



(11) **EP 1 919 626 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
12.05.2010 Bulletin 2010/19

(51) Int Cl.:
B03C 3/32 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **06762783.6**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2006/007282

(22) Date de dépôt: **24.07.2006**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2007/012447 (01.02.2007 Gazette 2007/05)

(54) **DISPOSITIF D' EXTRACTION AIR/EAU PAR COLLECTION ELECTROSTATIQUE SEMI-HUMIDE
ET PROCEDE UTILISANT CE DISPOSITIF**

VORRICHTUNG ZUR LUFT-/WASSER-EXTRAKTION DURCH HALBFEUCHTES
ELEKTROSTATISCHES AUFFANGEN UND VERWENDUNGSVERFAHREN DAFÜR

DEVICE FOR AIR/WATER EXTRACTION BY SEMI-HUMID ELECTROSTATIC COLLECTION AND
METHOD USING SAME

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

- **ACHARD, Jean-Luc**
F-38100 Grenoble (FR)
- **FOUILLET, Yves**
F-38340 Voreppe (FR)
- **CHARLES, Raymond**
F-38430 Saint Jean de Morians (FR)

(30) Priorité: **28.07.2005 FR 0508100**

(43) Date de publication de la demande:
14.05.2008 Bulletin 2008/20

(74) Mandataire: **Stolmár, Matthias**
Stolmár Scheele & Partner
Patentanwälte
Blumenstrasse 17
80331 München (DE)

(73) Titulaires:

- **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE**
75752 Paris Cédex 15 (FR)
- **CNRS**
75794 Paris Cedex 16 (FR)

(56) Documents cités:
FR-A- 2 101 249 US-A- 4 544 382
US-A- 4 597 780 US-A1- 2004 083 790
US-A1- 2004 226 449 US-B1- 6 365 112

(72) Inventeurs:

- **GALBRUN, Ernest**
F-38400 Saint Martin d'Hères (FR)

EP 1 919 626 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] L'invention est relative à un dispositif d'extraction air/eau par collection électrostatique humide, en particulier semi-humide, comprenant une chambre contenant une électrode de décharge pour créer un flux d'ions à partir d'une poche de gaz ionisée entourant l'électrode de décharge et une contre-électrode, une entrée pour le mélange air et aérosol à traiter qui contient des particules liquides ou solides, un tube d'arrivée de vapeur et une sortie pour l'air traité, et à un procédé utilisant ce dispositif. Ci-dessous, ces dispositifs seront mentionnés sous le terme d'« électrofiltre ».

[0002] Il est d'une grande importance de pouvoir séparer dans l'atmosphère les constituants particuliers des gaz, afin soit de nettoyer l'air traité (par exemple à proximité de bâtiments industriels), ou d'analyser les particules qu'il transporte. Une méthode de séparation très importante consiste en la séparation électrostatique des impuretés dans un électrofiltre. Dans le cas du nettoyage de l'air cependant, des structures de grande taille sont nécessaires pour obtenir des électrodes de collecte ayant la plus grande surface possible, afin de pouvoir augmenter l'efficacité du nettoyage. De grandes structures sont alors nécessaires et des électrofiltres de cette taille réclament à cette fin de grosses quantités d'énergie électrique, destinées à la création et au maintien des champs électrostatiques. De tels électrofiltres ne peuvent donc être utilisés que sur des supports fixes. Dans le cas présent, où l'on souhaite utiliser l'électrofiltre pour analyser les particules contenues dans l'air, des instruments mobiles sont plus avantageux puisque les zones de surveillance intéressant ne sont pas nécessairement fixes ni à proximité d'une source d'électricité. Dans ce cas, il reste primordial d'avoir un taux de collecte très bon pour pouvoir détecter des particules même en très petites quantités.

[0003] Il existe actuellement deux types d'appareils, les électrofiltres secs (simplement appelés électrofiltres) et les électrofiltres humides :

[0004] Un électrofiltre (ESP, electrostatic precipitator ou ESP en anglais) est un appareil qui nettoie le gaz en utilisant les forces électrostatiques produites par un champ électrique que traversent les particules. Ce champ électrique, qui est élevé (plusieurs dizaines de kV par cm) et non uniforme, est induit par deux électrodes. Il a plus précisément deux effets : il crée un flux d'ions à partir d'une poche de gaz ionisée entourant une des électrodes, typiquement en forme de pointe ou de fil, portée à un potentiel élevé: ce phénomène est appelé effet couronne. Les particules que l'on fait transiter à travers ce flux d'ions se trouvent alors revêtues de ces ions et chargées. Elles deviennent sensibles aux forces de Coulomb qui les entraînent sur la contre-électrode cylindrique ou plane, portée à la masse. L'efficacité d'un électrofiltre est remarquable pour toutes les tailles avec un minimum généralement en dessous du micron. On peut trouver des appareils fonctionnant selon ce principe

dans le commerce (par exemple chez United Air Specialists, Inc.). Les avantages sont la compacité et un rendement d'environ 1 pour les particules plus grandes que le micron. Le principal inconvénient de ces systèmes réside dans la collecte des particules submicroniques, dont le rendement est médiocre.

[0005] La seconde famille d'électrofiltres est constituée par les électrofiltres humides. Dans ce cas, l'air à traiter contenant les particules est préalablement mélangé avec de la vapeur d'eau introduite sous forme de gouttelettes dans une unité en amont de l'unité de collection. L'objectif est ici d'augmenter la taille des gouttelettes par condensation et de rendre plus sensibles les plus petites particules aux champs électriques. Il existe également de tels systèmes dans le commerce (par exemple chez Wheelabrator Air Pollution Control Inc.). Ces systèmes, bien que permettant la collecte de très petites particules avec un excellent rendement, sont destinés à une utilisation industrielle et nécessitent des quantités d'eau très importantes (plusieurs dizaines de litres par heure). Ils ne conviennent donc pas aux applications portables.

[0006] WO-2004/041440 présente un électrofiltre portable comprenant :

un système d'entrée d'air formé d'un passage d'air muni d'une entrée et d'une sortie à ses extrémités et d'une pompe à air, destinée à aspirer l'air par ladite entrée à travers ledit passage d'air puis hors de ladite sortie, créant ainsi un courant d'air à travers ledit passage d'air ;

une section d'ionisation située dans ledit système d'entrée d'air près de ladite entrée, qui est capable d'ioniser les analytes dans le courant d'air ; et

une électrode de collecte située dans ledit système d'entrée d'air entre la section d'ionisation et la sortie dudit système d'entrée d'air, où ladite électrode de collecte comprend une électrode tubulaire, verticale et est exposée audit courant d'air.

[0007] L'électrofiltre de WO-2004/041440 comprend en outre un réservoir contenant un liquide qui est relié hydrauliquement à l'électrode de collecte; une pompe à liquides pour pomper ledit liquide dudit réservoir à l'intérieur de l'électrode de collecte, de telle sorte que ledit liquide coule sur l'extérieur de ladite électrode de collecte et est retourné vers le réservoir. Le liquide sert à nettoyer l'électrode de collecte de manière continue ou périodique, ce qui évite l'arrêt de l'électrofiltre pour nettoyer ou remplacer les électrodes. Le liquide est typiquement transporté vers un système de gestion des déchets, où il sera filtré ou à tout le moins nettoyé.

[0008] L'électrofiltre de WO-2004/041440 n'est donc pas un électrofiltre humide, l'eau n'intervient que lors de la récupération des résidus à la contre électrode et pas lors de la collecte. Le défaut de ce dispositif est donc celui de tous les précipitateurs secs : il a une efficacité

faible pour les petites particules.

[0009] Le brevet américain No. Re. 35990 (reissue) présente une méthode et un dispositif pour traiter les résidus. Ces résidus sont incinérés dans une atmosphère riche en oxygène pour produire de la cendre et des gaz résiduels et ces gaz sont brûlés dans une atmosphère déficiente en oxygène pour produire des gaz résiduels brûlés. Un module de filtration électrostatique est utilisé pour purifier le gaz brûlé qui y pénètre, le rendant ainsi plus acceptable du point de vue environnemental.

[0010] GB 2403 672 présente un électrofiltre dans lequel les gouttelettes produites par un générateur de gouttelettes à ultrasons peuvent être utilisées pour prévenir la formation de particules solides dans l'électrode de collecte poreuse. En conséquence, des gouttes d'eau peuvent d'ordinaire être ajoutées à l'aérosol avant d'être introduites dans l'électrofiltre.

[0011] Ces deux dernières solutions impliquent un consommation d'eau et d'énergie qui son incompatibles avec une utilisation portable.

[0012] FR 2 101 249 A divulgue un précipitateur électrostatique de gouttelettes destiné au retrait de la poussière et d'autres matières polluantes dans le courant gazeux. La force électrostatique au champ électrostatique aspire le fluide hors de la buse et provoque la rupture du fluide en petites gouttelettes. Les gouttelettes ayant un rapport charge sur masse très élevée, subissent une accélération très importante du fait du champ régnant entre les buses et la plaque collectrice. Les gouttelettes qui se déplacent peuvent rencontrer les particules présentes dans le courant de gaz et les heurter dans le courant gazeux en les retirant vers la plaque collectrice. Le temps de résidence des gouttelettes dans le courant gazeux est très faible, mais grâce à la grande vitesse la probabilité de collision avec des particules est très importante. Une petite quantité de vapeur présente dans le gaz réduit est donc suffisante pour obtenir une efficacité de collection améliorée par rapport à un précipitateur électrostatique sec. Afin d'éviter un gain de vapeur entre l'électrode de décharge de toute sa longueur, les gouttelettes d'eau selon la FR 2 101 249 A sont accélérées en sortant des buses formant les électrodes de décharge et sont ensuite réparties dans tous les courants de gaz. La vapeur est réduite par un tube d'arrivée de vapeur dans l'espace entre l'électrode de décharge et la contre électrode. Une caractéristique de la FR 2 101 249 A consiste en ce que l'électrode de décharge est formée par les buses elles-mêmes qui servent en même temps comme tube d'arrivée de vapeur.

[0013] La US 4,544,382 A divulgue un électro-filtre qui peut notamment être utilisé à des températures élevées. Les particules présentes dans un courant de gaz à nettoyer sont chargées dans une région spécifique du filtre. Le principe du dispositif selon la US 4,544,382 A consiste en que l'air comprimé et humide entre vite dans le dispositif et dans le gaz humide une décharge couronne se fait entre une aiguille et la tuyère. Dans la partie rétréci de l'injecteur, l'air comprimé et humide subit une expan-

sion qui crée des microparticules de glace qui sortent de l'injecteur et piège les particules chargées dans la couronne de décharge.

[0014] L'objectif de la présente invention est donc de proposer un système permettant la collecte de particules en suspension dans un gaz par un système d'électrofiltres avec une grande efficacité, en particulier la collecte des particules liquides ou solides de taille comprise entre 10 nm et 100 μm , et une consommation en énergie et en produits (par exemple d'eau) compatible avec une utilisation portable.

[0015] D'autre part, cette invention vise à permettre la collecte efficace des particules submicroniques en suspension dans l'air en vue de leur analyse. Ce dispositif permet en outre les applications portables et a une consommation en énergie et en produits (essentiellement en eau) suffisamment faible pour disposer d'une autonomie convenable.

[0016] La présente invention concerne donc un dispositif d'extraction air/eau par collection électrostatique humide, comprenant une chambre contenant une électrode de décharge pour créer un flux d'ions à partir d'une poche de gaz ionisée entourant l'électrode de décharge et une contre-électrode, une entrée pour le mélange air et aérosol à extraire qui contient des particules liquides ou solides, un tube d'arrivée de vapeur et une sortie pour l'air nettoyé, **caractérisé en ce que** le dispositif permet d'introduire la vapeur par ledit tube d'arrivée de vapeur dans l'espace entre l'électrode de décharge et la contre-électrode de manière à former une gaine de vapeur entourant l'électrode de décharge sur toute sa longueur, de telle sorte que l'air traité n'est pas saturé en vapeur.

[0017] La présente invention concerne également un procédé de collection par méthode électrostatique humide des particules liquides ou solides de taille comprise entre 10 nm et 100 μm en suspension dans un gaz en utilisant le dispositif décrit ci-dessus, **caractérisé en ce que**

- (a) la vapeur est introduite dans l'espace entre la contre-électrode et l'électrode de décharge pour établir une gaine de vapeur autour de l'électrode de décharge,
- (b) un mélange air et aérosol est introduit sous forme d'un écoulement dans l'espace entre l'électrode de décharge et la contre-électrode,
- (c) les molécules de vapeur sont ionisées par l'électrode de décharge,
- (d) les molécules de vapeur ionisées chargent des particules,
- (e) les particules chargées croissent pour former des gouttelettes, et
- (f) lesdites gouttelettes sont amenées jusqu'à la contre-électrode et sont précipitées sur celle-ci,
- (g) les gouttelettes sont récupérées et transportées pour être analysées.

[0018] D'autres caractéristiques et avantages de l'in-

vention ressortiront de la description qui va suivre, en référence aux figures des dessins annexés. Les exemples de réalisation décrits avec référence aux dessins ci-annexés ne sont nullement limitatifs.

La figure 1 illustre le principe de l'électrofiltre sec d'après l'état de la technique.

La figure 2 illustre le principe de l'électrofiltre humide d'après l'état de la technique.

La figure 3 illustre le principe de fonctionnement du collecteur électrostatique semi-humide d'un dispositif selon la présente invention.

La figure 4 montre une vision éclatée d'une réalisation éventuelle du dispositif selon la présente invention.

La figure 5 montre qu'un écoulement rotatif dans la chambre contenant une électrode de décharge et une contre-électrode permet de stabiliser le jet de vapeur. Figure 5 illustre l'utilisation d'entrées d'air tangentielles aux parois du canal principal (« canalisation principale ») afin de créer un écoulement d'air hélicoïdal.

La figure 6 montre un dispositif selon la présente invention avec un système de collecte des particules ayant impacté la contre-électrode utilisant des canaux microfluidiques.

La figure 7 montre un dispositif selon la présente invention avec un système de collecte des particules ayant impacté la contre-électrode utilisant un balayage systématique par électromouillage de la contre-électrode.

La figure 8 illustre un exemple de réalisation de la présente invention où une rigole hélicoïdale peut être usinée sur la face intérieure de la chambre du dispositif selon la présente invention contenant des électrodes (canalisation principale) pour récolter les particules, et former un entrelacs avec la contre-électrode, elle aussi constituée d'un fil hélicoïdal.

La figure 9 décrit un exemple de réalisation de la présente invention avec l'utilisation d'une contre-électrode plane envisageable pour faciliter la collecte des particules.

La figure 10 montre un autre exemple de réalisation selon la présente invention (deuxième exemple de configuration plane envisageable) pour guider le mélange vapeur / aérosol.

[0019] Dans les figures, des indices de référence identiques sont utilisés pour la désignation de parties identi-

ques.

[0020] La figure 1 illustre le principe de l'électrofiltre sec d'après l'état de la technique. Dans la figure 1, 1 fait référence à l'électrode de décharge, 2 à la contre-électrode, 3 à l'entrée pour le mélange air et aérosol, 4 à la sortie pour l'air nettoyé et 5 à la direction du vent ionique resp. des particules chargées de l'électrode de décharge 1 sur la contre-électrode 2. Grâce aux effets physiques en jeu, les particules qui sont soumises au vent ionique créé à l'électrode 1 (décharge couronne) sont chargées. Ensuite, les particules chargées sont transportées vers la contre-électrode 2 (collecteur électrostatique). Il est possible de charger les particules en amont au niveau des entrées, auquel cas la seule collecte -qui requiert une tension beaucoup plus faible- se fait grâce au dispositif ci-contre. Ce procédé permet d'optimiser les deux phénomènes physiques indépendamment, tout en perdant en compacité. L'utilisation d'un tel procédé impose en outre que le trajet de l'air traité entre l'unité de charge et l'unité de collecte soit très court pour ne pas laisser aux particules le temps de se décharger.

[0021] La figure 2 illustre le principe de l'électrofiltre humide d'après l'état de la technique. Dans la figure 2, 6 fait référence à un récipient pour un liquide, en général de l'eau, qui sera utilisé pour la formation des gouttelettes. Grâce aux mécanismes physiques mis en jeu, on obtient une nucléation de gouttes autour des particules que l'on souhaite collecter. Il se forme un brouillard. Des particules encapsulées dans les gouttelettes sont collectées par force électrostatique.

[0022] Cet électrofiltre permet de collecter très efficacement les petites particules qui sont artificiellement grossies. Mais il a pour inconvénient que la quantité de solvant (en général de l'eau) nécessaire à la nucléation autour des particules submicroniques est très importante. Ainsi pour traiter 500 l/min en captant les particules de 1 μm , on consomme 200 l d'eau par jour.

[0023] La figure 3 illustre le principe de fonctionnement du dispositif d'extraction air/eau par collection électrostatique semi-humide de la présente invention. Le dispositif d'extraction air/eau par collection électrostatique humide de la présente invention comprend une chambre 7 contenant une électrode de décharge 1 pour créer un flux d'ions à partir d'une poche de gaz ionisée entourant l'électrode de décharge 1 et une contre-électrode 2, une entrée 3 pour le mélange air et aérosol à nettoyer qui contient des particules liquides ou solides, un tube d'arrivée de vapeur 8 et une sortie 4 pour l'air nettoyé, **caractérisé en ce que** le dispositif permet d'introduire la vapeur par ledit tube 8 d'arrivée de vapeur dans l'espace 9 entre l'électrode de décharge 1 et la contre-électrode 2 de manière à former une gaine de vapeur 10 entourant l'électrode de décharge 1 sur toute sa longueur, si bien que l'air traité n'est pas saturé en vapeur. Dans la figure 3, les chiffres 6 et 12 réfèrent au générateur de vapeur (d'eau). 6 indique le réservoir de solvant et 12, le chauffage pour produire la vapeur à partir du solvant. 11 indique une pompe qui entraîne le mélange air et aérosol au

travers du dispositif.

[0024] La vapeur de solvant (préférentiellement d'eau) est produite à partir d'une réserve située en amont 6. Elle est conduite au sein de la chambre 7. L'électrode de décharge 1 est préférentiellement située dans l'axe du tube d'arrivée de vapeur 8 et portée à haute tension par une alimentation mobile (qui n'est pas montrée ici). La tension est en général de 5 à 10 kV. L'électrode de décharge 1 peut être soit une pointe, soit un fil. Elle peut être maintenue et guidée à partir du tube d'arrivée de vapeur ou à partir de la canalisation.

[0025] Le flux principal d'air contenant les particules (le mélange air et aérosol) pénètre à 3 en périphérie de l'électrode de décharge 2. Ainsi, une gaine de vapeur 10 entoure l'électrode de décharge 1 sur toute sa longueur. De cette manière, la décharge se fait dans la vapeur, et les ions créés sont dans le cas de l'eau des ions H_3O^+ . Si un autre solvant est utilisé, d'autres ions peuvent être formés. Ces ions vont charger les particules présentes dans l'écoulement comme dans un électrofiltre classique. Le débit est tel que l'écoulement d'air et d'aérosol dans la canalisation reste de préférence laminaire. La vitesse du flux gazeux sera déterminée par l'action de la pompe 11.

[0026] A la limite de la gaine de vapeur (d'eau) 10, des gouttelettes se forment et encapsulent les particules, comme dans un électrofiltre par voie humide. Puis, lorsque ces gouttelettes sont amenées vers la contre-électrode, elles entraînent avec elles toutes les particules qu'elles rencontrent.

[0027] Dans la présente invention, les gouttelettes de vapeur se forment très tard. Tout d'abord, la vapeur est introduite par la buse à l'extrémité du tube d'arrivée de vapeur 8 dans l'espace entre les électrodes et on travaille dans une atmosphère non-saturée. Ce n'est qu'à l'extrémité de la gaine de vapeur que les gouttelettes se forment.

[0028] Ceci est réalisé de préférence dans le dispositif selon la présente invention grâce aux propriétés suivantes de la buse :

- l'extrémité de l'électrode de décharge se situe à une distance de la buse inférieure au diamètre de la buse.
- le débit de vapeur d'eau en sortie de la buse vaut entre quelques millièmes et cinq centièmes du débit d'air.

[0029] En outre, la sortie de la buse doit se situer entre l'électrode de décharge 1 et la contre-électrode 2 afin que les gouttelettes récoltées traversent l'intégralité de l'espace contenant le mélange air et aérosol.

[0030] Il est particulièrement avantageux que la vapeur sortant de la buse présente les propriétés suivantes : Pression légèrement supérieure ou égale à la pression atmosphérique, température égale à la température d'ébullition (100°C à pression atmosphérique) ou supérieure, débit inférieur à cinq centièmes du débit

d'air. Ainsi, l'air auquel se mélange la vapeur ne sera pas saturé.

[0031] L'avantage de la présente invention (dispositif et procédé) est de bénéficier du gain en rendement de collecte similaire à celui des électrofiltres par voie humide, tout en utilisant une quantité du solvant (préférentiellement d'eau) beaucoup moins importante, puisqu'il n'est pas question ici de saturer en vapeur d'eau tout l'air traité.

[0032] Différents solvants peuvent être utilisés dans la présente invention, pour autant qu'ils puissent être vaporisés dans le dispositif et que les particules présentes dans la vapeur puissent être au moins partiellement ionisées. Exemples de solvants adéquats : éthanol, acétone, eau. Ceux-ci peuvent être utilisés seuls ou - si possible - en mélange. L'eau étant utilisée de préférence, la vapeur est donc de la vapeur d'eau dans le dispositif et dans le procédé selon la présente invention.

[0033] Le solvant (préférentiellement de l'eau) qui a impacté la contre-électrode 2 n'a plus qu'à être récupéré pour être analysé. Dans le cas d'une analyse biologique ou chimique, il est important que le volume du solvant ainsi récupéré soit aussi petit que possible afin d'éviter une trop grande dilution et de favoriser la détection.

[0034] La figure 4 montre une vision éclatée d'une réalisation éventuelle du dispositif selon la présente invention. On y voit en particulier que l'électrode de décharge 1 peut être fixée indifféremment au bâti dans lequel a lieu l'écoulement principal ou être intégrée à la buse d'éjection de vapeur 13. Dans les deux cas, l'électrode de décharge 1 peut être courte et relativement épaisse, auquel cas la décharge se fera uniquement à la pointe de l'électrode de décharge 1; ou bien, elle peut être fine et traverser toute la chambre 7 (la canalisation), auquel cas la décharge a lieu sur toute la longueur de l'électrode de décharge 1 (on parle de décharge fil). 14 indique un boîtier de commande électrique à basse tension et 15 indique un dispositif de détection (l'unité d'analyse9).

[0035] L'électrode de décharge 1 est en général au milieu de la chambre 7. Préférentiellement, l'électrode de décharge est située dans l'axe du tube d'arrivée de vapeur.

[0036] L'électrode de décharge 1 peut avoir des formes différentes, par exemple une forme de peigne ou une section carrée. Il est nécessaire pour générer une décharge localisée qu'elle possède une ou des zones dont le rayon de courbure est suffisamment petit pour amorcer la décharge. Il est préférable que l'électrode de décharge soit une pointe ou un fil.

[0037] Les électrodes 1 ou 2 peuvent être constituées par différents matériaux conducteurs, par exemple de l'acier inoxydable ou des plastiques conducteurs.

[0038] La contre-électrode 2 peut être constituée par un matériau conducteur compact ou poreux, en général du métal. Si un matériau conducteur poreux est utilisé, il peut se présenter sous différentes formes: du métal perforé, du métal fritté poreux, une ou plusieurs couches de treillis métallique préférentiellement roulé en forme de cylindre, un coussin de fibres ou de fils métalliques en

forme de cylindre, etc. Pendant que le gaz coule dans le milieu poreux, les particules sont transportées à proximité de la surface des éléments conducteurs, permettant ainsi aux particules chargées de se déposer effectivement à la surface des éléments conducteurs du milieu poreux. Si des électrodes de collection solides sont utilisées, telles qu'un tube solide entourant l'électrode centrale de décharge, les particules chargées doivent être précipitées par la force électrique à travers la couche-frontière fluide adjacente à la surface interne du tube qui l'entoure.

[0039] Dans un exemple de réalisation préférable de la présente invention, la contre-électrode 2 est munie d'un système de refroidissement.

[0040] Il est préférable selon la méthode de récupération des particules que la contre-électrode 2 soit rendue hydrophile ou hydrophobe par un traitement de surface. Ce traitement peut consister en un rainurage (qui rend la surface très mouillante par capillarité) ou en un dépôt chimique.

[0041] Le présent dispositif est très efficace et réalisable en petit format. La forme cylindrique avec section transversale circulaire est la forme la plus adéquate dans de nombreuses applications. Toutefois, il n'est pas nécessaire d'avoir une section transversale de forme circulaire pour tirer parti de nombreux avantages de l'invention. Des sections transversales rectangulaires, elliptiques ou d'autres formes peuvent être utilisées dans le dispositif selon la présente invention.

[0042] Le dispositif de la présente invention peut se présenter sous des tailles différentes. Ainsi dans l'exemple de réalisation de la figure 4, le diamètre du cylindre (contre-électrode) est de 50 mm et le diamètre externe de la buse est de 5 mm et le diamètre interne de 4 mm. Mais ce diamètre n'a pas une influence essentielle sur la formation des gouttelettes.

[0043] Dans le contexte de la présente invention il est avantageux que le flux principal d'air contenant les particules pénètre tangentiellement aux parois du canal (chambre 7) de manière à obtenir un écoulement hélicoïdal. Cet écoulement permet d'une part d'amener les plus grosses particules vers la contre-électrode 2 par la force centrifuge, et d'autre part, de stabiliser l'écoulement de vapeur engendré autour de l'électrode de décharge pour s'assurer qu'une gaine cylindrique de vapeur entoure l'électrode de décharge 1 sur toute sa longueur.

[0044] La figure 5 montre qu'un écoulement rotatif permet de stabiliser le jet de vapeur sortant du tube d'arrivée de vapeur 8. La figure 5 illustre l'utilisation d'entrées tangentielles au canal principal afin de créer un écoulement d'air hélicoïdal dans la chambre 7. 3 indique une entrée pour le mélange air et aérosol. Ceci permet de stabiliser la zone de vapeur qui est ainsi confinée en un cylindre entourant l'électrode de décharge 1. De plus, on peut, de cette manière, séparer le collecteur (contre-électrode 2) en deux zones :

Dans la zone I, on récolte les particules les plus gros-

ses par effet cyclone (elles sont entraînées vers l'extérieur par force centrifuge) :

Dans la zone II, on récolte les particules plus petites à l'aide des forces électrostatiques.

[0045] L'utilisation d'un écoulement principal hélicoïdal permet de stabiliser l'écoulement de vapeur ainsi que de collecter rapidement les plus grosses particules. Il est donc préférable que l'écoulement d'air et d'aérosol entre tangentiellement aux parois de la chambre 7 afin de créer un écoulement hélicoïdal.

[0046] D'autre part, il est avantageux que l'électrode de collecte (contre-électrode 2) subisse un traitement de surface (rainurage ou autre traitement similaire) afin de la rendre très hydrophile et d'uniformiser le dépôt des gouttelettes sur toute la surface par une sorte de film. La figure 6 montre un dispositif selon la présente invention avec un système de collecte des particules ayant impacté la contre-électrode 2 utilisant des canaux microfluidiques 14. La structuration de la contre-électrode 2 permet de garder en permanence un film liquide mouillant la surface sans avoir à l'alimenter en continu.

[0047] Il est en outre avantageux que la contre-électrode 2 soit partiellement plongée dans un réservoir contenant un solvant. Le solvant est préférablement de l'eau. Dans ce cas, la contre-électrode 2 se trouve partiellement dans un réservoir contenant du solvant pour mouiller la contre-électrode 2 avec un film de ce solvant. Ce solvant est préférablement de l'eau pouvant contenir des additifs.

[0048] Il est donc avantageux de baigner une extrémité de contre-électrode 2 dans un réservoir d'eau. Dans cette variante, l'eau va alors couvrir l'intégralité de la surface en raison des forces capillaires, et il n'est pas nécessaire d'alimenter en permanence la surface pour la garder humide. On forme donc un film d'eau sur toute la surface de la contre-électrode 2 sur laquelle arrivent les particules. Ce film peut être mis en mouvement à l'aide d'une électrovane pour récolter ainsi en continu, les particules collectées et procéder au traitement en temps réel. Un tel dispositif n'impose aucune contrainte de débit, étant bien entendu que, plus le débit de sortie est important, plus les particules seront diluées.

[0049] Dans une variante préférable, les particules collectées sont amenées après leur récupération vers l'unité d'analyse 15 qui peut être combinée au dispositif de la présente invention. Les particules sont collectées en continu dans le film couvrant la contre-électrode, de laquelle on peut alors prélever à intervalles réguliers une faible quantité d'eau à analyser. La sortie du dispositif se fait préférablement en phase aqueuse pour permettre l'analyse.

[0050] La figure 6 montre le dispositif de mouillage de l'électrode de collecte. Lorsque l'on amène de l'eau en excès dans le réservoir du haut, celle-ci s'écoule par effet de siphon le long de la contre-électrode 2 : on a ainsi un débit contrôlé, tout en gardant l'électrode 2 mouillée en

permanence. La cellule Peltier 16 permet de refroidir le film d'eau pour éviter qu'il s'évapore, tout en préchauffant l'eau destinée à être vaporisée. 15 indique un dispositif de détection.

[0051] L'eau utilisée pour la vaporisation autour de l'électrode de décharge 1 devra être pure afin de s'assurer que la nucléation de gouttes ne se fait qu'autour des particules d'intérêt (par exemple des germes), tandis que l'eau utilisée pour mouiller la contre-électrode 2 peut contenir des additifs (surfactants, tampon pH).

[0052] Pour limiter l'évaporation du solvant (par exemple un film d'eau) sur la contre-électrode, il est intéressant de mettre un système de refroidissement sur la contre-électrode. Il est avantageux d'utiliser une cellule Peltier 16, dont la source chaude sera l'eau destinée à être vaporisée. On préchauffe ainsi cette eau et on limite l'énergie nécessaire à la vaporisation.

[0053] En outre, un refroidissement des parois de l'unité de collection peut être avantageux pour accélérer la condensation de la vapeur d'eau autour des particules solides qui se trouvent ainsi piégées dans des gouttelettes dont le rayon croît au fur et à mesure de leur transit axial et radial.

[0054] Le dispositif selon la présente invention peut comprendre en outre des moyens de collecte utilisant la capillarité, la gravité ou le cisaillement de l'air.

[0055] La figure 7 montre un dispositif selon la présente invention avec un système de collecte des particules ayant impacté la contre-électrode 2 utilisant un balayage systématique par électromouillage de la contre-électrode 2.

[0056] Il est avantageux, si l'on ne fonctionnalise pas la surface de l'électrode de collecte de manière incompatible (par le rainurage par exemple), d'y disposer un quadrillage d'électrode 17 (cf. fig. 7). La figure 7 illustre la possibilité d'utiliser une matrice d'électrodes adressables en position par une tension suffisamment forte pour provoquer le déplacement d'une goutte d'eau (contenant d'éventuels additifs) afin de balayer toute la surface de l'électrode de collecte. On peut alors, en portant successivement ces électrodes 17 à un potentiel de l'ordre de quelques dizaines de Volts (typiquement : 60 Volts), déplacer une goutte sur la surface de la contre-électrode 2 par électromouillage. On peut ainsi balayer avec une seule goutte toute la surface de l'électrode 2, réduisant drastiquement la quantité d'eau nécessaire pour collecter les particules ou gouttelettes.

[0057] Selon le temps que la goutte d'eau passe dans le dispositif, il peut être nécessaire d'y adjoindre un système de refroidissement, par exemple une cellule Peltier 16 (voir figure 6).

[0058] Enfin, le système complet peut utiliser plusieurs modules, tels que celui décrit ci-dessus, afin d'augmenter le débit d'air à traiter tout en gardant de préférence un écoulement laminaire à l'intérieur de chaque module puisque le débit traité par chacun des modules reste le même. Chacun des modules mesure typiquement quelques cm de diamètre, pour une ou plusieurs dizaines de

cm de hauteur.

[0059] La figure 8 illustre qu'une rigole hélicoïdale 18 peut être usinée sur la face intérieure de la canalisation principale (chambre 7) pour récolter les particules et former un entrelacs avec la contre-électrode 2, elle aussi constituée d'un fil hélicoïdal. Cette solution permet de limiter la surface de la contre-électrode et ainsi de ne pas à avoir à fonctionnaliser cette dernière.

[0060] La figure 9 illustre que l'utilisation d'une contre-électrode 2 plane est envisageable pour faciliter la collecte des particules.

[0061] La figure 10 montre un deuxième exemple de configuration plane envisageable. 8 fait référence à un tube d'arrivée de vapeur et 15 à un dispositif de détection (l'unité d'analyse). 19 indique les zones de collecte (contre-électrode 2), 20 indique une poubelle, 21 indique un réactif et 22 indique les électrodes de déplacement des gouttes par électromouillage.

[0062] Le dispositif de la présente invention peut contenir des moyens de collecte de type gravité (les gouttelettes coulent en contrebas de la contre-électrode grâce à la gravité) ou cisaillement d'air (les gouttelettes sont emportées le long de la contre électrode par le flux d'air présent au sein du dispositif).

[0063] Les applications les plus courantes de la présente invention sont l'extraction des particules en suspension dans l'air en vue de leur analyse ultérieure (suivi de la pollution, prévention du bioterrorisme). Tout constituant de l'air comme des gaz, des microbes (y compris les microorganismes comme les spores, les bactéries, les champignons), de la poussière ou toute autre particule qui est entraînée ou transportée par l'air, peut être ionisé par le champ électrostatique, collecté par l'électrode de collecte et, si besoin est, analysé.

[0064] L'invention porte principalement sur une mise en oeuvre dont l'objectif est de collecter les particules dans un volume d'eau aussi petit que possible, en vue d'analyses biologiques ultérieures. On parle alors de dispositifs d'extraction microbiologique.

[0065] La présente invention apporte plusieurs avantages spécifiques. Le dispositif envisagé se distingue des dispositifs classiques à plusieurs égards :

[0066] L'utilisation de vapeur d'eau au lieu de brouillard (gouttelettes, comme c'est le cas dans les électrofiltres par voie humide classique) permet d'augmenter le rendement de collecte des particules submicroniques. Ceci reste valable si un autre solvant que l'eau est utilisé pour la formation de vapeur. L'utilisation de vapeur d'eau garantit que la condensation en gouttelettes se fait autour des particules présentes dans l'air.

[0067] La vapeur d'eau étant confinée à un petit volume, la consommation en eau est suffisamment faible pour avoir une autonomie d'au moins un jour avec un réservoir principal contenant quelques litres d'eau.

[0068] Le petit format du dispositif permet d'en utiliser un grand nombre en parallèle tout en gardant le système portable. Il est ainsi facile de calibrer le système final selon les besoins de l'analyse en variant le nombre de

modules utilisés en parallèle.

[0069] L'invention sera utile notamment pour la mise en place de balises mobiles d'analyse d'air en vue de détecter des particules submicroniques présentes sous forme de traces dans l'atmosphère (bactéries et virus). On peut envisager, par exemple, de placer de telles balises en sortie des industries à risque pour détecter en temps réel la présence de légionelloses.

[0070] Le dispositif de la présente invention permet la séparation des particules liquides ou solides de taille comprise entre 10 nm et 100 µm en suspension dans un gaz par un système d'électrofiltres. Il permet en particulier la collecte de particules mesurant entre 50 nm et 10 µm avec une grande efficacité, et une consommation en énergie et en eau compatible avec une utilisation portable.

[0071] En outre, l'invention proposée permet la collecte efficace des particules submicroniques en suspension dans l'air en vue de leur analyse. Le dispositif peut également être transportable, et avoir une consommation en énergie et en produits (essentiellement l'eau) suffisamment faible pour avoir une autonomie convenable.

Revendications

1. Dispositif d'extraction air/eau par collection électrostatique semi-humide, comprenant une chambre 7 contenant une électrode de décharge 1 pour créer un flux d'ions à partir d'une poche de gaz ionisée entourant l'électrode de décharge 1 et une contre-électrode 2, une entrée 3 pour le mélange air et aérosol à extraire qui contient des particules liquides ou solides, un tube d'arrivée de vapeur 8 et une sortie 4 pour l'air nettoyé, **caractérisé en ce que** le dispositif permet d'introduire la vapeur par ledit tube d'arrivée de vapeur 8 dans l'espace entre l'électrode de décharge 1 et la contre-électrode 2 de manière à former une gaine de vapeur 10 entourant l'électrode de décharge 1 sur toute sa longueur, de telle sorte que l'air traité n'est pas saturé en vapeur.
2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la contre-électrode 2 est partiellement plongée dans un réservoir contenant un solvant.
3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le solvant est de l'eau.
4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'électrode de décharge 1 est située dans l'axe du tube d'arrivée de vapeur 8.
5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'électrode de décharge 1 est une pointe ou un fil.
6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, **ca-**

ractérisé en ce que la contre-électrode 2 est munie d'un système de refroidissement 16.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la contre-électrode 2 est rendue hydrophile par un traitement de surface.
8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le traitement est un rainurage.
9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** ledit dispositif comprend en outre des moyens de collecte utilisant la capillarité, la gravité ou le cisaillement de l'air.
10. Procédé de collection par méthode électrostatique semi-humide des particules liquides ou solides de taille comprise entre 10 nm et 100 µm en suspension dans un gaz en utilisant le dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que**
 - (a) la vapeur est introduite dans l'espace entre la contre-électrode 2 et l'électrode de décharge 1 pour établir une gaine de vapeur 10 autour de l'électrode de décharge 10,
 - (b) un mélange air et aérosol est introduit sous forme d'un écoulement dans l'espace entre l'électrode de décharge 1 et la contre-électrode 2,
 - (c) les molécules de vapeur sont ionisées par l'électrode de décharge 1,
 - (d) les molécules de vapeur ionisées chargent des particules,
 - (e) les particules chargées croissent pour former des gouttelettes, et
 - (f) lesdites gouttelettes sont amenées jusqu'à la contre-électrode 2 et sont précipitées sur celle-ci,
 - (g) les gouttelettes sont récupérées et transportées pour être analysées.
11. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la vapeur est la vapeur d'eau.
12. Procédé selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** ledit écoulement d'air et d'aérosol est laminaire.
13. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** ledit écoulement d'air et d'aérosol entre tangentiellement aux parois de la chambre 7 afin de créer un écoulement hélicoïdal.
14. Procédé selon l'une des revendications 10 à 13, **caractérisé en ce que** la contre-électrode 2 se trouve partiellement dans un réservoir contenant du solvant pour mouiller la contre-électrode 2 avec un film de ce solvant.

15. Procédé selon l'une des revendications 10 à 14, **caractérisé en ce que** le solvant est de l'eau pouvant contenir des additifs.

Claims

1. Device for air/water extraction by semi-wet electrostatic collection, comprising a chamber 7 containing a discharge electrode 11 for creating a flow of ions from a pocket of ionized gas surrounding the discharge electrode 1 and a counter-electrode 2, an inlet 3 for the mixture of air and the aerosol to be extracted which contains liquid or solid particles, a vapour inlet tube 8 and an outlet 4 for the cleaned air, **characterized in that** the device enables vapour to be introduced through said vapour inlet tube 8 into the space between the discharge electrode 1 and the counter-electrode 2 in such a way as to form a sheath of vapour 10 surrounding the whole length of the discharge electrode 1, in such a way that the treated air is not saturated with vapour.
2. Device according to Claim 1, **characterized in that** the counter-electrode 2 is partially immersed in a reservoir containing a solvent.
3. Device according to Claim 2, **characterized in that** the solvent is water.
4. Device according to any one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the discharge electrode 1 is located in the axis of the vapour inlet tube 8.
5. Device according to any one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the discharge electrode 1 is a point or a wire.
6. Device according to any one of Claims 1 to 5, **characterized in that** the counter-electrode 2 is provided with a cooling system 16.
7. Device according to any one of Claims 1 to 6, **characterized in that** the counter-electrode 2 is made hydrophilic by a surface treatment.
8. Device according to Claim 7, **characterized in that** the treatment is grooving.
9. Device according to any one of Claims 1 to 8, **characterized in that** said device additionally comprises means of collection using capillarity, gravity or air shearing.
10. Method for collecting liquid or solid particles with sizes in the range from 10 nm to 100 μm in suspension in a gas, by a semi-wet electrostatic process, using the device according to any one of Claims 1 to 9,

characterized in that

- (a) the vapour is introduced into the space between the counter-electrode 2 and the discharge electrode 1 to form a sheath of vapour 10 around the discharge electrode 10,
- (b) a mixture of air and aerosol is introduced in the form of a flow into the space between the discharge electrode 1 and the counter-electrode 2,
- (c) the vapour molecules are ionized by the discharge electrode 1,
- (d) the ionized vapour molecules charge a number of particles,
- (e) the charged particles grow to form droplets, and
- (f) said droplets are taken to the counter-electrode 2 and are precipitated thereupon,
- (g) the droplets are recovered and taken away for analysis.

11. Method according to Claim 10, **characterized in that** the vapour is water vapour.
12. Method according to Claim 10, **characterized in that** said flow of air and aerosol is laminar.
13. Method according to Claim 12, **characterized in that** said flow of air and aerosol enters the chamber 7 at a tangent to its walls, in order to create a helical flow.
14. Method according to any one of Claims 10 to 13, **characterized in that** the counter-electrode 2 is partially positioned in a reservoir containing solvent, in order to wet the counter-electrode 2 with a film of this solvent.
15. Method according to any one of Claims 10 to 14, **characterized in that** the solvent is water which may contain additives.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Luft/Wasser-Extraktion durch elektrostatisches semi-feuchtes elektrostatisches Sammeln, umfassend eine Kammer 7, die eine Sprühelektrode 1 zum Erzeugen eines Ionenstroms ausgehend von einer die Sprühelektrode 1 und eine Gegenelektrode 2 umgebenden Blase aus ionisiertem Gas enthält, einen Einlass 3 zum Mischen der zu extrahierenden Luft und des Aerosols, die flüssige oder feste Teilchen enthalten, ein Rohr zur Zuleitung von Dampf 8 und einen Ausgang 4 für die gereinigte Luft, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung das Einführen des Dampfes durch das Rohr zur Zuleitung von Dampf 8 in den Raum zwischen der

- Sprühelektrode 1 und der Gegenelektrode 2 so ermöglicht, dass eine die Sprühelektrode 1 auf ihrer gesamten Länge umgebenden Hülle aus Dampf 10 derart gebildet wird, dass die behandelte Luft nicht dampfgesättigt ist. 5
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gegenelektrode 2 teilweise in einen ein Lösungsmittel enthaltenden Behälter eingetaucht ist. 10
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lösungsmittel Wasser ist.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sprühelektrode 1 sich auf der Achse des Rohrs zur Zuleitung von Dampf 8 befindet. 15
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sprühelektrode 1 ein Stift oder ein Draht ist. 20
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gegenelektrode 2 mit einem Kühlsystem 16 versehen ist. 25
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gegenelektrode 2 durch eine Oberflächenbehandlung hydrophil gemacht worden ist. 30
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Behandlung das Bilden von Rillen ist. 35
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung außerdem Mittel zum Sammeln umfasst, die Kapillarität, Schwerkraft oder Luftscherung verwenden. 40
10. Verfahren zum Sammeln von flüssigen oder festen Teilchen durch eine elektrostatische semi-feuchte Methode, deren Teilchengröße im Bereich zwischen 10 nm und 100 μm enthalten ist, als Suspension in einem Gas, unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** 45
- a) der Dampf in den Raum zwischen der Gegenelektrode 2 und der Sprühelektrode 1 eingeführt wird, um eine Hülle aus Dampf 10 um die Sprühelektrode 10 herum zu schaffen, 50
- b) ein Luft- und Aerosolgemisch unter Bildung einer Strömung in den Raum zwischen der Sprühelektrode 1 und der Gegenelektrode 2 eingeführt wird, 55
- c) die Dampfmoleküle durch die Sprühelektrode 1 ionisiert werden,
- d) die ionisierten Dampfmoleküle Teilchen aufladen,
- e) sich die geladenen Teilchen unter Bildung von Tröpfchen treffen, und
- f) die Tröpfchen bis zur Gegenelektrode 2 geführt werden und auf dieser abgeschieden werden,
- g) die Tröpfchen gesammelt und transportiert werden, um analysiert zu werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Dampf Wasserdampf ist.
12. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strömung der Luft und des Aerosols laminar ist.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Strömung der Luft und des Aerosols tangential zu den Wänden der Kammer 7 eintritt, um eine spiralförmige Strömung zu bilden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Gegenelektrode 2 teilweise in einem ein Lösungsmittel enthaltenden Behälter befindet, um die Gegenelektrode 2 mit einem Film dieses Lösungsmittels zu benetzen.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Lösungsmittel Wasser ist, das Zusatzstoffe enthalten kann.

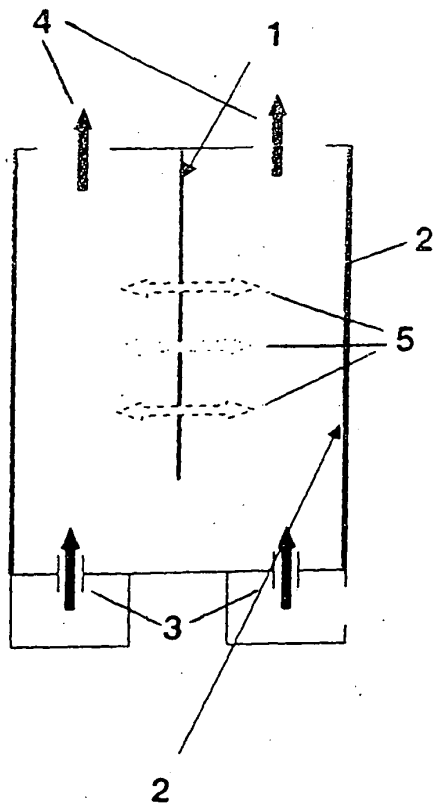


FIG. 1

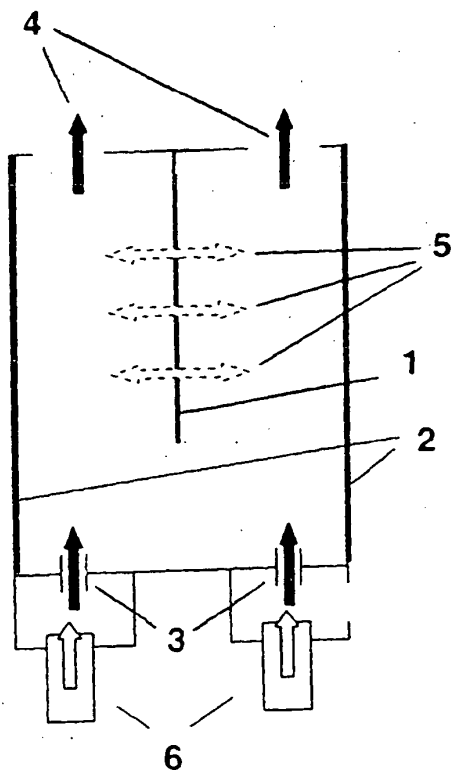


FIG. 2

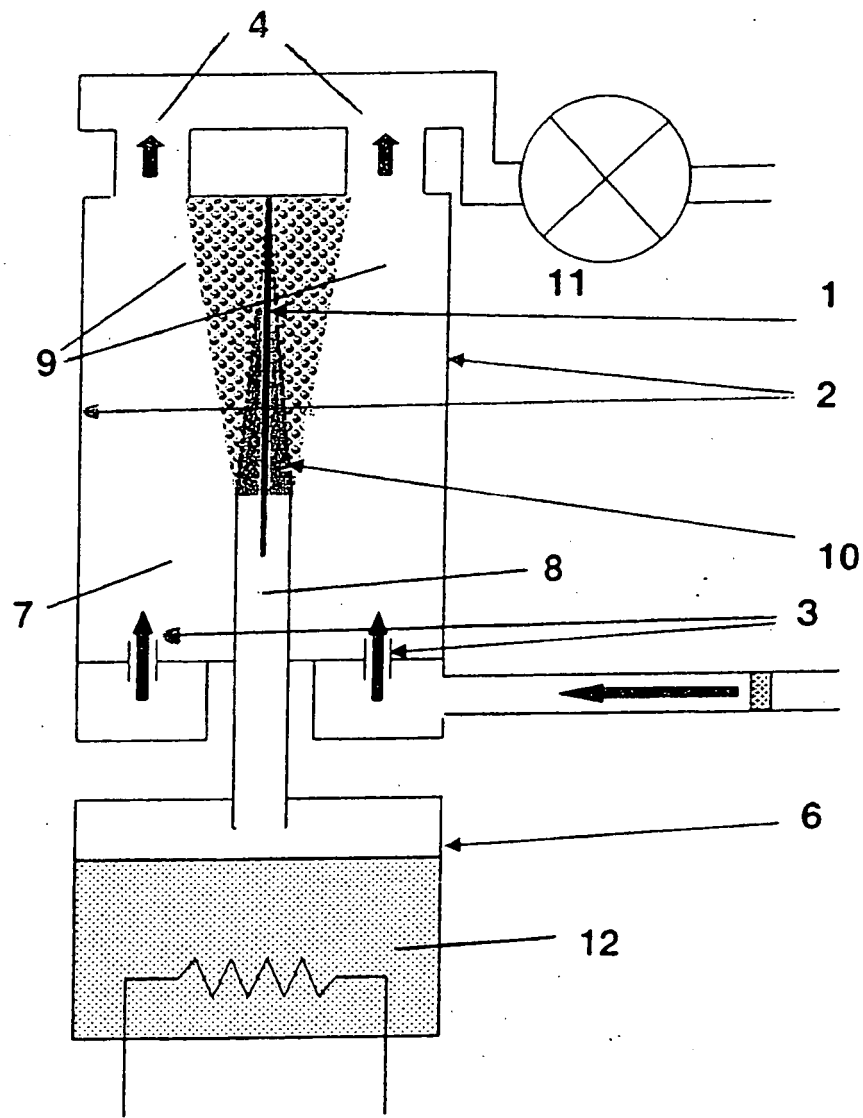
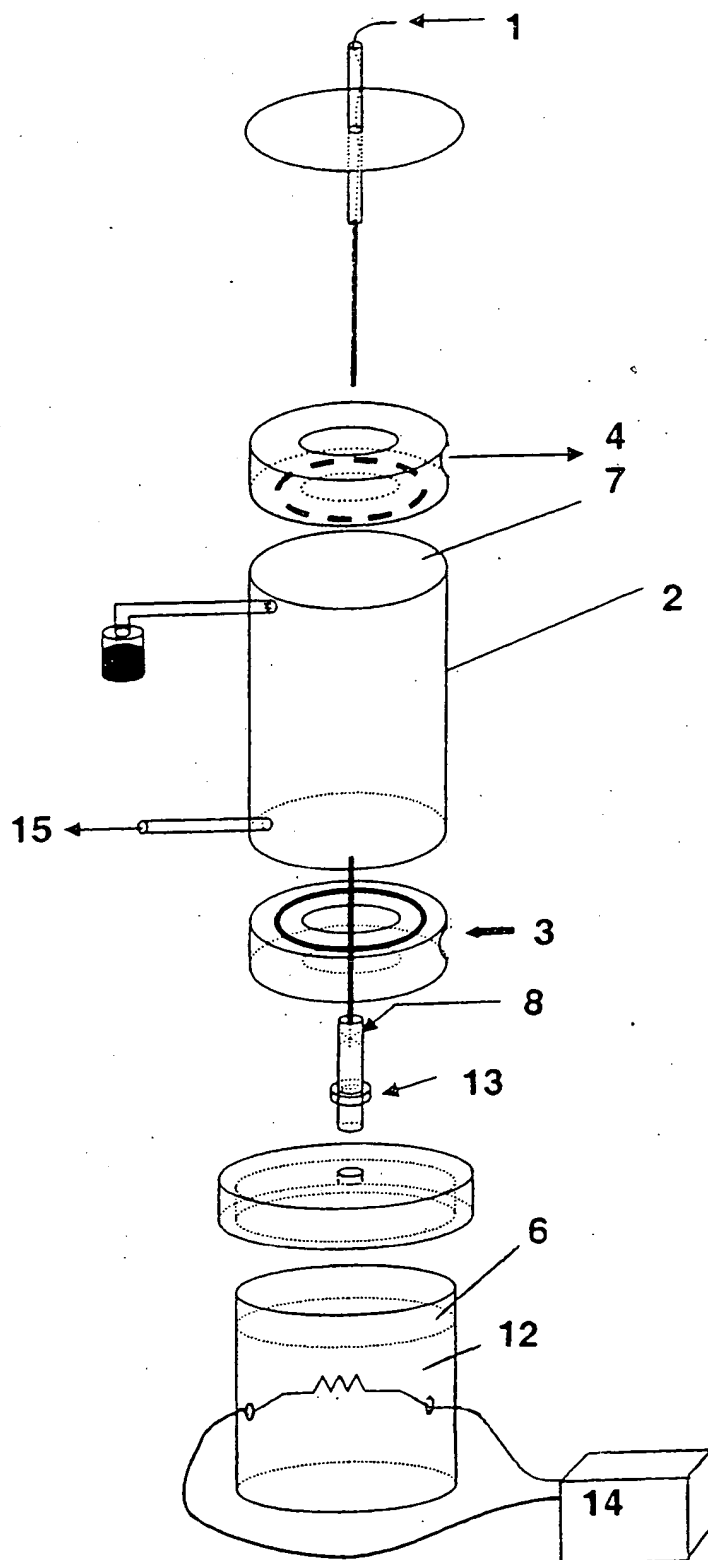
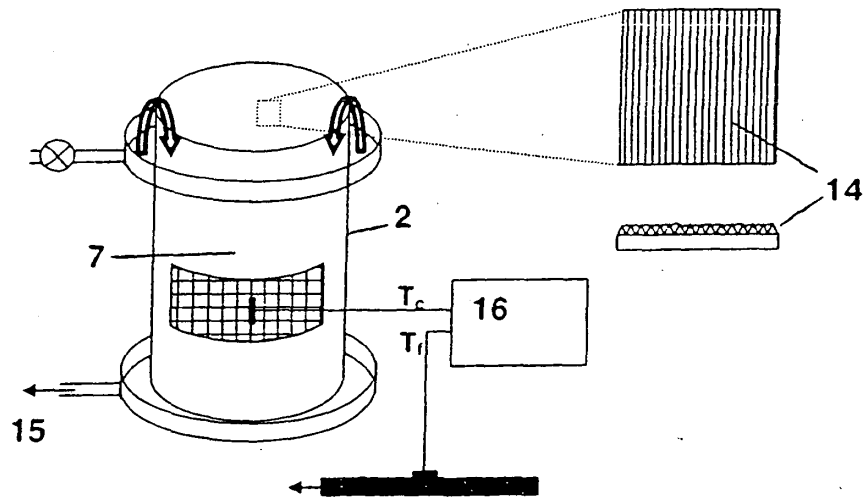
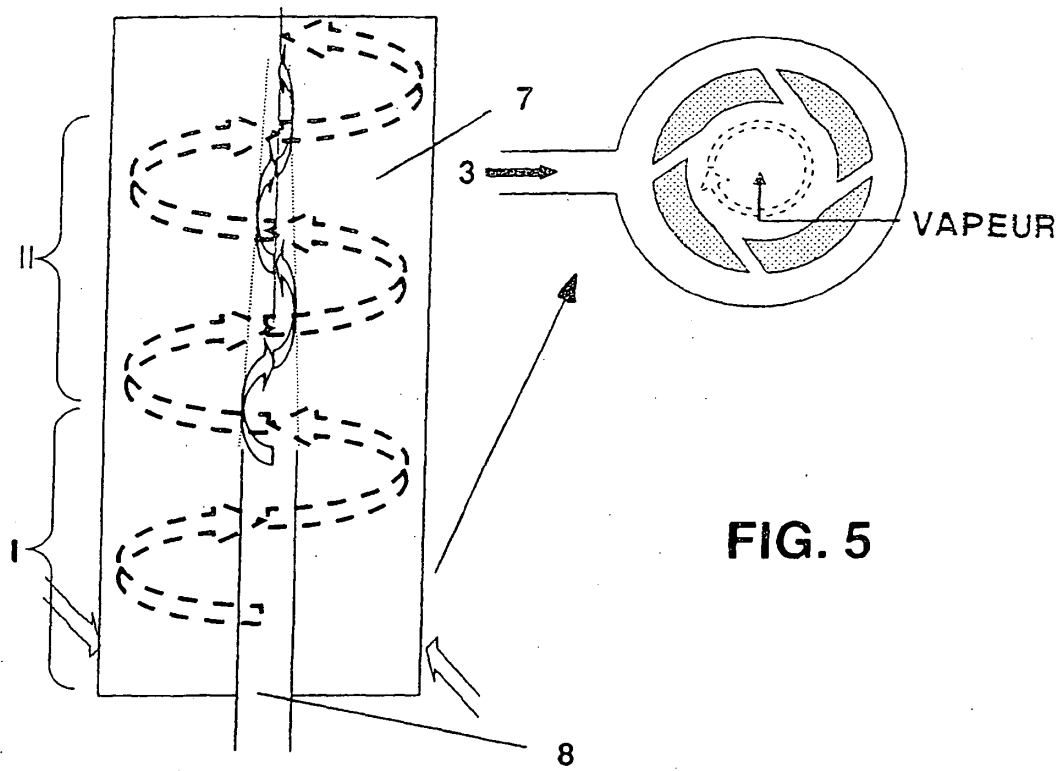
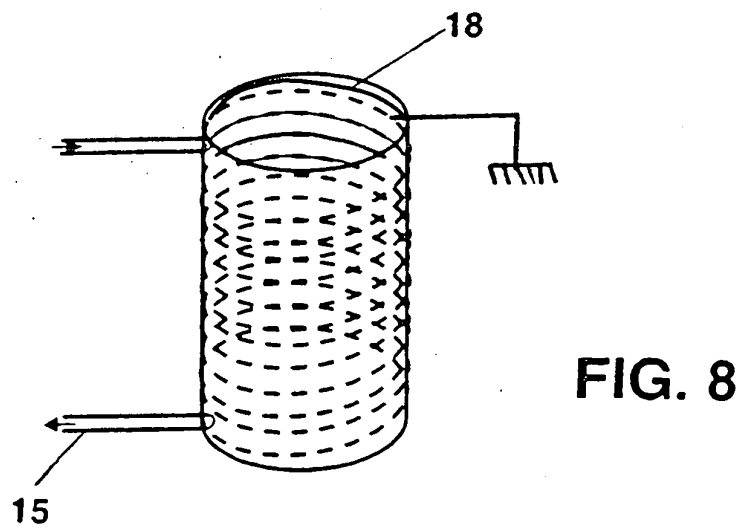
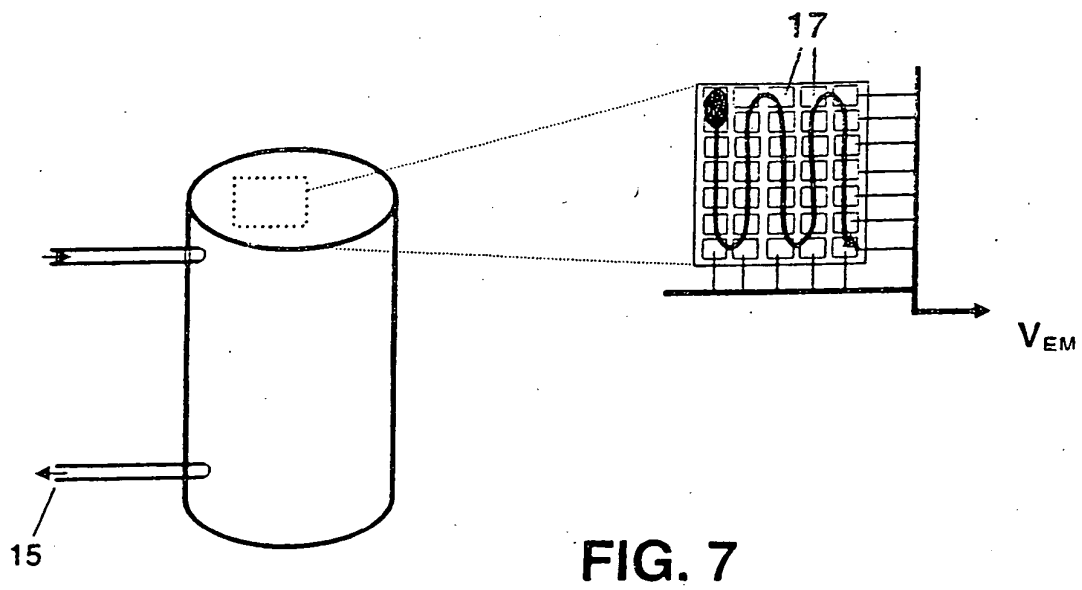


FIG. 3

FIG. 4







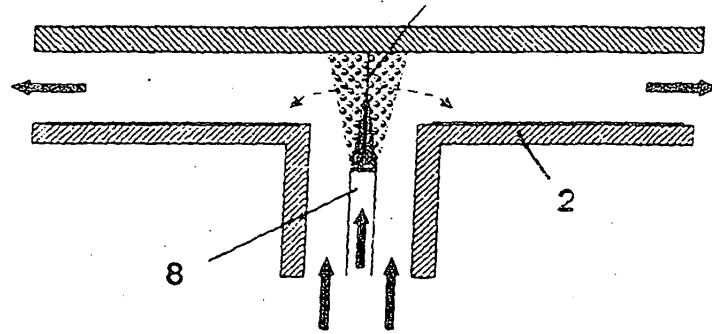


FIG. 9

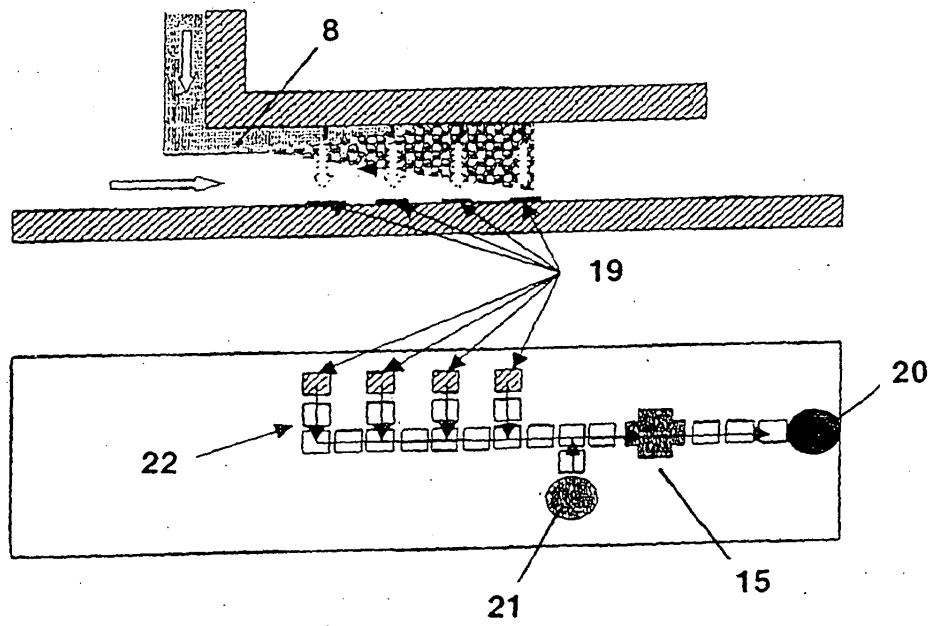


FIG. 10

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2004041440 A [0006] [0007] [0008]
- US RE35990 E [0009]
- GB 2403672 A [0010]
- FR 2101249 A [0012]
- US 4544382 A [0013]