

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :  
(A n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction).

**2 480 482**

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 81 07449**

(54) Surgénérateur à sel fondu à accélérateur du type à fluide unique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.<sup>3</sup>). G 21 C 1/00.

(22) Date de dépôt..... 14 avril 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : Japon, 15 avril 1980, n° 49288/1980 et 8 septembre 1980,  
n° 123552/1980.

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 42 du 16-10-1981.

(71) Déposant : FURUKAWA Kazuo, résidant au Japon.

(72) Invention de : Kazuo Furukawa, Kinéo Tsukada, Yasuaki Nakahara, Toshihiko Ohmichi et  
Hideo Ohno.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Société de Protection des Inventions,  
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention concerne un appareil pour une réaction chimique nucléaire utilisant un sel fondu. Plus précisément, la présente invention concerne un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur du type à fluide unique utilisant les neutrons produits par une réaction de spallation d'un noyau lourd provoquée par une particule rapide telle qu'un proton.

Un réacteur à sel fondu est un réacteur dans lequel on fait circuler un combustible liquide (sel fondu) à travers un modérateur de graphite pour provoquer une fission nucléaire, ce concept ayant été développé par ORNL entre 1947 et 1976. On obtient dans le réacteur à sel fondu une température élevée sous faible pression de travail, compte tenu du type de sel fondu et, du fait que ce combustible est liquide, le réacteur présente les caractéristiques suivantes :

- 1) Il n'est pas nécessaire de produire et d'assembler des aiguilles de combustibles ;
- 2) On évite les endommagements dus aux radiations et on obtient simultanément un transport de chaleur ;
- 3) La vitesse de renouvellement du combustible nucléaire est satisfaisante car la durée du retraitement du combustible est très courte puisque celui-ci est effectué sur place ;
- 4) On peut faire fonctionner le réacteur avec un faible excès de réactivité puisque le combustible peut être échangé en continu au cours du fonctionnement ;
- 5) Par conséquent, celui-ci peut jouer le rôle de réacteur surrégénérateur à fission thermique puisque le protactinium et les produits de fission peuvent être éliminés en continu.

Ces caractéristiques sont essentielles dans le cycle du combustible nucléaire, en particulier en ce qui concerne la quantité totale d'uranium naturel nécessaire. En effet, un réacteur à sel fondu dont le rapport de surrégénération est de 1,07, offre pratiquement les mêmes

performances qu'un réacteur surrégénérateur rapide ayant un rapport de surrégénération de 1,4.

Des recherches sont actuellement poursuivies dans ce domaine sur un surrégénérateur à accélérateur  
5 utilisé pour produire des matériaux fissiles, afin d'absorber dans des matières fertiles des dizaines de neutrons qui sont libérés par une réaction de spallation d'un noyau lourd provoquée par des protons, etc. d'une énergie de l'ordre de 0,5 à 1,5 GeV et pour incinérer  
10 les éléments transuraniens et d'autres déchets radioactifs. La demanderesse s'est intéressée à ce problème et a proposé certaines solutions.

En ce qui concerne la production de neutrons libérés par une réaction de spallation d'un noyau lourd par une particule rapide telle qu'un proton d'une énergie d'environ 0,5 à 1,5 GeV, la demanderesse a déjà effectué des recherches sur l'utilisation d'un sel fondu exempt de dangers d'endommagements par les radiations dues à la particule, servant à éliminer la chaleur et à réarranger le combustible, ainsi que sur l'absorption de neutrons dans une matière fertile contenue dans le sel fondu pour produire des matériaux fissiles et séparer les produits de la spallation tels que le tritium formé, tout en produisant de l'électricité en se servant de la  
20 chaleur dégagée, et a déjà déposé une demande de brevet japonais (demande de brevet japonais n° 27178/78).

Cette demande a pour objet une invention concernant un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur, dans lequel on injecte un faisceau de protons provenant d'un tube accélérateur dans une cible constituée par un sel fondu tel que KF-NaF-BeF<sub>2</sub>-AnF<sub>3</sub> contenu dans un récipient cible à travers une fenêtre, pour incinérer le transuranien An et produire des neutrons, et dans lequel une couverture de sel fondu contenant du <sup>232</sup>Th, du <sup>238</sup>U, etc... contenu  
30 dans un récipient formant couverture entourant le récipient cible, est transmutée en matières fissiles telles que du <sup>233</sup>U et du <sup>239</sup>Pu, etc ..., en absorbant les

neutrons mentionnés ci-dessus.

La présente invention a pour but de fournir un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur, de conception améliorée, présentant une fiabilité technique, 5 une sécurité et un rendement plus élevés.

L'invention a également pour but de fournir un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur capable de produire efficacement des matières fissiles et, dans certains cas, du tritium.

10 En outre, l'invention a pour but de fournir un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur capable d'évacuer le tritium produit dans un sel réfrigérant par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur et de le séparer tout en recueillant de la chaleur.

15 Les études actives menées par la demanderesse pour atteindre ces buts l'ont conduite à concevoir un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur amélioré, en réunissant la cuve cible et la cuve couverture de façon à utiliser du fluorure fondu à une seule phase contenant 20 du  $\text{ThF}_4$  et/ou du  $\text{UF}_4$  jouant à la fois les rôles de cible et de couverture, résolvant ainsi le problème de l'endommagement de la cuve cible par les radiations et simplifiant la structure du réacteur. Cependant, le surrégénérateur à sel fondu et à accélérateur présente encore le 25 défaut que la fenêtre laissant passer le faisceau de protons injecté est à double structure, de telle sorte qu'on force l'hélium dans l'interstice qu'elle comporte et qu'au cas où cette fenêtre se brise, on doit interrompre le fonctionnement du réacteur pour remplacer 30 à distance la fenêtre. La demanderesse a en outre trouvé en approfondissant ses recherches que la quantité de vapeurs dégagées par le sel fondu est si faible qu'on peut le manipuler sans la fenêtre, en utilisant un système de pompage différentiel, et a conçu un surrégénérateur à 35 sel fondu à accélérateur du type à un seul fluide, caractérisé en ce que, dans un système comprenant une cuve de réacteur nucléaire à sel fondu, un échangeur de chaleur

et une pompe pour mettre en circulation le sel fondu dans cette cuve de réacteur nucléaire et dans cet échangeur de chaleur, la cuve de réacteur nucléaire est une cuve cylindrique en Hastelloy N fermée à ses extrémités 5 supérieure et inférieure, dont la paroi intérieure est recouverte d'un bouclier de graphite et qui comporte un orifice à son extrémité supérieure, et en ce qu'un accélérateur linéaire est installé sur cette cuve cylindrique sans intercaler de fenêtre entre ceux-ci, de 10 façon à pouvoir injecter des particules de charge rapides telles que des protons directement sur la surface du sel fondu dans la cuve par l'intermédiaire d'un système de pompage différentiel.

- La figure 1 est une représentation schématique 15 d'un premier type de surrégénérateur à sel fondu à accélérateur de l'invention ;

- la figure 2 est une représentation schématique du surrégénérateur à sel fondu à accélérateur antérieurement proposé par la demanderesse et faisant actuellement 20 l'objet de la demande de brevet japonais n° 27178/78 ; et

- la figure 3 est une représentation schématique d'un second type de surrégénérateur à sel fondu à accélérateur du type à fluide unique de l'invention.

Pour faciliter la compréhension des caractéristiques structurelles et pour montrer les avantages fournis par le surrégénérateur à sel fondu à accélérateur de l'invention, on décrit tout d'abord ci-dessous le surrégénérateur représenté sur la figure 2. Sur cette figure 2, un faisceau provenant d'un tube accélérateur 12 situé à l'une des extrémités de la cuve cible 11 est injecté sur une cible constituée par du sel fondu 14 contenu à l'intérieur de la cuve cible 11 et à travers une fenêtre 13. Le sel fondu cible 14 est refroidi par une couverture de sel fondu 16 dans une cuve couverture 30 15 entourant la cuve cible 11, tout en étant entraîné par une pompe ou par convection naturelle. La couverture de sel fondu 16 utilisée contient du  $^{232}\text{Th}$ , du  $^{238}\text{U}$ ,

etc..., et des matières fissiles sont obtenues par absorption des neutrons produits dans le sel fondu cible 14. L'énergie servant à la production d'électricité et à d'autres utilisations peut être recueillie par les sels fondus couverture ou cible à des températures élevées.

La figure 1 représente le premier type de surrégénérateur à sel fondu à accélérateur de l'invention, qui est caractérisé en ce que la cuve cible et la cuve couverture sont réunies en une seule cuve, de telle sorte qu'un seul fluorure fondu contenant du  $\text{ThF}_4$  et/ou du  $\text{UF}_4$  peut jouer le rôle de cible et de couverture, et en ce qu'un faisceau provenant d'un tube accélérateur situé à l'une des extrémités de la cuve du réacteur 1 est injecté sur un sel fondu 5 contenu dans la cuve du réacteur 1 à travers les fenêtres 3 et 4. Une pompe 6 fait circuler le sel fondu 5 provenant de la cuve du réacteur 1 dans un échangeur de chaleur 7 et le renvoie dans cette cuve.

En adoptant cette structure, le surrégénérateur à sel fondu à accélérateur présente les avantages suivants :

1) Résolution du problème de l'endommagement de la cuve cible par les radiations ;  
2) On peut utiliser une fenêtre de grande largeur et résoudre en grande partie le problème posé par l'endommagement du matériau constituant la fenêtre et la structure du cœur se simplifie beaucoup. Un surrégénérateur à sel fondu à accélérateur ayant une structure telle que celle représentée sur la figure 1, est décrit ci-après de façon plus détaillée sous forme d'un mode de réalisation.

On utilise comme faisceau un faisceau de protons de 1 GeV et de 300 mA. Le faisceau est dispersé d'environ 5° par un champ magnétique et est injecté de façon pratiquement uniforme dans une fenêtre de 1500 mm de diamètre effectif, qui est constituée par des fenêtres 3 et 4. La

fenêtre 3 est constituée d'une plaque mince de Zircalloy et la fenêtre 4 est constituée d'une plaque mince de Nb ou de Mo. Une plaque de protection thermique constituée par une feuille de Al est placée sur la surface supérieure de la fenêtre 4. On fait circuler de l'hélium gazeux dans l'espace entre les fenêtres 3 et 4 sous 0,1 à 0,5 atmosphère. Même si la fenêtre 3 se brise on n'observera qu'une fuite d'He. Au cas où la fenêtre 4 se casse, on ne le détecte pas jusqu'à ce qu'environ 1,2 atmosphères de sel fondu (à proximité de la fenêtre) commencent à fuire dans l'espace d'He. Lorsqu'une fuite se produit, on interrompt le fonctionnement du réacteur et on remplace la fenêtre. La cuve du réacteur 1, la pompe 6, l'échangeur de chaleur 7, les petits tubes 8 et la canalisation 10 sont constitués d'Hastelloy N (alliage de Ni-Mo-Cr). Le sel fondu 5 a pour composition LiF-BeF<sub>2</sub>-ThF<sub>4</sub> (72-16-12 moles %, point de fusion : 500°C).

Il est à noter que le Li utilisé est à l'état naturel. La température d'entrée est de 550°C et la température de sortie de 700°C. La cuve de réacteur présente un diamètre et une profondeur d'environ 6 m.

Comme sel réfrigérant, on utilise du NaBF<sub>4</sub> à 8 moles % de NaF. Une très faible quantité (environ 300 ppm) d'eau restant dans le réfrigérant et du tritium produit subissent une transmutation dans les petits tubes 8 constitués d'Hastelloy N et pénètrent sous forme de THO, de T<sub>2</sub>O, etc ... dans le gaz de couverture se trouvant dans le système de canalisation du sel réfrigérant. Ceux-ci sont séparés et recueillis de façon à produire du tritium. Le rendement quotidien en tritium est d'environ 30 g. Le rendement quotidien en uranium 233 est d'environ 300g, mais celui-ci n'a pas été prélevé, afin d'en utiliser une partie comme source de neutrons pour une réaction de fission nucléaire.

Le surrégénérateur à sel fondu et à accélérateur décrit ci-dessus présente en outre les caractéris-

tiques et avantages suivants :

- 1) La constitution générale du réacteur est d'une grande simplicité ;
- 2) Bien que la quantité de sel fondu utilisé s'élève à environ 800 tonnes, celui-ci est très peu onéreux puisqu'on utilise du Li et du Th naturels ;
- 3) On peut utiliser du Be dans la réaction de multiplication des neutrons ( $n, 2n$ ) ;
- 4) On peut directement immerger du graphite dans les sels fondu et il n'y a pas de problème avec l'Hastelloy N ;
- 5) Le traitement et la technique de séparation du tritium sont simples et bien connus de sorte que la mise au point d'une nouvelle technique et de nouveaux appareils n'est pas exigée.
- 15 6) La fuite de sel fondu (contamination du tube accélérateur, etc ...) ne peut se produire tant que les fenêtres 3 et 4 ne sont pas simultanément brisées. Le sel fondu est maintenu sous une pression suffisamment basse ;
- 20 7) Les matières fissiles sont en très faible concentration et ne comprennent que des substances chimiques stables, et la régulation du tritium est simple. Si l'on craint qu'il se produise une fuite de tritium de la cuve de réacteur et des canalisations, il est souhaitable d'utiliser une cuve double ; et
- 25 8) Si l'on préfère ne pas mélanger de  $H_2O$  à du  $T_2O$ , on peut préalablement remplacer le  $H_2O$  contenu dans le sel fondu par du  $D_2O$ .

Si l'on se réfère maintenant à la figure 3 qui représente un second type de surrégénérateur à sel fondu à accélérateur de l'invention qui est caractérisé en ce qu'il comporte un système de pompage différentiel à nombreux orifices pour un faisceau provenant d'un tube accélérateur au lieu de la fenêtre utilisée dans le surrégénérateur à sel fondu à accélérateur du premier type de l'invention décrit ci-dessus, de sorte que le faisceau est injecté

directement sur la surface du sel fondu sans traverser la fenêtre, la référence 4 représente une cuve de réacteur nucléaire cylindrique de 7 m de diamètre et de 8 m de hauteur réalisée en Hastelloy N (alliage Ni-Mo-Cr) de 5 50 mm d'épaisseur dont les extrémités supérieure et inférieure sont fermées. L'intérieur de la cuve 4 est, à l'exception d'un orifice, entièrement revêtue de deux couches d'un bouclier de graphite 5 et 6 ayant chacune une épaisseur d'environ 50 cm. Au centre de la partie 10 supérieure de la cuve 4, un orifice 1 d'environ 5 cm de diamètre est pratiqué dans la cuve 4 et dans les deux couches de graphite 5 et 6, et un faisceau de protons de 300 mA accélérés dans un accélérateur linéaire 17 de 1 GeV installé au sommet de la cuve 4, est injecté directement sur la surface liquide du sel fondu constitué par du 15  $^7\text{LiF}$ - $\text{BeF}_2$ - $\text{ThF}_4$  (64-18-18 moles %) contenu dans la cuve 4 par l'orifice 1. A l'extrémité supérieure de la paroi de la cuve 4, se trouvent quatre entrées de sel fondu 2 ayant un diamètre de 60 cm et traversant la paroi latérale de la cuve 4 et les couches de graphite 5 et 6, et dans la paroi latérale à proximité du fond, se trouvent 20 quatre sorties de sel fondu 3 de 60 cm de diamètre et qui sont recourbées de façon à empêcher un effet de canalisation des neutrons. Un sel fondu à 580°C s'écoulant 25 dans la cuve 4 avec un débit total d'environ 5  $\text{m}^3/\text{seconde}$  par les entrées 2 est chauffé à 680°C par la chaleur dégagée par les protons provenant de l'accélérateur linéaire à 1 GeV et sort par les sorties 3. Le sel fondu sortant de la cuve 4 est introduit dans un échangeur de 30 chaleur 8 par l'intermédiaire d'une canalisation 7 et transfère la chaleur à un sel réfrigérant  $\text{NaBF}_4$ - $\text{NaF}$  (92-8 moles %) de façon à produire de l'électricité par l'intermédiaire de vapeur. Le rendement est de 42% et on peut obtenir une production d'électricité d'environ 800000 KWe. 35 Une pompe centrifuge 9 du type à surface liquide libre

est utilisée pour faire circuler le sel fondu et une colonne à liquide est installée au-dessus de celle-ci. Le diamètre de la colonne est faible de façon à ce qu'elle soit sensible aux fluctuations du niveau liquide et à permettre la régulation du niveau du liquide contenu dans la cuve 4. Une partie du sel fondu en circulation est injectée dans le système à environ 10 m/s par une canalisation 18 située à proximité de l'orifice 1 de façon à provoquer la formation d'un tourbillon au centre duquel les protons sont injectés. On évite ainsi que la surface liquide du sel fondu soit stagnante et cela permet de produire des neutrons dans une zone profonde du système, éloignée de la surface, afin de faciliter l'adsorption des neutrons et de fournir une meilleure protection contre ceux-ci. La régulation de la surface du liquide s'effectue tout d'abord en maintenant la différence du niveau de liquide dans une gamme d'environ 3 m de façon à obtenir un équilibre avec la pression de la pompe à vide et du gaz de couverture (He) qui est de 0,99 atm et en ajustant également la vitesse de rotation de la pompe, en agissant sur une soupape de régulation 10, en contrôlant la pression de gaz dans la zone supérieure, etc ... Les sels fondus s'accumulant dans la pompe sont évacués dans un réservoir de stockage 12 par l'intermédiaire d'une canalisation de trop plein 11. Au-dessus de l'extrémité supérieure de la cuve 4, se trouvent un orifice 13, un obturateur 14 et un système de production de vide 15 permettant d'éliminer les gaz qui se dégagent. Les vapeurs de sel fondu se déposent non seulement sur un piège à vapeur 16, mais également sur la plaque de l'orifice 13 et en d'autres endroits, mais la vapeur se trouvant au-dessus de la partie inférieure de l'obturateur 14 et du piège à vapeur 16 peut, si nécessaire, être lavée en faisant monter le niveau de sel fondu. Cependant, il est nécessaire que le piège à vapeur 16 soit remplacé fréquemment puisque des produits de spallation y sont piégés. L'obturateur 14 est fermé lorsqu'on n'injecte pas

de faisceaux de protons. Au-dessus de l'obturateur 14, se trouve un système de pompage différentiel comportant plusieurs dizaines de plaques à orifices d'environ 50 mm de diamètre servant à maintenir un haut degré de vide.

5 On fait fonctionner en continu le réacteur pendant une période de 6 mois à un an et environ 800 kg de  $^{233}\text{U}$  sont produits pendant un an. Une entaille est pratiquée dans la couche de graphite 6 de façon à pouvoir adsorber et éliminer une partie des produits de spallation. La  
 10 teneur en  $^{233}\text{UF}_4$  produit dans le sel fondu pendant le fonctionnement du réacteur est inférieure à 0,1 mole % de sorte qu'on ne se heurte à aucun risque de criticité, etc ... (l'absorption de neutrons par le  $^{233}\text{U}$  pour la fission nucléaire est au contraire utile pour la surrégen-  
 15ération de neutrons, de sorte qu'il ne se produit pas de perte notable). Cependant, afin d'accélérer l'élimination au cours du 3ème mois et ultérieurement, on peut traiter chimiquement un total de 400 tonnes de sel par lots de 30 tonnes pour éliminer le  $^{233}\text{U}$  et une partie  
 20 des produits de la réaction de spallation nucléaire.

Même s'ils ne sont pas soumis à une séparation, la quantité totale de produits résultant de la réaction de spallation nucléaire accumulés en un an est de 30 à 40 kg et on peut facilement séparer le He et d'autres gaz rares  
 25 ainsi que le  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ , etc ... qui s'y trouvent, et il n'est pas difficile de maintenir les teneurs en impuretés de divers types en dessous de 1 ppm. On peut éliminer les gaz rares produits au moyen d'un système à vide et d'un système de pompe à gaz. Le tritium produit sort  
 30 principalement sous forme d'eau dans le système d'évacuation de gaz du sel réfrigérant secondaire et est recueilli. Le traitement des produits de fission est déjà connu.

Bien que le  $^7\text{LiF-Be F}_2\text{-Th F}_4$  (64-18-18 moles %) ait été utilisé comme sel fondu dans ce mode de réalisation, on peut utiliser comme sel fondu les mélanges suivants de fluorures de métaux alcalins et/ou de métaux

alcalino-terreux contenant une concentration aussi élevée que possible en matières nucléaires pères  $\text{ThF}_4$  et  $\text{UF}_4$ , présentant un point de fusion et une viscosité faibles ainsi qu'une compatibilité satisfaisante avec

5 l'Hastelloy N :

	$^7\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{ThF}_4$	76-16-12 moles %
		67-18-15 moles %
		64-18-18 moles %
		71- 9-20 moles %
10	$^7\text{LiF}-\text{ThF}_4$	71-29 moles %
	$^7\text{LiF}-\text{NaF}-\text{ThF}_4$	43,5-32,5-24 moles %
		54,5-13,5-32 moles %
	$^7\text{LiF}-\text{UF}_4$	71-19 moles %
15	$^7\text{LiF}-\text{NaF}-\text{UF}_4$	43,5-24,3-32,3 moles %
		35,4-24,6-40 moles %
	$^7\text{LiF}-\text{RbF}-\text{UF}_4$	60-10-30 moles %
		57-10-33 moles %
20	$\text{NaF}-\text{KF}-\text{UF}_4$	47-29-38 moles %
	$\text{NaF}-\text{RbF}-\text{UF}_4$	47-31-22 moles %
		45-27-28 moles %

Il est à noter que dans les sels fondus ci-dessus, le  $^7\text{LiF}$  peut être partiellement remplacé par du LiF pour la production de tritium. En utilisant un sel fondu tel que deux cités à titre d'exemple ci-dessus, comme le sel fondu ternaire  $\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{ThF}_4$ , on produit du tritium ainsi que du  $^{233}\text{U}$  et on prépare progressivement un combustible pour surrégénérateur à sel fondu. Dans 30 le surrégénérateur à sel fondu à accélérateur de l'invention, il se forme des actinoïdes et, bien qu'ils soient présents en très faible quantité, on peut obtenir une extinction des actinoïdes en remplaçant une partie (moins d'environ 0,1 mole %) de  $\text{ThF}_4$  dans un sel fondu tel que 35 le  $\text{LiF}-\text{BeF}_2-\text{ThF}_4$ , par du  $\text{AnF}_3$  (où An est un élément actinoïde). Cela signifie que dans le surrégénérateur à sel fondu à accélérateur de l'invention, la surrégénération de  $^{233}\text{U}$  et la production de tritium qui sont les principaux

buts de l'invention, peuvent être réalisées et que le traitement d'extinction des actinoïdes et des produits de la fission peuvent être simultanément effectués en modifiant judicieusement la composition de sel fondu.

- 5           Comme le montre la description ci-dessus, le surrégénérateur à sel fondu à accélérateur du type à fluide unique de l'invention offre les avantages suivants :
- 1) On peut produire des matières fissiles sans utiliser aucune matière fissile. De plus, on peut produire avec
- 10 ce réacteur d'une puissance d'environ 800000 KWe environ 800 kg de  $^{233}\text{U}$  (ou de  $^{239}\text{Pu}$ ) pendant un an.
- 2) Le sel fondu utilisé peut servir de sel combustible pour le surrégénérateur à fission à sel fondu (ou convertisseur) tel qu'il est en ajustant sa composition. Dans
- 15 ce cas, cela peut s'effectuer sans utiliser d'uranium ou d'uranium ou de plutonium enrichis. Cela signifie que ce système est indépendant des autres technologies d'ingénierie nucléaire.
- 3) La production d'énergie électrique peut dépasser la
- 20 consommation d'énergie domestique d'environ 200000 kWe. Cela signifie qu'il n'est pas nécessaire de consommer de l'énergie électrique.
- 4) En ce qui concerne la sécurité, (a) la structure est très simple et on ne doit pas rencontrer de difficultés ;
- 25 b) aucune substance combustible ou explosive n'est présente, et (c) le réacteur se trouve dans un état suffisamment sous-critique pour que l'ajustement de la composition chimique ou l'utilisation d'un mécanisme de barres de commande ne soit absolument pas nécessaire
- 30 pour ajuster la réactivité nucléaire.

En conséquence, le réacteur peut être conçu raisonnablement sans restriction quant à l'éventail des matières nucléaires ; et

- 5) La technique du sel fondu comportant un traitement chimique peut être utilisée à grande échelle. En outre, le produit de la spallation nucléaire est en faible concentration, ce qui permet de le traiter sans difficulté.

REVENDICATIONS

1. Surrégénérateur à sel fondu à accélérateur du type à fluide unique, caractérisé en ce que, dans un système comprenant une cuve de réacteur nucléaire (4) à sel fondu, un échangeur de chaleur (8) et une pompe (9) pour faire circuler un sel fondu dans ce réacteur nucléaire et cet échangeur de chaleur, cette cuve de réacteur nucléaire (4) est une cuve cylindrique dont les extrémités supérieure et inférieure sont fermées et est constituée d'Hastelloy N pour un fluorure fondu à phase unique contenant du  $\text{ThF}_4$  et/ou du  $\text{UF}_4$  avec un fluorure de métal alcalin et/ou un fluorure de métal alcalino-terreux jouant le rôle de cible et de couverture, en ce qu'elle est équipée d'un bouclier de graphite (5,6) revêtant la paroi intérieure, en ce qu'elle présente un orifice (1) à son extrémité supérieure et en ce qu'un tube accélérateur linéaire destiné à produire un faisceau de particules rapides de charges telles que des protons, est monté sur cette cuve de façon à ce que ces particules soient injectées directement sur la surface liquide du sel fondu dans la cuve à travers cet orifice(1).

2. Surrégénérateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que le bouclier de graphite est composé de deux couches.

3. Surrégénérateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cuve présente une ou plusieurs entrées (2) pour le sel fondu à l'extrémité supérieure de la paroi cylindrique et une ou plusieurs sorties (3) de formes incurvées dans le bouclier de graphite à proximité de l'extrémité inférieure.

4. Surrégénérateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'orifice est équipé d'une fenêtre composée de deux plaques séparées par un espace dans lequel on fait circuler de l'hélium gazeux.

5. Surrégénérateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'une de ces plaques est une plaque mince de Zircalloy et en ce que l'autre plaque est une plaque mince de Nb ou de Mo recouverte d'une feuille 5 d'aluminium à sa surface supérieure.

6. Surrégénérateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'orifice est un système de pompage différentiel à nombreux orifices.

7. Surrégénérateur selon la revendication 6, 10 caractérisé en ce qu'un jet (18) est fourni à proximité de cet orifice pour injecter une partie du sel fondu en circulation dans cette cuve et former un tourbillon au centre de la surface liquide du sel fondu.

8. Surrégénérateur selon la revendication 1, 15 caractérisé en ce qu'on recueille de la chaleur et du tritium provenant du sel fondu en circulation dans cet échangeur de chaleur au moyen d'un sel réfrigérant.

9. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le sel 20 fondu utilisé est du  $^7\text{LiF-BeF}_2-\text{ThF}_4$  ayant comme composition : 76-16-12 moles %, 67-18-15 moles %, 64-18-18 moles % ou 71-9-20 moles %.

10. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu 25 utilisé est du  $^7\text{LiF-Th-F}_4$  ayant comme composition : 71-29 moles %.

11. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu utilisé est du  $^7\text{LiF-NaF-ThF}_4$  ayant la composition suivante : 43,5-32,5-24 moles % ou 54,5-13,5-32 moles %.

12. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu utilisé est du  $^7\text{LiF-UF}_4$  ayant comme composition : 71-19 moles %.

35 13. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu

utilisé est du  $^7\text{LiF-NaF-UF}_4$  ayant comme composition :  
43,5-24,3-32,2 moles % ou 35,4-24,6-40 moles %.

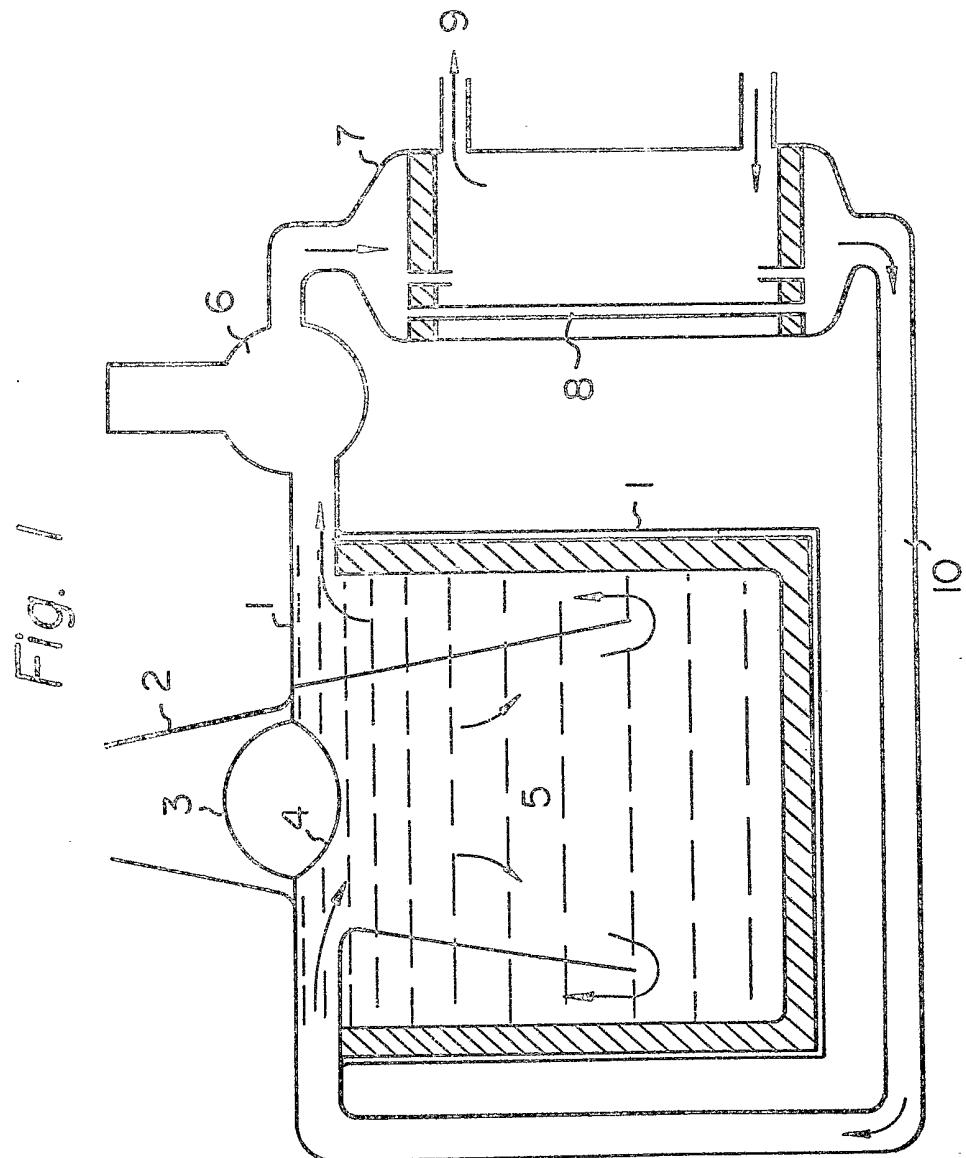
14. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu  
5 utilisé est du  $^7\text{LiF-RbF-UF}_4$  ayant comme composition :  
60-10-30 moles % ou 57-10-33 moles %.

15. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu utilisée est du  $\text{NaF-KF-UF}_4$  ayant comme composition :  
10 47-29-38 moles %.

16. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que ce sel fondu utilisée est du  $\text{NaF-RbF-UF}_4$  ayant comme composition :  
47-31-22 moles % ou 45-27-28 moles %.

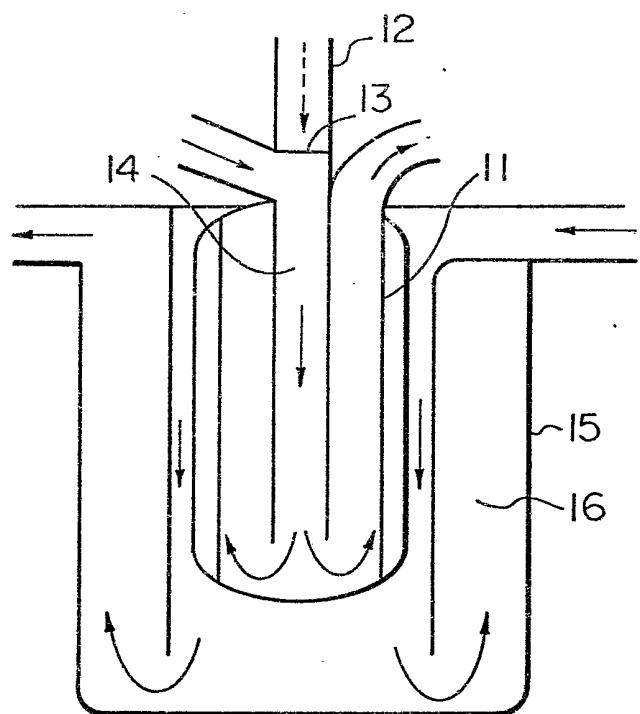
15 17. Surrégénérateur selon l'une quelconque des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que ce  $^7\text{LiF}$  est partiellement ou totalement remplacé par du  $\text{LiF}$  pour la production de tritium.

1,3



2,3

Fig. 2



3,3

Fig. 3

