

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 911 588 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

28.04.1999 Bulletin 1999/17(51) Int Cl.⁶: **F24F 9/00**(21) Numéro de dépôt: **98402641.9**(22) Date de dépôt: **23.10.1998**

(84) Etats contractants désignés:

**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE**

Etats d'extension désignés:

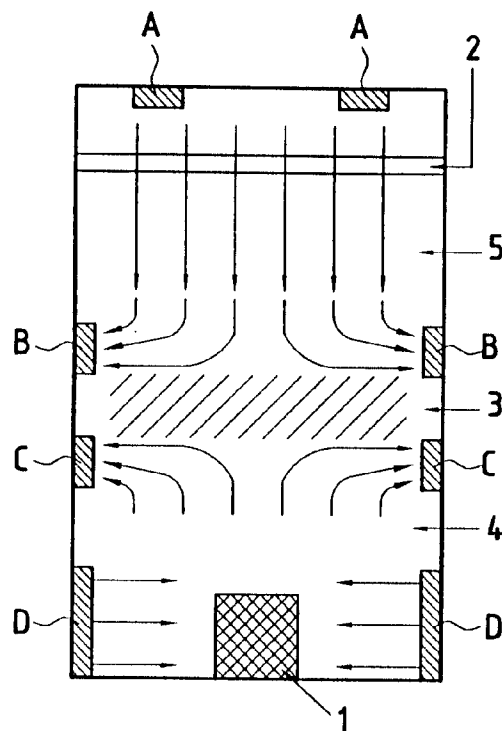
AL LT LV MK RO SI(30) Priorité: **24.10.1997 FR 9713338**(71) Demandeur: **COMPAGNIE GENERALE DES
MATIERES NUCLEAIRES****78140 Vélizy Villacoublay (FR)**

(72) Inventeurs:

• **Mehlman, Guillaume**
75014 Paris (FR)• **Meline, François**
75006 Paris (FR)(74) Mandataire: **Le Roux, Martine et al****Cabinet Beau de Loménie**
158, rue de l'Université
75340 Paris Cédex 07 (FR)**(54) Procédé et dispositif de confinement par stratification thermique**

(57) La présente invention a pour objet un procédé de confinement de la pollution générée dans le(s) volume(s) supérieur (5) ou(et) inférieur (4) d'une enceinte remplie de fluide - de gaz, généralement d'air ou de liquide, généralement d'eau - par stratification thermique. Selon ledit procédé, la température moyenne dudit volume supérieur (5) est maintenue suffisamment supérieure à la température moyenne dudit volume inférieur (4) de sorte que lesdits deux volumes (5,4) sont séparés par une zone intermédiaire (3) turbulente de faible épaisseur, dite zone de mélange, au sein de laquelle se maintient un gradient de température élevé ; ladite zone intermédiaire (3) constituant, dans un plan horizontal, une barrière de confinement virtuelle.

La présente invention concerne également le dispositif associé audit procédé.

**FIG.2****EP 0 911 588 A1**

Description

[0001] La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de confinement. Elle concerne plus précisément un procédé de confinement de la pollution générée dans le(s) volume(s) supérieur ou(et) inférieur d'une enceinte remplie de fluide et un dispositif associé audit procédé. Ledit procédé - industriel - est original en ce qu'il est basé sur le phénomène naturel de la stratification thermique. Sa mise en oeuvre peut, de manière surprenante, assurer un confinement efficace dans différents contextes et notamment dans celui le plus défavorable, où une source polluante chaude est disposée en partie basse d'une enceinte dont on souhaite protéger, de ladite source polluante, la partie haute. La Demanderesse a tout particulièrement développé les procédé et dispositif de l'invention dans le contexte de la vitrification des produits de fission de l'industrie nucléaire, en vue de protéger de la pollution émanant du pot de fusion et du calcinateur des équipements du type unités de levage, disposés en partie haute de la cellule de vitrification. Lesdits procédé et dispositif de l'invention, décrits en détail ci-après, ne sont toutefois nullement limités à ce contexte.

[0002] Selon l'art antérieur, le phénomène de la stratification des fluides est bien connu.

Cas des liquides

[0003] La stratification gravitique de liquides non miscibles de masses volumiques différentes est d'observation courante ; elle est très stable et nécessite une énergie importante pour provoquer le mélange des deux phases (émulsion). En l'absence d'émulsion, l'aire de l'interface par unité de volume, relativement faible, constitue une barrière efficace contre le transfert d'un soluté ou de particules en suspension d'une phase dans l'autre.

Cas des gaz

[0004] Un phénomène similaire peut s'observer, si les deux phases sont des gaz de masses volumiques différentes situés dans une enceinte de grand volume où l'ambiance est peu perturbée.

[0005] Dans ce cas, le phénomène de stratification est beaucoup plus instable et l'interface est moins franche que celle qui règne entre phases liquides. L'interface est remplacée par une **zone de mélange**, due à la diffusion brownienne et turbulente, dans laquelle la concentration moyenne d'une phase dans l'autre varie de façon continue avec un gradient élevé quand on se déplace suivant l'axe vertical.

[0006] En référence, plus particulièrement à la stratification thermique, on sait que des différences de masse volumique existent pour un même fluide en raison de différences de température ; ledit fluide pouvant alors se comporter comme deux phases distinctes, l'une froide, l'autre chaude. Ces deux phases sont peu miscibles si les volumes mis en jeu sont importants et elles peuvent donc présenter les mêmes phénomènes de stratification que dans le cas de fluides de composition distincte. Ainsi, explique-t-on, par ce phénomène naturel de la stratification thermique :

- les courants marins,
- le phénomène météorologique d'inversion de température et ses incidences sur la pollution atmosphérique,
- le profil de température (en fonction de la profondeur) des eaux d'un lac de montagne.

[0007] Dans le cadre de la présente invention, ledit phénomène naturel de la stratification thermique a pu, de manière surprenante, être maîtrisé, exploité pour créer artificiellement dans des plans horizontaux de véritables barrières de confinement, tant au sein de liquides que de gaz. Une telle maîtrise, l'homme du métier en conviendra aisément, n'avait rien d'évident. Il paraissait en fait fort peu probable de l'atteindre, notamment dans une atmosphère gazeuse, très sensible aux courants de convection et aux turbulences. Il existait, en fait, un réel préjugé défavorable, à baser un procédé industriel de confinement sur ce phénomène naturel de la stratification thermique.

[0008] Des procédés de confinement, connus, mis en oeuvre à l'époque du développement de l'invention et de nos jours, pour protéger notamment un équipement d'une atmosphère polluante chargée en particules, sont du type :

- protection rapprochée avec intervention d'un capotage ;
- protection par rideaux d'air ;
- protection sous flux laminaire ;
- protection basée sur la thermophorèse.

[0009] L'homme du métier, après avoir pris connaissance de la présente invention, appréciera, dans tel ou tel contexte, les avantages de celle-ci sur les techniques de l'art antérieur mentionnées ci-dessus. On peut d'ores et déjà souligner ici l'efficacité du procédé de l'invention et l'encombrement limité des équipements annexes nécessaires à sa mise en oeuvre.

[0010] On se propose de décrire maintenant l'invention sous ses deux aspects - procédé, dispositif- dans une pre-

mière partie, de manière générale puis, dans une seconde partie, de façon plus détaillée, en référence à un mode de réalisation particulier.

[0011] Selon son premier objet, l'invention concerne donc un procédé de confinement de la pollution générée dans le(s) volume(s) supérieur ou (et) inférieur d'une enceinte remplie de fluide - de gaz, généralement d'air ou de liquide, généralement d'eau - par stratification thermique : la température moyenne dudit volume supérieur est maintenue suffisamment supérieure à la température moyenne dudit volume inférieur de sorte que lesdits deux volumes sont séparés par une zone intermédiaire turbulente de faible épaisseur, dite zone de mélange, au sein de laquelle se maintient un gradient de température élevé ; ladite zone intermédiaire constitue, dans un plan horizontal, une barrière de confinement dynamique, faisant office de cloison virtuelle.

[0012] Ledit procédé consiste à créer artificiellement une barrière de confinement entre les volumes supérieur et inférieur de l'enceinte, en maintenant un écart de température suffisamment important entre lesdits volumes supérieur et inférieur (la température dudit volume supérieur étant évidemment maintenue supérieure à la température dudit volume inférieur). Ledit écart de température doit assurer une différence de masse volumique suffisamment élevée entre le fluide chaud du volume supérieur et celui froid du volume inférieur. Ladite différence doit en fait être telle que le travail des forces verticales orientées vers le bas pour le fluide froid - ou vers le haut pour le fluide chaud - (lesdites forces, dues à la poussée d'Archimède, sont appliquées aux divers éléments de volume des deux phases, et tendent à les séparer par stratification), soit prépondérant vis-à-vis du travail des forces d'inertie dues à la vitesse de pénétration desdits éléments de volume dans la zone de mélange. Ces dernières sont dues aux vitesses aléatoires qui règnent dans les turbulences de l'ambiance et sont responsables du mélange par diffusion et des échanges thermiques entre phases. On partage artificiellement selon l'invention l'enceinte en deux enceintes distinctes.

[0013] Comme précisé ci-dessus, le procédé de l'invention peut être mis en oeuvre dans une enceinte remplie de gaz (on parle alors plus volontiers d'une cellule ou d'une salle) ou dans une enceinte remplie de liquide (telle une piscine). Un unique fluide, gaz ou liquide, intervient généralement. Pour ce qui concerne le gaz, on a vu qu'il consiste généralement en de l'air ; pour ce qui concerne le liquide, en de l'eau. L'intervention d'autres gaz, tels l'azote par exemple ou d'autres liquides n'est nullement exclue du cadre de l'invention. De la même façon, il n'est pas totalement exclu de faire intervenir au sein d'une enceinte deux gaz ou deux liquides de nature différente. On veille toutefois, dans une telle hypothèse, à ce que les masses volumiques desdits deux fluides intervenant soient compatibles avec la mise en oeuvre du procédé.

[0014] Le procédé de l'invention assure en fait le confinement respectif des deux volumes supérieur et inférieur de l'enceinte, la pollution étant générée dans un seul desdits volumes et l'autre se trouvant alors protégé de celle-ci ou une pollution étant générée dans chacun desdits volumes et chacun desdits volumes se trouvant alors protégé de la pollution générée dans l'autre.

[0015] La pollution peut être de nature diverse. Sa source peut, par exemple, consister en une source mécanique de poussières notamment radioactives (tel un poste de sciage, un poste de cisailage, ou un poste de soudage, positionné généralement dans le bas d'une enceinte ; un tel poste peut toutefois parfaitement être positionné dans le haut d'une enceinte, notamment dans un contexte de travaux à mener dans la partie supérieure d'un appareillage, telle une fusée) ou en une charge éventuellement chaude émettant des vapeurs chargées de particules (tel le pot de fusion et le calcinateur, disposés dans le bas d'une cellule de vitrification de produits de fission).

[0016] Une telle source de pollution peut être froide ou chaude, disposée en partie haute et/ou basse de l'enceinte. Tous les cas de figure sont envisageables, le cas le plus défavorable étant celui de la source polluante chaude disposée dans le bas de l'enceinte. La pollution émanant d'une telle source a en effet naturellement tendance, par convection, à polluer la zone supérieure. Le procédé de l'invention qui peut être efficacement mis en oeuvre dans ces différents cas de figure est également efficace dans ce contexte délicat, particulièrement délicat si l'on opère en atmosphère gazeuse.

[0017] Pour maintenir les volumes supérieur et inférieur de l'enceinte à des températures telles que la stratification thermique se mette en place de façon stable, on fait intervenir des moyens adéquats. Selon une variante avantageuse du procédé de l'invention, les deux volumes supérieur et inférieur sont, de manière indépendante, balayés par un fluide, à une température adéquate ; ledit fluide, injecté dans le volume supérieur, étant repris juste au-dessus de l'interface supérieure de la zone de mélange (barrière de confinement) et ledit fluide, injecté dans le volume inférieur, étant repris juste en dessous de l'interface inférieure de ladite zone de mélange ; lesdits fluides, de nature identique ou différente, étant injectés, dans chacun desdits volumes, dans des conditions telles que la composante verticale de la vitesse des turbulences générées est minimisée.

[0018] Cette variante avantageuse peut être mise en oeuvre aussi bien :

- avec un gaz (voire deux gaz : on se reporte au texte ci-dessus) tel l'air ; soufflé, chaud, dans le volume supérieur et soufflé, froid, dans le volume inférieur ; qu'
- avec un liquide (voire deux liquides : on se reporte au texte ci-dessus) tel l'eau ; injecté, chaud, dans le volume supérieur et injecté, froid, dans le volume inférieur.

[0019] En tout état de cause, pour une efficacité optimale, qui passe par une stabilisation de la barrière de confinement générée, on veille à injecter lesdits fluides chaud et froid "dans des conditions douces". La reprise desdits fluides est évidemment avantageusement réalisée dans de telles conditions mais les perturbations générées à ce niveau sont moins dommageables. Il convient donc que les perturbations générées par l'injection soient minimisées. A cette fin, on minimise la composante verticale de la vitesse des turbulences générées. Avantageusement, à cette même fin, on cherche à obtenir une équirépartition des vitesses à la section de sortie des moyens d'injection et l'on dispose lesdits moyens d'injection, le plus loin possible, de la zone de mélange constituant la barrière de confinement. On comprend qu'inversement les moyens de reprise des fluides injectés sont situés au plus près de ladite zone de mélange.

[0020] Le fluide chaud balayant le volume supérieur de l'enceinte est, dans le cadre d'une variante avantageuse de mise en oeuvre de l'invention, au moins en partie recyclé.

[0021] Selon le procédé de l'invention, on crée donc, dans un plan horizontal, une barrière de confinement, en maintenant un écart de température suffisamment important entre la partie inférieure (zone froide) et la partie supérieure (zone chaude) de l'enceinte. Cet écart de température peut être généré par tout moyen. On a vu, ci-dessus, qu'avantageusement, il résulte d'un balayage desdites parties inférieure et supérieure par un(des) fluide(s) à des températures adéquates.

[0022] On se propose maintenant d'aborder le second objet de la présente invention, à savoir un dispositif convenant à la mise en oeuvre du premier objet de celle-ci, à savoir le procédé de confinement décrit ci-dessus. Ledit dispositif de confinement de la pollution générée dans le(s) volume(s) supérieur ou(et) inférieur d'une enceinte remplie de fluide - de gaz, généralement d'air ou de liquide, généralement d'eau - comprend, de façon caractéristique :

- des moyens pour maintenir la température moyenne dudit volume supérieur supérieure à la température moyenne dudit volume inférieur en créant dans un plan horizontal, entre lesdits deux volumes supérieur et inférieur, une barrière de confinement : zone intermédiaire turbulente de faible épaisseur, dite zone de mélange, au sein de laquelle se maintient un gradient de température élevé ;
- et avantageusement, des moyens de calorifugeage d'au moins certaines parois dudit volume supérieur.

[0023] L'homme du métier conçoit que lesdits moyens pour maintenir aux températures adéquates les volumes supérieur et inférieur de l'enceinte peuvent se décliner selon plusieurs variantes et qu'en tout état de cause il est intéressant de calorifuger ledit volume supérieur. En effet, il est intéressant, d'une part, de réduire les échanges thermiques et d'autre part, d'éviter un trop grand écart de température entre lesdites parois dudit volume supérieur et l'atmosphère ambiante. Un tel grand écart de température est susceptible de provoquer des courants de convection et des turbulences nuisibles.

[0024] Dans le cadre de la variante avantageuse du procédé de l'invention selon laquelle les deux volumes supérieur et inférieur sont balayés par un fluide maintenu à une température adéquate, on préconise de faire intervenir à titre de moyens pour maintenir les températures respectives adéquates dans chacun desdits volumes, des moyens qui incluent, convenablement disposés dans chacun desdits volumes, des dispositifs d'émission et de reprise d'un fluide aptes à assurer le balayage de chacun desdits volumes. Lesdits dispositifs d'émission ont leurs formes et dimensions optimisées pour réduire la composante verticale de la vitesse des turbulences générées. Lesdits dispositifs d'émission et de reprise sont évidemment reliés, respectivement en amont et en aval, à des moyens adéquats pour leur alimentation en fluide à la température désirée, d'une part et pour leur aspiration dudit fluide ayant balayé le volume concerné (supérieur ou inférieur), d'autre part.

[0025] On préconise de faire intervenir, à titre de dispositif de reprise, du fluide chaud dans le volume supérieur (plus précisément, en partie basse dudit volume supérieur) et du fluide froid dans le volume inférieur (plus précisément, en partie haute dudit volume inférieur) des fentes, de faible largeur, réparties uniformément à un même niveau, en vis-à-vis, sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte. On veille bien évidemment à ce que lesdites fentes ne fragilisent pas la structure des parois verticales les incluant. Elles sont en fait divisées en une pluralité d'éléments (de fentes). Dans l'hypothèse d'une enceinte parallélépipédique rectangle, l'homme du métier comprendra que lesdites fentes de reprise sont avantageusement disposées selon l'axe longitudinal (horizontal) de ladite enceinte.

[0026] On préconise de faire intervenir, à titre de dispositif d'émission du fluide chaud dans le volume supérieur (plus précisément, en partie haute dudit volume supérieur) et/ou de dispositif d'émission du fluide froid dans le volume inférieur (plus précisément, en partie basse dudit volume inférieur) :

- a) une surface horizontale assurant une distribution continue dudit fluide ; ou
- b) au moins deux fentes, de faible largeur, réparties uniformément, parallèlement, sur toute la longueur d'une paroi horizontale (plafond et/ou plancher) de l'enceinte ;
- ou
- c) deux séries de fentes, de faibles largeur et hauteur, réparties régulièrement en quinconce sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte ; lesdites fentes commençant au niveau ou à proximité des parois

horizontales ou de la paroi horizontale (plafond et/ou plancher) au contact desdites deux parois verticales.

[0027] Selon la variante a), on prévoit un plancher ou/et un plafond (voire un faux plancher ou/et un faux plafond) de l'enceinte, perforé, sur au moins une partie de sa surface, constituant une paroi diffusante du fluide injecté.

[0028] Selon la variante b), on fait intervenir des fentes longitudinales, généralement au moins deux pour assurer un balayage efficace. Lesdites fentes peuvent être aménagées de la même façon, dans un faux plafond ou un faux plancher.

[0029] Selon la variante c), on prévoit deux séries de fentes, dans le bas et/ou le haut de parois verticales de l'enceinte. Ces fentes sont réparties en quinconce - (les deux séries sont avantageusement régulièrement décalées) - pour minimiser la turbulence générée à l'injection. Celles, agencées dans le volume inférieur de l'enceinte ne le sont, avantageusement, pas au niveau du plancher (ou faux plancher) mais légèrement au-dessus de celui-ci. On évite ainsi de brasser les poussières décantées sur ledit plancher (ou faux plancher).

[0030] Le dispositif de l'invention peut faire intervenir dans les volumes supérieur et inférieur de l'enceinte le même type de dispositif d'émission de fluide ou des dispositifs d'émission de fluide de type différent. Selon une variante avantageuse, dans le(s) volume(s) supérieur ou(et) inférieur au sein du(des)quel(s) la pollution est générée, le dispositif d'émission du fluide est du type c) ci-dessus. Ce type de dispositif est réellement optimisé pour minimiser la composante verticale de la vitesse des turbulences générées à l'injection.

[0031] On associe avantageusement à ce type de dispositif agencé dans le volume supérieur ou inférieur pollué un dispositif du type b) ci-dessus dans le volume inférieur ou supérieur correspondant non pollué (dans l'hypothèse où de la pollution n'est générée que dans l'un desdits deux volumes supérieur et inférieur).

[0032] Les moyens du dispositif de l'invention, prévus pour assurer le balayage du volume supérieur avec un fluide chaud comprennent avantageusement des moyens pour recycler, au moins partiellement, ledit fluide chaud.

[0033] De la même façon, les moyens du dispositif de l'invention, prévus pour assurer le balayage du volume inférieur avec un fluide froid, sont avantageusement alimentés par un fluide à la température ambiante ou par un fluide refroidi en amont, avantageusement au moyen d'une pompe à chaleur qui utilise les calories prélevées sur ledit fluide pour élever la température du fluide alimentant le dispositif d'émission de fluide chaud.

[0034] Dans le cadre de l'invention, on peut ainsi par différents biais (calorifugeage, recyclage, échangeurs de chaleur) optimiser le rendement énergétique du procédé.

[0035] Selon une variante de réalisation, convenant notamment pour confiner la pollution émanant d'une source polluante, éventuellement chaude, disposée en partie basse d'une enceinte remplie de gaz, généralement d'air, le dispositif de l'invention comprend ;

- dans son volume inférieur, un dispositif d'émission de gaz, généralement d'air froid, du type c) ci-dessus ;
- dans son volume supérieur, un dispositif d'émission de gaz, généralement d'air chaud, du type b) ci-dessus ;
- dans ses volumes supérieur et inférieur, un dispositif de reprise du gaz, généralement de l'air, injecté, du type fente, tel que précisé ci-dessus.

[0036] Cette variante est illustrée ci-après.

[0037] On se propose maintenant de décrire plus précisément, en référence aux figures annexées, l'invention dans un contexte particulier qui constitue un exemple.

[0038] Ledit contexte particulier est celui déjà évoqué des cellules de vitrification des produits de fission, qui comportent en niveau bas une source chaude contaminante et qui sont équipées dans leur partie supérieure d'un pont de levage. La description qui suit est en fait généralisable à tout contexte de ce type, dans lequel on trouve une source chaude contaminante en bas et des équipements, nécessitant des opérations de maintenance périodique, à protéger, en haut.

[0039] Sur la figure 1 (art antérieur), on a représenté schématiquement, en coupe, une telle cellule.

[0040] Sur la figure 2, on a représenté, de la même façon, une telle cellule, au sein de laquelle le procédé de confinement de l'invention - confinement par stratification thermique - est mis en oeuvre.

[0041] Sur la figure 3, on a montré un profil des températures au sein de la cellule de la figure 2.

[0042] Sur la figure 4, on a représenté en perspective ladite cellule de la figure 2 équipée d'un dispositif de confinement de l'invention.

[0043] La figure 5 est une coupe selon V de ladite figure 4.

[0044] La figure 6 est un agrandissement d'une partie de ladite figure 5.

[0045] Sur lesdites figures 1 et 2, on trouve, au sein de la cellule, la source polluante 1 (pot de fusion + calcinateur, schématisé) et le pont de levage 2, à protéger de ladite source polluante 1. Ladite cellule est remplie d'air.

[0046] Le problème technique auquel la Demanderesse a été confrontée a été celui de limiter, de façon significative, la contamination des unités de levage dans de telles cellules. En effet, l'air réchauffé et contaminé par le pot de fusion et le calcinateur 1 s'élève dans la cellule comme dans une cheminée, et dans la mesure où cet air est chargé de

particules radioactives, il vient contaminer le pont de levage 2 dans la partie haute de la cellule, rendant de ce fait beaucoup plus complexes toutes les opérations de maintenance de cet équipement. Or, le retour d'expérience a montré que la disponibilité des unités de levage présentes dans les cellules contenant des sources de pollution chaudes est directement liée à leur degré de contamination.

[0047] Dans le cadre de l'exemple et de l'étude complète menée par la Demanderesse, étude dont on donne plus avant dans le présent texte les résultats (tableau de l'exemple), la cellule présente les dimensions ci-après :

Longueur	12,0 m
Largeur	3,6 m
Hauteur sous corbeaux du pont de levage	7,5 m
Hauteur totale	9,0 m

[0048] Selon l'art antérieur (figure 1), on avait mis en place un système de ventilation, pour protéger ledit pont 2. De l'air était introduit dans la partie supérieure de la cellule (au-dessus du pot de fusion) et était repris en partie inférieure du mur situé à l'opposé. Ledit air était insufflé à la température de 28°C à un débit de 4 300 Nm³/h.

[0049] Selon l'invention (figure 2), on crée une barrière de confinement 3, dans un plan horizontal, en maintenant un écart de température suffisamment important entre la partie inférieure (zone froide) 4 et la partie supérieure (zone chaude) 5 de la cellule.

[0050] Ledit écart de température est maintenu par un système de ventilation approprié et doit être tel que la résultante des forces de gravitation s'appliquant à un élément de volume d'air froid qui pénétrerait dans la zone chaude 5 soit supérieure aux forces d'inertie s'appliquant à ce même élément, amenant cet élément de volume d'air froid à redescendre vers le bas de la cellule jusqu'au niveau où il se trouve à l'équilibre, en l'empêchant donc d'aller contaminer le pont de levage 2 dans la partie supérieure 5 de la cellule.

[0051] La barrière de confinement 3 est une zone de mélange dans le volume de laquelle le gradient de température suivant une verticale est très élevé vis-à-vis de celui qui règne dans les deux volumes 4 et 5 extérieurs à cette zone 3 (voir la figure 3). L'épaisseur de ladite zone de mélange doit généralement rester inférieure à 15 % de la hauteur de la cellule. Ladite épaisseur est une donnée définie en fonction des caractéristiques géométriques de la cellule telles que :

- hauteur de la cellule
- hauteur du volume engendré par le déplacement du pont de levage
- hauteur occupée par les équipements fonctionnels inclus dans la zone polluée.

[0052] Pour un niveau de perturbation donné des zones (chaude d'une part, froide d'autre part), cette épaisseur est d'autant plus faible que l'écart de température entre zones est plus grand.

[0053] Le balayage des volumes inférieur 4 et supérieur 5 est présentement une ventilation (les fluides intervenant sont de l'air chaud à 60°C et de l'air froid à 28°C, voir l'exemple ci-après). A propos de ladite ventilation, on peut préciser ce qui suit :

1) Principe général

[0054] La ventilation est conçue comme si elle devait assurer le taux de renouvellement de l'air dans deux cellules distinctes superposées (4 et 5) et séparées par un volume matériel dont l'épaisseur serait celle de la zone de mélange 3. Ces deux cellules virtuelles (ou zones) sont alimentées par un débit d'air ayant subi les traitements habituels de l'air de ventilation des unités de retraitement.

[0055] Les bouches de soufflage A et D sont disposées de telle sorte qu'elles produisent dans chaque zone 5 et 4 respectivement, un écoulement à faible vitesse permanente verticale (quelques cm/s) et dont la composante aléatoire doit être aussi réduite que possible. L'écoulement dans la zone inférieure (froide) 4 est orienté de bas en haut, celui dans la zone supérieure (chaude) 5 de haut en bas.

[0056] Les fentes de reprise B et C sont situées de part et d'autre de la zone de mélange 3 :

- les fentes B de reprise d'air chaud sont situées juste au-dessus de l'interface supérieure de ladite zone de mélange 3 ;
- les fentes C de reprise d'air froid sont situées juste au-dessous de l'interface inférieure de ladite zone 3.

[0057] Ces fentes de reprise B et C stabilisent le niveau de ladite zone de mélange 3.

[0058] Cette stabilisation exige un contrôle suffisamment précis du rapport des débits de soufflage et d'extraction

des circuits d'air chaud et d'air froid, la solution la plus simple à mettre en oeuvre à cet égard étant le recyclage de l'air chaud qui présente par ailleurs l'avantage d'une économie d'énergie thermique associée à une réduction de dimension des batteries de chauffe.

2) Caractéristiques physiques de l'air, dimensionnantes de la ventilation

a) Air de la zone chaude 5 :

Débit d'alimentation :

[0059] Compte tenu du fait que cette zone 5 ne contient pas de source de pollution, il faut :

- d'une part, que la vitesse débitante (orientée selon la verticale descendante) à travers une section droite horizontale voisine du plan supérieur de la zone de mélange 3, soit plus élevée que celles des diffusions browniennes et turbulentes des particules polluantes ayant pénétré dans ladite zone de mélange 3,
- d'autre part, que le débit d'air chaud soit suffisant pour compenser les pertes par convection avec les parois.

[0060] Un calorifugeage des parois latérales de la zone supérieure 5, qui réduit les échanges thermiques et les courants de convection parasites, est un élément favorable à la stabilité de la zone de mélange 3.

Température :

[0061] La température dans la zone supérieure 5 doit être la plus élevée possible, elle est seulement limitée par la contrainte de refroidissement des moteurs de l'unité de levage.

b) Air de la zone froide 4 :

Débit d'alimentation :

[0062] Le débit d'air d'alimentation du volume inférieur 4 est fonction de l'intensité des sources de pollution et de leur nature, et principalement de la puissance totale dégagée par les sources thermiques qu'elle contient ; l'échauffement de la température moyenne de l'air qui en résulte devant être compensé par le débit d'air froid.

[0063] La contrainte de limitation de l'épaisseur de la couche de mélange 3 (donc de la vitesse de pénétration et de la vitesse débitante ascendante de l'air à travers une section droite horizontale), détermine dans chaque cas la valeur maximale admissible du débit.

Température :

[0064] Les basses températures étant un facteur favorable à la diminution de l'épaisseur de la couche de mélange 3 et à sa stabilité (sous réserve qu'elle reste positive), il n'y a pas de limite inférieure à la température de l'air de la zone inférieure. Toutefois, pour des raisons de simplicité et de limitation des investissements, on utilise généralement de l'air à température ambiante. La température prise en compte pour le dimensionnement doit alors être celle correspondant au maximum météorologique enregistré sur le site pendant une période de référence suffisamment longue.

Niveau de turbulence :

[0065] Plus élevé que dans la zone chaude 5, du fait de la présence des sources thermiques et de la disposition des bouches de soufflage D, il est caractérisé par la valeur maximale de la moyenne quadratique de la vitesse aléatoire à l'interface avec la zone de mélange 3, qui est le paramètre déterminant de la hauteur de ladite zone 3.

[0066] A propos du dispositif utilisé pour la mise en oeuvre de la ventilation, on peut préciser ce qui suit.

1) Alimentation et conception des bouches de ventilation

[0067] L'équirépartition du débit de soufflage des bouches de ventilation A, D d'une part, et des débits d'extraction des fentes de reprise B, C d'autre part, est un élément indispensable à l'efficacité de la stratification.

[0068] Les gaines d'alimentation des bouches de soufflage A, D et les gaines d'extraction des fentes de reprise B, C doivent être conçues en fonction de cette contrainte (aubage des ventilateurs, sections de gaine variables, etc.). De ce fait, et compte tenu de l'encombrement éventuel qui en résulte, l'étude de dimensionnement des gaines est un

élément essentiel de la conception du dispositif, étude qui doit précéder celle du génie civil de la cellule.

[0069] La cellule peut en effet être conçue avec des doubles-parois internes en calorifuge (par exemple en verre expansé) ; l'espace de l'ordre de 0,4 m entre ces parois et celles du génie civil de la cellule étant alors disponible pour les gaines et dispositifs de répartition d'air de soufflage.

[0070] De plus, une répartition uniforme des vitesses à la section de sortie des bouches de soufflage A, D est nécessaire ; cette répartition peut être obtenue en garnissant leur orifice de sortie de deux ou trois couches de tôle perforée d'une transparence de l'ordre de 20%, séparées par une distance de quelques centimètres.

[0071] D'une façon générale, les bouches de soufflage A, D qui sont plus "inductives" (c'est-à-dire qui induisent des mouvements de circulation interne) doivent être le plus éloignées possible de la zone de mélange 3, alors que les fentes de reprise B, C dont l'effet d'induction sur l'environnement est très limité dans l'espace peuvent être situées au plus près de la zone de mélange 3 dont elles bornent et stabilisent les limites sur les parois verticales de la cellule.

2) Bouches (fentes) de soufflage A d'air chaud (voir figures 2 et 4)

a) Dispositions générales :

[0072] Leur disposition doit être telle qu'elle permette de répartir le débit d'air chaud dans les sections horizontales voisines de la zone de mélange 3, afin que l'écoulement se rapproche au mieux d'un flux laminaire.

[0073] Pour satisfaire ces conditions, les bouches de soufflage peuvent être disposées (en tenant compte du mode de fixation de l'unité de levage) suivant des fentes de faible largeur, parallèles à l'axe longitudinal de la cellule et pratiquement continues.

[0074] Leur vitesse d'émission, qui détermine leur section minimale en fonction du débit recherché, doit être telle que les vitesses maximales d'impaction sur les éléments constitutifs du pont de levage 2 soient au plus égales à 0,4 m/s. On évite ainsi la génération de turbulences nuisibles à la stabilité de la zone de mélange 3.

b) Débit d'air chaud :

[0075] Le débit d'air chaud est choisi afin d'assurer une vitesse débitante de l'ordre de 0,04 m/s à travers l'aire de la section horizontale du volume supérieur 5. En effet, compte tenu de la vitesse de soufflage et de la répartition adoptée pour les bouches d'alimentation de la zone supérieure 5, l'écoulement à proximité du plan supérieur de la zone de mélange 3 peut être assimilé à un flux laminaire où la diffusion turbulente est négligeable, et, pour les plus fines particules polluantes (dont la diffusion est la plus rapide), la vitesse de diffusion brownienne est très inférieure à 0,04 m/s.

3) Bouches (fentes) de soufflage D d'air froid (voir figures 2, 4, 5 et 6)

a) Dispositions générales :

[0076] La disposition et la géométrie des bouches d'émission d'air froid D ont pour objet d'homogénéiser au mieux la concentration en air pollué et en air chaud dans l'ambiance de la zone inférieure (zone froide) 4, tout en limitant la composante verticale des vitesses aléatoires de la turbulence induite.

[0077] Les bouches d'émission D de faible largeur (en forme de meurtrières) sont situées à proximité du plancher sur les côtés les plus longs de la cellule et disposées en quinconce.

[0078] Cette disposition produit des jets 10 d'air à plan axial vertical emboîtés les uns dans les autres (voir figure 6).

[0079] Ces jets-plans produisent, par l'effet de cisaillement dû aux vitesses opposées, des tourbillons dont les vitesses ont de faibles composantes verticales et qui provoquent le mélange avec l'ambiance des courants issus des diverses sources (voir figure 5).

[0080] En effet, d'une part on constate que les tourbillons à axe horizontal, générateurs de vitesses aléatoires verticales, sont produits à partir d'une surface très réduite (celle d'une "meurtrière") par rapport à celle de l'interface entre jets 10. D'autre part, on voit que le différentiel de vitesse entre les jets 10 dans leur partie supérieure et l'ambiance quasi immobile de la cellule est deux fois plus faible que le différentiel de vitesse qui règne entre jets opposés, ce qui génère des courants horizontaux largement prédominants par rapport aux courants verticaux dirigés vers le haut. Pour ces deux raisons, la composante verticale des vitesses aléatoires se trouve sensiblement atténuée, et les phénomènes de pénétration dans la couche de mélange se trouvent ainsi limités ; de plus, cette disposition tend à "casser" par dilution la vitesse ascendante des courants issus des sources thermiques qui est le facteur le plus important de pénétration éventuelle de la pollution dans la zone protégée 5.

b) Débit d'air froid

[0081] La valeur de la vitesse moyenne ascensionnelle de l'air est choisie de l'ordre de 0,04 m/s pour limiter l'entraînement des particules polluantes par l'air de ventilation de la zone inférieure 4 à celles dont le "diamètre aérodynamique" est inférieur à 35 µm. Les particules d'un diamètre supérieur ayant tendance à décanter dans la cellule sont peu adhérentes aux parois et relèvent du dépoussiérage par aspiration.

[0082] Cette vitesse définit un débit fonction de l'aire de la section horizontale de la cellule qui doit être par ailleurs suffisant pour assurer, compte tenu de la température d'alimentation de l'air froid et de la puissance des sources chaudes 1, le maintien d'une température suffisamment basse dans la zone froide 4. Dans certaines applications où la puissance thermique moyenne que dégagent les sources chaudes par unité de volume de la cellule est très élevée, une batterie de refroidissement de l'air d'alimentation peut être nécessaire pour limiter son débit. Dans ce cas particulier, l'utilisation d'une pompe à chaleur élevant la température de l'air chaud en abaissant celle de l'air froid peut être la solution la plus rationnelle.

4) Fentes de reprise B, C (air froid C et air chaud B)

[0083] Les fentes de reprise d'air froid C et d'air chaud B sont disposées en lignes horizontales constituant des fentes pratiquement continues (intervalles entre côtés verticaux des bouches d'aspiration aussi réduits que possible), ces lignes horizontales se faisant vis-à-vis sur les deux côtés les plus longs.

[0084] Le niveau supérieur des fentes de reprise d'air froid C limite le plan inférieur de la zone de mélange 3, alors que le niveau inférieur des fentes de reprise d'air chaud B limite le plan supérieur de ladite zone de mélange 3. Le niveau supérieur des fentes de reprise d'air chaud B doit être situé à environ 1 m au-dessous du niveau inférieur du volume dans lequel évolue l'unité de levage. Dans le cas de l'existence d'un garage-pont, le niveau supérieur des fentes de reprise d'air chaud doit se situer au-dessous du niveau du plancher dudit garage-pont.

[0085] En référence à la figure 3, on peut préciser ce qui suit.

[0086] On observe un léger gradient de température dans le volume inférieur, du fait de la présence de la source polluante, chaude ; on observe, par contre, le fort gradient thermique souhaité dans la zone de mélange 3 constituant la barrière de confinement (virtuelle).

[0087] En référence à la figure 4, on précise que pour des raisons de simplification, le pont de levage 2 n'a pas été représenté.

[0088] Le procédé de l'invention a été mis en oeuvre dans la cellule de vitrification dont les dimensions ont été précisées ci-dessus, avec le dispositif décrit ci-dessus et schématisé sur les figures 2, 4 à 6 annexées. On précise dans le tableau ci-après les caractéristiques desdits procédés et dispositifs.

Caractéristiques	Air froid	Air chaud
Température de soufflage	28°C	60°C
Débit de soufflage	5 300 Nm³/h	5 100 Nm³/h
Température zone	4 48°C	5 60°C
Débit massique air	1,9 kg/s	1,8 kg/s
Largeur des bouches de soufflage	D 0,19 m	A 0,18 m
Longueur des bouches de soufflage	D 0,81 m (pour obtenir des jets-plans verticaux)	A 12,0 m = longueur de la cellule
Distance horizontale entre deux bouches de soufflage	D 1,12 m	A en fonction de l'encombrement du pont de levage
Nombre total des bouches de soufflage	D 16 (8 "meurtrières" réparties en quinconce sur chacune des deux grandes faces verticales de la cellule)	A deux fentes parallèles, au plafond de la cellule
Disposition des bouches de soufflage	D Verticales	A Horizontales
Positionnement des bouches de soufflage	D Rebord inférieur à proximité du niveau du plancher de la cellule	A Dans le sens de la plus grande longueur

(suite)

	<u>Caractéristiques</u>	<u>Air froid</u>	<u>Air chaud</u>
5	Nombre de fentes de reprise	C 2 (1 fente sur chaque grande face verticale)	B 2 (1 fente sur chaque grande face verticale)
	Disposition des fentes de reprise	C Horizontales	B Horizontales
10	Positionnement des fentes de reprise	C à 4,5 m au-dessus du plancher de la cellule, à la limite inférieure de la zone de mélange	B à 5,8 m au-dessus du plancher de la cellule, à la limite supérieure de la zone de mélange
	Largeur des fentes de reprise	C 0,2 m	B 0,2 m
15	Longueur des fentes de reprise	C = longueur de la cellule = 12,0 m	B = longueur de la cellule = 12,0 m

Revendications

1. Procédé de confinement de la pollution générée dans le(s) volume(s) supérieur (5) ou(et) inférieur (4) d'une enceinte remplie de fluide - de gaz, généralement d'air ou de liquide, généralement d'eau - par stratification thermique ; la température moyenne dudit volume supérieur (5) étant maintenue suffisamment supérieure à la température moyenne dudit volume inférieur (4) de sorte que lesdits deux volumes (5,4) sont séparés par une zone intermédiaire (3) turbulente de faible épaisseur, dite zone de mélange, au sein de laquelle se maintient un gradient de température élevé; ladite zone intermédiaire (3) constituant, dans un plan horizontal, une barrière de confinement virtuelle.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits deux volumes supérieur (5) et inférieur (4) sont, de manière indépendante, balayés par un fluide, à une température adéquate; ledit fluide, injecté dans le volume supérieur (5), étant repris juste au dessus de l'interface supérieure de ladite zone de mélange (3) et ledit fluide, injecté dans le volume inférieur (4), étant repris juste en dessous de l'interface inférieure de ladite zone de mélange (3) ; lesdits fluides, de nature identique ou différente, étant injectés, dans chacun desdits volumes (5,4), dans des conditions telles que la composante verticale de la vitesse des turbulences générées est minimisée.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il est mis en oeuvre avec recyclage au moins partiel du fluide chaud balayant le volume supérieur (5).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il est mis en oeuvre dans une enceinte remplie de gaz, généralement d'air, pour confiner la pollution, émanant d'une source polluante (1) éventuellement chaude disposée en partie basse; ladite enceinte pouvant notamment consister en une cellule de vitrification des produits de fission de l'industrie nucléaire.
5. Dispositif de confinement de la pollution générée dans le(s) volume(s) supérieur (5) ou(et) inférieur (4) d'une enceinte remplie de fluide - de gaz, généralement d'air ou de liquide, généralement d'eau - caractérisé en ce qu'il comprend :
 - (a) des moyens pour maintenir la température moyenne dudit volume supérieur (5) supérieure à la température moyenne dudit volume inférieur (4) en créant dans un plan horizontal, entre lesdits deux volumes supérieur (5) et inférieur (4), une barrière de confinement virtuelle: zone intermédiaire (3) turbulente de faible épaisseur, dite zone de mélange, au sein de laquelle se maintient un gradient de température élevé ; et avantageusement,
 - (b) des moyens de calorifugeage d'au moins certaines parois dudit volume supérieur (5).
6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que lesdits moyens (a) qui incluent, convenablement disposés dans chacun desdits volumes supérieur (5) et inférieur (4), des dispositifs d'émission (A et D) et de reprise (B et C) d'un fluide, assurent le balayage de chacun desdits volumes supérieur (5) et inférieur (4) par ledit fluide, à une température adéquate; lesdits dispositifs d'émission (A et D) ayant leurs formes et dimensions optimisées pour réduire la composante verticale de la vitesse des turbulences générées.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits dispositifs de reprise du fluide chaud (B) dans le volume supérieur (5) et du fluide froid (C) dans le volume inférieur (4) consistent en des fentes, de faible largeur, réparties uniformément à un même niveau, en vis-à-vis, sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte.

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que ledit dispositif d'émission du fluide chaud (A) dans le volume supérieur (5) ou (et) ledit dispositif d'émission du fluide froid (D) dans le volume inférieur (4) consiste(nt) en une surface horizontale assurant une distribution continue dudit fluide.

9. Dispositif selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que ledit dispositif d'émission du fluide chaud (A) dans le volume supérieur (5) ou (et) ledit dispositif d'émission du fluide froid (D) dans le volume inférieur (4) consiste(nt) en au moins deux fentes, de faible largeur, réparties uniformément, parallèlement, sur toute la longueur d'une paroi horizontale (généralement le plafond ou/et le plancher) de l'enceinte.

10. Dispositif selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que ledit dispositif d'émission du fluide chaud (A) dans le volume supérieur (5) ou (et) ledit dispositif d'émission du fluide froid (D) dans le volume inférieur (4) consiste(nt) en deux séries de fentes, de faibles largeur et hauteur, réparties régulièrement en quinconce sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte ; lesdites fentes commençant au niveau ou à proximité de la paroi horizontale, généralement le plafond ou le plancher (des parois horizontales, généralement le plafond et le plancher) au contact desdites deux parois verticales.

11. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 7, caractérisé en ce que, dans le(s) volume(s) supérieur (5) ou (et) inférieur (4) au sein du(des)quel(s) la pollution est générée, le dispositif d'émission (A ou (et) D) du fluide consiste en deux séries de fentes, de faibles largeur et hauteur, réparties régulièrement en quinconce sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte ; lesdites fentes commençant au niveau ou à proximité de la paroi horizontale, généralement le plafond ou le plancher (des parois horizontales, généralement le plafond et le plancher) au contact desdites deux parois verticales.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour recycler au moins partiellement le fluide chaud balayant le volume supérieur (5).

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 12, caractérisé en ce que ledit dispositif d'émission de fluide froid (D) est alimenté par du fluide à la température ambiante ou par du fluide refroidi en amont, avantageusement au moyen d'une pompe à chaleur qui utilise les calories prélevées sur ledit fluide pour élever la température du fluide alimentant le dispositif d'émission de fluide chaud (A).

14. Dispositif selon la revendication 6, utile pour confiner la pollution émanant d'une source polluante (1) éventuellement chaude disposée en partie basse d'une enceinte remplie de gaz, généralement d'air, caractérisé en ce qu'il inclut :

- dans son volume inférieur (4), un dispositif d'émission de gaz (D), généralement d'air, froid, consistant en deux séries de fentes, de faibles largeur et hauteur, réparties régulièrement en quinconce sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte ; lesdites fentes commençant au niveau ou à proximité de la paroi horizontale (généralement, le plancher) au contact desdites deux parois verticales ;
- dans son volume supérieur (5), un dispositif d'émission de gaz (A), généralement d'air, chaud, consistant en au moins deux fentes, de faible largeur, réparties uniformément, parallèlement, sur toute la longueur d'une paroi horizontale (généralement le plafond) de l'enceinte ;
- dans ses volumes supérieur (5) et inférieur (4), un dispositif de reprise du gaz (B,C), généralement de l'air, injecté, consistant en des fentes, de faible largeur, réparties uniformément à un même niveau, en vis-à-vis, sur toute la longueur de deux parois verticales opposées de l'enceinte.

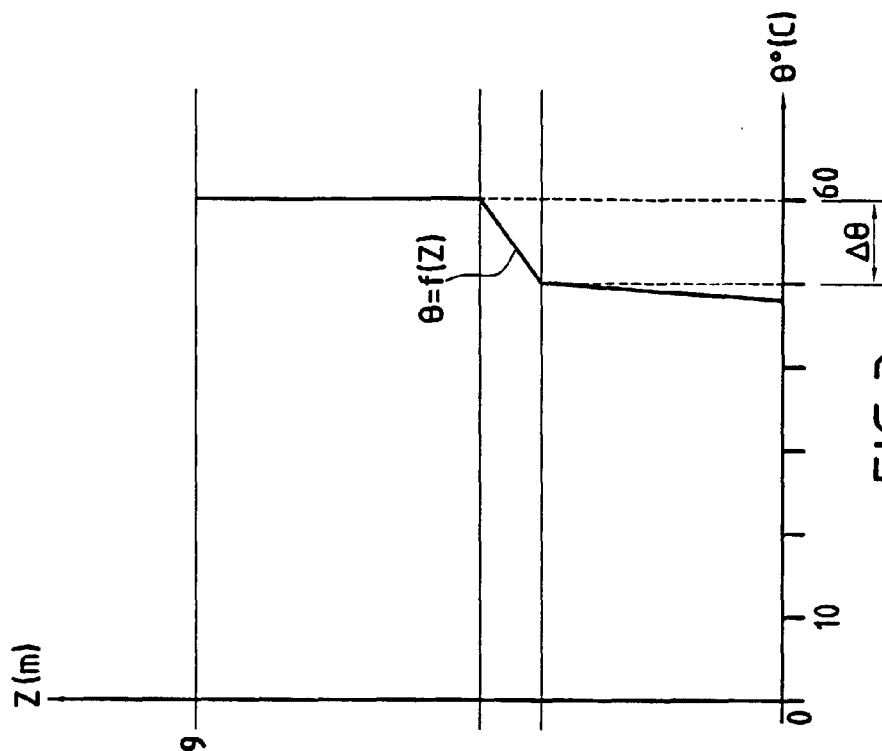


FIG.3

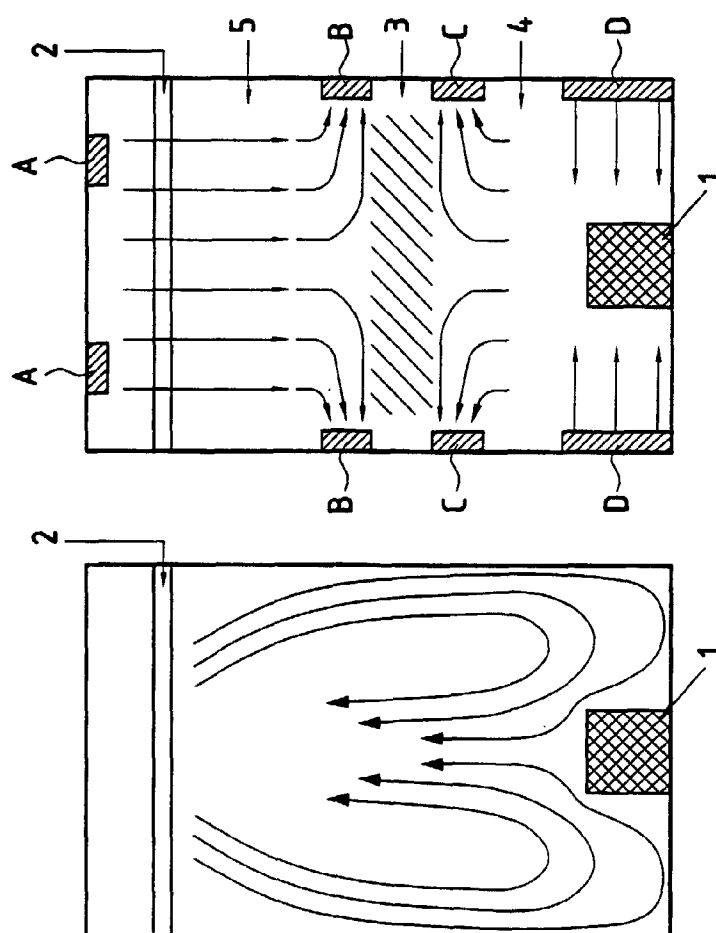


FIG.2

FIG.1

(ART ANTERIEUR)

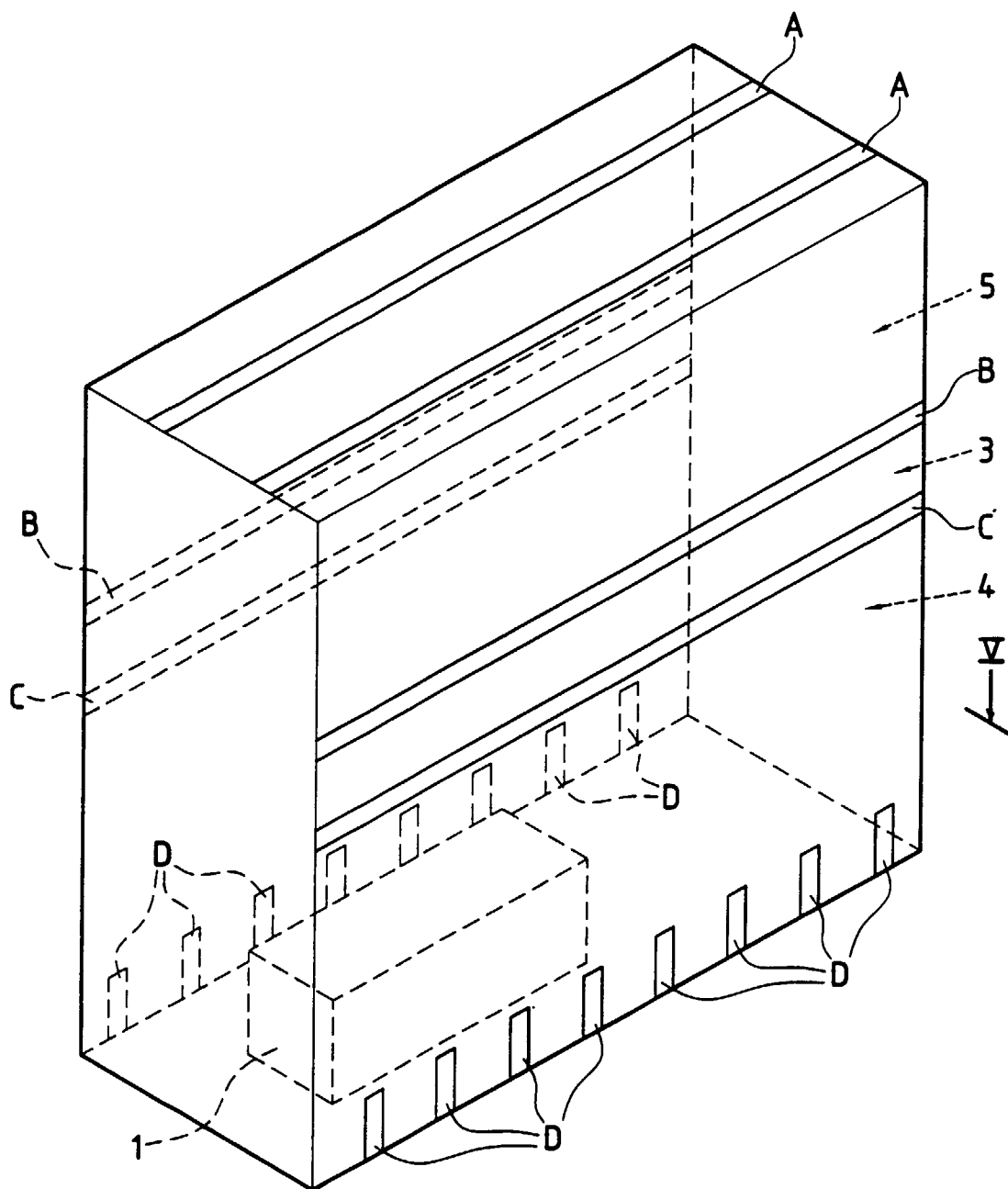
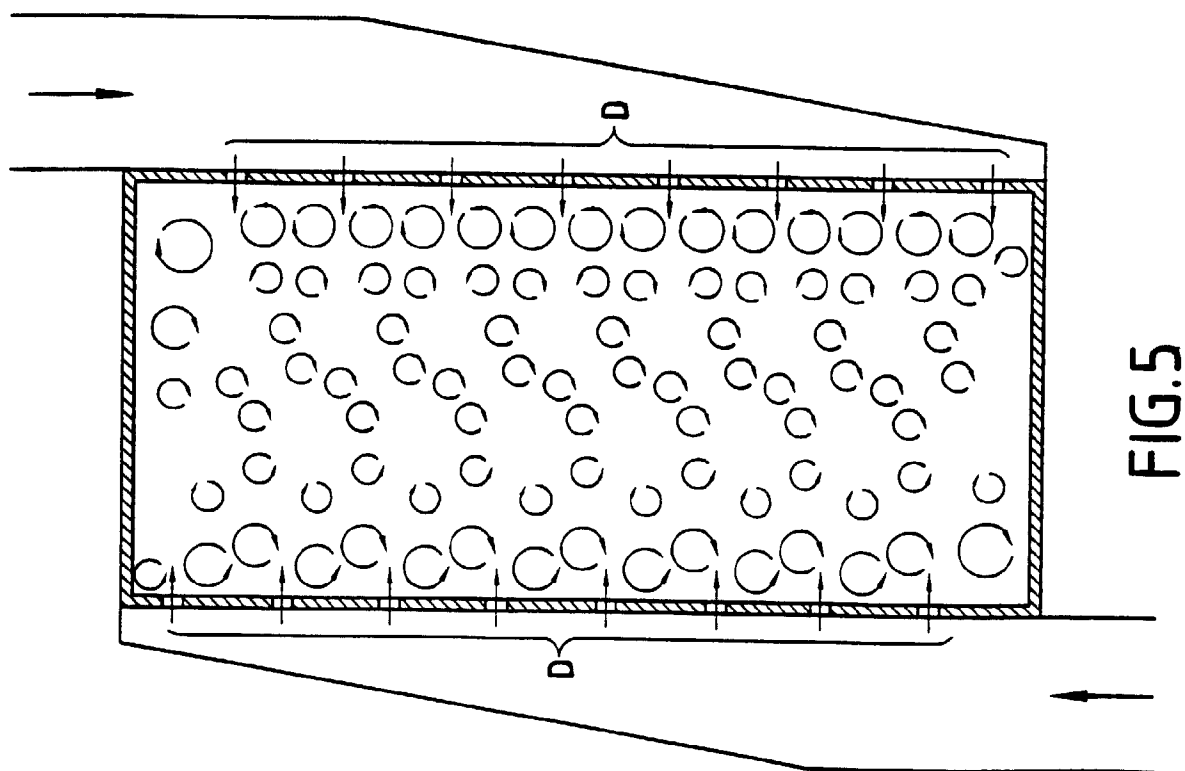
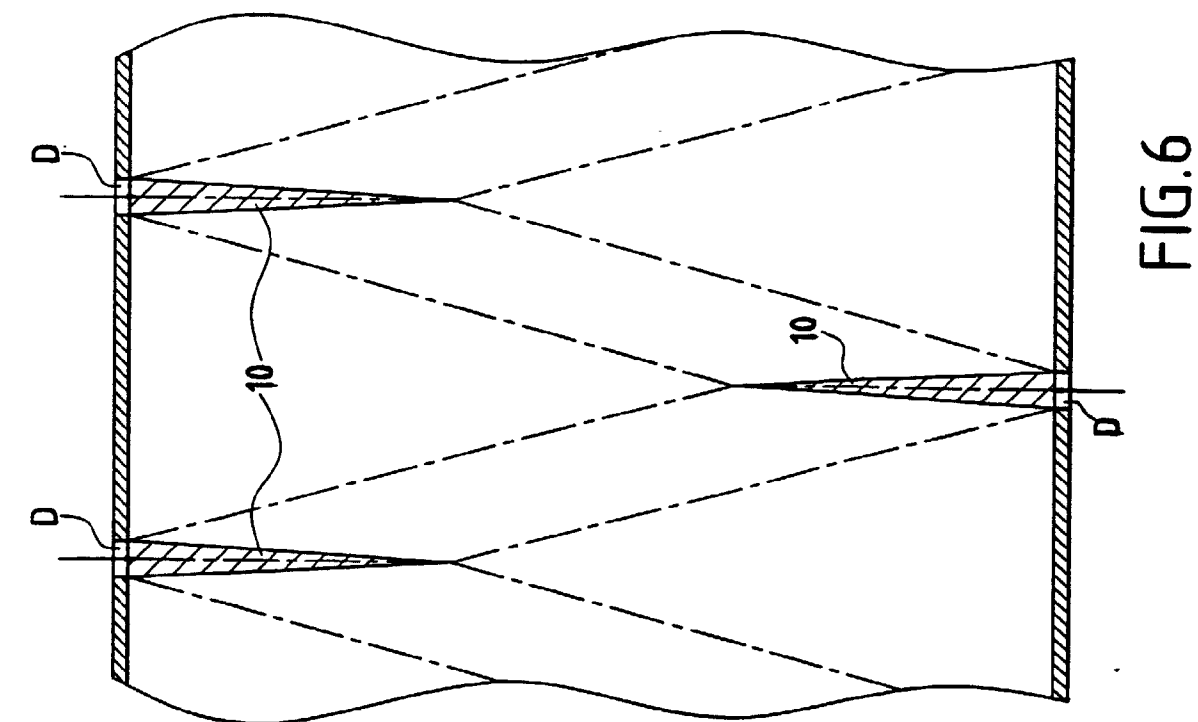


FIG.4





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 98 40 2641

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.6)
A	EP 0 099 818 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 1 février 1984 * revendication 1; figures *	1	F24F9/00
A	DE 23 05 101 A (BUETTNER SCHILDE HAAS AG) 8 août 1974 * revendication 1; figures *	1	
A	US 5 078 574 A (OLSEN GEORGE D) 7 janvier 1992		
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
			F24F
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
LA HAYE		20 janvier 1999	Gonzalez-Granda, C
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>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</p> <p>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</p>			

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 98 40 2641

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

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

20-01-1999

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0099818 A	01-02-1984	FR 2530163 A	20-01-1984
		JP 1817934 C	27-01-1994
		JP 5019119 B	15-03-1993
		JP 59024297 A	07-02-1984
		US 4576613 A	18-03-1986
DE 2305101 A	08-08-1974	AUCUN	
US 5078574 A	07-01-1992	AU 682414 B	02-10-1997
		AU 8028494 A	09-03-1995
		AU 9050591 A	11-06-1992
		WO 9208879 A	29-05-1992

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82