



MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

NUMERO DE PUBLICATION : 1000524A4

NUMERO DE DEPOT : 8700507

Classif. Internat.: B01D B04C

Date de délivrance : 17 Janvier 1989

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d' invention, notamment l' article 22;

Vu l' arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d' invention, notamment l' article 28;

Vu le procès verbal dressé le 11 Mai 1987 à 14h45  
à l' Office de la Propriété Industrielle

## ARRETE :

ARTICLE 1.- Il est délivré à : S.A. SEPARGAZ  
15 Boulevard Royal, L-Luxembourg(G. D. LUXEMBOURG)

représenté(e)(s) par : VAN MALDEREN Michel, OFFICE VAN MALDEREN, Avenue  
J.-S. Bach, 22 bte 43 - 1080 BRUXELLES.

un brevet d' invention d' une durée de 20 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : PROCEDE ET DISPOSITIF DE SEPARATION AERODYNAMIQUE DE COMPOSANTS D'UN COURANT GAZEUX.

INVENTEUR(S) : Maldague Pierre, Av.W.Churchill 232, Bte 14, B-1180 Bruxelles (BE)

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l' invention, sans garantie du mérite de l' invention ou de l' exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeur(s).

Bruxelles, le 17 Janvier 1989  
PAR DELEGATION SPECIALE :

D. VANDERGHEYNST  
Conseiller-adjoint à l'Office  
de la Propriété industrielle

Procédé et dispositif de séparation aérodynamique de composants d'un courant gazeux.

La présente invention concerne un procédé et un dispositif de  
5 séparation par voie aérodynamique subsonique de composants existant  
sous forme condensée et/ou condensable dans un courant gazeux à  
composants multiples.

Un premier objet de la présente invention est de fournir un procédé et  
10 un dispositif améliorés permettant de séparer par voie aérodynamique  
subsonique au moins une partie des composants condensables d'un  
courant gazeux à composants multiples.

Un autre objet de l'invention est de fournir un procédé et un  
15 dispositif améliorés permettant de séparer par voie aérodynamique  
subsonique au moins une partie des aérosols solides et/ou liquides  
contenus dans un courant gazeux.

D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront de la  
20 description qui suit et des dessins annexés. Dans ceux-ci :

La Fig. 1 montre une forme d'application avec chambre de séparation annulaire convergente-divergente.

La Fig. 2 montre une forme d'application avec chambre de séparation annulaire uniquement convergente.

La Fig. 3 montre une vue agrandie de la section AA dans la tuyère axisymétrique représentée à la Fig. 2.

10 La Fig. 4 montre une vue agrandie de la section BB dans la tuyère axisymétrique représentée à la Fig. 2.

Dans la présente spécification, le sens des termes "exergie", "exergétique", doit être entendu comme suit. L'exergie est la fraction  
15 de l'énergie calorifique d'un élément qui peut théoriquement être convertie intégralement en énergie non calorifique. Par opposition, l'anergie est la fraction de l'énergie calorifique qui n'est pas convertible en une autre forme d'énergie. L'énergie calorifique d'un  
20 élément est la somme de son exergie et de son anergie. Toute transformation thermodynamique qui se fait sans perte d'exergie est appelée ici iso-exergétique, et son rendement exergétique est égal à l'unité. Toute perte d'exergie se convertit en anergie, et provoque une chute du rendement exergétique.

25 Dans le procédé et dispositif selon l'invention, le courant gazeux subit successivement une détente à des vitesses subsoniques élevées et une recompression par décélération, avec séparation inertielle des particules solides et/ou liquides préexistantes et/ou formées et/ou développées par condensation, la détente et la séparation se  
30 produisant de façon quasi iso-exergétique, la séparation des particules se produisant au cours de la détente par création au sein du courant gazeux en écoulement d'un gradient de concentration des particules dans le même sens que le gradient de pression au sein dudit courant, et l'extraction des particules séparées se faisant entre la  
35 fin de la détente et la fin de la recompression.

Dans une forme particulière du procédé et du dispositif selon l'invention, la séparation des particules entamée au cours de la détente se prolonge au cours de la recompression.

- 5 Avantageusement, la recompression se fait de façon quasi iso-exergétique.

De préférence, la séparation des particules se fait dans une chambre axisymétrique de section annulaire délimitée par une paroi extérieure, 10 une paroi intérieure, un ailetage déflecteur fixe transformant le mouvement essentiellement axial du courant entrant dans la chambre en mouvement hélico-spiral, et un ailetage redresseur fixe transformant le mouvement hélico-spiral de l'écoulement avant la sortie de la chambre en mouvement essentiellement axial.

- 15 Avantageusement, les vitesses du courant gazeux en écoulement restent modestes en amont et en aval de la chambre de séparation.

Dans une forme particulière du dispositif selon l'invention, celui-ci 20 comprend :

- (a) une tuyère axisymétrique convergente-divergente,
- (b) un corps central coaxial avec la tuyère, profilé en forme de bulbe du côté entrée du courant gazeux et en forme de cône du côté 25 sortie du courant gazeux,
- (c) un ailetage déflecteur fixe solidaire du corps central et de la tuyère,
- (d) un ailetage redresseur fixe solidaire du corps central et de la tuyère.

- 30 Avantageusement, le corps central comporte, entre le bulbe d'entrée et le cône de sortie, un profil extérieur convergent-divergent dont le col se trouve dans une section proche de celle du col de la tuyère.

- 35 Dans une autre forme particulière du dispositif selon l'invention, le corps central comporte, entre le bulbe d'entrée et le cône de sortie, un profil extérieur tronconique

Dans le procédé et le dispositif selon l'invention, le courant gazeux en écoulement ayant été progressivement déshomogénéisé en particules à séparer, la couche la plus enrichie en lesdites particules est écorcée par des moyens qui dérivent cette couche en la séparant de l'écoulement principal, dont elle représente une petite fraction. Cette couche dérivée subit ensuite une séparation des constituants non gazeux qu'elle contient, et est soit renvoyée pour recyclage en un point approprié du courant principal situé en amont ou au début de la zone de détente de celui-ci, soit utilisée à toute autre fin.

10 Par rapport aux procédés et dispositifs connus, le procédé et le dispositif selon l'invention ont pour avantage essentiel un rendement exergétique considérablement plus élevé. En d'autres termes, le supplément de consommation énergétique nécessaire, en plus de celle qui correspond au travail de séparation théorique, est relativement modeste, ce qui rend le procédé et le dispositif particulièrement avantageux en frais d'exploitation. Comme en outre les moyens nécessaires à la mise en oeuvre de l'invention sont très simples et compacts, leur coût d'investissement est modeste également, ce qui permet un "temps de retour" très court de l'investissement nécessaire.

La Fig. 1 illustre un cas d'application du procédé et dispositif selon l'invention. Le courant gazeux à traiter pénètre dans le plenum d'entrée 1 d'une tuyère axisymétrique comprenant une chambre de séparation 2 délimitée par une paroi externe 3, une paroi interne 4, un ailetage déflecteur 7 et un ailetage redresseur 11. Entre le plenum d'entrée 1 et la chambre 2, la paroi interne 4 se prolonge par une paroi en forme de bulbe 5 solidaire de la paroi 6 du plenum d'entrée 1. La paroi externe 3 de la chambre 2 se prolonge par la paroi externe 6 du plenum d'entrée 1.

Entre la chambre de séparation 2 et les plenums de sortie 8 du courant principal et 9 du courant dérivé, la paroi interne de la chambre 2 se prolonge par une paroi cylindro-conique 10 solidaire de la paroi externe 12 du plenum de sortie 9 et de l'écorceur 13. La paroi externe

3 de la chambre 2 se prolonge par la paroi externe 12 du plenum 9, et l'écorceur 13 se prolonge par la paroi cylindrique 14 du plenum de sortie 8.

5 Le courant gazeux entre dans le plenum 1 selon une direction généralement parallèle à l'axe de la tuyère. Il subit une première phase de détente accompagnée d'accélération essentiellement axiale en raison du rétrécissement de la section de passage jusqu'au droit de l'ailettage déflecteur 7. Ce dernier, dans lequel le courant subit une  
10 seconde phase de détente, imprime au courant en écoulement un mouvement hélico-spiral centripète. En d'autres termes, à la sortie de l'ailettage 7, chaque filet fluide a une vitesse comprenant une composante axiale, une composante radiale centripète, et une  
15 section se rétrécit dans le sens de l'écoulement, le courant en écoulement subit une troisième phase de détente jusqu'à la section 15, qui est la section minimale de passage du courant gazeux, c. à d. celle où la vitesse du courant atteint sa valeur la plus élevée, toutefois inférieure à la vitesse du son (nombre de Mach inférieur à l'unité).  
20 L'accroissement de vitesse entre la section de sortie de l'ailettage 7 et la section 15 porte surtout sur les composantes axiale et circumférentielle de la vitesse, qui varient d'ailleurs d'un filet fluide à l'autre. La vitesse circumférentielle maximale est atteinte au voisinage de la paroi interne 4 au droit du col où la composante  
25 radiale de la vitesse s'annule pour changer de sens en aval de la section 15. Depuis la section 15 du col de la chambre 2 jusqu'à la section d'entrée de l'ailettage redresseur 11, la section de passage du courant en écoulement augmente progressivement, ce qui entraîne une décélération de l'écoulement et une recompression  
30 concomitante du courant gazeux. Cette décélération porte surtout sur les composantes axiale et circumférentielle de la vitesse de chaque filet fluide, de façon que ces composantes des vitesses de l'écoulement à l'entrée de l'ailettage redresseur 11 redeviennent du même ordre que les composantes correspondantes des vitesses de  
35 l'écoulement à la sortie de l'ailettage déflecteur 7, la direction de la composante radiale étant centrifuge au lieu d'être centripète.

La description qui précède détaille les modifications qui se produisent dans le constituant principal du courant gazeux, c. à d. le gaz proprement dit. Les particules non gazeuses préexistantes et/ou engendrées en cours de détente par la condensation, suivent des trajectoires d'autant plus proches de celles des filets gazeux que leurs dimensions sont plus petites. Lorsque ces dimensions sont proches du micromètre, il s'agit d'aérosols dont la séparation inertielle nécessite l'application d'un champ de force centrifuge très élevé pendant un laps de temps suffisant.

10 Un tel champ est créé par l'ailettage défecteur 7 et s'amplifie considérablement dans la section de la chambre 2 située entre la sortie de l'ailettage 7 et le col 15. Au sein de ce dernier, le champ de force centrifuge atteint son maximum au voisinage de la paroi interne 4, et diminue sensiblement lorsqu'on s'écarte de cette dernière pour se rapprocher de la paroi externe 3. L'existence du champ de force centrifuge dans chaque section annulaire de passage de l'écoulement dans la chambre 2 a pour conséquence de créer un gradient de pression radial centrifuge au sein même de la section. Si la vitesse du gaz en écoulement peut atteindre une valeur proche de celle du son près de la paroi interne du col 15 de la chambre 2, elle s'en écarte progressivement pour atteindre une valeur sensiblement moindre près de la paroi externe du col de la chambre 2.

25 Les particules solides et/ou liquides présentes, et/ou engendrées par la détente, dans le courant gazeux subissent une centrifugation qui commence dans l'ailettage 7, qui s'intensifie considérablement pour atteindre son maximum au droit du col 15, puis s'affaiblit très progressivement pour cesser à la sortie de l'ailettage redresseur 11.

30 L'effet de la centrifugation dans l'ailettage défecteur 7 et dans la chambre 2 est de créer une vitesse relative radiale centrifuge des particules par rapport à la vitesse du courant gazeux, et ce pendant tout le parcours des particules dans la chambre 2. Le procédé selon l'invention tel qu'illustré par la Fig. 1 permet donc de faire remonter par les particules le gradient de pression radial qui existe

35

en tout point de la chambre 2. Du fait de ce déplacement relatif au sein de l'écoulement, la plupart des particules ainsi centrifugées atteignent la couche extérieure du courant en écoulement, dans laquelle elles s'accumulent et peuvent coalescer. Le champ centrifuge maintient les particules dans cette couche extérieure qui longe la paroi 3 jusqu'au droit de l'écorceur 13 qui dérive cette couche du courant principal vers le plenum de sortie 9 qui amène ce courant dérivé à une chambre de collecte.

10 Dans le procédé selon l'invention, on peut agir sur plusieurs paramètres pour modifier les performances selon les applications. Un premier paramètre est le nombre de Mach maximum admis dans la chambre 2. Un second paramètre est le rapport des rayons extérieur et intérieur des sections annulaires de passage de l'écoulement dans la chambre 2. Un troisième paramètre est la longueur de la chambre de séparation 2.

Il est clair que le travail absorbé par le procédé sous forme de perte de pression du courant gazeux entre le plenum d'entrée et celui de sortie sera d'autant plus grand que le travail théorique de séparation est grand. Comme le montre la Fig. 1, l'écoulement est organisé de façon à permettre une centrifugation maximale des particules à séparer, tout en réduisant dans toute la mesure du possible les pertes de pression parasites. Par exemple, les pertes dues aux tourbillons engendrés par les ailettes 7 et 11 sont minimisées grâce à la localisation de ces ailettes à des endroits où les vitesses sont relativement faibles. De même, le passage de la détente à la recompression du courant gazeux se fait instantanément au sein du col 15.

30 La Fig. 2 illustre un autre cas d'application du procédé et dispositif selon l'invention. Le courant gazeux à traiter pénètre dans le plenum d'entrée 16 d'une tuyère axisymétrique comprenant une chambre de séparation 17 délimitée par une paroi externe 18, une paroi interne 19, un ailette déflecteur 22 et un ailette redresseur 26. Dans le plenum d'entrée 16, la paroi interne 19 de la chambre 17 se prolonge



par une paroi en forme de bulbe 20 solidaire de la paroi 21 du plenum d'entrée 16. La paroi externe 18 de la chambre 17 se prolonge par la paroi externe 21 du plenum d'entrée 16.

5 La Fig. 3 montre une vue agrandie de la section AA dans la tuyère axisymétrique représentée à la Fig. 2.

La Fig. 4 montre une vue agrandie de la section BB dans la tuyère axisymétrique représentée à la Fig. 2.

10

Entre la chambre de séparation 17 et les plenums de sortie 23 du courant principal et 24 du courant dérivé, la paroi interne de la chambre 17 se prolonge par une paroi conique 19 solidaire de la paroi externe 18 du plenum de sortie 24 et de l'écorceur 28. La paroi externe 18 de la chambre 17 se prolonge par la paroi externe 27 du plenum 24, et l'écorceur 28 se prolonge par la paroi tronconique 29 du plenum de sortie 23.

20 Le courant gazeux entre dans le plenum 16 selon une direction généralement parallèle à l'axe de la tuyère. Il subit une première phase de détente accompagnée d'accélération essentiellement axiale en raison du rétrécissement de la section de passage jusqu'au droit de l'ailette déflecteur 22. Ce dernier, dans lequel le courant subit  
25 une seconde phase de détente, imprime au courant en écoulement un mouvement hélico-spiral centripète illustré par la trajectoire 31 d'un filet fluide. En d'autres termes, à la sortie de l'ailette 22, tous les filets fluides ont une vitesse comprenant une composante axiale, une composante radiale centripète, et une composante  
30 circonférentielle. Dans la chambre 17, la section se rétrécit dans le sens de l'écoulement et le courant en écoulement subit une troisième phase de détente jusqu'à la section 30 d'entrée de l'ailette redresseur 26, qui est la section minimale de passage du courant gazeux, c.à.d. celle où la vitesse du courant atteint sa valeur la  
35 plus élevée, toutefois inférieure à la vitesse du son (nombre de Mach inférieur à l'unité). L'accroissement de vitesse entre la section de

sortie de l'ailettage 22 et la section 30 porte sur chacune des trois composantes de la vitesse, qui varient d'ailleurs d'un filet fluide à l'autre. La vitesse circonférentielle maximale est atteinte en tout point de la section 30. Depuis la section 30 de la chambre 17 jusqu'à la section de sortie de l'ailettage redresseur 26, la section de passage du courant en écoulement augmente progressivement, ce qui entraîne une décélération de l'écoulement et une recompression concomitante du courant gazeux. Cette décélération porte surtout sur les composantes axiale et circonférentielle de la vitesse de chaque filet fluide, de façon que ces composantes des vitesses de l'écoulement à la sortie de l'ailettage redresseur 26 soient comparables aux composantes correspondantes des vitesses de l'écoulement à l'entrée de l'ailettage déflecteur 22.

15 La description qui précède détaille les modifications qui se produisent dans le constituant principal du courant gazeux, c.à.d. le gaz proprement dit. Comme dans la Fig. 1, les particules non gazeuses préexistantes et/ou engendrées en cours de détente par la condensation, suivent des trajectoires d'autant plus proches de celles des filets gazeux que leurs dimensions sont plus petites. Comme dans le Fig. 1, lorsque ces dimensions sont proches du micromètre, il s'agit d'aérosols dont la séparation inertielle nécessite l'application d'un champ de force centrifuge très élevé pendant un laps de temps suffisant.

25 Un tel champ est créé par l'ailettage déflecteur 22 et s'amplifie encore dans la partie de la chambre 17 située entre la sortie de l'ailettage 22 et la section d'entrée 30 de l'ailettage redresseur 26. Au sein de cette dernière section 30, le champ de force centrifuge atteint son maximum et disparaît ensuite pendant la traversée de l'ailettage redresseur 26. L'existence du champ de force centrifuge dans chaque section annulaire de passage de l'écoulement dans la chambre 17 a pour conséquence de créer un gradient de pression radial centrifuge au sein même de la section. La vitesse du gaz en écoulement peut atteindre une valeur proche de celle du son au droit de la section 30.

35

Les particules solides et/ou liquides présentes, et/ou engendrées par la détente, dans le courant gazeux subissent une centrifugation qui commence dans l'ailettage 22, qui a une intensité considérable dans la chambre 17 pour atteindre son maximum au droit de la section 30, puis disparaît dans l'ailettage redresseur 26.

L'effet de la centrifugation dans l'ailettage déflecteur 22 et dans la chambre 17 est de créer une vitesse relative radiale centrifuge des particules par rapport à la vitesse du courant gazeux, et ce pendant tout le parcours des particules dans la chambre 17. Le procédé selon l'invention tel qu'illustré par la Fig. 2 permet donc de faire remonter par les particules le gradient de pression radial qui existe en tout point de la chambre 17. Du fait de ce déplacement relatif au sein de l'écoulement, la plupart des particules ainsi centrifugées migrent vers la couche extérieure du courant en écoulement, dans laquelle elles s'accumulent et peuvent coalescer. Le champ centrifuge maintient les particules dans cette couche extérieure qui longe la paroi 18 jusqu'au droit de l'écorceur 28 qui dérive cette couche du courant principal vers le plenum de sortie 24 qui amène ce courant dérivé à une chambre de collecte.

Dans la mise en oeuvre du procédé selon l'invention illustrée par la Fig. 2, on peut agir sur plusieurs paramètres pour modifier les performances selon les applications. Un premier paramètre est le nombre de Mach maximum admis dans la chambre 17. Un second paramètre est le rapport des rayons extérieur et intérieur des sections annulaires de passage de l'écoulement dans la chambre 17. Un troisième paramètre est la longueur de la chambre de séparation 17.

Il est clair que, tout comme dans l'application illustrée par la Fig. 1, le travail absorbé par le procédé sous forme de perte de pression entre le plenum d'entrée et celui de sortie sera d'autant plus grand que le travail théorique de séparation est grand. Dans l'application selon la Fig. 2 comme dans celle selon la Fig. 1, l'écoulement est organisé de façon à permettre une centrifugation

maximale des particules à séparer, tout en réduisant dans toute la mesure du possible les pertes de pression parasites. Les pertes tourbillonnaires dues aux ailettes 22 et 26 sont plus élevées, mais chaque filet fluide peut subir une détente jusqu'à un nombre de Mach 5 proche de l'unité, ce qui permet une condensation plus poussée que dans l'application illustrée à la Fig. 1.

Dans la Fig. 1, l'ailette déflecteur 7 et l'ailette redresseur 11 sont tous deux situés entre des plans perpendiculaires à l'axe de la 10 tuyère. Dans la Fig. 2, l'ailette déflecteur 22 et l'ailette redresseur 26 sont tous deux situés entre des cylindres à génératrices rectilignes parallèles à l'axe de la tuyère. Dans le procédé et 15 dispositif selon l'invention, ces dispositions de l'ailette déflecteur d'une part, de l'ailette redresseur d'autre part, ne sont pas limitatives : chacun de ces ailettes peut être disposé de toute manière généralement quelconque qui respecte le caractère quasi iso-exergétique des écoulements qui caractérise l'invention.

Lorsque la séparation selon l'invention doit se faire dans un courant 20 gazeux qui ne contient aucune particule ni centre de nucléation préexistant, à l'état solide ou liquide, il est nécessaire d'ensemencer et/ou de traiter le courant gazeux de toute manière connue pour y introduire de tels centres de nucléation qui permettent à la condensation de se produire en régime subsonique.

25 Il faut noter que la préexistence d'aérosols solides ou liquides dans le courant gazeux à traiter favorise la condensation sur les particules en cause et la croissance concomitante de leur taille, ce qui améliore leur rendement de séparation dans le procédé et le 30 dispositif selon l'invention.

REVENDEICATIONS.

1. Procédé de séparation par voie aérodynamique subsonique de  
composants existant sous forme condensée et/ou condensable dans  
5 un courant gazeux à composants multiples, dans lequel le courant  
gazeux subit successivement une détente à des vitesses  
subsoniques élevées et une recompression par décélération, avec  
séparation inertielle des particules solides et/ou liquides  
préexistantes et/ou formées et/ou développées par condensation,  
10 la détente et la séparation se produisant de façon quasi  
iso-exergétique, la séparation des particules se produisant au  
cours de la détente par création au sein du courant gazeux en  
écoulement d'un gradient de concentration des particules dans le  
même sens que le gradient de pression au sein dudit courant,  
15 caractérisé en ce que l'extraction des particules séparées se  
fait entre la fin de la détente et la fin de la recompression.
2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que la  
séparation des particules entamée au cours de la détente se  
20 prolonge au cours de la recompression.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce  
que la recompression se fait de façon quasi iso-exergétique.
- 25 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,  
caractérisé en ce que la séparation des particules se fait dans  
une chambre axisymétrique de section annulaire délimitée par une  
paroi extérieure, une paroi intérieure, un ailetage déflecteur  
fixe transformant le mouvement essentiellement axial du courant  
entrant dans la chambre en mouvement hélico-spiral, et un  
30 ailetage redresseur fixe transformant le mouvement hélico-spiral  
de l'écoulement avant la sortie de la chambre en mouvement  
essentiellement axial.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les vitesses du courant gazeux en écoulement restent modestes en amont et en aval de la chambre de séparation.
- 5 6. Dispositif de séparation par voie aérodynamique subsonique de composants existant sous forme condensée et/ou condensable dans un courant gazeux à composants multiples dans lequel le courant gazeux subit successivement une détente à des vitesses subsoniques élevées et une recompression par décélération, avec  
10 séparation inertielle des particules solides et/ou liquides préexistantes et/ou formées et/ou développées par condensation, caractérisé en ce qu'il comprend
- (a) une tuyère axisymétrique convergente-divergente  
15 (b) un corps central coaxial avec la tuyère, profilé en forme de bulbe du côté entrée du courant gazeux et en forme de cône du côté sortie du courant gazeux  
(c) un ailetage déflecteur fixe solidaire du corps central et de la tuyère  
20 (d) un ailetage redresseur fixe solidaire du corps central et de la tuyère
7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le corps central comporte, entre le bulbe d'entrée et le cône de  
25 sortie, un profil extérieur convergent-divergent dont le col se trouve dans une section proche de celle du col de la tuyère
8. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que le corps central comporte, entre le bulbe d'entrée et le cône de  
30 sortie, un profil extérieur tronconique

FIG. 1



