

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 83400871.6

(51) Int. Cl.³: **G 21 F 9/34**

(22) Date de dépôt: 29.04.83

(30) Priorité: 05.05.82 FR 8207786

(43) Date de publication de la demande:
09.11.83 Bulletin 83/45

(84) Etats contractants désignés:
BE CH DE GB LI SE

(71) Demandeur: COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
Etablissement de Caractère Scientifique Technique et
Industriel
31/33, rue de la Fédération
F-75015 Paris(FR)

(72) Inventeur: Courtois, Guy
15, rue de l'Odéon
F-75006 Paris(FR)

(72) Inventeur: Jaouen, Claude
16, Place de la Fraternité
F-78280 Guyancourt(FR)

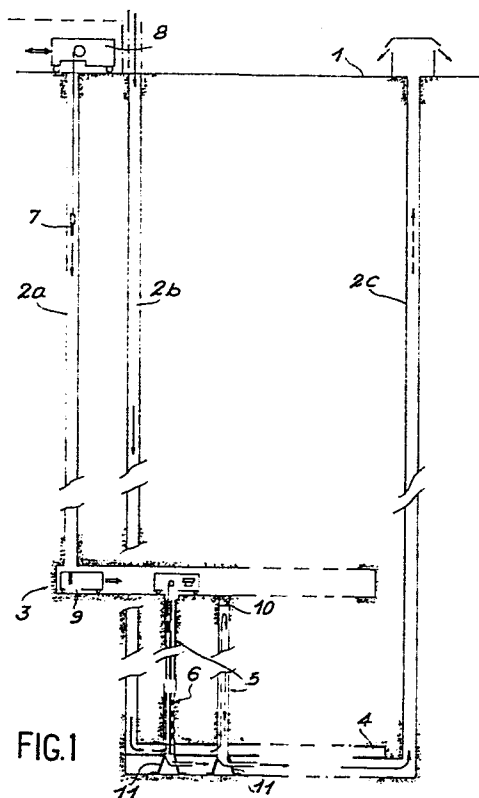
(74) Mandataire: Mongrédien, André et al,
c/o BREVATOME 25, rue de Ponthieu
F-75008 Paris(FR)

(54) Installation de stockage géologique de matières radioactives, notamment sous forme vitrifiée.

(57) Installation géologique pour l'évacuation de déchets radioactifs vitrifiés.

Elle comporte en combinaison:

- une série de puits verticaux (2) d'accès des déchets vers le sous-sol et de ventilation reliant la surface du sol (1) au site de stockage situé à grande profondeur;
- un premier plan supérieur (3) de galeries horizontales, parallèles et équidistantes, munies de moyen (9) pour véhiculer les déchets;
- un deuxième plan inférieur (4) de galeries horizontales, parallèles et équidistantes selon une direction inclinée d'un angle α par rapport à la direction commune des galeries du premier plan supérieur (3).



La présente invention se rapporte d'une façon générale aux techniques de conservation des matières radioactives issues des éléments combustibles usagés après leur déchargement d'un réacteur.

5 Les matériaux fissiles qui ont séjourné dans un réacteur nucléaire, comme par exemple un réacteur à uranium enrichi refroidi à l'eau légère pressurisée, sont appauvris en U_{235} et corrélativement enrichis en plutonium en même temps qu'il y a création de déchets.

10 Comme ce dernier élément est lui-même fissile et peut être utilisé à son tour notamment dans des réacteurs du type à neutrons rapides, on procède fréquemment sur de tels éléments combustibles usagés à des opérations dites de retraitement qui permettent essentiellement la

15 séparation de l'uranium appauvri en isotope 235 et du plutonium formé ainsi que le conditionnement des déchets sous une forme sûre. Après un processus de retraitement, les produits résiduels non utilisables et qui comportent une part importante de matériaux forte-

20 ment radioactifs sont alors soumis à des opérations de vitrification.

Pour cette conservation, deux problèmes majeurs sont à prendre en considération. D'une part et bien évidemment les déchets ainsi conditionnés sont

25 très fortement radioactifs et constituent un danger mortel pour tous les organismes vivants dont on doit les séparer par des protections biologiques ; d'autre part, et ceci n'est pas toujours pris en considération avec toute l'attention nécessaire, les réactions de désintégration radioactive dont ils sont le siège, libèrent, de l'énergie sous forme de chaleur. A cette re-

30 marque viennent s'ajouter les périodes de décroissance de ces corps radioactifs qui sont parfois très longues et peuvent s'étendre par exemple de 30 à 30.000 ans

35 pour les plus courants.

A titre d'illustration de ce qui précède, les tableaux 1 et 2 qui suivent donnent respectivement pour les produits de fission et pour les actinides, les masses et puissances des noyaux radioactifs obtenus à partir du retraitement d'une tonne d'uranium contenu dans des éléments combustibles de réacteur nucléaire à eau légère, dont le retraitement a été effectué trois ans après le déchargement du combustible.

10

Produits de fission

Tableau 1

Produits de fission	Période (ans)	Après retraitement à t = 3 ans.	
		Poids (g)	Puissance (watts)
(Cs + Ba) 137	30	Cs 1155 Ba 68	162 367
(Sr + Y) 90	28	Sr 442 Y 508	93,6 411
Eu 154	16	44,7	56,2
Sm 151	87	41,4	2
Tc 99	$2.16 \cdot 10^5$	835	0,009

25

Actinides

Tableau II

Emetteurs	Période (ans)	Après retraitement à t = 3ans	
		Poids (g)	Puissance émise - (watts)
244 Cm	17,6	27,8	78,8
241 Am	458	191	20,7
243 Am	7650	90,4	0,56
*239 Pu résiduaire	24,360	13,5	0,03

Pour illustrer les conséquences des données précédentes, on peut rappeler que les déchets radioactifs ainsi vitrifiés sont stockés couramment en France sous la forme d'une masse cylindrique compacte d'un volume de 220 litres dans un conteneur métallique dont la paroi a une épaisseur de 5 mm, dont le diamètre est de 430 mm et la hauteur de 1660 mm. De tels conteneurs s'échauffent spontanément à des températures élevées ; pour assurer une bonne conservation avec une limite de sécurité suffisante, il a été décidé de ne pas dépasser 200°C en surface de conteneur et 450°C au coeur du verre sur l'axe du conteneur. Un tel conteneur en soi connu est représenté à titre indicatif sur la figure 1 ci-jointe.

L'idée la plus simple qui vient tout naturellement à l'esprit pour se débarrasser de ces déchets vitrifiés est celle de l'enfouissement dans le sol à plus ou moins grande profondeur. Malheureusement, la théorie et la pratique montrent qu'un tel confinement sans précautions spéciales dans des galeries ou des enceintes souterraines est impossible en raison des températures auxquelles parviendrait la masse ainsi conservée et qui seraient suffisantes pour provoquer des fissurations ou des affaissements de terrain sérieux accompagnés de destruction partielle de certains des conteneurs de verre, ce qui pourrait conduire les produits radioactifs extrêmement dangereux à se répandre dans l'environnement.

Pour cette raison, on envisage généralement une conservation de ces déchets vitrifiés en trois périodes successives dans le temps, à savoir respectivement :

1. Un entreposage provisoire ou intérimaire de 4 à 5 ans dans des chambres en béton situées au voisinage de la surface du sol et parcourues par de l'air de refroidissement forcé pour évacuer les calo-

ries et limiter la température de l'ensemble à une valeur maximale de l'ordre de 200°C. Des puits métalliques à petite capacité permettent de loger dans un ensemble de ce genre 3000 à 4000 conteneurs de verre fortement actifs.

5

2. Après cette première période de décroissance radioactive, un stockage intérimaire de longue durée, toujours au voisinage de la surface, à une profondeur de 6 à 50 m dans des salles en béton construites par terrassement et munies d'un refroidissement libre ou forcé.

10

3. Un dépôt définitif dans le sol à grande profondeur de ces mêmes conteneurs de verre lorsque leur état d'activité a suffisamment décru pour que la masse ainsi entreposée de façon définitive dans le sol n'échauffe pas la roche d'accueil au delà de 100°C à 150°C selon sa nature. Les installations de dépôt définitif à grande profondeur (de l'ordre de 500 à 1000 m par exemple) sont alors obturées de façon définitive par des barrières géochimiques à l'aide d'un matériau qui assure à la fois la continuité mécanique du massif géologique et la continuité thermique entre les conteneurs de verre et la roche pour permettre la dissipation de l'énergie résiduelle qui continuera à être émise pendant quelques milliers d'années.

15

20

25

La nécessité de séparer les étapes 2 et 3 précédentes que sont le stockage intérimaire de longue durée et le dépôt définitif dans le sol, conduit à une complication majeure qui est la remontée à la surface et le transport dans un autre site des conteneurs de verre fortement actifs. Cette complication augmente évidemment les risques de contamination et par conséquent le danger lié au problème de l'évacuation desdits déchets radioactifs.

30

35

La présente invention a précisément pour ob-

jet une installation de stockage géologique qui permet, grâce à des moyens relativement simples, de réaliser les deux périodes de conservation précédente de façon successive sur un même site.

5 A cet effet, l'invention a pour objet un procédé d'évacuation de déchets radioactifs, notamment vitrifiés, caractérisé en ce que l'on effectue, dans le même site géologique et de façon successive dans le temps, un premier stockage intérimaire sous ventilation
10 d'air par convection naturelle, puis, après arrêt de cette ventilation et obturation du site par une barrière géochimique, un dépôt définitif assurant la décroissance complète de la radioactivité de ces mêmes déchets.

15 Le procédé objet de l'invention consiste à effectuer par conséquent les deux opérations de stockage intérimaire et de dépôt définitif dans une installation géologique à profondeur suffisante et néanmoins apte à être ventilée par convection naturelle d'air
20 frais provenant de la surface du sol et mis en mouvement uniquement par l'énergie calorifique libérée par les déchets radioactifs enfouis dans le sol. Lorsque, la décroissance radioactive ayant atteint le taux souhaité, il n'y a plus de risques à envisager le stockage
25 définitif in situ, on obture le site complètement et de façon définitive en arrêtant bien entendu la ventilation précédente.

 La présente invention a également pour objet une installation géologique qui permet la mise en oeuvre
30 du procédé précédent et qui se caractérise essentiellement en ce qu'elle comporte dans le sol en combinaison :

 - une série de puits verticaux d'accès des déchets vers le sous-sol et de ventilation reliant la surface du
35 sol au site de stockage situé à grande profondeur ;

- un premier plan supérieur de galeries horizontales, parallèles et équidistantes, munies de moyens pour véhiculer les déchets ;
- 5 - un deuxième plan inférieur de galeries horizontales, parallèles, et équidistantes, selon une direction inclinée d'un angle α par rapport à la direction commune des galeries du premier plan supérieur ;
- des puits verticaux, affectés au stockage des déchets et reliant selon un réseau géométrique régulier les
10 galeries du premier plan et du deuxième plan, chaque puits débouchant, en partie haute, dans l'axe d'une galerie du premier plan et, en partie basse, dans une niche latérale, reliée à l'une des galeries du deuxième plan ;
- 15 - au moins un des puits verticaux alimentant en air frais depuis la surface du sol les galeries du deuxième plan et au moins un autre des puits verticaux évacuant l'air chaud depuis lesdites galeries vers la surface du sol, la circulation de cet air de refroidissement ayant lieu en épingle à cheveux selon un
20 trajet ascendant-descendant dans les puits verticaux reliant les deux plans de galeries pendant le stockage intérimaire, sous l'effet du dégagement de chaleur se produisant dans les déchets stockés.
- 25 La répartition des déchets radioactifs dans des puits verticaux de stockage qui relie les galeries du premier plan et du deuxième plan permet de résoudre de façon simple et pratique les problèmes essentiels de ce type de stockage. En effet, les puits
30 verticaux d'accès depuis la surface du sol vers l'installation sont utilisés l'un pour descendre les déchets radioactifs à grande profondeur et les autres pour assurer la ventilation d'air par convection naturelle dans l'installation ; les galeries du premier plan supérieur
35 sont munies de moyens pour véhiculer lesdits déchets

tels que par exemple chariots ou locomoteurs montés sur rails. Les galeries du deuxième plan inférieur servent à assurer l'apport en air frais depuis la surface et l'évacuation de l'air chaud qui a circulé dans l'installation ; le fait que ces galeries sont inclinées d'un angle α sur la direction commune des galeries du premier plan permet de disposer les puits verticaux de stockage entre l'axe des galeries du premier plan et des niches latérales, voisines des galeries du deuxième plan, dans lesquelles un support reposant sur la surface du sol assure l'assise et la stabilité des conteneurs de déchets actifs vitrifiés empilés dans lesdits puits verticaux de stockage depuis les galeries supérieures du premier plan. Ces puits verticaux, dans lesquels a lieu le dégagement de chaleur dû au stockage de déchets, sont également parcourus en épingle à cheveux dans le sens ascendant-descendant par le courant d'air de ventilation par convection naturelle. On comprend l'avantage que présente l'inclinaison des directions des galeries des deux plans l'un par rapport à l'autre : s'il est possible en effet de prévoir que les puits verticaux débouchent dans l'axe des galeries du plan supérieur pour le chargement de ces puits, il n'est pas pensable en revanche que ces mêmes puits de stockage débouchent directement dans l'axe des galeries du deuxième plan inférieur, faute de quoi il aurait fallu prévoir un renflement important de chacune de ces galeries au point d'arrivée inférieur de chaque puits de stockage, ce qui en aurait compliqué énormément la réalisation. Selon l'installation conforme à l'invention au contraire, le point d'arrivée au deuxième niveau des puits verticaux de stockage se situe latéralement au voisinage immédiat des galeries du deuxième plan, ce qui permet de les installer dans des niches latérales toutes identiques et conçues sur le même modèle.

Selon l'invention, l'angle α d'inclinaison des galeries du deuxième plan par rapport aux galeries du premier plan est égal, de préférence à l'une des deux valeurs 30° et 45°, le réseau géométrique régulier des puits verticaux de stockage entre les deux plans de galeries étant
5 soit à mailles hexagonales, soit à mailles carrées.

De façon pratique, l'arrivée d'air frais et le départ d'air chaud au niveau des galeries du deuxième plan a lieu par l'intermédiaire d'une ceinture de
10 deux galeries périphériques, entourant les galeries du deuxième plan, et communiquant avec elles.

Selon une autre caractéristique de la présente invention, les déchets radioactifs sont répartis, à l'intérieur de chaque puits vertical de stockage, dans
15 des tubes occupant la périphérie du puits et parcourus par de l'air frais ascendant, l'air chaud redescendant dans un tube central vide, la base de chaque tube périphérique pouvant comporter un dispositif amortisseur de chute et l'ensemble des tubes reposant sur un support de
20 base en fonte rempli de béton et disposé au centre d'une niche latérale.

Selon une autre caractéristique de l'installation géologique objet de l'invention, les puits verticaux de stockage sont obturés, à leur débouché dans
25 les galeries du premier plan, par une plaque métallique ou bouchon assurant la protection du personnel contre les rayonnements sans empêcher la circulation des véhicules.

Le premier plan supérieur de galeries peut
30 être situé selon la nature du terrain entre 300 et 1000 mètres et la distance verticale qui les sépare du deuxième plan inférieur de galeries peut être de l'ordre de 20 à 40 mètres mais de préférence de 25 à 30 mètres, ce qui permet de superposer dans les tubes précédents
35 10 à 15 couches de chacune 6 conteneurs vitrifiés d'une hauteur de 1m 85 chacun environ.

De toute façon l'invention sera mieux comprise à la lecture qui suit de la description de plusieurs exemples de mise en oeuvre qui seront donnés à titre explicatif et non limitatif et décrits en se référant
5 aux figures 1 à 7 ci-jointes, sur lesquelles :

- la figure 1 montre en coupe-élévation l'implantation générale dans le sol d'une installation géologique conforme à la présente invention ;

10 - la figure 2 montre une vue schématique de dessus d'un ensemble de stockage comportant une galerie supérieure et une galerie inférieure permettant de comprendre l'implantation des puits verticaux de stockage entre les deux galeries ;

15 - la figure 3 montre le détail de réalisation d'une niche latérale dans laquelle on voit le support de base des six tubes de logement de conteneurs vitrifiés ;

20 - la figure 4 est une coupe axiale de la figure 3 qui permet de voir l'implantation des tubes et des conteneurs qu'ils renferment ainsi que le sens de circulation de l'air ;

25 - la figure 5 est une vue en perspective cavalière d'une partie de l'installation montrant les deux plans de galeries supérieur et inférieur et leurs connexions avec les puits verticaux de stockage d'une part et les puits d'accès d'air froid et d'air chaud de l'autre ;

30 - la figure 6 représente une variante possible du circuit de ventilation par convection naturelle de l'air dans l'installation objet de l'invention ;

- les figures 7a à 7d montrent les différentes configurations possibles d'inclinaison de la direction des galeries supérieures et inférieures les unes par rapport aux autres en rapport avec les différentes
35 formes de réseau géométrique de puits verticaux qui en résultent.

Sur la figure 1, on voit, creusés en profondeur sous le niveau 1 du sol, les puits d'accès 2a, 2b et 2c ; le premier plan supérieur de galeries horizontales 3 et le deuxième plan inférieur de galeries horizontales 4 que l'on a représenté, pour la commodité du dessin, parallèle au plan de galeries supérieures 3 bien qu'il soit conformément à l'invention, incliné d'un angle α sur ce dernier.

Entre les plans de galeries 3 et 4, s'étendent verticalement les puits verticaux de stockage 5 dans lesquels sont stockés les conteneurs de déchets radioactifs vitrifiés, dont quelques uns seulement référencés 6 ont été représentés schématiquement sur la figure 1.

Le puits d'accès 2a est utilisé pour descendre au niveau des galeries 3, les fûts tels que 7 à partir d'une machine de chargement 8 située en surface comportant sa propre protection et mobile sur des roues. Au niveau de la galerie 3, une autre machine de transfert 9 reprend les fûts 7 pour les acheminer le long de la galerie 3 et les introduire, comme on le voit dans le puits vertical 5 de gauche après avoir retiré la plaque métallique ou bouchon 10 de ce puits vertical 5. On voit également au fond de chaque puits de stockage vertical 5, le support de base 11 servant d'appui à la colonne de fûts 6 empilés dans chaque puits.

La ventilation par convection naturelle de l'installation de la figure 1, a lieu comme l'indiquent les flèches sur le dessin, c'est-à-dire que le tube 2b sert à l'aspiration depuis la surface du sol 1 d'un air frais qui chemine ensuite dans les galeries 4 et, à partir de là, en épingle à cheveux selon un trajet montant et descendant dans chacun des puits verticaux 5 pour être évacué ensuite sous forme d'air chaud par des

conduits axiaux à chaque puits vertical de stockage 5 et remonter à la surface par le puits d'aération 2c. Selon l'invention, c'est l'effet de cheminée qui résulte de la présence dans les puits verticaux 5 de déchets radioactifs dégageant une forte quantité de calories qui permet cette circulation d'air de refroidissement dans l'installation par convection naturelle.

Pour donner une idée approximative des dimensions de l'installation de la figure 1, le premier plan supérieur 3 de galeries est situé à 500 mètres de profondeur et le deuxième plan 4 de galeries 30 mètres plus bas, c'est-à-dire à 530 mètres de la surface du sol 1.

Sur la figure 2, on a représenté schématiquement une vue en plan des deux niveaux de galeries 3 et 4 de l'installation de la figure 1 précédente. Les galeries du niveau 3 sont représentées en traits pleins et les galeries du niveau 4 en tirets pour éviter toute confusion. On retrouve sur cette figure, les puits d'accès 2a, d'arrivée d'air de refroidissement 2b et d'évacuation d'air chaud 2c. L'emprise totale de l'installation en plan est de 500 x 500 m, c'est-à-dire que chacune des galeries du niveau 3, au nombre total de 17 distantes entre elles de 25 m, a une longueur de 500 m. Dans le mode de réalisation de la figure 2, les galeries 4 du plan inférieur sont inclinées à 45° sur les galeries 3 du plan supérieur et les différentes niches 12 contenant les puits verticaux de stockage 5 sont disposées à la verticale des galeries du premier plan horizontal 3 de façon à permettre le chargement commode des puits 5. Ces puits 5 sont au nombre de 149 sur toute la surface, dont quelques uns seulement sont représentés ; ils ont un diamètre de 3,2 m. Les galeries des niveaux 3 et 4 ont un profil circulaire légèrement aplati vers le bas et un diamètre de 5 m. Les puits

d'accès ou d'évacuation 2 ont un diamètre de 8 m. Selon l'invention, deux galeries périphériques 13 et 14 entourent les galeries obliques du niveau inférieur 4 et sont destinées, ainsi qu'on le décrira plus en détail ultérieurement, à faciliter la répartition de l'air de refroidissement provenant de la surface et de l'air chaud à évacuer vers la surface après sa traversée des puits verticaux 5.

Dans le mode de réalisation de la figure 2, les 149 puits de stockage verticaux 5 sont situés au sommet d'un réseau à mailles carrées.

Sur la figure 3, on a représenté le détail d'une des niches 12 servant de support à une colonne de conteneurs radioactifs vitrifiés empilés dans un puits vertical tel que 5. Dans cette niche 12, on voit un support de base 11 en fonte rempli de béton sur lequel viennent s'appuyer six logements 15, 16, 17, 18, 19 et 20, dans le fond desquels se trouvent des tabourets anti-chute non représentés qui servent de support aux conteneurs de déchets vitrifiés qu'on vient y loger les uns au-dessus des autres. Chaque tube tel que 20 est muni d'un conduit 21 d'arrivée d'air froid qui comporte une chicane permettant le passage de cet air en assurant la protection biologique vis-à-vis des produits radioactifs contenus dans le tube 20. Les six tubes de logement des produits stockés 15, 16, 17, 18, 19 et 20 sont donc ainsi parcourus par un débit d'air frais ascendant qui lèche en permanence la périphérie des conteneurs vitrifiés empilés dans chacun des tubes. Un tube central vide 22 est affecté au retour de l'air chaud depuis la partie supérieure du puits vertical 5 vers la conduite de sortie d'air chaud 23 laquelle est reliée à la galerie d'évacuation 14 de la figure 2. Un plancher de séparation 24 représenté sous une forme éclatée pour permettre la vue du support 11, sépare la partie supé-

rieure de la niche où circule l'air froid venant de la surface de la partie inférieure dans laquelle se trouve la conduite d'air chaud 23.

Dans l'exemple décrit, le puits 5 a une hauteur de 30 m et les tubes 15 à 20 contiennent 10 à 15 couches de six conteneurs de déchets radioactifs vitrifiés ayant chacun une hauteur de 1,85 m environ.

Sur la figure 4, on retrouve en coupe axiale selon l'axe du puits 5 de la figure 3, les tubes 17, 22 et 20 munis de leur amortisseur antichute 24. Les flèches montrent le sens de la circulation d'air froid et ascendant dans les tubes périphériques 17 et 20 et d'air chaud et descendant dans le tube central vide 22.

La figure 5 montre en perspective l'un des angles de l'installation des puits verticaux 5 entre les galeries du premier plan supérieur 3 et les galeries du deuxième plan inférieur 4. On retrouve les puits d'évacuation d'air chaud 2c et d'arrivée d'air froid 2b ainsi qu'au deuxième niveau des galeries 4 la ceinture des deux galeries périphériques 13 et 14 servant à la distribution et à la répartition de l'air frais arrivant de la surface (traits pleins) et de l'air chaud évacué vers la surface (tirets). Un certain nombre de niches 12 sont également visibles sur cette figure ainsi que des puits verticaux 5 sous forme éclatée permettant de voir les six tubes de stockage périphérique et le tube de retour d'air chaud central. Dans les canalisations 4 de la galerie du deuxième plan ainsi que dans la canalisation 13, une division en deux compartiments est réalisée par un plateau médian 25 qui sépare la partie supérieure de la canalisation dans laquelle circule librement de l'air frais de la partie inférieure dans laquelle une seconde canalisation 26 sert de conduit véhiculant l'air chaud. Ce plateau 25 correspond au plancher de séparation des niches 12 tel

que celui que l'on voit en 24 sur la figure 3.

L'installation ainsi décrite en se référant aux cinq premières figures est adaptée à recevoir les déchets radioactifs correspondant au retraitement
5 d'une usine traitant 1600 tonnes de combustible par an et ayant fonctionné pendant 30 ans. Elle peut stocker ainsi de façon définitive environ 24000 fûts de 220 litres chacun de déchets radioactifs vitrifiés sans que la température dépasse la valeur critique de 100°C sur
10 la roche environnante. A titre de précision, on peut indiquer que la galerie d'évacuation périphérique 14 d'air chaud ne dépasse pas 90°C en fonctionnement permanent.

La figure 6 représente de façon schématique
15 et simplifiée une variante du mode de mise en circulation par convection naturelle de l'air dans une installation de même nature que celle des figures précédentes. On retrouve dans cette installation les puits d'accès 2a, d'entrée d'air frais 2b et d'évacuation
20 d'air chaud 2c en liaison avec les galeries 3 du premier plan et les galeries 4 du deuxième plan inférieur. Comme sur la figure 1, l'inclinaison des galeries d'un étage sur l'autre n'a pas été représentée pour plus de simplicité. La différence de conception avec l'exemple
25 précédent réside ici dans le fait que l'air frais provenant de la surface par la canalisation 2b est injecté directement dans les galeries du niveau 4 et s'élève à sens unique dans tous les puits 5 pour déboucher dans les diverses galeries du premier plan 3 et être évacué
30 globalement par la canalisation 2c à partir du premier plan supérieur 3. Dans cette variante par conséquent, il n'y a plus de circulation naturelle d'air selon un trajet en épingle à cheveux dans les puits verticaux de stockage 5.

35 Les figures 7a, 7b, 7c et 7d montrent plu-

5 sieurs exemples possibles d'implantation des puits ver-
 ticaux de stockage 5 dans un réseau régulier. Sur ces
 différentes figures, on a représenté en traits pleins
 les galeries du premier plan 3 et, inclinées d'un angle
 10 α et en tirets, les galeries du deuxième plan 4 de
 l'installation. Ces différentes figures ont pour objet
 de montrer que les configurations possibles de disposi-
 tion des puits verticaux de stockage 5 sont assez nom-
 breuses et en correspondance avec la valeur de l'angle
 10 α d'inclinaison des galeries du plan 3 sur les galeries
 du plan 4.

Si l'on prend comme paramètres l'entraxe mi-
 nimal a entre deux galeries du plan 3 et l'entraxe mi-
 nimum b entre deux puits 5, on doit d'abord garder en
 15 mémoire que ces deux paramètres ont des limites qui
 sont imposées pour l'entraxe a entre galeries par des
 raisons de solidité mécanique, et, pour l'entraxe b en-
 tre puits de stockage 5, par des raisons thermiques,
 puisque l'échauffement de la roche doit être limité à
 20 une valeur de l'ordre de 100°C à 150°C suivant la nature de celle-ci.

Selon les différentes hypothèses qui peuvent
 se présenter et notamment les caractéristiques physi-
 ques du milieu géologique, trois cas I, II et III sont
 à considérer.

25 I. Dans les cas des figures 7a et 7b on suppose que
 $b > a$. Deux cas doivent alors être examinés.

1) $b \frac{\sqrt{3}}{2} \geq a$ dans ce cas le réseau optimal est
 un réseau hexagonal de mailles b comme représenté sur
 la figure 7a, l'entraxe entre les galeries 3 étant
 30 alors $a = b \frac{\sqrt{3}}{2}$ ce qui conduit à une maille hexagonale
 et à un angle α d'inclinaison des galeries 4 sur les
 galeries 3 égal à 30° .

2) $b \frac{\sqrt{3}}{2} < a$, c'est alors le cas de la figure
 7b, et on a intérêt à réaliser un réseau à mailles
 35 carrées de côté b , l'angle d'inclinaison des galeries
 4 sur les galeries 3 étant de 45° .

II. Si $b = a$, c'est le cas des figures 1 à 6, et l'optimum est alors la maille carrée et l'angle d'inclinaison α des galeries des deux plans l'une sur l'autre de 45° avec un côté de la maille égal à a .

5 III. $b < a$, c'est le cas des figures 7c et 7d qui correspondent chacune à une réalisation différente, selon que l'on choisit l'inclinaison α pour que l'on ait $\operatorname{tg} \alpha = b/2a$ (figure 7c) ou $\operatorname{tg} \alpha = b/a$ (figure 7d). Dans le premier cas (figure 7c) la maille des puits
10 de stockage 5 est une maille en forme de parallélogramme et dans le deuxième cas (figure 7d) c'est une maille rectangulaire.

On a néanmoins intérêt dans le cas où $b < a$ à réaliser un entraxe entre puits supérieurs égal à a , et
15 à réaliser également un réseau à mailles carrées de côté a , l'angle α d'inclinaison étant toujours de 45° , ceci pour simplifier la réalisation et les possibilités de calcul thermique de la configuration.

Les considérations précédentes ne sont données bien entendu qu'à titre illustratif pour montrer
20 que la caractéristique générale de l'invention selon laquelle on réalise une inclinaison α des galeries des premier et deuxième plans les unes sur les autres peut conduire dans la pratique à de nombreux modes d'implan-
25 tation des puits de stockage 5 sans sortir pour autant du cadre de l'invention. Il résulte néanmoins des considérations précédentes que les valeurs les plus pratiques pour l'angle α sont 30° ou 45° et, pour le réseau géométrique régulier des puits verticaux de sto-
30 ckage, une maille soit hexagonale soit carrée.

Les roches d'accueil dans lesquelles sont creusées les galeries de l'installation objet de l'in-
vention peuvent être de natures très variées ; on cite-
ra néanmoins comme particulièrement intéressants les
35 terrains constitués de granit, d'argile, de sel ou de roches volcaniques.

- Enfin, lorsqu'au bout d'une période de 100 à 300 ans, on estime que le temps nécessaire au premier stockage intérimaire est terminé, on descend au coeur même de l'installation pour y déposer la barrière géochimique de remplissage définitif en démontant les structures propres à la ventilation et en colmatant les vides entre les sources et la roche ainsi qu'en obturant tous les accès tels que galeries, cheminées etc. Ce remplissage doit être fait conformément à l'invention à l'aide d'un matériau qui doit :
- 5 - assurer la continuité thermique entre les sources radioactives et la roche après fermeture pour permettre à l'énergie résiduelle de continuer à se dissiper régulièrement jusqu'à la cessation définitive de toute
 - 15 activité ;
 - rétablir la continuité mécanique du massif rocheux ;
 - rétablir une perméabilité de ce même massif, notamment vis-à-vis des eaux d'infiltration, voisine de ce qu'elle était à l'origine ;
 - 20 - jouer éventuellement le rôle de barrière physico-chimique.

Pour ce remplissage, divers matériaux peuvent être utilisés. A titre d'exemple non limitatif, on peut citer :

- 25 - dans le cas de roches en granit, un mélange de granit concassé et d'argile du type "beutonite" ;
- dans le cas de sel ou d'argile, ce sont ces matériaux eux-mêmes qui servent respectivement de remplissage.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'évacuation de déchets radioactifs, notamment vitrifiés, caractérisé en ce que l'on effectue, dans le même site géologique et de façon successive dans le temps, un premier stockage intérimaire sous ventilation d'air par convection naturelle, puis, après arrêt de cette ventilation et obturation du site par une barrière géochimique, un dépôt définitif assurant la décroissance complète de la radioactivité de ces mêmes déchets.

2. Installation géologique pour l'évacuation de déchets radioactifs, notamment vitrifiés, selon le procédé de la revendication 1 précédente, caractérisé en ce qu'elle comporte en combinaison :

- une série de puits verticaux (2) d'accès des déchets vers le sous sol et de ventilation reliant la surface du sol (1) au site de stockage situé à grande profondeur ;
- un premier plan supérieur (3) de galeries horizontales, parallèles et équidistantes, munies de moyens (9) pour véhiculer les déchets ;
- un deuxième plan inférieur (4) de galeries horizontales, parallèles et équidistantes, selon une direction inclinée d'un angle α par rapport à la direction commune des galeries du premier plan supérieur (3) ;
- des puits verticaux (5) affectés au stockage des déchets et reliant selon un réseau géométrique régulier les galeries du premier plan (3) et du deuxième plan (4) chaque puits (5) débouchant, en partie haute, dans l'axe d'une galerie du premier plan et, en partie basse, dans une niche latérale (12), reliée à l'une des galeries du deuxième plan ;
- au moins un des puits verticaux (2b) alimentant en

air frais depuis la surface du sol, les galeries du deuxième plan et au moins un autre des puits verticaux (2c) évacuant l'air chaud depuis lesdites galeries vers la surface du sol, la circulation de cet air de refroidissement ayant lieu en épingle à cheveux selon un trajet ascendant-descendant dans les puits verticaux reliant les deux plans de galeries pendant le stockage intermédiaire, sous l'effet du dégagement de chaleur se produisant dans les déchets stockés.

3. Installation géologique selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'angle α d'inclinaison des galeries du deuxième plan par rapport aux galeries du premier plan est égal à l'une des deux valeurs 30° et 45°, le réseau géométrique régulier des puits verticaux de stockage entre les deux plans de galeries étant soit à mailles hexagonales, soit à mailles carrées.

4. Installation géologique selon la revendication 2, caractérisée en ce que l'arrivée d'air frais et le départ d'air chaud au niveau des galeries du deuxième plan a lieu par l'intermédiaire d'une ceinture de deux galeries périphériques (13, 14), entourant les galeries du deuxième plan (4), et communiquant avec elles.

5. Installation géologique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que les déchets radioactifs sont répartis, à l'intérieur de chaque puits vertical de stockage (5), dans des tubes (15, 20) occupant la périphérie du puits et parcourus par de l'air frais ascendant, l'air chaud redescendant dans un tube central vide (22), la base de chaque tube périphérique comportant un dispositif amortisseur de chute (21) et l'ensemble des tubes reposant sur un support de base en fonte (11) rempli de béton et disposé au centre d'une niche latérale (12).

6. Installation géologique selon la revendication 2, caractérisée en ce que les puits verticaux de stockage (5) sont obturés, à leur débouché dans les galeries du premier plan, par une plaque métallique (10) assurant la protection du personnel contre les rayonnements sans empêcher la circulation des véhicules.

7. Installation géologique suivant l'une quelconque des revendications 2 à 6, caractérisée en ce que le premier plan supérieur de galeries est situé entre 300 et 1000 mètres.

8. Installation géologique suivant l'une quelconque des revendications 2 à 7, caractérisée en ce que le premier plan supérieur de galeries et le deuxième plan inférieur de galeries sont distants verticalement de 20 à 40 mètres et, de préférence, de 25 à 30 mètres.

9. Installation géologique suivant l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisée en ce qu'elle est creusée dans un massif rocheux composé de l'une des roches choisies dans le groupe comprenant le granit, l'argile, le sel et les roches volcaniques.

1.7

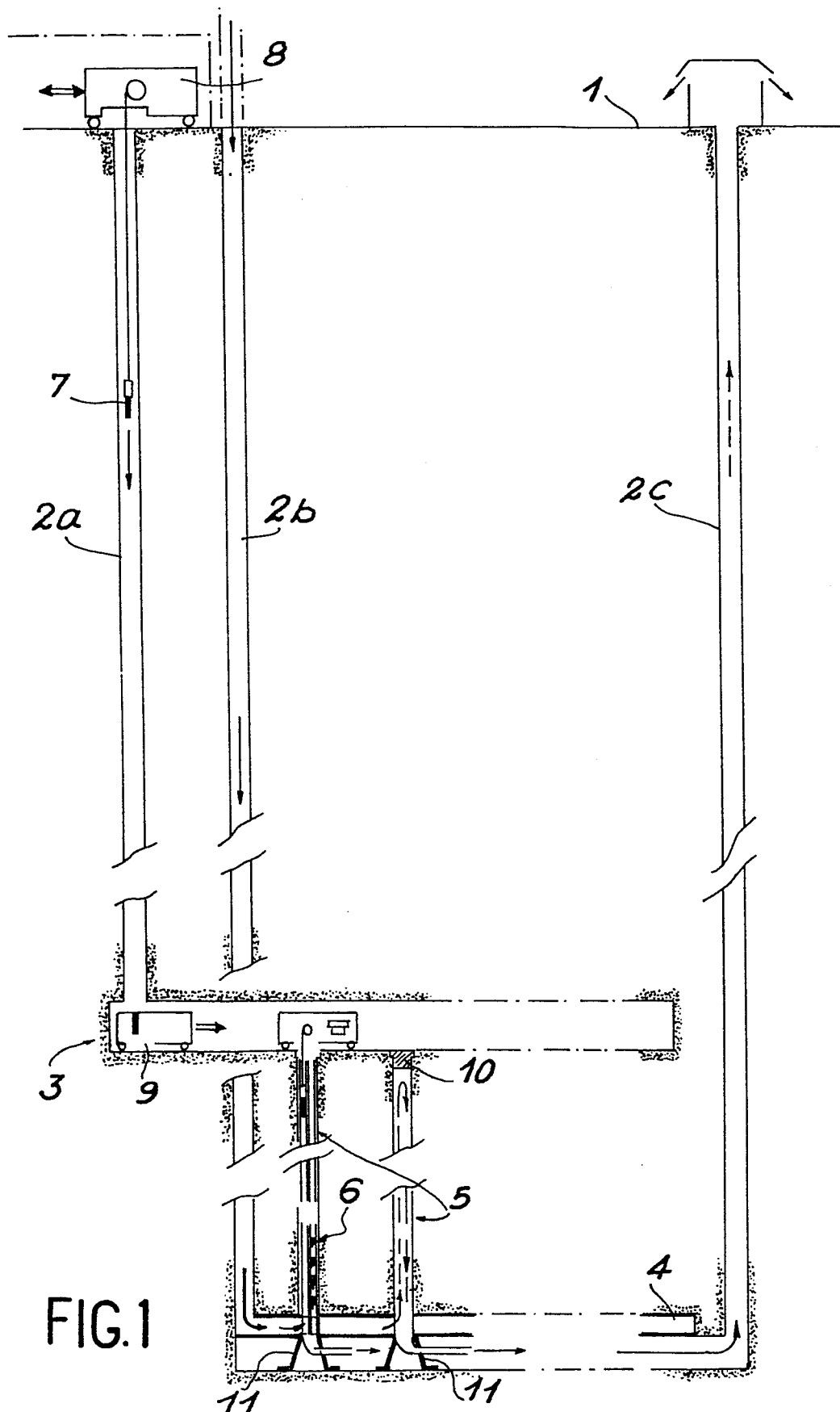


FIG. 1

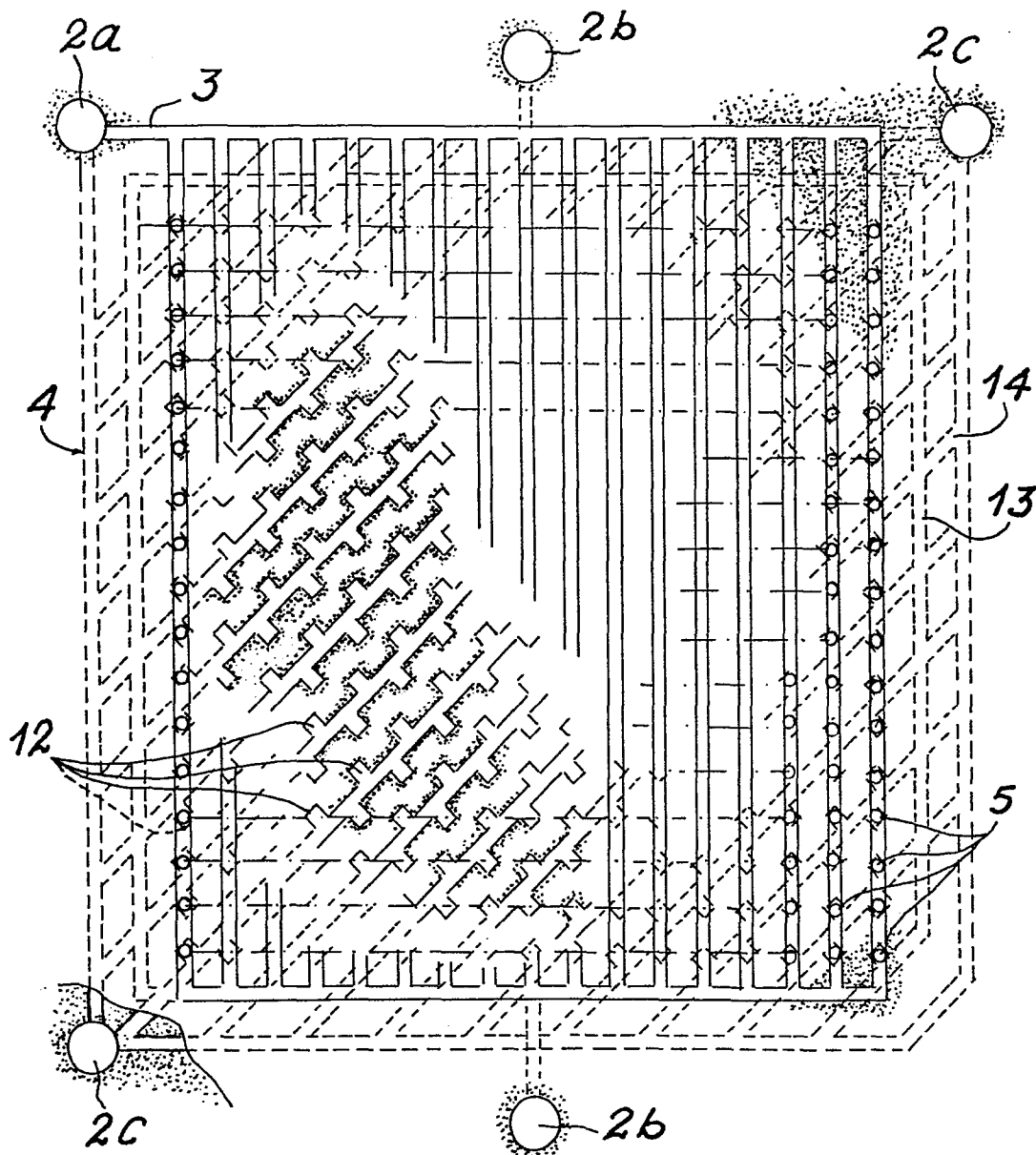


FIG. 2

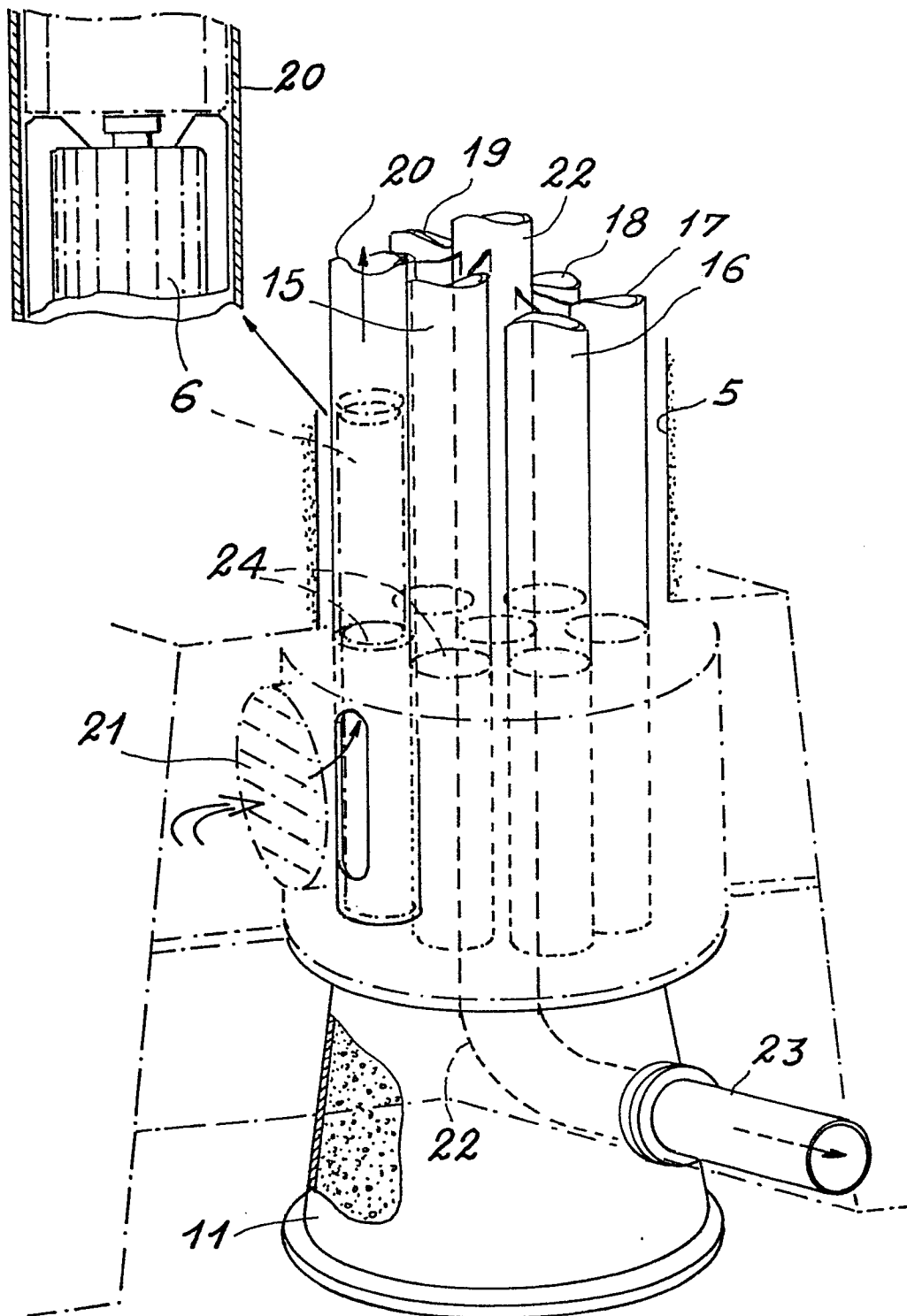


FIG. 3

4,7

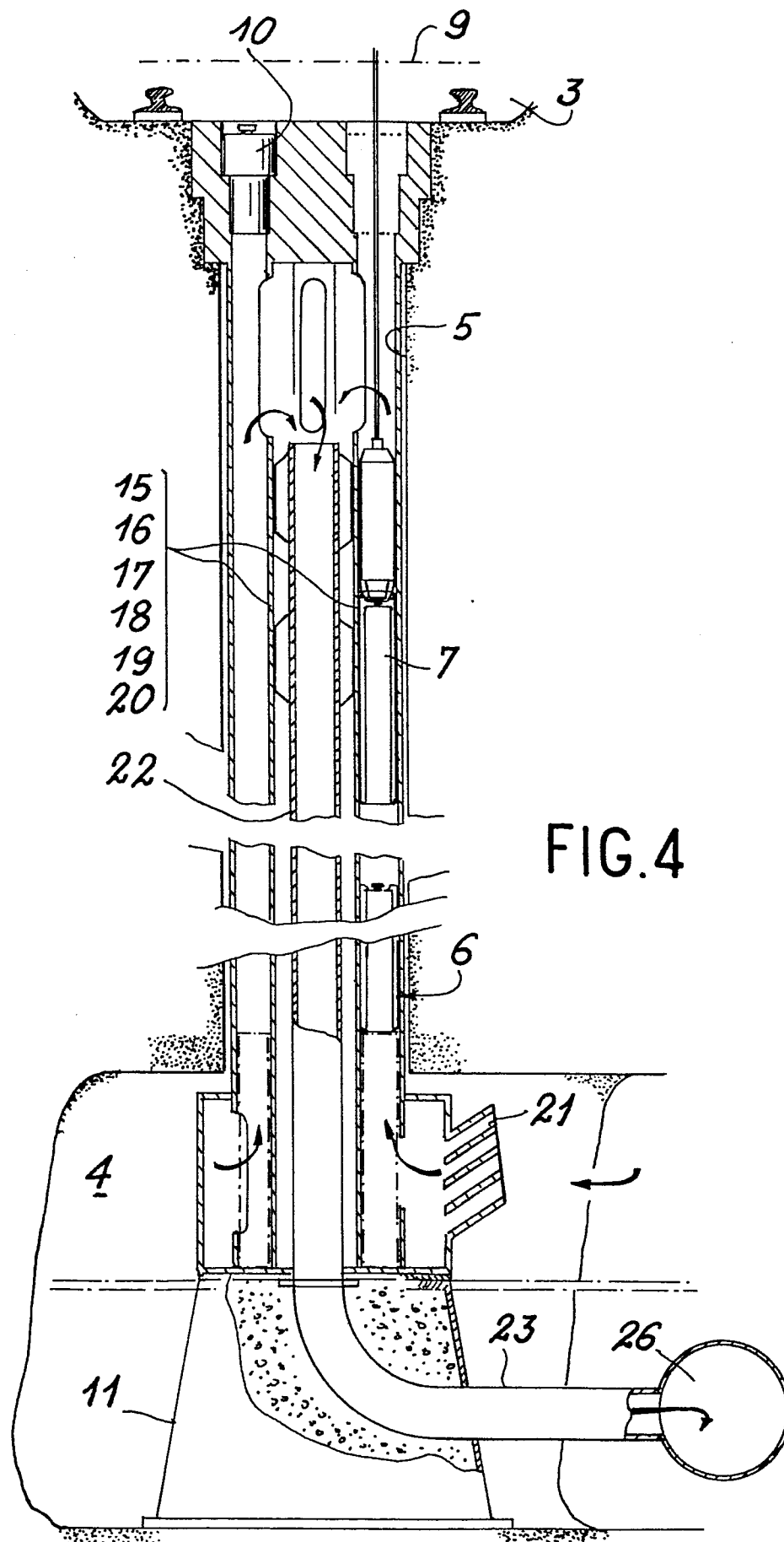
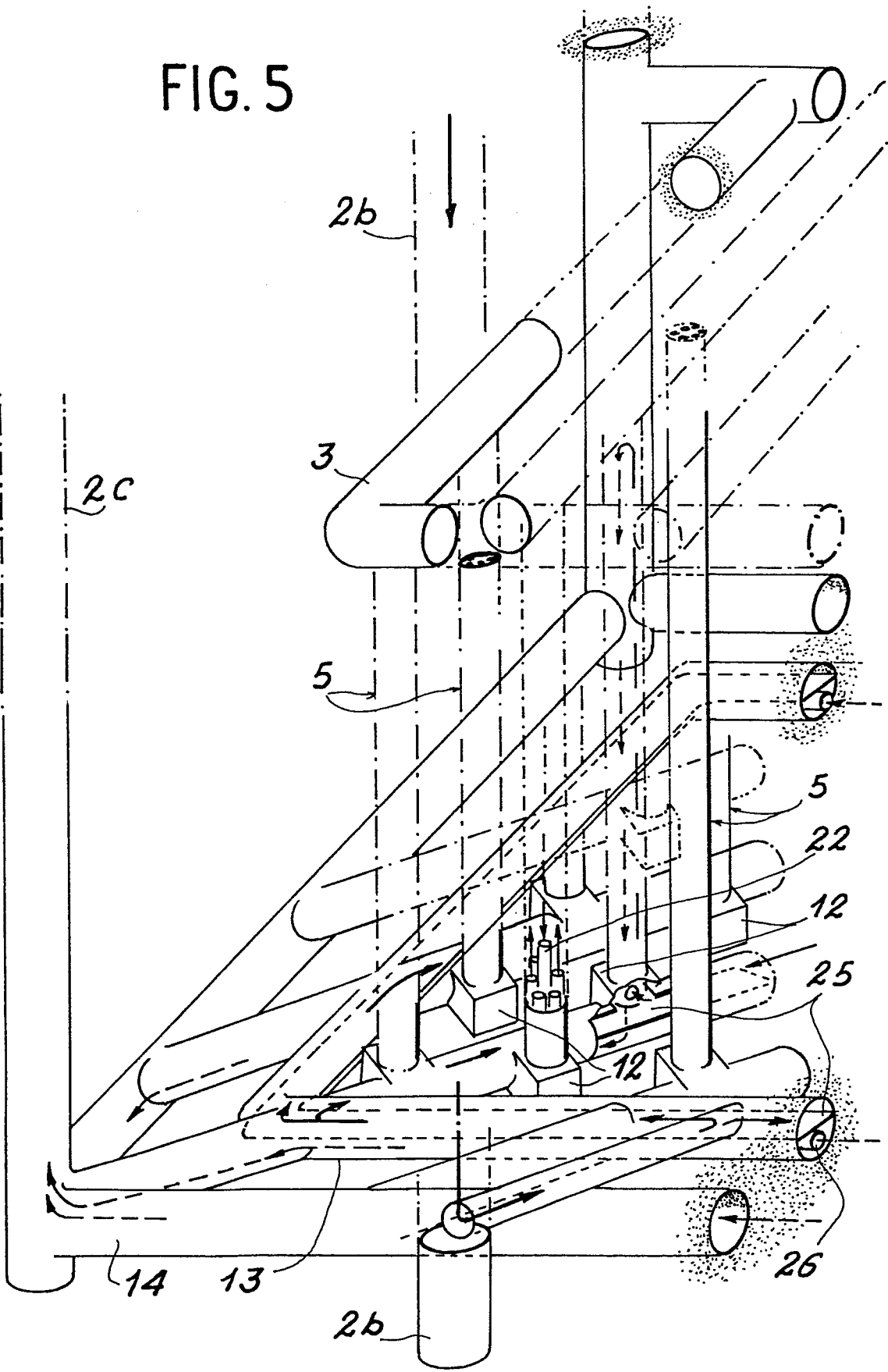


FIG. 5



6,7

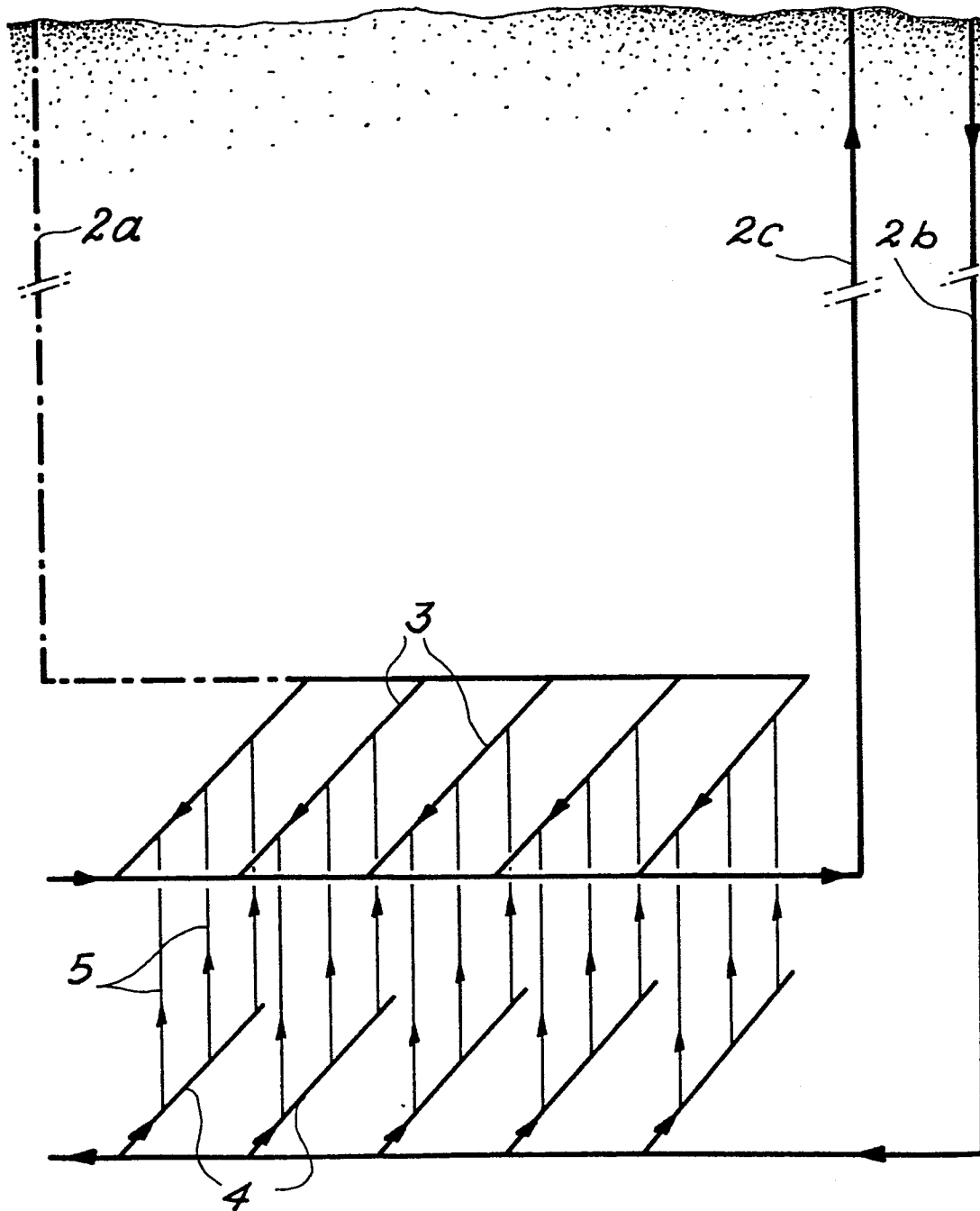


FIG.6

7,7

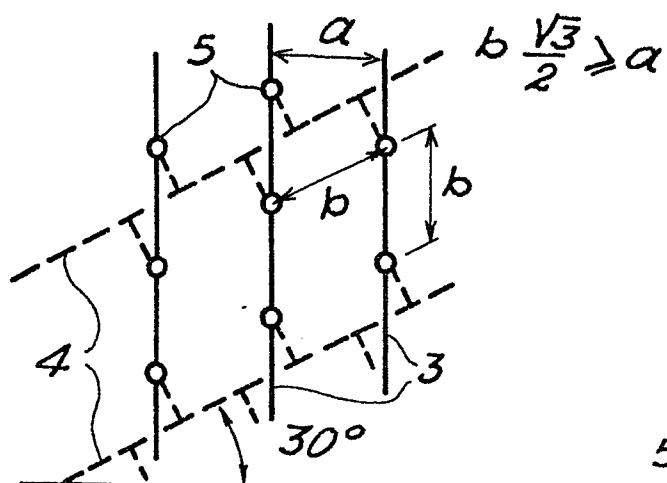


FIG. 7a

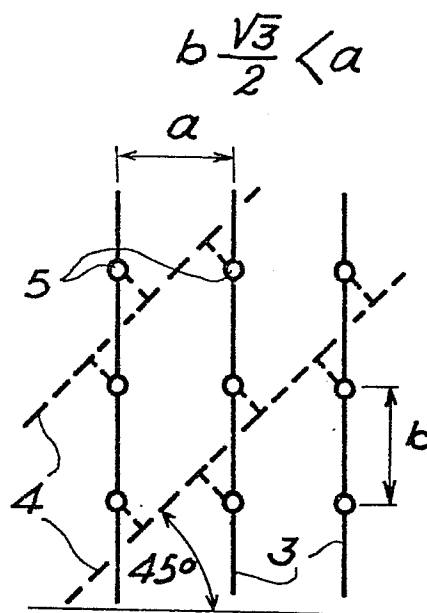


FIG. 7b

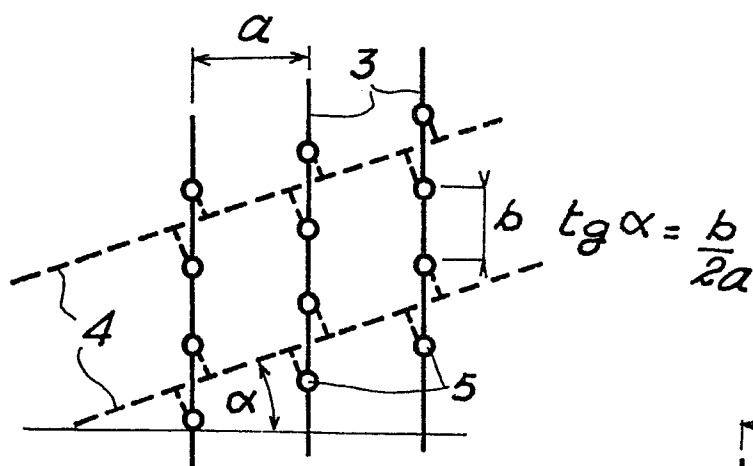


FIG. 7c

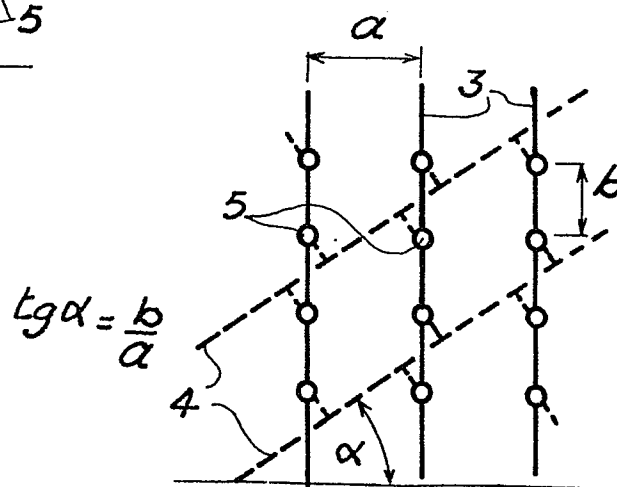


FIG. 7d



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. ³)
P,X	NUCLEAR ENERGY, vol. 21, no. 4, août 1982, pages 245-252, Londres, GB. H. BEALE: "Storage of high-level radioactive waste" * Figure 3; pages 248-249 *	1,2	G 21 F 9/34
A	FR-A-2 411 473 (GESELLSCHAFT FÜR STRAHLEN UND UMWELTFORSCHUNG) * Revendications 1,3 *	1,2,9	
A	DE-A-2 755 554 (HALLENIUS) * Revendications 1,2,12 *	1,9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. ³)
			G 21 F E 21 F
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 27-07-1983	Examineur NICOLAS H.J.F.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			