

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②

N° 75 23471

⑤ Réacteur nucléaire dont le cœur est doté d'un dispositif de protection.

⑤ Classification internationale (Int. Cl.²). **G 21 C 15/18.**

② Date de dépôt 28 juillet 1975, à 15 h 2 mn.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le 1er août 1974, n. 493.995 aux noms de Harry N. Andrews et Walter G. Roman.*

④ Date de la mise à la disposition du
public de la demande **B.O.P.I. — «Listes» n. 9 du 27-2-1976.**

⑦ Déposant : Société dite : WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, résidant aux États-Unis d'Amérique.

⑦ Invention de :

⑦ Titulaire : *Idem* ⑦

⑦ Mandataire : Office Josse et Petit.

La présente invention se rapporte à des réacteurs nucléaires et plus particulièrement à un équipement permettant de restreindre le débit de sortie de réfrigérant à partir du coeur d'un réacteur dans le cas de rupture dans le conducteur d'entrée.

5 En cours de fonctionnement d'un réacteur nucléaire, le réfrigérant, couramment de l'eau, est amené par pompage à traverser le réacteur pour être envoyé à un générateur de vapeur par une boucle primaire fermée. Lorsque le réfrigérant ainsi pompé traverse par un écoulement ascendant le coeur du réacteur, il
10 absorbe la chaleur des barres de combustible; le réfrigérant ainsi échauffé est mis en circulation pour parvenir ensuite au générateur de vapeur, qui transfère la chaleur à un circuit secondaire utilisé pour entraîner un turbo-générateur. Dans les réacteurs de taille industrielle, le réfrigérant est mis en cir-
15 culation sous une pression d'environ 150 kg/cm^2 et sa température à la sortie du réacteur est d'environ 310°C . Si la conduite de la boucle primaire conduisant à la buse d'entrée du réacteur venait à subir une importante rupture, tout le réfrigérant qui s'écoulait normalement vers le réacteur se répandrait par la brèche de la conduite en dehors de celle-ci et ne pourrait jamais
20 par conséquent atteindre l'entrée du réacteur. Corrélativement la pression régnante dans le réacteur amène le réfrigérant s'y trouvant à s'écouler en sens opposé à la normale par la buse d'entrée du réacteur, le réacteur se vidant alors de réfrigérant
25 puisqu'il n'y a aucun obstacle à cet écoulement entre le réacteur et la brèche dans la conduite d'entrée. Dans ces conditions le réacteur perdra en peu de temps à peu près la totalité du réfrigérant qui s'y trouvait et les barres de combustible seront surchauffées, même si l'on introduit immédiatement à fond
30 les barres de commande dans le coeur.

Pour sauvegarder le réacteur contre ces indésirables situations, on injecte rapidement dans le coeur du réacteur un réfrigérant de secours, généralement de l'eau boratée, lorsque la pression dans le réacteur tombe au-dessous d'une valeur minimale prédéterminée. Différents procédés et équipements de
35 refroidissement de secours du coeur ont été mis au point pour assurer la délivrance de cette eau boratée au réacteur. Toute-

fois même dans le cas où l'on dispose d'un tel système de secours, une importante brèche dans la conduite peut faire qu'une fois le réfrigérant de secours injecté dans le coeur du réacteur, celui-ci suive immédiatement le même chemin que le courant de réfrigérant normal et passe par la buse d'entrée dans le sens opposé au sens normal vers la brèche survenue dans la conduite puisqu'aucune restriction ou autres dispositifs n'existent pour empêcher cet écoulement vers l'extérieur.

C'est pourquoi la présente invention a pour objet essentiel de fournir un système simple de protection contre une perte excessive de réfrigérant à la suite d'un accident, c'est-à-dire servant à retenir dans le coeur un volume suffisant de réfrigérant primaire et de secours, pendant un temps suffisant pour ramener à des niveaux de température de sécurité les barres de combustible du coeur et les autres organes de la structure interne du réacteur.

A ces fins, suivant l'invention, un réacteur nucléaire comportant une cuve soumise à une pression, ayant au moins une buse d'entrée et une buse de sortie, un coeur à l'intérieur de la cuve comprenant des barres de combustible qui dégagent de la chaleur lorsque le réacteur est en fonctionnement et des conduites raccordées aux buses d'entrée et de sortie et permettant de faire circuler un réfrigérant dans la cuve pour évacuer la chaleur engendrée par les barres de combustible, est caractérisé en ce qu'un organe de restriction de débit est disposé dans chaque buse d'entrée et est conçu pour opposer une résistance relativement faible à l'écoulement en direct de réfrigérant entrant dans la cuve, mais une résistance fortement accrue à tout écoulement en sens inverse du réfrigérant, de façon à limiter le reflux de réfrigérant à partir de la cuve à la suite d'une rupture importante dans la conduite d'entrée du réfrigérant. Le dispositif permet un écoulement pratiquement non empêché de réfrigérant entrant dans la cuve en cours de fonctionnement normal du réacteur, mais oppose au contraire une résistance notable à tout écoulement en sens inverse à travers la buse d'entrée, à la suite d'une rupture dans la conduite d'entrée du réfrigérant arrivant à la buse d'entrée de la cuve.

Tel qu'il est représenté schématiquement dans son ensemble, à la figure 1, un réacteur nucléaire comporte une cuve soumise à une pression 10 et un dôme 12 fixé à la cuve de façon étanche aux fluides, par des goujons 14. Un corps cylindrique de coeur 5 16, suspendu à partir d'un rebord 18 et maintenu en place par une structure supérieure 20, est espacé de la paroi latérale de la cuve pour ménager un espace annulaire cylindrique de descente 22 s'étendant sensiblement sur toute la hauteur de la cuve soumise à pression. Une plaque inférieure de coeur 24 et une plaque 10 supérieure de coeur 26 sont supportées par le corps cylindrique 16 et le volume 28 défini par les plaques de coeur et par le corps est agencé pour loger des assemblages de combustible (non représentés) qui constituent le coeur proprement dit du réacteur, une fois celui-ci mis en fonctionnement. Bien que le nombre des 15 assemblages de combustible et celui des barres de combustible par assemblage varient d'un réacteur à l'autre, un type bien connu de réacteur renferme 193 assemblages de combustible avec 204 barres de combustible par assemblage.

L'espace compris entre la structure supérieure 20 et la plaque 20 supérieure de coeur 26 renferme des adaptateurs-supports 30 et des tubes de guidage 32 contiennent des barres de commande 34 qui sont en mesure de descendre dans les assemblages de combustibles et d'en remonter, sous l'action de mécanismes 36 d'entraînement de ces barres de commande. Le fond du réacteur comprend 25 une plaque-support inférieure 38 présentant des ouvertures 40. Le réfrigérant est introduit dans le réacteur par une conduite d'entrée 41 reliée à une ou plusieurs buses d'entrée 42 et descend par l'espace annulaire 22 vers le fond de la cuve 10. Là il rebrousse chemin puis traverse en remontant les ouvertures 30 40, la plaque de coeur inférieure 24 et les assemblages de combustible supposés mis en place, pour être ensuite évacué par une ou plusieurs buses de sortie 44 et entrer dans les boucles primaires correspondantes, chacune desquelles comprenant de façon classique une pompe et un générateur de vapeur (non représentés). 35 Un dispositif à plusieurs venturis 46, monté dans chaque buse d'entrée 42 de branche froide, oppose une résistance relativement faible au réfrigérant, lorsque celui-ci entre à vitesse

normale et dans le sens normal. Le réacteur représenté pour illustrer l'invention est d'une taille telle qu'il comporte quatre buses d'entrée 42 faisant corps avec la cuve 10, mais l'invention reste évidemment applicable à un nombre quelconque de buses d'entrée. Les figures 2 et 3 montrent comment est conçue une buse typique d'entrée. Chaque buse a une ouverture d'entrée 52 qui diverge vers une sortie 54. Pour faciliter l'écoulement du courant de réfrigérant à son entrée dans l'espace annulaire de descente 22, les bords 52, la sortie 54 sont fortement évasés en formant une surface de section droite arrondie 56. La buse d'entrée 42 a été modifiée pour montrer la disposition de pattes de fixation 50 en alliage dit Inconel. Ces pattes sont fixées par des soudures à pleine pénétration à des emplacements intérieurs à la buse d'entrée et qui ont été de préférence munis au préalable d'un revêtement d'Inconel. Mais ces pattes peuvent aussi être formées dès la fabrication de la cuve, de façon à faire corps avec la paroi de la buse d'entrée. Les différentes pattes représentées sont toutes de même forme et de même taille et sont disposées à mi-chemin sensiblement de la longueur de la buse en faisant saillie intérieurement sur la paroi de la buse. Les faces 58 des pattes sont coplanaires. Chaque patte est pourvue d'une ouverture taraudée 60 permettant de recevoir l'extrémité d'une tige filetée (non représentée) utilisée au montage du dispositif de protection à plusieurs venturis dans l'entrée de la buse.

La rupture la plus grave pouvant se produire dans la branche froide de la conduite 41 amenant le réfrigérant au réacteur est appelée conventionnellement une rupture "en guillotine" d'une branche froide à deux bouts et est représentée à la figure 1. On peut voir sur cette figure que cette rupture est comparable à ce que donnerait un trait de scie traversier, exécuté dans un plan perpendiculaire à l'axe du tube d'entrée, les deux bouts de la coupure étant séparés et complètement écartés l'un de l'autre. Le bout du tube éloigné de la pompe continue alors à refouler du réfrigérant, mais librement dans l'espace extérieur au réacteur, c'est-à-dire dans l'enceinte de l'enveloppe de sécurité. Et comme le réfrigérant se trouvant dans le réacteur est toujours sous pression élevée, son sens d'écoulement se renverse et il

s'écoulera par l'autre bout de la coupure dans l'espace extérieur au réacteur. Bien que les systèmes de secours couramment conçus soient capables de faire face à cette situation particulièrement critique, il est reconnu qu'on devrait disposer d'un plus long
5 temps de séjour du réfrigérant dans le réacteur pour aider à assurer que les barres de combustible constituant le coeur du réacteur ne seront pas exagérément échauffées ou endommagées, par suite du manque de réfrigérant, qui évacue en temps normal la chaleur engendrée.

10 Le dispositif 46 de protection à plusieurs venturis, agencé pour être monté dans la buse 42 de branche froide, résulte des efforts continus, faits pour concevoir des dispositifs de secours de refroidissement du coeur, qui ont de meilleures performances, sont plus simples, plus sûrs et moins coûteux que les dispositifs
15 existants, et plus précisément un dispositif de protection qui puisse efficacement retenir le réfrigérant dans le réacteur un temps suffisamment long pour obtenir les résultats décrits plus loin. La fonction essentielle du dispositif de protection à plusieurs venturis est donc d'opposer une résistance notable à l'é-
20 coulement du réfrigérant par la buse d'entrée vers l'extérieur, c'est-à-dire en sens opposé au sens normal, au cours d'une période transitoire de perte de réfrigérant, en réduisant au minimum les effets de cette perte sur les performances de régime établi en cours de fonctionnement normal du réacteur.

25 Les figures 4, 5 et 6 montrent la structure d'un tel dispositif protecteur à plusieurs venturis jouant efficacement le rôle que l'on vient de définir. Un dispositif à venturi unique ayant un angle de diffuseur de 7° a été étudié, mais pour atteindre les performances voulues, il faudrait que la longueur du venturi dépasse
30 4,57 m, le rendant ainsi inapplicable à un réacteur nucléaire. Mais cette même haute performance, réalisable par un venturi de 4,57 m, peut être obtenue suivant l'invention en logeant plusieurs venturis 64 de haute efficacité individuelle, en parallèle dans un dispositif unique de protection 46 et en enfonçant ce dispositif
35 dans la buse d'entrée 42 de la cuve de réacteur, protégeant ainsi le coeur de celui-ci des conséquences de rupture du conduit d'entrée de réfrigérant. Le dispositif de protection représenté 46 a une longueur totale d'environ 86 cm (au lieu de 4,57 m) lui permettant

d'être disposé correctement dans la buse 42 de branche froide, le résultat étant que la structure interne du réacteur n'éprouvera pas de changement dans le régime d'écoulement du réfrigérant. Evidemment la longueur et le nombre des venturis varieront en fonction
5 de la taille du réacteur.

Le dispositif 46 est de préférence fait à partir d'une robuste pièce moulée 62, par exemple en acier inoxydable du type dit 410, et sa surface extérieure est usinée avec précision pour épouser étroitement la surface intérieure de la buse d'entrée 42
10 dans laquelle ce dispositif est monté. Le corps de la pièce moulée 62 comporte une bride 66 en matière lourde et, dans la structure représentée, un certain nombre de trous de goujon 68 s'étendent en direction longitudinale du dispositif protecteur, destiné à recevoir des goujons servant à monter de façon démon-
15 table le dispositif dans la buse d'entrée. Chaque goujon a un diamètre de 2,5 cm, une longueur de 30 cm et est vissé dans une patte 60. En utilisant ce type d'agencement, la conception et l'emplacement des goujons permet l'enlèvement à distance et l'inspection en service de la buse de la cuve et du dispositif de protection à venturis. En outre, les goujons sont conçus pour permet-
20 tre une dilatation différentielle entre la cuve soumise à pression et le dispositif à venturis qui se produit au cours des transitoires du système, et ils permettent au dispositif protecteur de rester en place quand il est soumis à la pleine pression de 150 kgp/cm^2
25 du système. Enfin, la conception en nid d'abeille du dispositif protecteur à venturis exclut toute probabilité de problèmes de contrainte dans la structure.

Le dispositif de protection représenté pour illustrer l'invention comporte dix-neuf venturis 64 disposés sensiblement parallè-
30 les entre eux et le rapport de la section totale des étranglements à la section d'entrée du fluide est de 0,25. Ce rapport des sections est optimum pour un réacteur donné, de manière que les valeurs de débit et de température requises pour le coeur soient assurées. Et bien que l'on utilise un venturi de haute efficacité,
35 on s'est aussi préoccupé de l'influence de ce dispositif sur le fonctionnement en régime permanent. Chaque venturi est conçu avec une entrée 67 bien arrondie et un angle total 69 du cône de dif-

l'angle de 8° pour réduire au minimum les pertes de charge en fonctionnement normal.

Les diagrammes des figures 7, 8 et 9 traduisent les phénomènes qui se produisent dans un réacteur comportant quatre boucles primaires. Dans le cas de centrales de l'art antérieur, ne comportant aucune sorte de dispositif de restriction ou de protection dans la buse d'entrée très vite après l'incident d'une rupture "en guillotine" dans la conduite d'entrée se produit une situation transitoire de mise hors service avec un flux de réfrigérant s'écoulant en sens inverse pour sortir par la buse d'entrée. Comme le montre la courbe en traits pointillés de la figure 7, cette situation transitoire se traduit par un vidage instantané et presque complet du réacteur en réfrigérant, avec un léger renversement du courant dans le coeur se produisant vers la fin de la situation transitoire.

La courbe en trait plein de la figure 7 montre la situation transitoire résultant du montage dans la buse 42 d'entrée de la branche froide d'un dispositif à plusieurs venturis suivant l'invention dont la section est réduite à 0,25 de celle de ladite branche froide. Il est clair que la résistance opposée à un écoulement en inverse, provoqué par les multiples venturis a un effet notable sur l'évolution du flux de réfrigérant dans le coeur au cours de la mise hors service de ce flux, notamment dans le cas d'une rupture "en guillotine" qui représente le type le plus grave de rupture pouvant survenir. La résistance opposée au flux en inverse par le dispositif de protection à venturis réduit l'échappée de réfrigérant à partir de l'espace annulaire de descente compris entre la cuve et le corps cylindrique du coeur vers le point de rupture; il en résulte qu'on empêche le renversement prompt du sens d'écoulement du flux de réfrigérant dans le coeur. La courbe en trait pleins montre en effet clairement que la réduction de vitesse du flux entre ledit espace annulaire et le point de rupture a pour effet d'allonger la période de débit positif élevé dans le coeur donc, ainsi qu'une mise hors service prolongée du débit allant jusqu'à 26 secondes, comme le montre la figure.

L'importance de ce temps relativement long de maintien du réfrigérant dans la cuve tient à ce que les surfaces des barres

de combustible sont maintenues à une température d'un niveau de sécurité suffisamment bas, en assurant ainsi la protection des barres de combustible jusqu'à ce que les barres de commande et le réfrigérant de secours aient pu être introduits dans le coeur pour amener le réacteur à l'arrêt. Comme le montre la courbe en pointillé de la figure 8, un réacteur non doté d'un dispositif de protection à venturis ou de n'importe quel autre type de dispositif de restriction dans la buse d'entrée, peut en cas d'accident du genre indiqué voir la température des barres de combustible s'élever à quelques 925°C.

LA courbe en trait plein de la figure 8 montre qu'en utilisant le dispositif suivant la présente invention, la température de la surface des barres de combustible tombe de 400 à 325°C. au cours des quatre premières secondes suivant une rupture de la conduite, et demeure ensuite sensiblement constante pendant une période de temps relativement longue. Cette chute de température est directement attribuable au temps de rétention relativement long de réfrigérant dans le coeur, ce temps étant obtenu par l'emploi du dispositif de protection à plusieurs venturis de protection 46 dans la buse d'entrée 42.

Dans un réacteur de type courant, des accumulateurs injectent un réfrigérant de secours dans la partie haute de la cuve aussitôt que des détecteurs signalent une chute de pression du réfrigérant. Les distributeurs délivrent alors ledit réfrigérant de secours à partir de la partie haute ou de tête du réacteur vers le coeur disposé dans la cuve. Pour retirer le profil voulu de l'emploi d'un dispositif protecteur à venturis dans les buses d'entrée, on peut maintenant modifier la cuve de façon telle que la délivrance de réfrigérant de secours à partir des accumulateurs se fasse par des entrées 70 situées au-dessus des buses d'entrée 42 et de sortie 44. L'injection à partir des accumulateurs peut donc avoir lieu directement dans l'espace annulaire de descente plutôt qu'à partir du sommet du réacteur ou qu'à travers l'entrée, comme cela se fait dans certains projets. L'existence d'un dispositif de protection à plusieurs venturis dans les buses d'entrée fait

qu'une résistance s'oppose à l'écoulement en inverse par la buse
d'entrée de l'eau injectée à partir des accumulateurs à la suite
d'une rupture de la conduite d'entrée. Cette action contribue à
5 assurer l'efficacité de réfrigérant dans le coeur pour maintenir
les barres de combustible à une température relativement basse
de sécurité.

Les transitoires de changement de régime d'écoulement ont été
déterminés dans le cas d'une rupture "en guillotine" à deux bouts
de la branche froide de la conduite de réfrigérant avec et sans
10 dispositif de restriction d'écoulement. Ces transitoires compor-
taient la chute de pression et les pertes récupérables par les
orifices. Les courbes de la figure 9 montrent les transitoires
de changement de régime d'écoulement; on observera en particulier
un doublement de la vitesse d'écoulement dans le coeur lorsque la
15 buse d'entrée est équipée de dispositifs de protection à plusieurs
venturis. Cette forte élévation de la vitesse d'écoulement dans
le coeur résulte de la mise sous pression dans l'espace annulaire
de descente causée par la chute de pression dans le dispositif
de restriction où a eu lieu une rupture dans la branche froide.
20 Une réduction de la section à 0,25 dans le dispositif à venturis
à l'entrée du réfrigérant dans le réacteur se traduit par une
perte de charge qui nécessite un relèvement de la puissance des
pompes de 7000 à 8000 CV.

R E V E N D I C A T I O N S

=====

5 1.- Réacteur nucléaire comportant une cuve soumise à une
pression, ayant au moins une buse d'entrée et une buse de sor-
tie, un coeur à l'intérieur de la cuve comprenant des barres de
10 combustible, qui dégagent de la chaleur lorsque le réacteur est
en fonctionnement, et des conduites raccordées aux buses d'en-
trée et de sortie et permettant de faire circuler un réfrigé-
rant dans la cuve pour évacuer la chaleur engendrée par les
barres de combustible, caractérisé en ce qu'un organe de res-
15 triction du débit (46) est disposé dans chaque buse d'entrée
(42) et est conçu pour opposer une résistance relativement
faible à l'écoulement en direct de réfrigérant entrant dans
la cuve (10), mais une résistance fortement accrue à tout écou-
lement en sens inverse du réfrigérant, de façon à limiter le
20 reflux de réfrigérant à partir de la cuve à la suite d'une
rupture importante dans la conduite (41) d'entrée du réfrigé-
rant.

2.- Réacteur nucléaire selon la revendication 1, caracté-
risé en ce que ledit organe de restriction de débit (46) est
20 constitué par un certain nombre de canaux venturi sensiblement
parallèles (64) et s'étendant en direction longitudinale de
la buse d'entrée (42) de façon que leur résistance à l'écoule-
ment en direct de réfrigérant entrant dans la cuve soit nette-
ment moindre que leur résistance à l'écoulement en sens inverse.

25 3.- Réacteur nucléaire selon la revendication 2, caracté-
risé en ce que lesdits organes de restriction de débit est
constitué par une pièce moulée entièrement disposée à l'inté-
rieur de ladite buse d'entrée (42) de sorte qu'elle ne risque
pas d'être endommagée, lors d'une rupture se produisant dans
30 la conduite d'entrée (41).

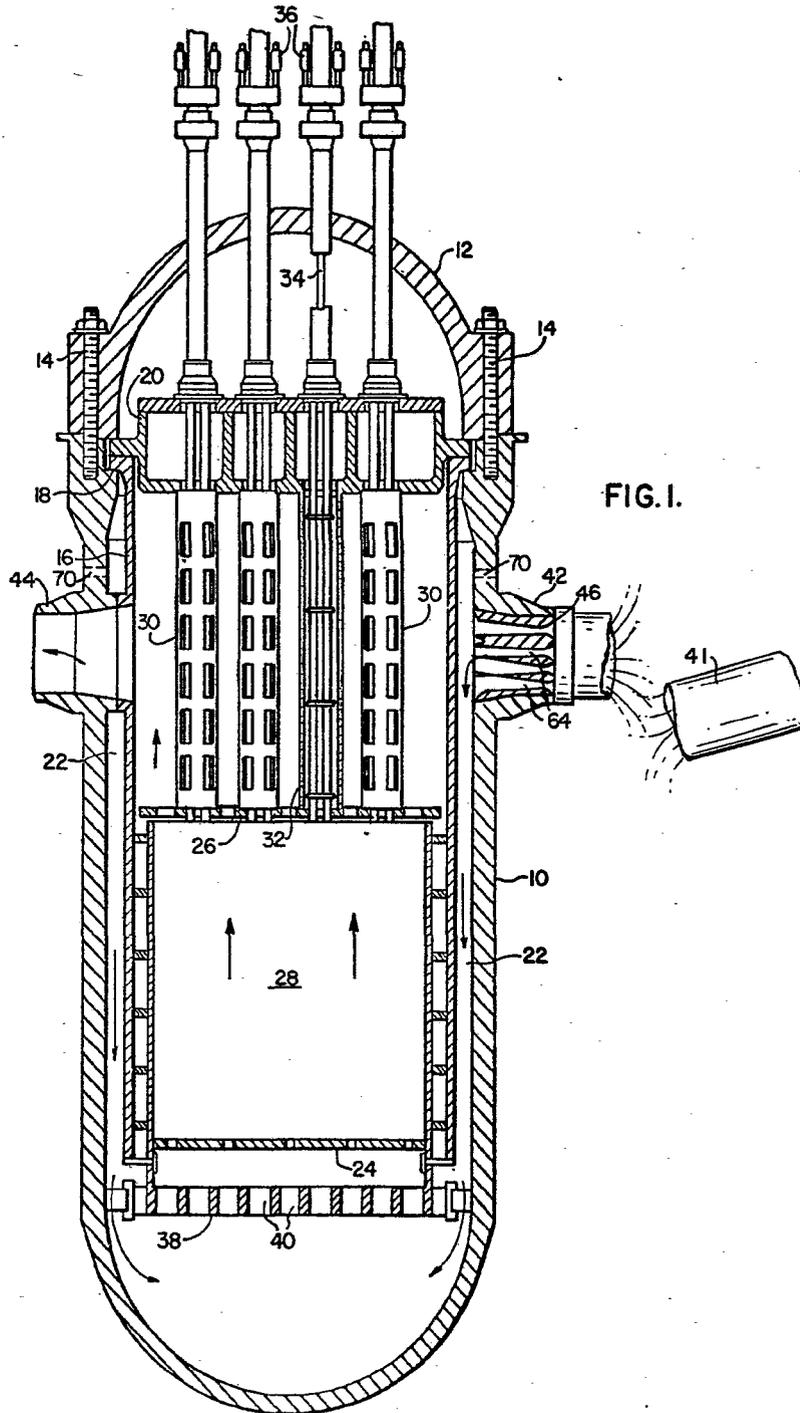


FIG. I.

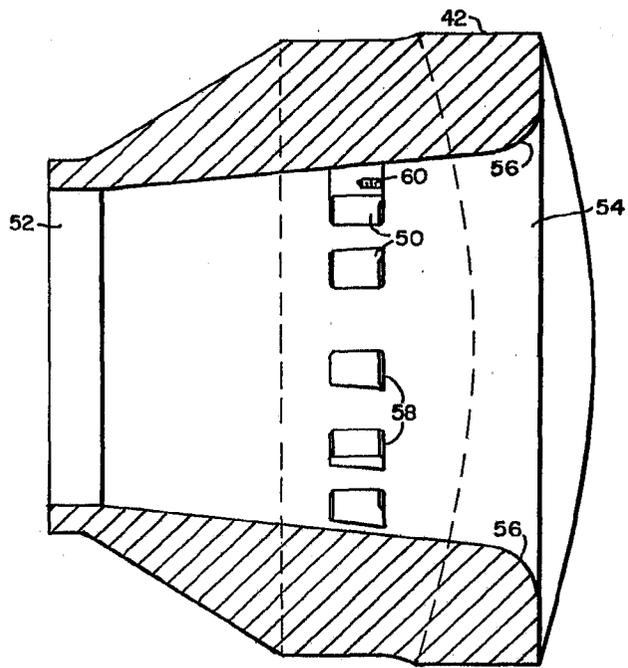


FIG. 2

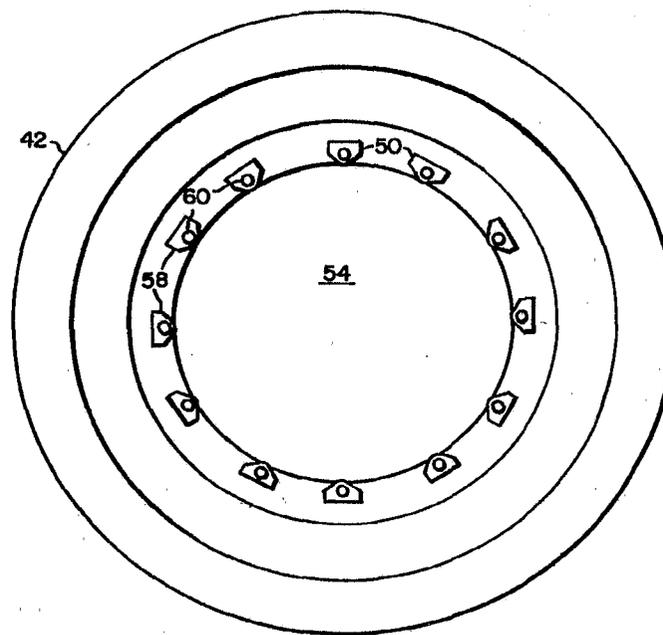


FIG. 3

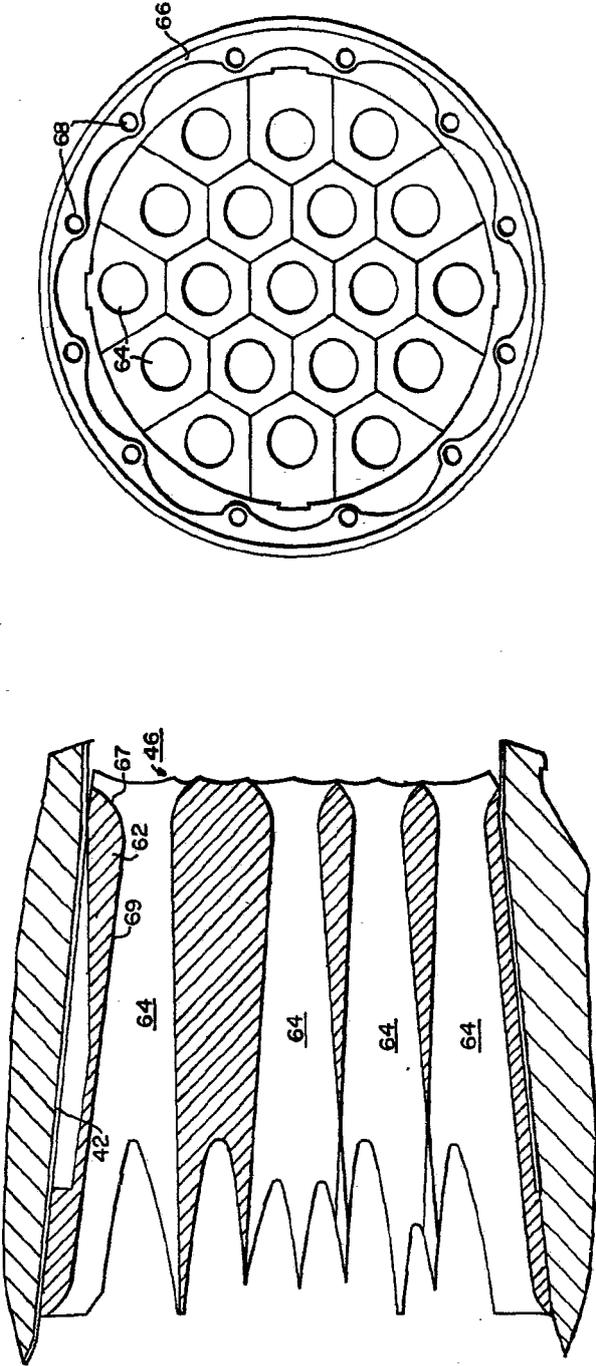


FIG.5

FIG.4

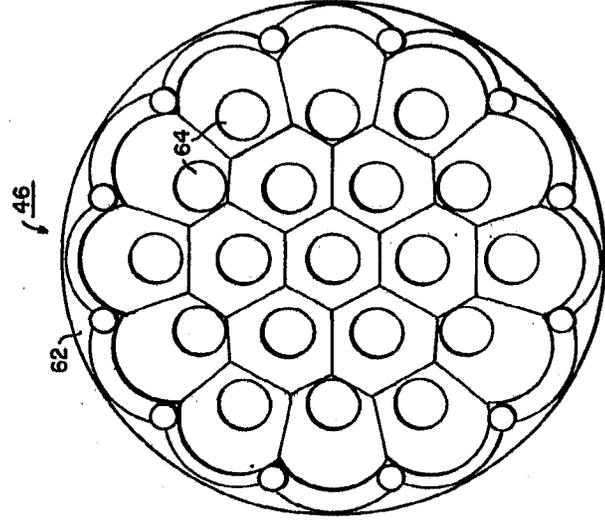


FIG.6

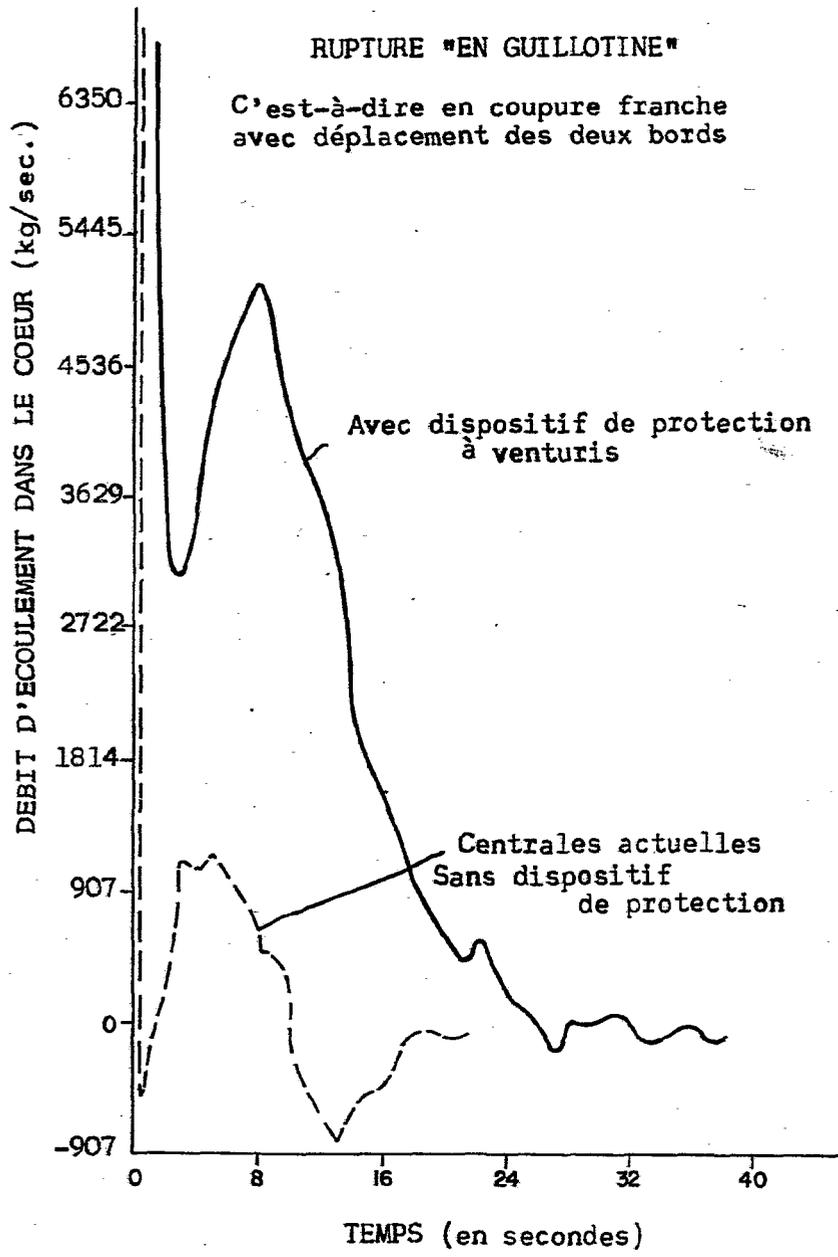


FIG.7

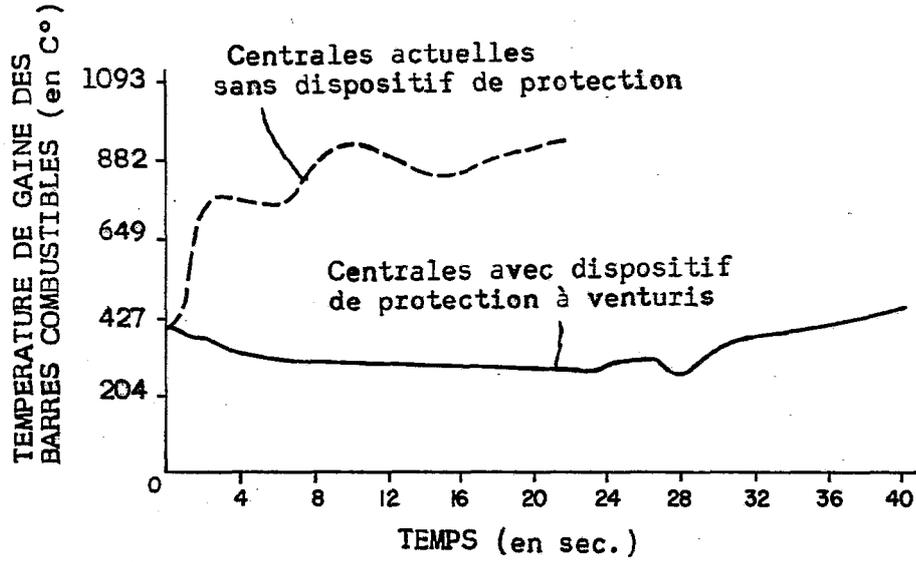


FIG.8

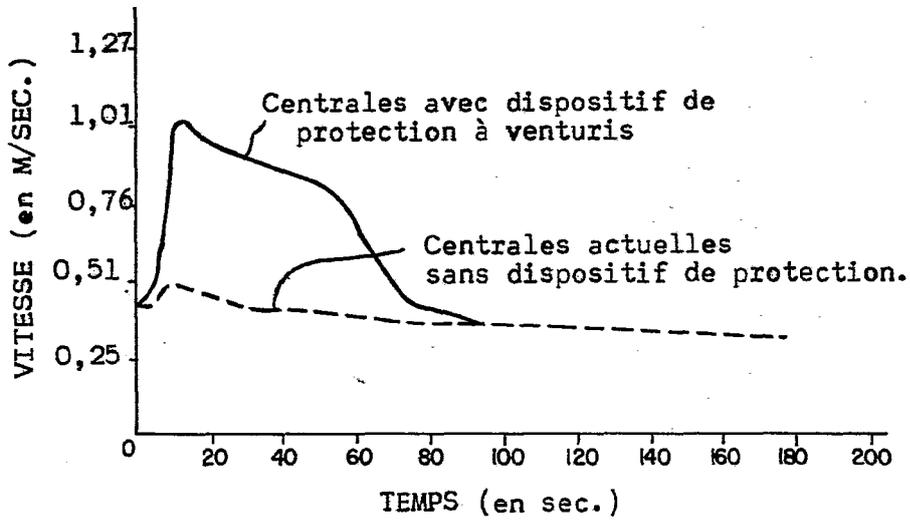


FIG.9