.

A l'intérieur de la gaine externe 16 est engagée une gaine interne 39 dont une extrémité débouche dans la tête d'injection 31 et dont l'autre extrémité est également reliée au manchon 38.

L'extrémité de la gaine interne 39 est maintenue dans la tête d'injection 31, par une pièce de centrage 40 (Fig. 4) ayant la forme d'une étoile à trois branches pour permettre le recyclage des particules comme on le verra ultérieurement. Le bord supérieur de la gaine interne 39 est muni d'un joint à lèvres 41.

La gaine extérieure 16 et la gaine intérieure 39 sont constituées par des tuyaux souples pouvant subir des flexions pour leur orientation à l'intérieur

de la boîte à eau du générateur de vapeur.

Par ailleurs, à l'intérieur de la gaine interne 39 est engagée une gaine tubulaire formée par un tube flexible 20 de plus faible diamètre portant, à sa  
5 partie supérieure, par l'intermédiaire d'un manchon creux 43, une buse d'injection 44. Cette buse 44 comporte une vis 45, sur laquelle sont montées des brosses circulaires 46 dont le diamètre extérieur correspond sensiblement au diamètre interne du tube 1, une  
10 entretoise 47 et un déflecteur 48. L'ensemble de la buse 44 qui constitue un bloc facilement démontable, est vissé par l'intermédiaire de la vis 45 dans une pièce de centrage 49 soudée dans le manchon creux 43. Cette pièce de centrage 49 a la forme d'une étoile à  
15 trois branches de façon à permettre le passage des particules amenées par le tube flexible 20. L'entretoise 47 permet de conserver un écart constant entre les brosses 46 et le déflecteur 48 qui est donc positionné à proximité de l'orifice de sortie du manchon  
20 creux 43. Ces brosses 46 assurent le centrage de la buse d'injection 44 et le nettoyage du tube 1 au moment de la descente de ladite buse. D'autre part, elles peuvent éventuellement empêcher le passage des microbilles.

25 Le tube flexible 20 est monté glissant à l'intérieur de la branche 38a du manchon de dérivation 38 (Fig. 5) de façon à pouvoir être guidé à son entrée dans la gaine interne 39. De plus, la gaine interne 39, dont l'extrémité est fixée dans la branche 38a du  
30 manchon 38, ménage le long dudit tube flexible 20, un petit espace annulaire 50 qui est relié par un orifice 51 prévu dans la branche 38a du manchon 38 à une source d'amenée de gaz sous pression, non représentée.

Le flux gazeux ainsi créé dans l'espace an-

nulaire 50 assure le centrage du tube flexible 20 à l'intérieur de la gaine interne 39 et évite tout frottement entre ces deux éléments au moment de l'introduction de la buse d'injection 44 et pendant le déplacement du tube flexible. Enfin, ce flux gazeux évite le retour des particules dans cet espace annulaire.

En se reportant maintenant à la Fig. 3, on voit que le tube flexible 20 est relié, en amont du manchon de dérivation 38, à un ensemble 70 d'injection de particules. Les particules peuvent être constituées par des microbilles en un matériau métallique, en verre ou en céramique dont la granulométrie est comprise entre 50 et 500 microns.

Cet ensemble 70 comprend une trémie de stockage 71 raccordée à un réservoir de mise en pression 72 par une vanne de remplissage 73. Ce réservoir 72 est relié dans sa partie haute directement à une arrivée 74 de gaz comprimé, et dans sa partie basse avec le tube flexible 20 par l'intermédiaire d'une vanne d'injection 75 des microbilles. Le tube flexible 20 est également relié à l'arrivée de gaz comprimé 74 par une vanne 76.

La branche 38b du manchon de dérivation 38, qui communique avec l'espace compris entre la gaine externe 16 et la gaine interne, est raccordée par une gaine 16b à un système de pompage 80 des microbilles. Ce système de pompage comporte un séparateur 81 équipé d'un filtre 82 pour filtrer le gaz aspiré par une pompe 83. A sa partie inférieure, le séparateur 81 est muni d'un sas 84 de contrôle du volume qui débouche dans un bac 85 de récupération des microbilles équipé d'un dispositif de pesée 86. Les déplacements longitudinaux du tube flexible 20 et par conséquent de la buse d'injection 44 dans le tube du générateur de vapeur

à marteler sont assurés par un mécanisme d'avance 90 disposé entre le manchon de dérivation 38 et l'ensemble d'injection 70.

5 Ce mécanisme d'avance 90, représenté plus en détail sur les Fig. 6 et 7, est constitué par un bâti parallélépipédique 91 formant une cage longitudinale à l'intérieur de laquelle sont montées deux courroies crantées 92 et 93. Ces deux courroies 92 et 93 sont guidées à chaque extrémité du bâti 91 par des poulies 10 94 et, entre lesdites poulies, par des cornières 95 et 96 en forme de L fixées sur l'une des parois du bâti 91.

Les courroies 92 et 93 comportent chacune une gorge longitudinale 92a et 93a et ménagent entre 15 elles dans l'axe du bâti un couloir longitudinal 97. Dans ce couloir longitudinal 97 est introduit le tube flexible 20 qui est positionné dans les gorges 92a et 93a des courroies 92 et 93 afin d'assurer son guidage au cours de son déplacement.

20 La rotation des courroies 92 et 93 est commandée par un moteur 98 dont l'arbre de sortie est raccordé à l'une des poulies 94 par un système d'entraînement 99.

La transmission du mouvement longitudinal 25 entre les courroies 92 et 93 et le tube flexible 20 est commandée par une pièce 100 solidaire de la courroie 92, et qui comporte deux branches internes 100a et 100b venant pincer ledit tube 20.

30 Pour contrôler et limiter le déplacement du tube flexible 20, des détecteurs de position 101 de la pièce 100 sont montés dans l'axe du couloir longitudinal 97.

Pour la mise en oeuvre du dispositif, la tête d'injection 31 est mise en place sous la plaque

tubulaire 2 à la verticale d'un tube 1 par le porte-outil 60 qui peut être déplacé à l'intérieur de la boîte à eau, et on raccorde la tête d'injection 31 à la gaine externe 16 par le raccord 37. On introduit, 5 dans la gaine externe 16, la gaine interne 39 et on monte le manchon de dérivation 38 en raccordant la branche 38b à la gaine 16b.

On monte sur le manchon creux 43 la buse d'injection 44, et on engage le tube flexible 20 à 10 l'intérieur de la gaine interne 39. Le flux gazeux introduit dans l'espace 50 assure le guidage du tube flexible dans la gaine interne 39 et évite tout frottement.

Ensuite, on déplace le tube flexible 20 de 15 façon que la partie supérieure comportant la buse d'injection 44 se trouve en face de la zone du tube à marteler. On effectue alors le martelage intérieur du tube sur toute la longueur désirée, en déplaçant en translation, par l'intermédiaire du mécanisme d'avance 20 et de contrôle 90, le tube flexible 20 et la buse 44 à vitesse lente et régulière, le tube 20 étant alimenté, par l'ensemble d'injection 70 en un mélange d'air ou autre gaz sous pression et de microbilles de grande dureté. Les microbilles propulsées dans le gaz à 25 grande vitesse ont un trajet qui est infléchi par le déflecteur 48 de façon que leur direction soit sensiblement radiale lorsqu'elles viennent frapper la surface du tube.

Après leur impact, les microbilles sont as- 30 pirées par le système de pompage 80, d'abord dans l'espace compris entre la gaine externe 16 et la gaine interne 39, puis dans la branche 38b du manchon 38 et dans la gaine 16b. Sous l'effet du gaz sous pression introduit dans l'espace 50 et par l'intermédiaire du



joint à lèvres 41, les microbilles ne peuvent pas pénétrer entre la gaine interne 39 et le tube flexible 20.

Les microbilles sont ainsi aspirées dans le  
5 séparateur 81 et récupérées dans le sas 84, et ensuite transférées dans le bac de récupération 85 qui est pesé. Ce pesage final est un moyen de s'assurer que la quantité de microbilles récupérées est équivalente à la quantité de microbilles injectées.

10 Sur la Fig.8, on voit un mode de réalisation un peu différent du dispositif de martelage, les éléments correspondants du dispositif représenté à la Fig.2a et du dispositif représenté à la Fig.8 étant désignés par les mêmes repères.

15 La gaine souple 20 d'introduction du mélange de gaz et de micro-billes est engagée pour sa mise en oeuvre dans un ensemble de guidage et d'étanchéité comportant un bouchon expansible 25 préalablement introduit dans le tube à détensionner et une cloche de  
20 récupération des billes 27 maintenue en position sous la plaque tubulaire 2 par un support d'outillage déplaçable d'un tube à un autre dans la boîte à eau du générateur de vapeur. Cette cloche 27 est reliée à une  
25 tée étanche par l'intermédiaire d'un joint sous la face d'entrée 4 de la plaque tubulaire.

La buse 21 de l'outillage est prolongée par un axe 26 engagé glissant dans le bouchon 25 pour le guidage de la buse dans la zone de transition 7 du tube.  
30

Les conditions opératoires pour le détensionnement par écrouissage interne du tube sont les mêmes que précédemment. Les micro-billes sont récupérées dans la cloche 27 après leur impact sur les pa-

rois du tube.

On voit que les principaux avantages du procédé et du dispositif suivant l'invention sont de permettre de réaliser un martelage interne du tube parfaitement défini et de ne nécessiter que des dispositifs d'une conception simple et faciles à utiliser et à commander à distance.

De plus, lorsqu'on utilise le dispositif dans le mode de réalisation préférentiel, les déplacements de l'outillage s'accompagnent de frottements très faibles ; dans le cas où une intervention doit avoir lieu sur la buse d'injection 44, l'opérateur peut à distance, au moyen du porte-outil 60, amener la tête d'injection 31 au trou d'homme 14 de la boîte à eau du générateur de vapeur. Il peut, par l'intermédiaire du raccord 37, déconnecter rapidement la tête d'injection 31 de la gaine externe 16. Cette opération permet de sortir facilement l'ensemble de la buse d'injection 44 en dévissant la tige filetée 45 et de vérifier ou de changer les pièces 44, 47, 48 qui composent ladite buse.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation qui ont été décrits. C'est ainsi qu'il est possible d'utiliser des micro-billes ou d'autres particules en un matériau métallique quelconque ou en un matériau non métallique dur tel que le verre ou la céramique dont la granulométrie peut varier de 50 à  $500.10^{-6}$  m et de préférence entre 50 et  $250.10^{-6}$  m. Le débit massique de ces billes dans l'air de projection peut être un peu inférieur à ce qui a été indiqué, mais ce débit massique ne doit pas cependant descendre en-dessous de 0,008 kg/sec. pour obtenir un effet de martelage adéquat, avec des vitesses du gaz porteur et de ces particules, au moment de l'impact, qui ne sont

pas inférieures à 50 m/s, dans le cas de tubes d'un diamètre voisin de 0,020 m.

On peut utiliser des micro-billes ou des particules d'une forme différente de la forme sphérique. Le matériau choisi pour les microbilles doit avoir une dureté supérieure à la dureté du matériau du tube, qui est généralement un alliage de nickel dans le cas des générateurs de vapeur des réacteurs nucléaires.

On peut également régler la pression du gaz porteur des micro-billes et/ou la dépression créée par le dispositif d'aspiration pour favoriser la récupération des billes à la partie inférieure du tube.

En particulier, il sera possible d'utiliser uniquement un moyen d'aspiration pour assurer la circulation et la récupération des billes.

Ces billes peuvent être légèrement contaminées après passage dans les tubes du générateur de vapeur et il peut être nécessaire de les isoler ou de les décontaminer après leur utilisation.

On peut évidemment concevoir d'autres types d'outillage que ceux qui ont été décrits pour la mise en oeuvre du procédé suivant l'invention. En particulier, on peut concevoir des outillages pour effectuer le martelage par choc de billes, dans d'autres parties des tubes que la zone de transition ou la zone d'égougnée à l'intérieur de la plaque tubulaire, par exemple des outillages permettant de marteler la surface interne des tubes dans leur partie supérieure cintrée.

On peut également imaginer l'utilisation du procédé du dispositif suivant l'invention pour la mise en compression des tubes de générateur de vapeur différents des tubes en alliage de nickel des générateurs

de vapeur des réacteurs nucléaires à eau sous pression.

Enfin, on peut utiliser ce procédé aussi bien pour des tubes d'un générateur de vapeur déjà mis  
5 en service que pour des tubes d'un générateur de vapeur neuf dont la boîte à eau a déjà été mise en place.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mise en compression par marte-  
lage d'un tube (1) de générateur de vapeur serti dans  
une plaque tubulaire (2) de façon qu'une de ses extré-  
mités affleure sur l'une des faces (4) de la plaque  
5 tubulaire et que le tube (1) soit saillant sur l'autre  
face (5) de cette plaque (2), le sertissage du tube  
(1) étant effectué par laminage de sa paroi à l'inté-  
rieur de la plaque tubulaire (2) entre son extrémité  
10 (1a) affleurant la première face (4) et une zone (7)  
située au niveau de la seconde face de la plaque tubu-  
laire, caractérisé par le fait qu'on dirige un courant  
de gaz à grande vitesse chargé de particules en un ma-  
tériau d'une dureté supérieure à la dureté du matériau  
15 du tube (1) et d'une granulométrie comprise entre 50  
et  $500.10^{-6}$  m, sur la surface interne du tube (1),  
dans des directions radiales par rapport au tube et  
sur toute sa périphérie, la vitesse du gaz et la den-  
sité des particules dans ce gaz étant telles que le  
20 débit massique des particules venant frapper la sur-  
face interne du tube (1) pour effectuer son détén-  
sionnement soit supérieur à 0,008 kg/sec et de préf-  
érence à 0,010 kg/sec, pour un tube d'un diamètre inté-  
rieur voisin de 0,020 mètre.

25 2. Procédé de mise en compression suivant la  
revendication 1, caractérisé en ce que le courant de  
gaz chargé de particules a une vitesse au moins égale  
à 50 m/s au moment de l'impact.

30 3. Procédé de mise en compression suivant  
l'une quelconque des revendications 1 et 2, caracté-  
risé par le fait que les particules sont constituées  
par des micro-billes dont le diamètre est compris  
entre 50 et  $250.10^{-6}$  m.

4.- Procédé de mise en compression suivant l'une des revendications 1 et 2, dans le cas d'un tube (1) d'un générateur de vapeur d'un réacteur nucléaire à eau sous pression, en alliage de nickel, caractérisé par le fait que les particules sont des micro-billes en acier inoxydable non magnétique qui ont un diamètre compris entre  $100$  et  $300.10^{-6}$  m.

5. Procédé de mise de compression suivant la revendication 4, caractérisé par le fait que les micro-billes ont un débit massique dans le gaz d'injection voisin de  $0,010$  kg/sec, la zone d'impact des billes étant déplacée longitudinalement dans le tube à une vitesse constante de l'ordre de  $0,002$  m/sec. sur une longueur de l'ordre de  $0,20$  m de façon à balayer une zone du tube située au voisinage de la seconde face de la plaque tubulaire, constituant la zone de transition entre la partie déformée et la partie non déformée du tube.

6.- Procédé de mise en compression suivant la revendication 3, caractérisé par le fait que les micro-billes sont en un matériau non métallique dur tel que le verre ou la céramique.

7. Procédé de mise en compression suivant l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que les particules sont récupérées au niveau de la première face (4) de la plaque, après leur impact sur la surface intérieure du tube (1) et leur parcours vers cette première face (4), dans la partie déformée du tube (1) à l'intérieur de la plaque tubulaire (2).

8. Dispositif de mise en compression d'un tube (1) de générateur de vapeur serti dans une plaque tubulaire (2) de façon qu'une de ses extrémités affleure sur l'une des faces (4) de la plaque tubulaire

(2) et que le tube soit saillant sur l'autre face (5) de cette plaque (2), le sertissage du tube étant effectué par laminage de sa paroi à l'intérieur de la plaque tubulaire (2) entre son extrémité affleurant la première face (4) et une zone située au niveau de la seconde face (5) de la plaque tubulaire (2), caractérisé par le fait qu'il comporte un moyen (16, 18, 27) fixé autour de l'extrémité du tube (1) affleurant sur la face (4) de la plaque tubulaire (2) de façon étanche, constituant une enveloppe, dans laquelle coulis-  
5 se une gaine tubulaire souple (20) portant à son extrémité une buse profilée (21, 44) et des moyens de guidage dans le tube (22, 26, 25, 46), l'enveloppe (16, - 18, 27) étant reliée à un moyen d'aspiration et la gaine  
10 tubulaire (20) à un moyen d'injection de gaz chargé en particules, la buse (21, 44) comportant une partie (48) de guidage des particules, dirigée radialement par rapport au tube, lorsque la gaine (20) est introduite dans ce tube (1) et guidée par les moyens (22,  
15 25, 26, 46).

9. Dispositif de mise en compression suivant la revendication 8, caractérisé par le fait que l'enveloppe (16, 18) est constituée par une cloche (18) fixée de façon étanche sous la plaque tubulaire (2) et  
25 une gaine souple (16) engagée par une de ses extrémités dans la cloche (18) et dont l'autre extrémité est reliée à un manchon de dérivation (17) comportant une branche (17a) pour le passage et le guidage de la gaine souple (20) à l'intérieur de la gaine souple (16)  
30 et une branche (17b) reliée au moyen d'aspiration.

10.- Dispositif de mise en compression suivant l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé par le fait que l'enveloppe (16), fixée de manière étanche autour de l'extrémité du tube (1) af-

fleurant sur la face (4) de la plaque tubulaire (2) et dans laquelle coulisser la gaine tubulaire formée par un tube flexible (20), comporte intérieurement des moyens (39) de guidage et de centrage du tube flexible (20) portant à son extrémité la buse d'injection de gaz chargé en particules.

11.- Dispositif de mise en compression suivant la revendication 10, caractérisé par le fait que les moyens de guidage et de centrage du tube flexible (20) sont constitués par une gaine interne (39) disposée autour dudit tube flexible et ménageant avec ce dernier un espace annulaire (50) dans lequel est injecté un gaz sous pression, dans le même sens que le sens de circulation des particules.

12.- Dispositif de mise en compression suivant la revendication 11, caractérisé par le fait que l'enveloppe (16) est maintenue de manière étanche autour de l'extrémité du tube (1) par l'intermédiaire d'une tête d'injection (31) constitué par un corps (32) qui est monté souple sur un support (35) solidaire d'un porte-outil (60).

13.- Dispositif de mise en compression suivant la revendication 12, caractérisé par le fait que l'une des extrémités de la gaine interne (39) est maintenue dans la tête d'injection (31) par une pièce de centrage (40) ayant la forme d'une étoile à trois branches et comporte sur son bord supérieur un joint à lèvres (41).

14.- Dispositif de mise en compression suivant l'une quelconque des revendications 12 et 13, caractérisé par le fait que la partie inférieure de la tête d'injection (31) est connectée à l'enveloppe externe (16) par un raccord démontable rapide (37).



15.- Dispositif de mise en compression suivant la revendication 8, caractérisé par le fait que la buse d'injection (44) est montée sur une pièce de centrage (49) qui est soudée dans un manchon creux (43) fixé à l'extrémité du tube flexible (20).

16.- Dispositif de mise en compression suivant la revendication 15, caractérisé par le fait que la buse d'injection (44) constitue un bloc facilement démontable comportant une vis (45) engagée dans la pièce de centrage 49 sur laquelle sont montées des brosses circulaires (46), une entretoise (47) et un déflecteur (48).

17.- Dispositif de mise en compression suivant l'une quelconque des revendications 15 et 16, caractérisé par le fait que la pièce de centrage (49) a la forme d'une étoile à trois branches pour permettre le passage des particules amenées par le tube flexible (20).

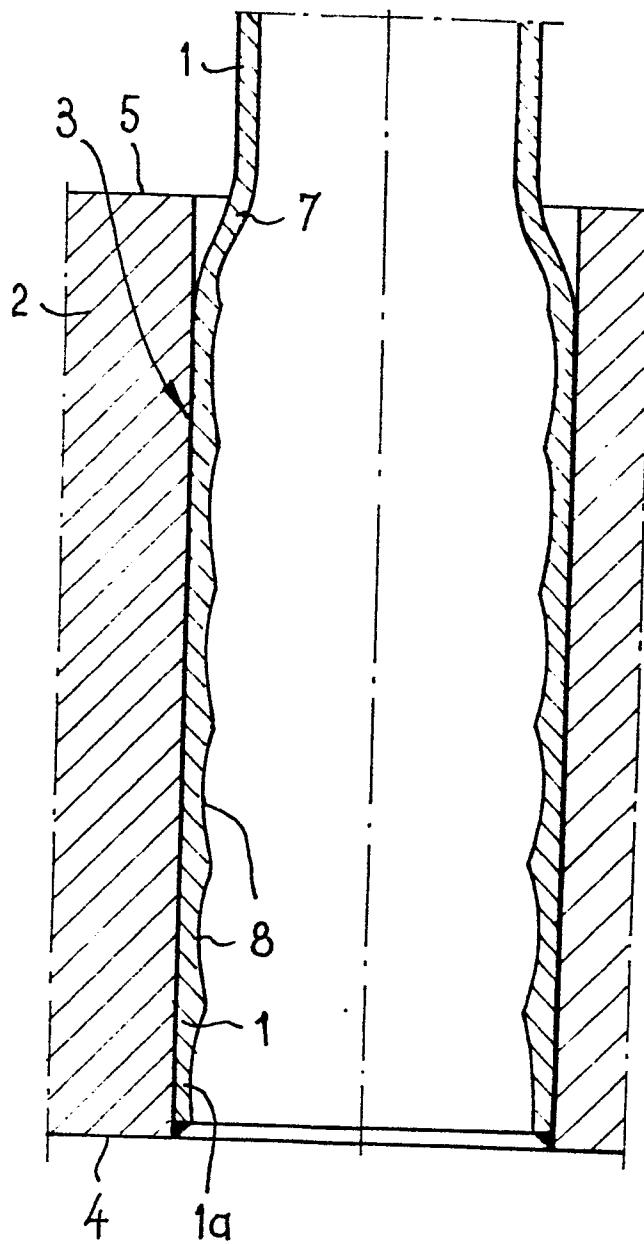
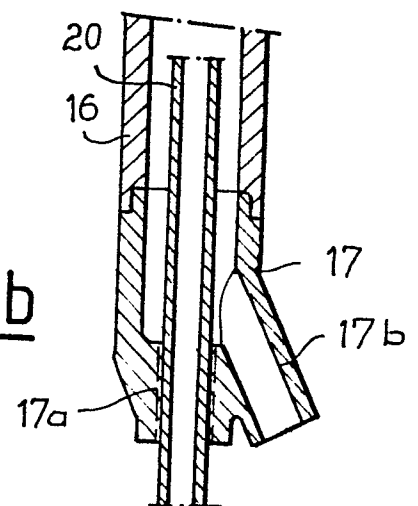
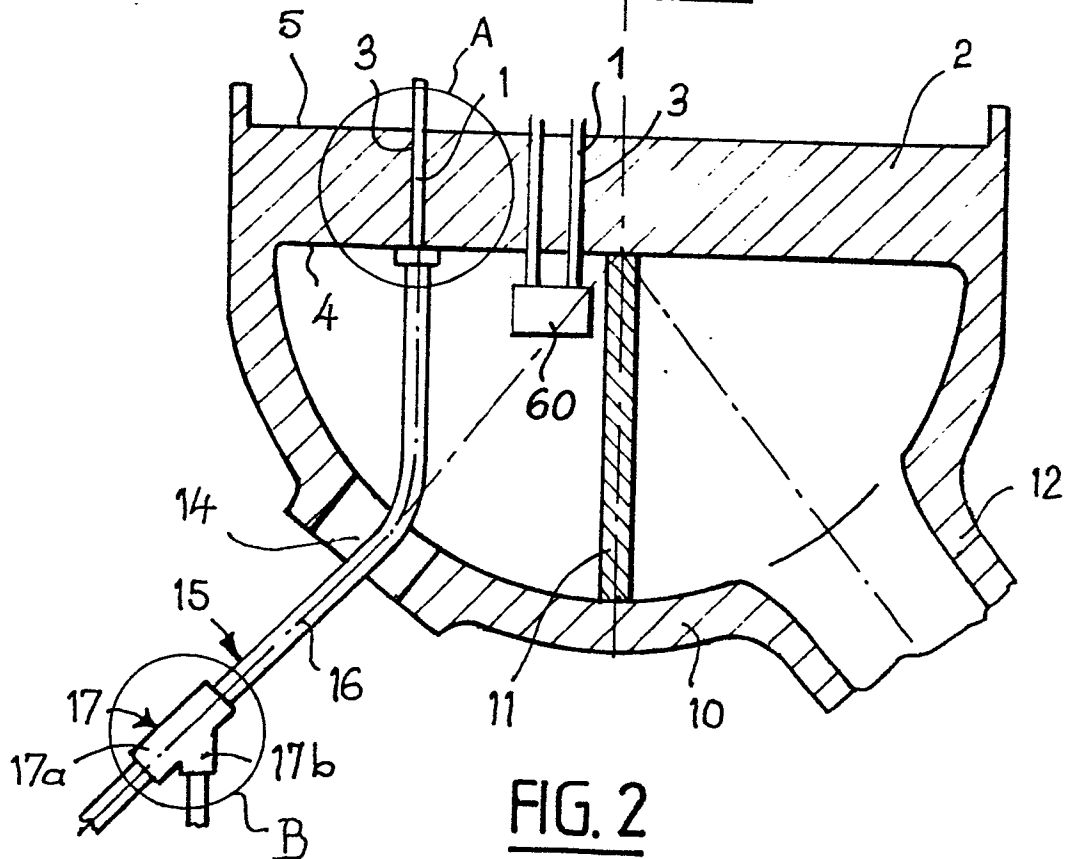
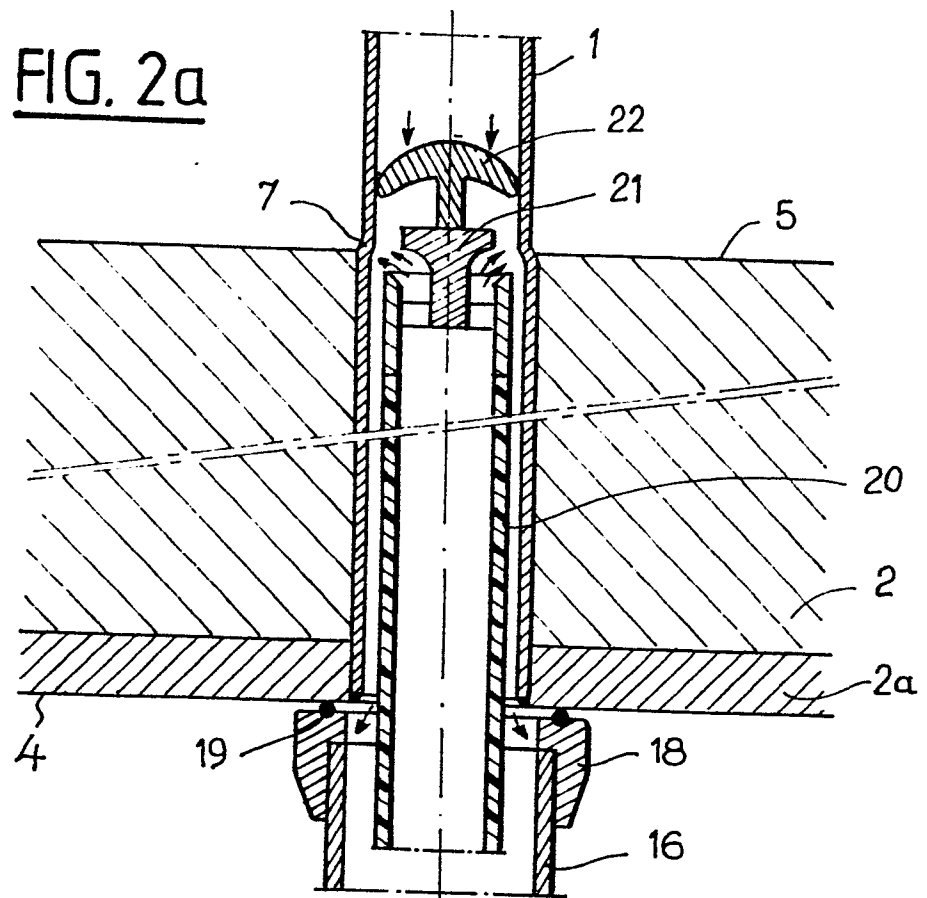
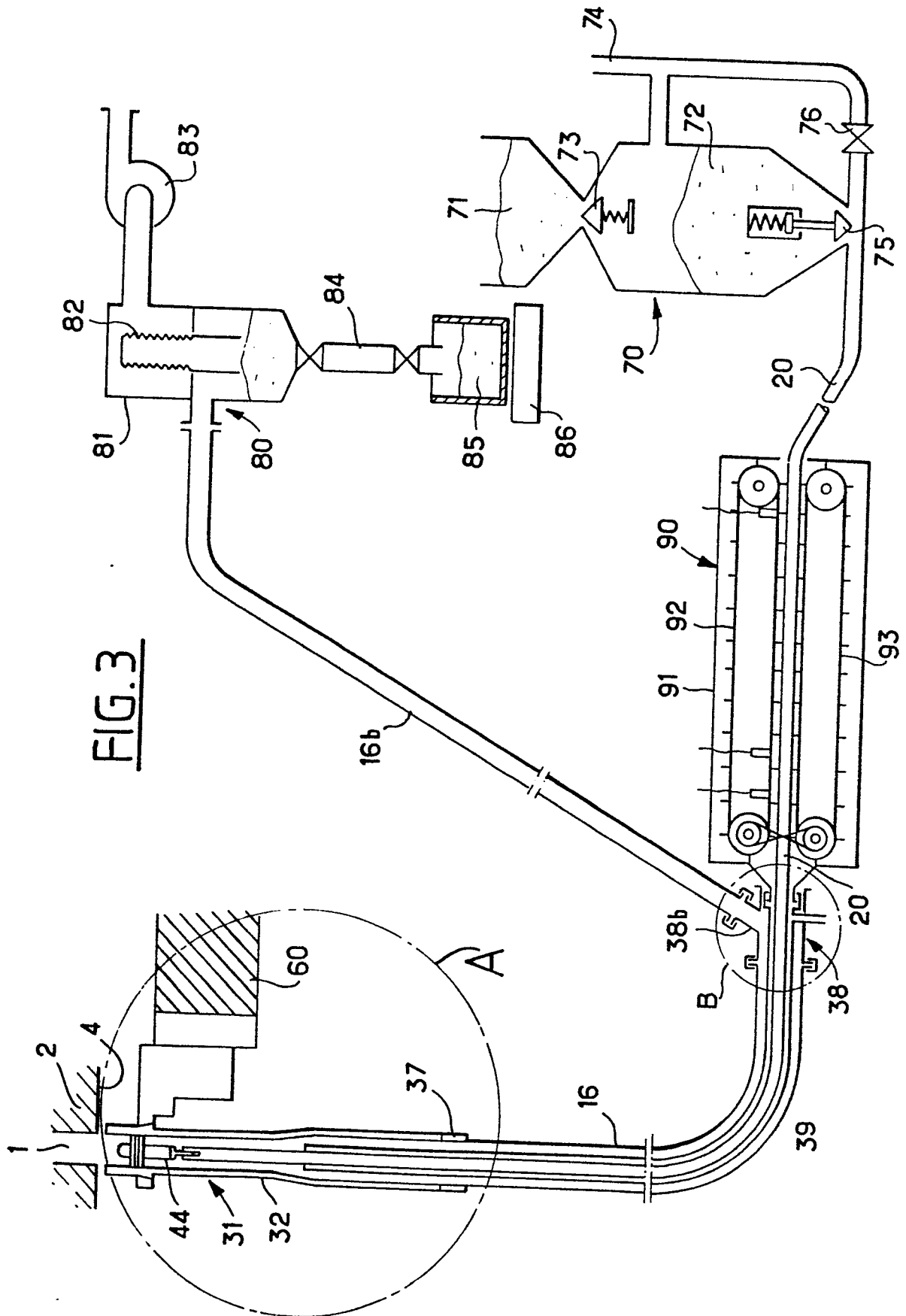


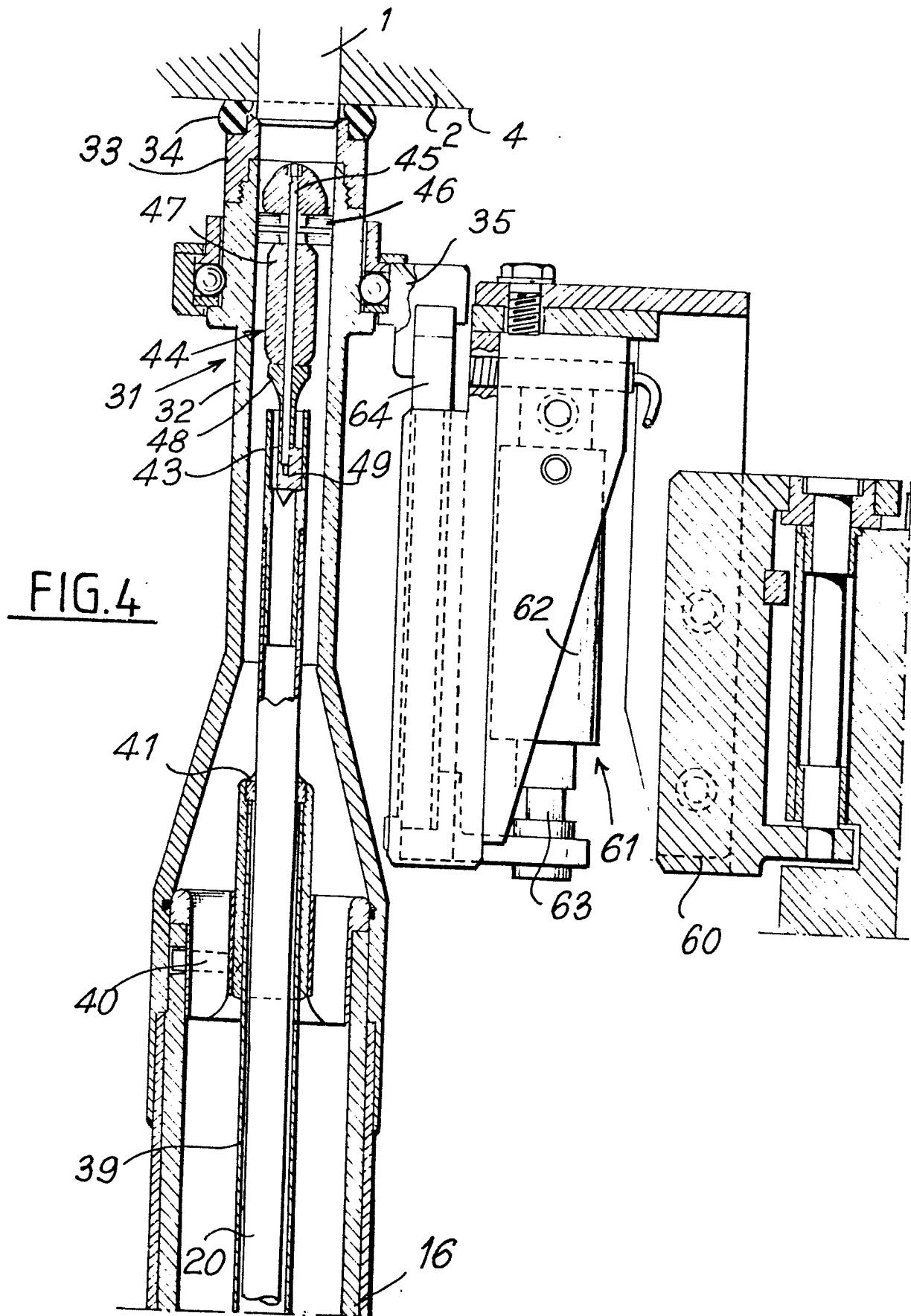
FIG. 1

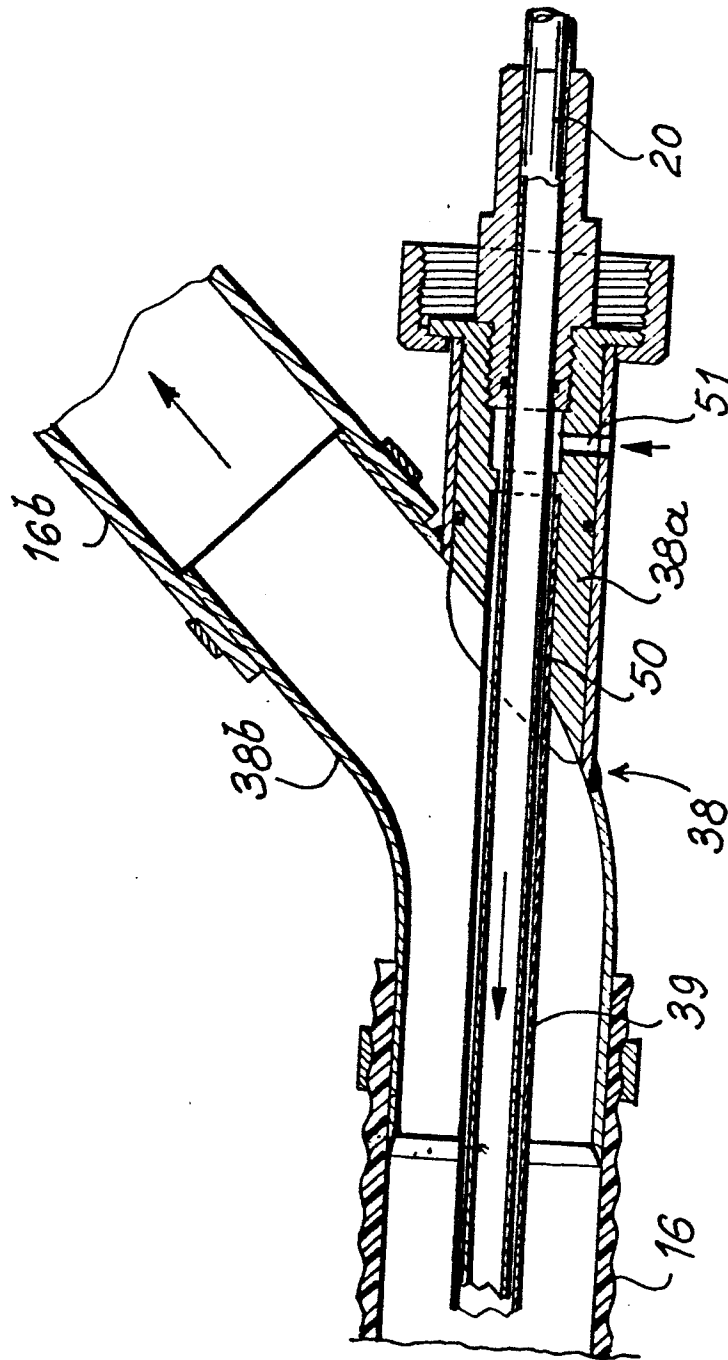
FIG. 2b



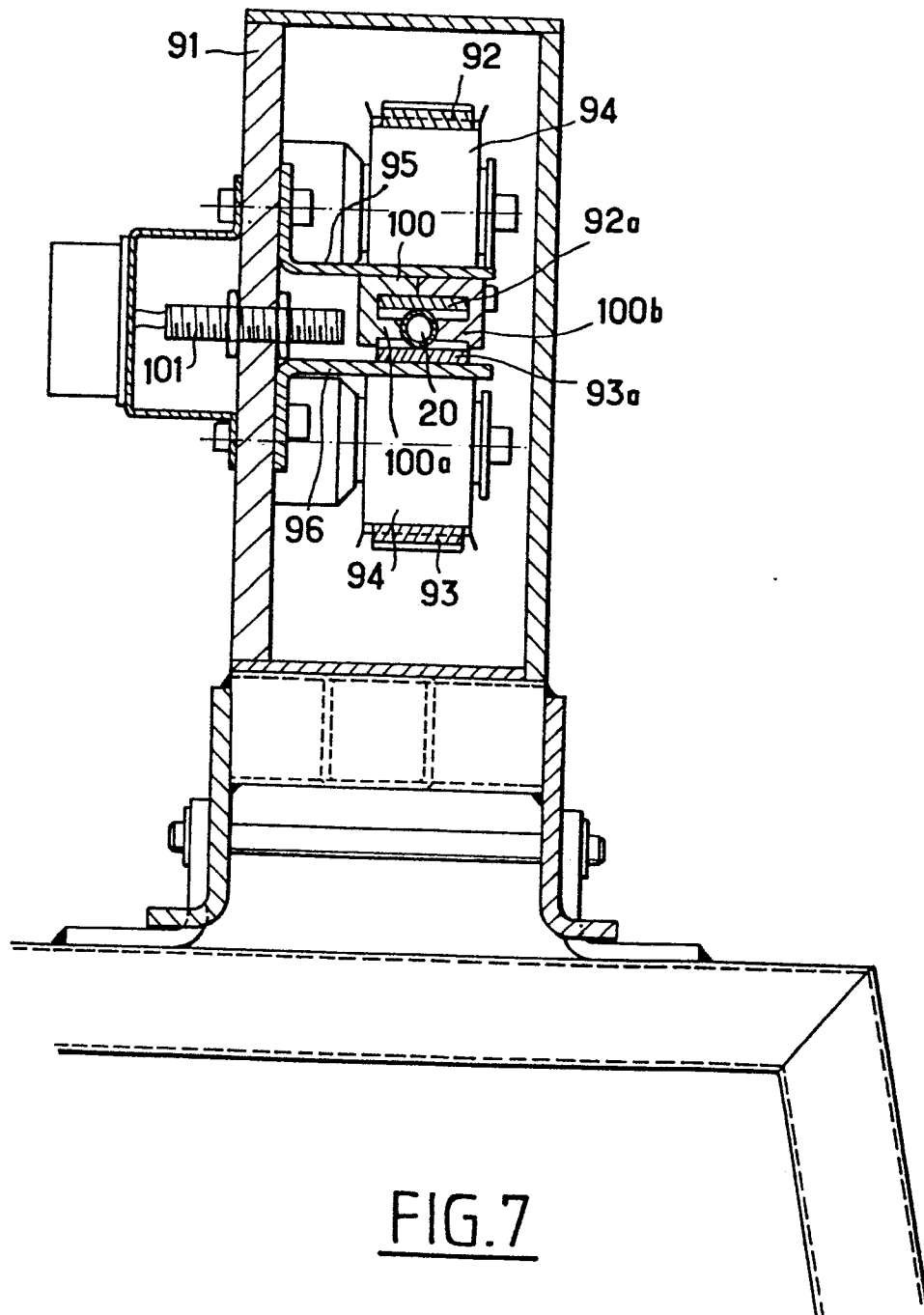




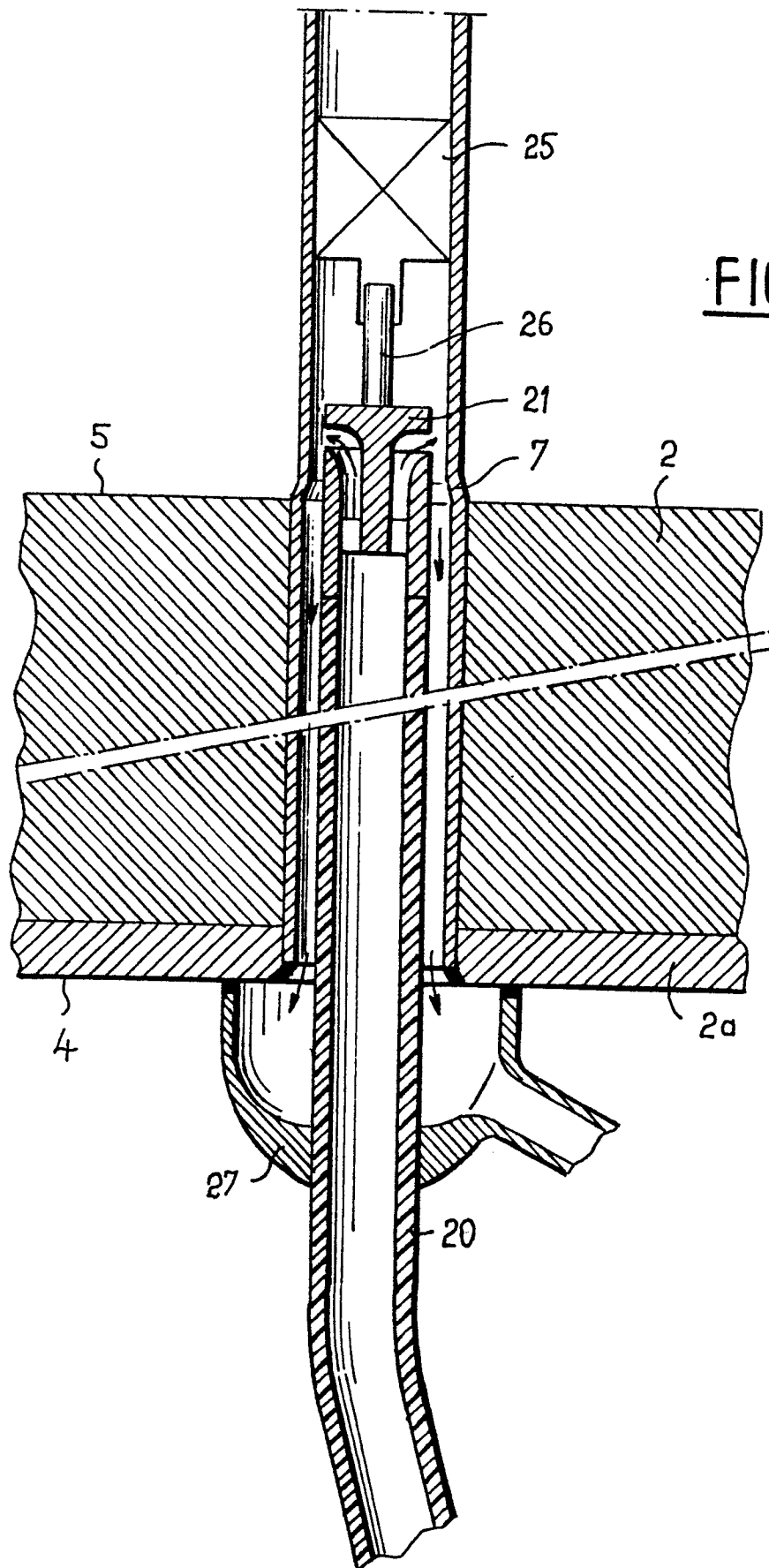


FIG. 5







FIG. 8



Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0181810

Numero de la demande

EP 85 40 2093

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                               |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                           | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes | Revendication concernée                                                                                                                                                                                                                                             | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)      |
| Y                                                                                                                                                                                                                                   | GB-A-2 104 821 (WESTINGHOUSE ELECTRIC)<br>* En entier *                         | 1-3, 6, 8, 9                                                                                                                                                                                                                                                        | B 21 D 39/06<br>B 24 C 3/32<br>C 21 D 7/06 |
| Y                                                                                                                                                                                                                                   | US-A-3 485 073 (BURNEY)<br>* Colonne 1, lignes 1-70; figures *                  | 1-3                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                            |
| Y                                                                                                                                                                                                                                   | GB-A- 810 812 (GRANT)<br>* Page 2, lignes 25-65; figures *                      | 6, 8, 9                                                                                                                                                                                                                                                             |                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | US-A-3 979 810 (BALCKE-DURR)                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | US-A-2 468 984 (KRIEG)                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
| A                                                                                                                                                                                                                                   | DE-B-1 142 298 (KOCH)                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
| D, A                                                                                                                                                                                                                                | FR-A-2 389 429 (ELECTRICITE DE FRANCE)                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
| Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications                                                                                                                                                         |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
| Lieu de la recherche<br>LA HAYE                                                                                                                                                                                                     |                                                                                 | Date d'achèvement de la recherche<br>13-12-1985                                                                                                                                                                                                                     | Examineur<br>PEETERS L.                    |
| <b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b>                                                                                                                                                                                                |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                            |
| X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |                                                                                 | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br><br>& : membre de la même famille, document correspondant |                                            |