

19



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

11

Numéro de publication:

**0 097 097  
A1**

12

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

21

Numéro de dépôt: 83401179.3

51

Int. Cl.<sup>3</sup>: **F 28 C 3/06**

22

Date de dépôt: 09.06.83

30

Priorité: 10.06.82 FR 8210363

71

Demandeur: **SARL Etudes & Réalisations de Technique Thermique E.R.T.T.**, 3 Rue des Brèches Zone Industrielle, F-44400 Reze les Nantes (FR)

43

Date de publication de la demande: 28.12.83  
Bulletin 83/52

72

Inventeur: **Gautier, Georges Gustave André Ignace**, 12 Rue Henri IV, F-44000 Nantes (FR)  
Inventeur: **Provost, Charles Ludovic Etienne**, 3 Place de la Monnaie, F-44000 Nantes (FR)

84

Etats contractants désignés: **AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE**

74

Mandataire: **Lemonnier, André**, 4 Boulevard Saint-Denis, F-75010 Paris (FR)

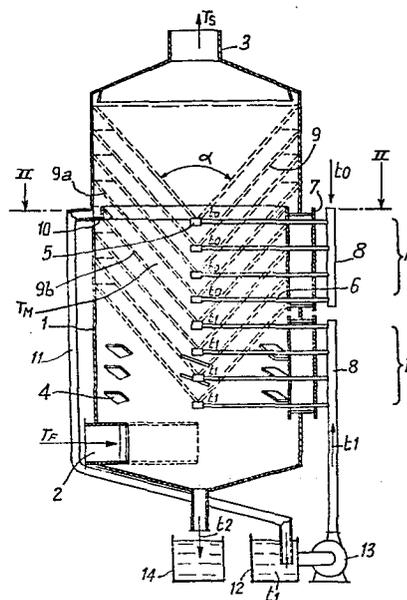
54

**Procédé pour le transfert de chaleur par échange direct entre fluides gazeux et liquide et échangeur mettant en oeuvre ce procédé.**

57

Conformément à l'invention on amène le gaz circulant sous forme d'une veine à traverser une multiplicité de nappes 9, indépendantes et en séries, de liquide pulvérisé, ces nappes occupant toute la section de la veine, et on extrait le liquide de l'échangeur au droit de la paroi de la veine. La pulvérisation est effectuée de manière à obtenir des gouttelettes ayant un diamètre inférieur au millimètre et elle est effectuée du centre vers la périphérie de la veine gazeuse sous forme de nappes coniques 9. De préférence on sépare et recueille indépendamment les flux de liquide réchauffé correspondant aux différentes nappes de pulvérisation se trouvant de part et d'autre d'au moins le niveau où les gaz sont refoidis sensiblement à la température de vaporisation du liquide et le liquide réchauffé dans les nappes aval 9A est utilisé comme liquide pulvérisé dans les nappes amont 9B.

L'invention permet d'obtenir un rendement élevé et une température du liquide voisine de son point d'ébullition.



**EP 0 097 097 A1**

Procédé pour le transfert de chaleur par échange direct entre fluides gazeux et liquide et échangeur mettant en oeuvre ce procédé.

- La présente invention concerne le transfert de chaleur entre un gaz et un liquide selon la procédé dit par échange direct. Le transfert des calories contenues dans un flux de gaz chauds (par exemple un gaz de combustion) à un liquide, par mise en contact direct du liquide pulvérisé avec le gaz chaud, notamment par pulvérisation du liquide dans une chambre verticale parcourue par le flux de gaz, est connu et décrit par exemple dans US-A-4.287.138.
- 10 Le transfert de chaleur par échange direct est soumis à diverses limitations. Tout d'abord une première limitation résulte de la tension de vapeur du liquide dans le gaz avec lequel s'effectue l'échange thermique car, la vaporisation du liquide étant endothermique, les vapeurs entraînées par
- 15 les gaz sortants constituent une perte. Le rendement de l'échange thermique est fonction de la différence des températures au droit de la surface d'échange, de la superficie de la surface d'échange et de la durée du contact. Enfin la température

de réchauffement du liquide, qui est de toutes façons inférieure à sa température d'ébullition, est d'autant plus faible que le rapport de la masse calorifique du liquide à la masse calorifique du gaz est plus élevé mais le rendement est d'autant plus élevé que ce dernier rapport est plus faible. Si donc on veut obtenir par échange direct un liquide à une température voisine de son point d'ébullition, il faut réduire le rapport volumique entre le liquide et le gaz, mais le rendement calorifique décroît. Pour obtenir un rendement acceptable, on est obligé de limiter, avec l'eau utilisée comme liquide, la température de réchauffement de l'eau à environ 60°C.

La présente invention a pour but de résoudre ces problèmes, dans un premier temps, en obtenant un meilleur rendement de l'échange thermique, qui se traduit par des gaz en sortie plus froids et, dans un deuxième temps, en obtenant un liquide à température voisine du point d'ébullition.

Ce but est atteint, conformément à l'invention, en amenant le gaz circulant sous forme d'une veine à traverser une multiplicité de nappes, indépendantes et en série, de liquide pulvérisé, ces nappes occupant toute la section de la veine, et en extrayant le liquide de l'échangeur au droit de la paroi de la veine.

La pulvérisation est effectuée de manière à obtenir des gouttelettes ayant un diamètre inférieur au millimètre et elle est effectuée du centre vers la périphérie de la veine gazeuse.

Avec le procédé conforme à l'invention, au droit des premières nappes amont traversées par les gaz chauds, le liquide se vaporise en absorbant des calories, mais la température du mélange de gaz et de vapeur se refroidit et lesdites calories absorbées par la vaporisation sont restituées au liquide constituant les nappes suivantes dont le volume s'accroît

du volume des vapeurs condensées. On voit donc qu'une partie importante du transfert de chaleur s'effectue au droit des nappes amont avec une différence de température importante entre les gaz et le liquide, donc avec un rendement élevé.

5 Pendant la traversée des nappes aval au droit desquelles les gaz sont refroidis en dessous de la température de vaporisation du liquide, l'échange se fait au droit de chaque nappe entre la totalité du volume des gaz et une fraction du volume total du liquide correspondant au débit alimentant l'échangeur.

10 On réalise donc par le procédé un système équivalent à une pluralité d'échangeurs en cascade qui fonctionnent chacun avec la différence de température maximale, donc le rendement maximal possible.

15 Dans les procédés antérieurement connus d'échange direct, on cherche à effectuer un échange à contre-courant en faisant tomber le liquide en pluie dans une tour parcourue dans le sens ascendant par le flux gazeux et donc la pulvérisation est effectuée, non sous forme d'une nappe atteignant les

20 parois, mais sous forme d'une dispersion dans toute la section de la veine gazeuse, les gouttes ayant une trajectoire parallèle et de sens inverse à la direction de circulation du gaz. Le procédé conforme à l'invention dans lequel on pulvérise sous forme d'une nappe mince atteignant la paroi

25 permet d'effectuer une pulvérisation sous une pression plus élevée et avec une finesse de gouttelettes plus grande que les procédés antérieurs et le liquide suit une trajectoire sensiblement perpendiculaire ou oblique par rapport à celle du gaz. Du fait de la très grande surface volumique du liquide

30 sous forme de gouttelettes fines, le coefficient d'échange thermique est élevé et dans les nappes où il se produit une condensation des vapeurs, chaque gouttelette forme un noyau de condensation, la multiplicité des gouttelettes favorisant cette condensation avec transfert direct des calories dans

35 la masse de la gouttelette.

Pour accroître le temps de contact et selon une autre caractéristique de l'invention, la projection est effectuée sous forme de nappes coniques. Avec cette forme de nappe et pour une même épaisseur de la nappe, la durée du contact est accrue, 5 par rapport à une nappe radiale, comme l'inverse du carré du sinus du demi-angle au sommet de la nappe, la longueur de la trajectoire du liquide du centre à la paroi étant égale au rayon de la veine gazeuse divisé par le sinus de l'angle et l'épaisseur de la nappe parallèlement à l'axe, c'est-à- 10 dire selon la direction de circulation du flux gazeux, étant égale à l'épaisseur de la nappe divisée par le même sinus.

Selon une autre caractéristique, la nappe conique s'ouvre vers l'aval selon la direction de circulation du flux gazeux. 15 Avec cette disposition, la vitesse axiale de circulation du flux gazeux est déduite de la composante axiale de la vitesse des gouttelettes, ce qui réduit la vitesse relative résiduelle et accroît la durée du contact.

20 Selon encore une autre caractéristique qui accroît la longueur de la trajectoire du flux gazeux dans chaque nappe et donc la durée du contact, on impose au flux gazeux une trajectoire hélicoïdale. Tous ces facteurs qui accroissent la durée de contact sont d'une importance significative dans le procédé 25 conforme à l'invention dans lequel, pour atteindre la paroi de la veine et sous forme de gouttelettes fines, la pulvérisation doit se faire sous une pression notable donc à vitesse élevée.

30 Conformément à l'invention, le liquide qui atteint la paroi de la veine gazeuse présente, dans les nappes les plus en amont, une température voisine de la température de vaporisation puisque ce liquide a traversé des gaz à haute température en se vaporisant partiellement et, dans les nappes suivantes, 35 une température analogue puisque les gaz sont, à ce niveau, à la température de condensation du liquide, le volume attei-

gnant la paroi étant pour partie formé des vapeurs condensées. Au droit des nappes plus en aval, le liquide présente une température décroissant vers l'aval car il a traversé une veine gazeuse de plus en plus froide avec des températures  
5 tendant vers l'équilibre.

Selon une autre caractéristique de l'invention, on sépare et recueille indépendamment les flux de liquide réchauffé correspondant aux différentes nappes de pulvérisation se  
10 trouvant de part et d'autre d'au moins le niveau où les gaz sont refroidis sensiblement à la température de vaporisation du liquide. Il est bien évident que l'on peut séparer à volonté les flux liquides des nappes en série, selon la température ou les températures auxquelles on veut obtenir le liquide  
15 réchauffé. Il faut toutefois remarquer que les gouttelettes étant très fines, celui provenant de toutes les nappes amont sera sensiblement à la même température maximale et un fractionnement du liquide réchauffé portant sur ces nappes serait sans intérêt. Par contre le niveau où s'établit l'équilibre  
20 dépend de la température du liquide pulvérisé. Pour relever ce niveau et donc accroître le débit du liquide obtenu à cette température maximale, donc le rendement de l'échange thermique, il est possible d'admettre le liquide à pulvériser dans les nappes amont à une température plus élevée.

25

En conséquence et selon une autre caractéristique de l'invention, le liquide réchauffé dans les nappes aval est utilisé comme liquide pulvérisé dans les nappes amont.

30 La présente invention a également pour objet un échangeur pour la mise en oeuvre du procédé d'échange direct ci-dessus comportant une chambre d'échange allongée avec, à ses deux extrémités, respectivement une entrée et une sortie pour les gaz et des moyens pour pulvériser un liquide dans le  
35 flux gazeux traversant cette chambre constitués par une plura-

lité de gicleurs de pulvérisation échelonnés le long de la-  
dite chambre, l'échangeur étant caractérisé en ce que chaque  
gicleur de pulvérisation pulvérise le liquide selon une nappe  
aplatie atteignant la paroi de la chambre, les différentes  
5 nappes étant parallèles entre elles et indépendantes.

Selon une autre caractéristique, la chambre d'échange étant  
d'axe vertical et le gaz circulant de bas en haut, les gicleurs  
de pulvérisation pulvérisent selon une nappe conique s'ouvrant  
10 vers le haut et vers l'aval.

Selon une autre caractéristique au moins une goulotte péri-  
phérique est prévue le long de la périphérie de la chambre  
et à un niveau intermédiaire de celle-ci pour collecter le  
15 liquide des nappes situées en aval qui s'écoule sur la paroi.  
Dans le cadre de cette caractéristique des moyens sont de  
préférence prévus pour reprendre le liquide collecté par  
une goulotte située en aval et le refouler vers les gicleurs  
de pulvérisation situés directement en amont.

20

Selon une autre caractéristique des moyens sont prévus pour  
donner au flux gazeux un mouvement rotationnel hélicoïdal.  
Ces moyens peuvent être constitués par une entrée tangentielle  
et/ou des ailettes directrices.

25

La présente invention sera décrite plus en détail ci-après  
avec référence au dessin ci-annexé dans lequel :

la figure 1 est une vue en coupe axiale schéma-  
30 tique d'un échangeur et la figure 2 en est une  
vue en coupe horizontale par II-II de figure  
1.

Dans les dessins la référence 1 désigne la paroi cylindrique  
35 délimitant la chambre de l'échangeur, 2 est l'entrée des  
gaz chauds située à la partie basse de la chambre, cette

entrée débouchant tangentiellement sur une largeur approximativement égale au rayon de la chambre et 3 désigne la sortie axiale des gaz. La référence 4 désigne des ailettes directrices hélicoïdales fixées sur la paroi intérieure de la partie  
5 basse de la chambre pour accentuer la circulation hélicoïdale des gaz.

Conformément à l'invention, des gicleurs de pulvérisation  
5 sont disposés selon l'axe de la chambre en étant sensiblement  
10 régulièrement espacés et ils sont supportés par leur tubulure  
d'alimentation 6, les tubulures étant portées par des caissons  
7 insérés dans la paroi 1 et alimentées en eau sous pression  
depuis des rampes d'alimentation 8. Conformément à l'invention  
les gicleurs 5 sont associés à des buses pour donner des  
15 jets de pulvérisation 9 en nappes coniques minces. A titre  
d'exemple la pulvérisation est effectuée sous une pression  
d'environ  $3 \times 10^5$  P et donne des gouttelettes d'environ 0,4  
à 0,7 mm de diamètre, l'angle au sommet  $\alpha$  étant de  $70^\circ$ .

20 Selon le mode de réalisation préférentiel de l'invention  
les gicleurs de pulvérisation sont répartis en deux groupes  
A et B alimentés par des rampes indépendantes, le groupe  
A étant situé le plus haut, c'est-à-dire en aval dans le sens  
de circulation des fumées et le groupe B en amont. Sur la  
25 paroi interne et au droit de la séparation entre la nappe  
conique la plus élevée 9b du groupe B et la nappe conique  
la plus basse 9a du groupe A est réalisée une goulotte péri-  
phérique 10 destinée à recueillir l'eau des nappes 9A qui  
s'écoule sur la partie supérieure de la paroi. L'eau recueillie  
30 est évacuée par une canalisation 11 dans un réservoir 12  
d'où elle est reprise par une pompe 13 pour alimenter par  
la rampe 8, les gicleurs 5 du groupe B. L'eau pulvérisée  
par les gicleurs 9B s'écoule le long de la paroi de la partie  
inférieure de la chambre et est recueillie dans une bêche  
35 14.

L'échangeur fonctionne de la façon suivante : les gaz chauds arrivent à une température  $T_F$  par l'entrée 2 et circulent

selon un mouvement hélicoïdal ascendant dans la chambre pour être évacués par la sortie 3 à une température  $T_S$ , la circulation ayant lieu par tirage naturel ou forcé. L'eau est introduite à une température  $t_0$  et sous une pression de  $3 \times 10^5 P$ , qui peut être la pression du réseau d'alimentation, par la rampe 8 du groupe A, elle est pulvérisée à cette température  $t_0$  par les pulvérisateurs 5 du groupe A sous forme de nappes coniques. Ces nappes sont traversées par les gaz dont la température décroît au fur et à mesure qu'ils traversent les nappes successives d'une température  $T_M$  qui, à titre de simple indication, peut être voisine de  $90^\circ C$ , jusqu'à une température  $T_S$  qui est voisine de  $t_0$ . L'eau de la nappe 8a qui a traversé les gaz à une température voisine de  $T_M$  sera à une température relativement élevée alors que celle de la nappe supérieure sera à une température voisine de  $T_S$ . Il est évident que le rendement thermique dans la nappe 9a est meilleur que dans la dernière nappe mais, globalement, toutes les calories correspondant à la différence  $T_M - T_S$  de température des gaz se retrouveront dans l'eau recueillie à une température  $t_1$  comprise entre  $T_M$  et  $T_S$  dans la goulotte 10 et le bac 12. Cette eau à la température  $t_1$  est reprise par la pompe 13 et pulvérisée sous la même pression par les gicleurs 5 du groupe B sous forme des nappes coniques 9B. Dans la nappe inférieure la différence de température  $T_F - t_1$  est élevée, le rendement de l'échange est élevé et une partie de l'eau va passer à l'état de vapeur. En traversant les nappes successives la température des gaz entraînant l'eau vaporisée des nappes inférieures va décroître jusqu'à  $T_M$  et dans les nappes supérieures les vapeurs vont se condenser pour être réincorporées aux nappes dont l'eau va atteindre la paroi à une température voisine de  $T_M$ . Dans cette partie de l'échangeur vont se produire une évaporation endothermique et une condensation exothermique mais la température moyenne  $t_2$  de l'eau obtenue sera à un niveau que l'on ne peut atteindre avec un seul étage et les calories qui pourraient être entraînées par les gaz sous forme d'eau vaporisée dans les

premières nappes sont récupérées par condensation dans les nappes supérieures.

Dans l'exemple de mise en oeuvre décrit avec référence aux 5 dessins, le liquide de refroidissement est de l'eau et les gaz chauds sont des gaz de combustion mais l'invention n'est pas limitée à ce liquide et ces gaz chauds.

## Revendications

1. Un procédé pour le transfert de chaleur par échange direct entre fluides gazeux et liquide, caractérisé en ce que l'on amène le gaz circulant sous forme d'une veine à traverser une multiplicité de nappes, indépendantes et en série, de liquide pulvérisé, ces nappes occupant toute la section de la veine, et extrait le liquide de l'échangeur au droit de la paroi de la veine.  
5
2. Un procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la pulvérisation est effectuée de manière à obtenir des gouttelettes ayant un diamètre inférieur au millimètre et elle est effectuée du centre vers la périphérie de la veine gazeuse.  
10
3. Un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la projection est effectuée sous forme de nappes coniques.  
15
4. Un procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la nappe conique s'ouvre vers l'aval selon la direction de circulation du flux gazeux.  
20
5. Un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on impose au flux gazeux une trajectoire hélicoïdale.  
25
6. Un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on sépare et recueille indépendamment les flux de liquide réchauffé correspondant aux différentes nappes de pulvérisation se trouvant de part et d'autre d'au moins le niveau où les gaz sont refroidis sensiblement à  
30

la température de vaporisation du liquide.

7. Un procédé selon la revendication 6,  
caractérisé en ce que le liquide réchauffé dans les nappes  
5 aval est utilisé comme liquide pulvérisé dans les nappes  
amont.

8. Un échangeur pour la mise en oeuvre du procédé d'échange  
direct selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 compor-  
10 tant une chambre d'échange allongée avec, à ses deux extré-  
mités, respectivement une entrée et une sortie pour les gaz  
et des moyens pour pulvériser un liquide dans le flux gazeux  
traversant cette chambre constitués par une pluralité de  
gicleurs de pulvérisation échelonnés le long de ladite chambre,  
15 caractérisé en ce que chaque gicleur de pulvérisation 5 pulvé-  
rise le liquide selon une nappe aplatie 9 atteignant la paroi  
1 de la chambre, les différentes nappes étant parallèles  
entre elles et indépendantes.

20 9. Un échangeur selon la revendication 8,  
caractérisé en ce que la chambre d'échange 1 étant d'axe  
vertical et le gaz circulant de bas en haut, les gicleurs  
5 de pulvérisation pulvérisent selon une nappe conique 9  
s'ouvrant vers le haut et vers l'aval.

25

10. Un échangeur selon l'une quelconque des revendications  
8 et 9,  
caractérisé en ce qu'au moins une goulotte périphérique 10  
est prévue le long de la périphérie de la chambre et à un  
30 niveau intermédiaire de celle-ci pour collecter le liquide  
des nappes 9A situées en aval qui s'écoule sur la paroi.

11. Un échangeur selon la revendication 10,  
caractérisé en ce que des moyens 11-12-13 sont prévus pour  
35 reprendre le liquide collecté par une goulotte 5 située en

aval et le refouler vers les gicleurs de pulvérisation 9B situés directement en amont.

12. Un échangeur selon l'une quelconque des revendications 8 à 11, caractérisé en ce que des moyens 2-4 sont prévus pour donner au flux gazeux un mouvement rotationnel hélicoïdal.

Fig: 1

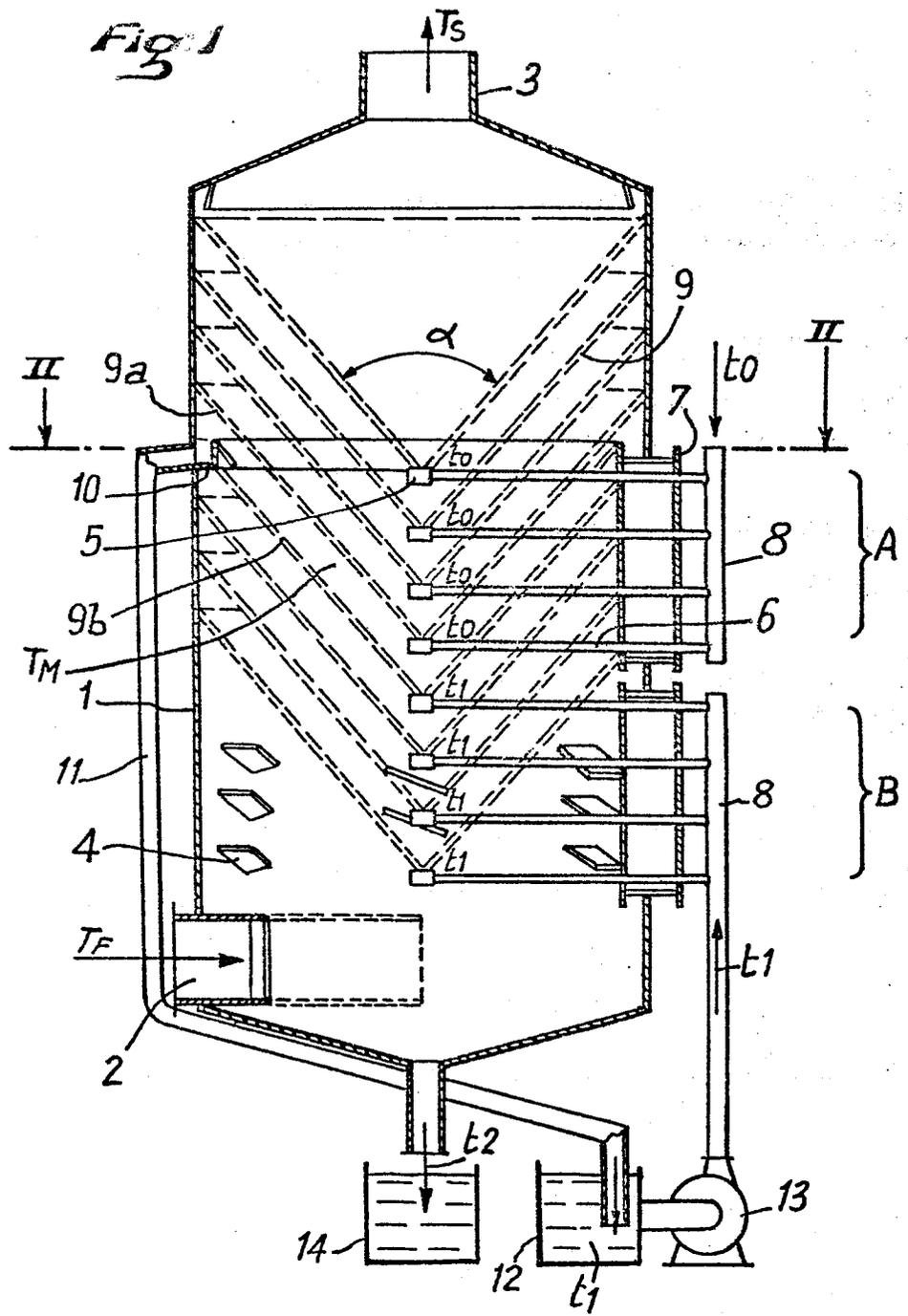
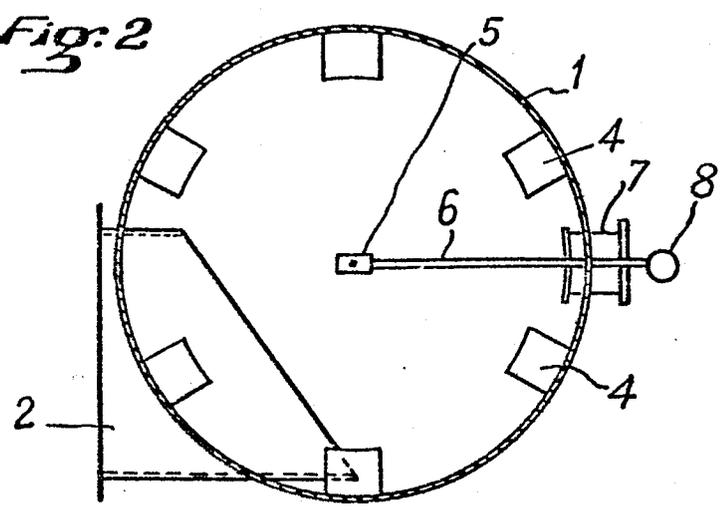


Fig: 2





Office européen  
des brevets

**RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE**

0097097

Numéro de la demande

EP 83 40 1179

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)
D, Y	US-A-4 287 138 (BUCKNER) * Colonne 1, lignes 9-21; colonne 3, lignes 2-57; figure 1 *	1-4, 8, 9	F 28 C 3/06
Y	US-A-4 028 440 (ENGALITCHEFF) * Figures 4, 5 *	1, 6, 7, 10, 11	
A	US-A-2 820 620 (ANDERSON) * Colonne 5, lignes 6-13; figures 1, 2, 3 *	12	
A	FR-A-2 066 052 (VON HUTTEN et al.) * Page 8, lignes 11-18; figure 5 *	5, 12	
P, A	US-A-4 345 916 (RICHARDS et al.) * Colonne 5, lignes 42-45; figures 1, 2 *	2	F 28 C F 28 F
A	US-A-2 838 135 (PILO et al.)		
A	DE-A-1 601 122 (BISCHOFF)		
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 13-09-1983	Examineur FILTRI G.
<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</p> <p>&amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			