

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 955 377

②1 N° d'enregistrement national : 10 50410

⑤1 Int Cl⁸ : F 24 H 8/00 (2006.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 21.01.10.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 22.07.11 Bulletin 11/29.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : PYRAINE Société à responsabilité
limitée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : ECALLE OLIVIER.

⑦3 Titulaire(s) : PYRAINE Société à responsabilité limi-
tée.

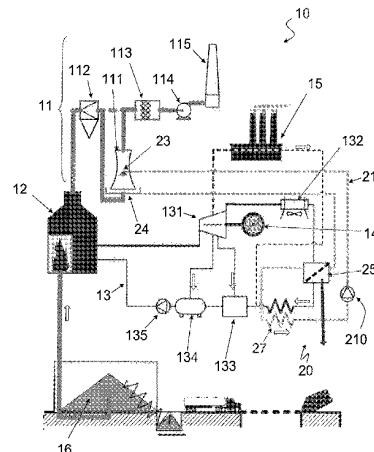
⑦4 Mandataire(s) : CABINET REGIMBEAU.

⑤4 DISPOSITIF ET PROCÉDE DE RECUPERATION DE CHALEUR DANS LES FUMÉES D'UNE CENTRALE
THERMIQUE.

⑤7 L'invention concerne un dispositif (20) de récupération
de chaleur dans des fumées contenant de la vapeur d'eau,
circulant dans un conduit (111), d'une installation thermique
(10) de production d'électricité comprenant un circuit de va-
peur (13) sur lequel sont disposés au moins une turbine à
vapeur (121) et un condenseur (132), le dispositif étant car-
actérisé en ce qu'il comprend:

- un circuit principal (21) pour la circulation d'une solu-
tion (s) hygroscopique;
- un moyen (23) d'injection liquide depuis le circuit (21)
vers le conduit (111), de sorte que la solution (s) hygroscopique
se dilue en absorbant la vapeur d'eau des fumées circulant
dans le conduit (111);
- un moyen (24) d'extraction liquide depuis le conduit
(111) vers le circuit principal (21), de sorte que la solution (s)
hygroscopique est injectée dans le circuit principal (21)
après absorption de la vapeur d'eau;
- un moyen (25) de régénération de la solution (s) ali-
menté par l'eau froide en sortie du condenseur (132).

L'invention concerne également un procédé à cet effet,
et une installation de production électrique équipée d'un dis-
positif selon l'invention.



FR 2 955 377 - A1



DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

La présente invention concerne un dispositif améliorant les
5 rendements des centrales thermiques.

Plus précisément, elle concerne l'application d'un dispositif de
récupération de la chaleur latente contenue dans la vapeur d'eau de gaz
chauds et humides des les fumées de combustion à la production
10 d'électricité par biomasse, fonctionnant avec une turbine à vapeur dite à
« condensation »

ETAT DE L'ART

15 Le terme de biomasse regroupe l'ensemble des matières
organiques pouvant devenir des sources d'énergie. Ces matières
organiques qui proviennent des plantes sont une forme de stockage de
l'énergie solaire, captée et utilisée par les plantes grâce à la chlorophylle.
Utilisée soit directement, soit après des transformations chimiques comme
20 une méthanisation, la biomasse libère de l'énergie thermique en brûlant.
Dans le cas d'une centrale à biomasse, cette énergie thermique est
classiquement convertie en électricité via une turbine à vapeur et un
alternateur.

Bien que la combustion de biomasse s'accompagne comme pour
25 le charbon, le gaz ou le pétrole de libération de carbone, il ne faut pas
oublier que le carbone stocké dans la biomasse a récemment été extrait de
l'atmosphère par la photosynthèse des plantes ou algues, alors que ce
processus a eu lieu il y a des millions d'années pour les ressources fossiles.
C'est pourquoi l'énergie tirée de la biomasse est considérée comme une
30 énergie renouvelable, au sens premier du terme : si la surface dévolue à la
culture de biomasse reste constante et la quantité prélevée est replantée, il
y a renouvellement de l'énergie et le cycle du carbone est constant.

Cependant, la biomasse est une énergie chère qui peut avoir un bilan carbone désastreux si elle est mal utilisée. Il convient d'optimiser au maximum le rendement énergétique pour des raisons autant économiques qu'environnementales.

5

Un exemple d'une installation 10 classique mais néanmoins performante de production d'électricité à partir de la biomasse est représentée figure 1.

La chaudière 12 est le lieu où se déroule la combustion de la 10 biomasse stockée dans un espace 16. La chaleur produite permet la vaporisation d'eau liquide en vapeur haute pression (40 à 110 bar) dans un circuit 13, qui alimente une turbine 131 entraînant un alternateur 14 produisant l'électricité. On appelle le circuit 13 circuit de vapeur, mais c'est également un circuit d'eau puisque la vapeur est condensée dans une 15 partie du circuit.

Dans ce type d'installation optimisée, une partie de la vapeur peut être extraite à une pression intermédiaire (3 à 15 bar) pour alimenter un client 15 consommateur de vapeur. L'utilisation directe de la vapeur permet un fonctionnement en cogénération avec production simultanée d'électricité 20 et de chaleur. C'est un moyen parmi les plus efficaces énergétiquement, particulièrement adapté à la grosse consommation industrielle d'une usine.

Le reste de la vapeur va se détendre à basse pression et basse température (0,05 bar, à 30°C par exemple) et se condenser dans un condenseur 132, qui rejette à l'environnement la chaleur de condensation 25 de la vapeur d'eau. L'eau liquide (autour de 33°C) sortant du condenseur 132 est alors réchauffée par de la vapeur extraite de la turbine 131 pour la remonter à 90°C, puis à 150°C au niveau de deux « bâches » successives.

La première bache 133 sert à recueillir et réchauffer l'eau liquide provenant du condenseur 132. La deuxième bache 134 sert, en étant à 30 pression supérieure à l'atmosphère, à éliminer par dégazage des impuretés gazeuses tel l'oxygène qui s'infiltreront dans le réseau d'eau et risquent de corroder la chaudière. Alternativement, suivant la taille de l'installation, il n'y a que la bache dégazeuse 134 ou au contraire plusieurs bâches de

réchauffage. L'eau liquide préchauffée est enfin réinjectée dans la chaudière 12, par exemple grâce à une pompe liquide 135, pour y être vaporisée.

5 A l'autre extrémité de la centrale, les fumées sortent de la chaudière 12 et entrent dans le système d'évacuation 11. Elles passent successivement à travers un cyclone 112 conçu pour éliminer les poussières de taille importante, puis un filtre 113 (à manche ou électrofiltre) pour compléter l'épuration des fumées avant sortie par la cheminée 115 via un ventilateur de tirage 114.

10

Une des spécificités de la combustion de la biomasse (bois, pailles,...) est la présence de soufre dans le combustible végétal, que l'on retrouve dans les fumées. Celui-ci réagit avec l'oxygène encore présent dans les fumées pour former du SO_3 qui réagit ensuite avec l'eau pour former de l'acide sulfurique H_2SO_4 .

15 En dessous d'une température d'environ 150°C , appelée le « point de rosée acide », cet acide est susceptible de se condenser sur les parois des cheminées, et de les abimer très rapidement.

20 Mais comme les teneurs en soufre restent suffisamment faibles pour ne pas nécessiter un traitement d'épuration spécifique comme pour un incinérateur, les chaudières équipant ce type d'installation sont tout simplement conçues par leurs constructeurs de façon à rejeter des fumées à une température de 160 à 180°C .

25 A une température aussi élevée, les fumées contiennent encore une énergie importante qu'il serait intéressant de valoriser. Cette énergie perdue se décompose en chaleur sensible (chaleur due la température élevée des fumées) et en chaleur latente (chaleur due à l'état gazeux de la vapeur, plus énergétique que l'état liquide) qui représentent (selon les combustibles) environ 10 % et 10 % de la puissance apportée par le
30 combustible.

Il serait possible de valoriser cette énergie "basse température" par le préchauffage de l'eau liquide sortant du condenseur. Cela éviterait d'utiliser de la vapeur pour ce faire, on augmenterait ainsi la quantité de

vapeur passant par la turbine, d'où le rendement électrique. Diverses solutions sont proposées.

On peut tout d'abord utiliser un économiseur, c'est à dire un simple
5 échangeur métallique dans lequel circulerait l'eau sortant du condenseur. Ce système classique remplit la fonction thermique demandée mais présente l'inconvénient d'un très lourd investissement. En effet la condensation progressive de l'acide sulfurique nécessite d'utiliser un matériau totalement inoxydable comme l'Inconel®, très cher. De plus, les
10 échanges thermiques avec des fumées sur une interface solide s'avèrent très mauvais, et sont aggravés par l'encrassement progressif de l'échangeur, du fait des poussières et imbrulés de la combustion de biomasse solide.

15 Des systèmes plus récents comme celui décrit dans les brevets EP0857923 permettent de se passer d'un échangeur en utilisant des solutions hygroscopiques injectées dans les fumées. La solution chauffe et absorbe de la vapeur d'eau au fur et à mesure de sa chute, et donc récupère à la fois de la chaleur sensible et de la chaleur latente.

20 En outre, la présence de calcium dans le sel hygroscopique (nitrate de calcium) a un effet connu d'absorption du soufre et de ses oxydes SO₂, SO₃, H₂SO₄, qui diminue les problématiques de corrosion post traitement.

Cependant, cette technologie n'est pas applicable telle quelle, puisqu'une source d'énergie est nécessaire pour faire bouillir la solution
25 pour la reconcentrer. Cette énergie est en effet apportée soit par de la vapeur extraite de la turbine, et alors le but recherché qui est de maximaliser la quantité de vapeur traversant les étages basse pression de la turbine est anéanti, soit par une source extérieure (chaudière spécifique par exemple), au prix d'un lourd investissement et d'une consommation
30 supplémentaire d'énergie, laquelle va aussi à l'encontre de l'objectif du système.

Le système décrit dans le brevet DE3916705 apporte une première solution à ce problème en proposant un système à solution hygroscopique ne nécessitant pas de bouilleur. Grâce une construction particulière, la solution subit successivement une phase d'absorption de vapeur d'eau, puis
5 une phase d'évaporation pendant sa chute. Le bilan est donc nul pour la chaleur latente, seule de la chaleur sensible (qui représente moins d'énergie que la chaleur latente) est récupérée.

De plus, une spécificité des cogénérations est que l'appel de vapeur du client "chaleur" peut varier significativement. Et ceci, sans que la
10 chaudière fasse évoluer sa production de vapeur. Ceci entraîne une variabilité importante de la quantité de vapeur passant dans le condenseur : celle-ci peut varier fréquemment du simple au double, multipliant d'autant l'énergie nécessaire à son réchauffage. Or ce système impose un équilibre entre les deux phases, et il n'y a de moyen possible de contrôle de l'énergie
15 absorbée :

- si le client 15 appelle plus de vapeur, il y en a moins qui transite par le condenseur 132, et la demande "extérieure" en énergie baisse. La solution s hygroscopique peut alors monter en température et se concentrer. Le risque de cristallisation de la solution et de colmatage des
20 tuyaux apparait.

- si au contraire le client 15 n'appelle plus de vapeur, toute la production de la chaudière 12 va vers le condenseur 132, et la demande "extérieure" en énergie augmente. La solution s baisse en température et devient moins concentrée en sel, entraînant une variation de volume
25 significative, jusqu'à +50% !

Ces problèmes ne sont pas acceptables car ils ne sont pas compatibles avec une utilisation fiable et rentable du dispositif.

PRESENTATION DE L'INVENTION

30

L'invention propose de pallier ces inconvénients en proposant un dispositif permettant de récupérer l'énergie sensible et latente des fumées sans nécessiter lui-même un apport d'énergie extérieure.

A cet effet, l'invention propose un dispositif de récupération de chaleur dans des fumées contenant de la vapeur d'eau, circulant dans un conduit, d'une installation thermique de production d'électricité comprenant un circuit de vapeur sur lequel sont disposés au moins une turbine à vapeur
5 et un condenseur, le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend :

- un circuit principal pour la circulation d'une solution hygroscopique ;
- un moyen d'injection liquide depuis le circuit principal vers le conduit, de sorte que la solution hygroscopique se dilue en absorbant la vapeur d'eau des fumées circulant dans le conduit ;
- 10 - un moyen d'extraction liquide depuis le conduit vers le circuit principal, de sorte que la solution hygroscopique est injectée dans le circuit principal après absorption de la vapeur d'eau ;
- un moyen de régénération de la solution alimenté par l'eau froide en sortie du condenseur.

15

Le dispositif selon l'invention est avantageusement complété par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- le moyen de régénération met en prise le circuit principal et le circuit
20 de vapeur, la température du circuit principal étant supérieure à celle du circuit de vapeur majorée de la différence de température d'ébullition entre la solution hygroscopique et l'eau pure ;
- le moyen de régénération permet de transférer de l'humidité et/ou de la chaleur depuis la solution hygroscopique diluée extraite du conduit,
25 vers l'eau froide en sortie du condenseur ;
- le moyen de régénération comprend une enceinte basse pression ;
- le moyen de régénération comprend un absorbeur à membranes de distillation ;
- ledit absorbeur à membranes de distillation est constitué de canaux
30 alternés de solution hygroscopique et d'eau séparés par des collecteurs, les parois entre les canaux de solution et les collecteurs étant des membranes de distillation ;

- ledit absorbeur à membranes de distillation est constitué de canaux alternés de solution hygroscopique et d'eau séparés par des membranes de distillation, les deux fluides étant injectés en sens contraire ;

- il comprend un échangeur supplémentaire mettant en prise la
5 solution régénérée et l'eau froide en sortie du moyende régénération.

Le dispositif selon l'invention permet d'utiliser une solution hygroscopique tout en la régénérant sans nécessiter le moindre apport énergétique. Il permet une souplesse d'utilisation compatible avec une
10 consommation variable de vapeur.

Et de plus le dispositif selon l'invention permet par son architecture de transférer efficacement au circuit de vapeur de la centrale à la fois la chaleur latente et la chaleur sensible des fumées.

Ainsi il est possible de diminuer de 40 à 50 % la quantité de vapeur
15 devant être extraite de la turbine pour réchauffer l'eau sortant du condenseur. Toute cette vapeur économisée entraîne un gain direct en production d'électricité, de l'ordre de 2 à 4 % de rendement électrique, d'où des gains économiques significatifs puisque c'est une énergie à très haute valeur ajoutée.

20

Selon un deuxième aspect, l'invention propose une installation thermique de production d'électricité comprenant une chaudière, des moyens d'évacuation des fumées dont un conduit , un circuit de vapeur sur lequel sont disposés au moins une turbine à vapeur et un condenseur, un
25 alternateur entraîné par la turbine, l'installation étant caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un dispositif de récupération de chaleur dans les fumées selon le premier aspect de l'invention.

L'invention propose également un procédé de récupération de
30 chaleur dans des fumées contenant de la vapeur d'eau, circulant dans un conduit, d'une installation thermique de production d'électricité comprenant un circuit de vapeur sur lequel sont disposés au moins une turbine à vapeur

et un condenseur, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

- 5 - injection d'une solution hygroscopique dans le conduit, de sorte que la solution hygroscopique se dilue en absorbant la vapeur d'eau des fumées circulant dans le conduit ;
 - extraction de la solution depuis le conduit ;
 - évaporation de la vapeur d'eau absorbée par la solution, puis condensation, au niveau d'un moyen de régénération dans lequel sont mis en prise la solution et de l'eau froide provenant du condenseur.
- 10 Le procédé selon est avantageusement complété par une étape de transfert thermique depuis la solution hygroscopique reconcentrée vers le circuit de vapeur au niveau d'un échangeur.

PRESENTATION DES FIGURES

15

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- 20 - la figure 1 précédemment décrite est un schéma d'une centrale thermique connue ;
- la figure 2 est un schéma d'une centrale thermique équipée d'un dispositif de récupération de chaleur selon l'invention ;
- la figure 3a est un schéma d'un premier mode de réalisation possible d'un absorbeur à membrane utilisé dans une variante préférée du dispositif de 25 récupération de chaleur selon l'invention ;
- la figure 3b est un schéma d'un second mode de réalisation possible d'un absorbeur à membrane utilisé dans une variante préférée du dispositif de récupération de chaleur selon l'invention;
- les figures 4a-b sont deux graphiques représentant le profil typique des 30 températures et de la concentration en sel d'une solution hygroscopique utilisée par l'invention tombant dans une cheminée de 5m dans laquelle circule des fumées à 180°C.

Sur les différentes figures, les éléments similaires portent les mêmes références numériques, et les valeurs de températures indiquées sont uniquement à titre d'exemple non limitatif.

5 DESCRIPTION DETAILLEE

Un dispositif 20 selon l'invention intégré dans une installation thermique de production électrique 10 à biomasse est représenté figure 2.

On retrouve les éléments connus d'une centrale à biomasse représentée figure 1 préalablement décrite. Il faut toutefois mentionner que le dispositif de récupération de chaleur des fumées selon l'invention s'applique en effet particulièrement aux centrales à combustion de biomasse, mais ne leur est pas limité puisqu'il s'applique aussi à toutes les centrales thermiques, c'est-à-dire toutes les centrales qui produisent de l'électricité directement ou indirectement à partir d'une source de chaleur entraînant une turbine, y compris les centrales à gaz, charbon, hydrocarbures...

Le dispositif 20 selon l'invention comprend un circuit 21 qui véhicule une solution s hygroscopique grâce à une ou plusieurs pompes liquide 210. En cas d'incertitude, ce circuit sera désigné en tant que circuit principal du dispositif 20.

La solution s est constituée d'un élément hygroscopique, que l'on désignera par le terme général de « sel », dissout dans l'eau. Par exemple, de manière non limitative, s peut être une solution aqueuse de chlorure de calcium, de bromure de lithium, de chlorure de lithium ou de triéthylène glycol. Ces éléments présentent une grande affinité avec l'eau. En conséquence, ils absorbent de la vapeur d'eau à une température supérieure à celle à laquelle la vapeur se condenserait normalement (point de rosée). Symétriquement, ces solutions bouillent à une température supérieure à celle de l'eau pure. A titre indicatif, pour une solution à 50 % massique de chlorure de calcium dans de l'eau, la courbe "température d'ébullition en fonction de la pression", est décalée d'une vingtaine de degrés par-rapport à l'eau pure.

Le moyen 11 d'évacuation des fumées voit l'ajout d'un conduit préférentiellement vertical 111. On lui ajoute un moyen 23 d'injection d'une solution s hygroscopique depuis le circuit 21, par exemple un brumisateur ou une colonne à garnissage, qui la pulvérise dans le conduit 111, le plus souvent au sommet, pour retomber dans le conduit à contre-courant des fumées pour une meilleure absorption. La chaleur contenue dans ces fumées sous forme de chaleur latente de la vapeur d'eau et de chaleur sensible est ainsi transférée dans la solution qui chauffe et se dilue tandis que les fumées se refroidissent et s'assèchent.

10 La solution s diluée, porteuse de la chaleur extraite par absorption de la vapeur d'eau dans le gaz, est récupérée généralement à la base du conduit 111 grâce à un moyen 24 d'extraction liquide, qui peut simplement être une bonde.

15 Le dispositif 20 comprend également un moyen 25 de régénération de la solution s disposé sur le circuit 21. En effet il est nécessaire d'extraire la vapeur d'eau récupérée par la solution pour transférer son énergie au circuit de vapeur 13, et pour pouvoir réutiliser la solution dans un nouveau cycle d'injection dans le conduit 111.

20 Cependant, il est théoriquement nécessaire de faire chauffer cette solution s diluée, pour en extraire la vapeur d'eau. Le dispositif selon l'invention arrive à se passer de cette étape de chauffage en utilisant les propriétés physiques de ce que l'on appelle la pression de vapeur saturante (P_{sat}). Il s'agit de la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide. Elle dépend exclusivement de la température. Dans le cas de l'eau, si la pression partielle de vapeur est supérieure à P_{sat} , alors la vapeur va se condenser, et au contraire l'eau va se vaporiser dans le cas inverse. Cela explique pourquoi l'eau s'évapore dans la plupart des cas sans être à 100°C, température à laquelle P_{sat} passe au dessus de la pression atmosphérique, l'eau s'évaporant donc même dans une atmosphère saturée. L'idée de l'invention est de remarquer qu'il a à peu près 25°C d'écart de température d'ébullition entre solution

hygroscopique et eau pure, mais une température de condensation unique, celle de l'eau.

En faisant des hypothèses de gaz parfait, d'après la formule de Clapeyron on a :

$$5 \quad \ln \frac{P_{sat}}{P_0} = \frac{M \times L_v}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$$

T_0 : température d'ébullition de la substance à une pression p_0 donnée, en K

p_{sat} : pression de vapeur saturante, dans la même unité que p_0

M : masse molaire de la substance, en kg/mol

L_v : chaleur latente de vaporisation de la substance, en J/kg

10 R : constante des gaz parfaits, égale à 8,314 J/K/mol

T : température de la vapeur, en K

Dans notre cas, toutes les constantes sont égales entre l'eau et la solution s, à part la température d'ébullition.

15 On a donc, en faisant un développement limité (car toutes les températures sont proches de 350K) :

$$\begin{aligned} \ln \frac{P_{sat_{eau}}}{P_{sat_{solution}}} &= \ln \frac{P_{sat_{eau}}}{P_0} - \ln \frac{P_{sat_{solution}}}{P_0} \\ &= \frac{M \times L_v}{R} \left(\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_{eau}} \right) - \left(\frac{1}{T_0 + \Delta T_0} - \frac{1}{T_{solution}} \right) \right) \\ &\approx \frac{M \times L_v}{R} \times \frac{\Delta T_0 - (T_{solution} - T_{eau})}{T_0^2} \end{aligned}$$

$$\text{D'où, } P_{sat_{eau}} < P_{sat_{solution}} \Leftrightarrow \Delta T_0 < (T_{solution} - T_{eau})$$

20 Cette relation signifie qu'à condition que l'écart de température soit supérieur à l'écart de température d'ébullition (ici 25°C + 5°C créant une « force motrice »), en mettant en contact la phase gazeuse de la solution s avec une paroi étanche à l'eau derrière laquelle circule l'eau froide venant du condenseur, on aura spontanément une vaporisation de l'eau contenue dans la solution s, et sa condensation contre la paroi. En effet, puisque la phase vapeur de la solution s et de l'eau qui se recondense est la même, la
25 pression partielle y est la même. Il sera donc impossible d'obtenir un équilibre, et on aura en permanence $P_{sat_{eau}} < P_{vapeur} < P_{sat_{solution}}$ c'est-à-dire une condensation sur la paroi associée à un réchauffement d'après la première inégalité, et une vaporisation de la vapeur d'eau contenue dans la

solution s associée à un refroidissement d'après la seconde inégalité. En pratique, la solution s arrive préchauffée par les vapeurs à 85°C, et l'eau refroidie par le condenseur à 33°C. Il y a donc un différentiel suffisant de 50°C. Il est toutefois nécessaire que la paroi présente une forte conductivité thermique pour que l'eau du condenseur puisse absorber la chaleur libérée par la condensation et la paroi reste froide.

Cependant, il n'est pas concevable de réaliser ce transfert de vapeur dans une simple enceinte avec deux bacs. Il prendrait un temps bien trop long, et les températures se seraient équilibrées avant par conduction thermique. En effet les deux pressions saturantes restent très proches.

L'invention propose deux façons ingénieuses d'accélérer ce processus.

Dans un premier mode de réalisation, le moyen 25 peut être une enceinte basse pression. Elle est composée de deux chambres dans lesquelles règne un vide poussé, par exemple 0.03 bars, l'une étant en contact avec l'eau froide du condenseur, et l'autre recevant la solution s. Grâce à cette faible pression la température d'ébullition diminue fortement, et la vaporisation puis la recondensation se font presque instantanément.

Néanmoins, un tel système est contraignant à utiliser à cause des problèmes d'étanchéité.

C'est pourquoi l'invention propose, dans un mode de réalisation préféré, d'utiliser un absorbeur à membranes de distillation, représenté sur la figure 3a, ou une combinaison d'un tel absorbeur et de l'enceinte précédente. Ces membranes 26 ont la propriété d'être à la fois hydrophobes (donc ne laissant pas passer l'eau liquide) et perméables à la vapeur d'eau. L'exemple le plus connu d'un de ces matériaux pouvant constituer ces membranes est le Gore-Tex® commercialisé par W. L. Gore & Associates. Ce tissu, à base de tétrafluorure d'éthylène étiré, possède $1,4 \cdot 10^9$ nano-pores au centimètre carré, chacun ayant un diamètre d'environ 0,2 micromètres. Ils sont donc 20 000 fois plus petits qu'une goutte d'eau

mais 700 fois plus grands qu'une molécule d'eau seule. La vapeur d'eau, constituée de molécules fortement distantes les unes des autres n'a aucun mal à passer, au contraire des gouttes d'eau tenues par tension superficielle.

5 En séparant les deux chambres par une telle membrane 26, la solution s va laisser « transpirer » son eau, qui se vaporise (production de froid), traverse la membrane, et se recondense quelques millimètres plus loin sur la paroi (production de chaud). Il y a ainsi interface quasi-directe entre les deux fluides. Une première structure particulièrement avantageuse
10 pour l'absorbeur est une alternance de canaux parallèles 251 et 252, dans lesquels circulent respectivement la solution hygroscopique s et l'eau pure du condenseur, ces canaux étant séparés par un mince collecteur 253 qui va récupérer l'eau recondensée. La paroi qui sépare un canal 251 et un collecteur 253 est une membrane de distillation 26 dont la conductivité
15 thermique est la plus faible possible. La paroi qui sépare un canal 252 et un collecteur 253 est une paroi étanche ayant la conductivité thermique la plus élevée possible, par exemple une plaque métallique. L'eau condensée est ensuite extraite du dispositif 25. Elle peut être utilisée dans un autre dispositif ou évacuée dans un réseau d'eaux usagées.

20 Une seconde solution également très avantageuse est d'utiliser directement une alternance de canaux parallèles 251 et 252 séparés par une membrane 301 sans collecteur 253. La vapeur d'eau se recondense directement dans le circuit d'eau. Ce système est encore plus simple mécaniquement, sa structure est représentée figure 3b. Préférentiellement,
25 ce n'est pas l'eau du circuit 13 qui circule dans les canaux 252, mais celle d'un circuit secondaire 13b en prise avec le circuit 13 juste après le condenseur 132 grâce à un échangeur. En effet, pour des raisons de garantie de la pureté de l'eau circulant dans le circuit de vapeur 13, il vaut mieux séparer les circuits. De plus comme la quantité d'eau augmente, à
30 cause de la condensation, il convient de prévoir une évacuation du volume d'eau excédentaire. Ce circuit 13b est avantageusement également présent dans le cas d'une enceinte basse pression comme décrite précédemment.

Avantageusement, dans un système à membranes comme dans l'autre, les fluides sont injectés à contre courant. Ainsi bien que leur écart de température diminue de plus de 10°C lors de la régénération, cet écart ne concerne que les deux extrémités de l'absorbeur, et deux points voisins
5 séparés seulement par la membrane auront toujours au moins 40°C d'écart, c'est à dire assez pour entretenir le transfert de vapeur. En sortie de l'absorbeur, toute la chaleur latente récupérée par la solution s a été transmise au circuit de vapeur 13.

On obtient donc de la solution s régénérée mais encore chaude.
10 Avantageusement, un échangeur 27 est disposé entre les circuits 21 et 13. Maintenant qu'il n'y a plus besoin d'un différentiel de chaleur pour permettre la régénération de la solution s, on peut transférer la chaleur restante, c'est-à-dire la chaleur sensible, à l'eau de circuit de vapeur 13.

15 Le dispositif 20 selon l'invention est en outre capable de s'adapter aux variations de consommation du client 15.

Il suffit d'adapter le débit de solution s dans le circuit 21 au débit d'eau froide provenant du condenseur 132 dans le circuit 13, avantageusement en contrôlant la ou les pompes 210 disposées sur le circuit. On peut aussi
20 éventuellement compléter le système par un by-pass court-circuitant le conduit 111 permettant de maîtriser la quantité de solution injectée dans les fumées à débit constant, ou tout autre système connu de l'homme du métier.

25 EXEMPLE NUMERIQUE

L'impact du dispositif 20 selon l'invention a été évalué sur une petite installation électrique de 3MW, et les graphiques des figures 4a et 4b montrent l'efficacité de la solution hygroscopique sur les fumées. Une
30 injection de solution hygroscopique dans la cheminée à une hauteur de 5m a été prise en compte sur le modèle. A altitude 0 dans le référentiel de la cheminée, la fumée entre à 180°C. Elle rencontre la solution s injectée à 60°C. L'évolution respective des températures est visible sur la figure 4a.

En haut de la cheminée, toute la chaleur sensible de la vapeur a été absorbée puisqu'elle n'est plus qu'à 60°C. En revanche, la solution s est récupérée à 80°C. L'absorption d'eau est également là, puisque d'après le graphique de la figure 4b, la concentration massique de la solution passe de 70% à 69,4%. Cette variation paraît faible, mais comme la masse du sel représente la majeure partie de la masse de la solution, le volume de la solution augmente en fait de plus de 2%.

La suite de la simulation a consisté en l'utilisation de ces données pour prévoir le gain énergétique, et les résultats expérimentaux sont visibles sur la table 1. La colonne de gauche représente une installation classique, et celle de droite « PACO » est équipée du récupérateur de chaleur des fumées.

RESUME			
Production de 20 T/h de vapeur 50 bar à 400°C		situation	amélioration
extraction de 10 T/h de vapeur à 7 bar		antérieure	PACO
puissance globale turbine	kWé	3000	3078
tonnage passant dans le dernier étage de la turbine	T / heure	7,563	8,45
pression d'attaque du dernier étage de la turbine	bar	1,114	1,114
puissance électrique développée par le dernier étage	kWé	667	
température en sortie de condenseur	°C	33	33
énergie récupérée de la chaleur sensible	kW		610
Tonnage vapeur extrait de la turbine pour réchauffer les condensats (sortie du condenseur et retour process client)	T / heure	1,99	1,10
Turbinage de vapeur gagné	T / heure		0,89
Puissance électrique supplémentaire	kWé		78,5

15

Table 1

La chaudière d'une telle installation produit environ 20T de vapeur par heure. En faisant l'hypothèse que la moitié est prélevée par le client consommateur et que le minimum est prélevé pour préchauffer les condensats, il reste classiquement 7,56T de vapeur par heure disponible par heure pour la production électrique, tonnage monté à 8,45 grâce à l'invention.

20

Cette valorisation permet un gain direct de 78 kW de production électrique. Il peut sembler modeste alors que l'on récupère en fait 610 kW thermique dans les fumées, mais au prix de l'électricité "verte" aujourd'hui, le gain de chiffre d'affaires sur la vente d'électricité atteint 78 000 euros sur 5 8000 heures/an de production.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif (20) de récupération de chaleur dans des fumées contenant de la vapeur d'eau, circulant dans un conduit (111), d'une
5 installation thermique (10) de production d'électricité comprenant un circuit de vapeur (13) sur lequel sont disposés au moins une turbine à vapeur (121) et un condenseur (132), le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend :
- un circuit principal (21) pour la circulation d'une solution (s)
10 hygroscopique ;
 - un moyen (23) d'injection liquide depuis le circuit principal (21) vers le conduit (111), de sorte que la solution (s) hygroscopique se dilue en absorbant la vapeur d'eau des fumées circulant dans le conduit (111) ;
 - un moyen (24) d'extraction liquide depuis le conduit (111) vers le circuit
15 principal (21), de sorte que la solution (s) hygroscopique est injectée dans le circuit principal (21) après absorption de la vapeur d'eau ;
 - un moyen (25) de régénération de la solution (s) alimenté par l'eau froide en sortie du condenseur (132).
- 20 2. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le moyen (25) de régénération met en prise le circuit principal (21) et le circuit (13) de vapeur, la température du circuit principal (21) étant supérieure à celle du circuit (13) de vapeur majorée de la différence de température d'ébullition entre la solution (s) hygroscopique et l'eau pure.
- 25 3. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le moyen (25) de régénération permet de transférer de l'humidité et/ou de la chaleur depuis la solution (s) hygroscopique diluée extraite du conduit (111), vers l'eau froide en sortie du condenseur (132).
- 30 4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moyen (25) de régénération comprend une enceinte basse pression.

5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moyen (25) de régénération comprend un absorbeur à membranes (26) de distillation.

5

6. Dispositif selon la revendication précédente, caractérisé en ce que ledit absorbeur à membranes de distillation est constitué de canaux alternés (251, 252) de solution (s) hygroscopique et d'eau séparés par des collecteurs (253), les parois entre les canaux (251) de solution (s) et les collecteurs (253) étant des membranes (26) de distillation.

10

7. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit absorbeur à membranes de distillation est constitué de canaux alternés (251, 252) de solution (s) hygroscopique et d'eau séparés par des membranes (26) de distillation, les deux fluides étant injectés en sens contraire.

15

8. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 7, caractérisé qu'il comprend un échangeur supplémentaire (27) mettant en prise la solution (s) régénérée et l'eau froide en sortie du moyen (25) de régénération.

20

9. Installation thermique (10) de production d'électricité comprenant une chaudière (12), des moyens (11) d'évacuation des fumées dont un conduit (111), un circuit de vapeur (13) sur lequel sont disposés au moins une turbine à vapeur (131) et un condenseur (132), un alternateur (14) entraîné par la turbine (131), l'installation étant caractérisée en ce qu'elle comprend en outre un dispositif (20) de récupération de chaleur dans les fumées selon l'une des revendications précédentes.

25

30

10. Procédé de récupération de chaleur dans des fumées contenant de la vapeur d'eau, circulant dans un conduit (111), d'une installation thermique (10) de production d'électricité comprenant un circuit

de vapeur (13) sur lequel sont disposés au moins une turbine à vapeur (131) et un condenseur (132), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes de :

- 5 - injection d'une solution (s) hygroscopique dans le conduit (111), de sorte que la solution (s) hygroscopique se dilue en absorbant la vapeur d'eau des fumées circulant dans le conduit (111) ;
- extraction de la solution (s) depuis le conduit (111) ;
- évaporation de la vapeur d'eau absorbée par la solution (s), puis condensation, au niveau d'un moyen de régénération (25) dans lequel sont
10 mis en prise la solution (s) et de l'eau froide provenant du condenseur (132).

- 11.** Procédé selon la revendication précédente, comprenant en outre une étape de transfert thermique depuis la solution (s) hygroscopique
15 reconcentrée vers le circuit de vapeur (13) au niveau d'un échangeur (27).

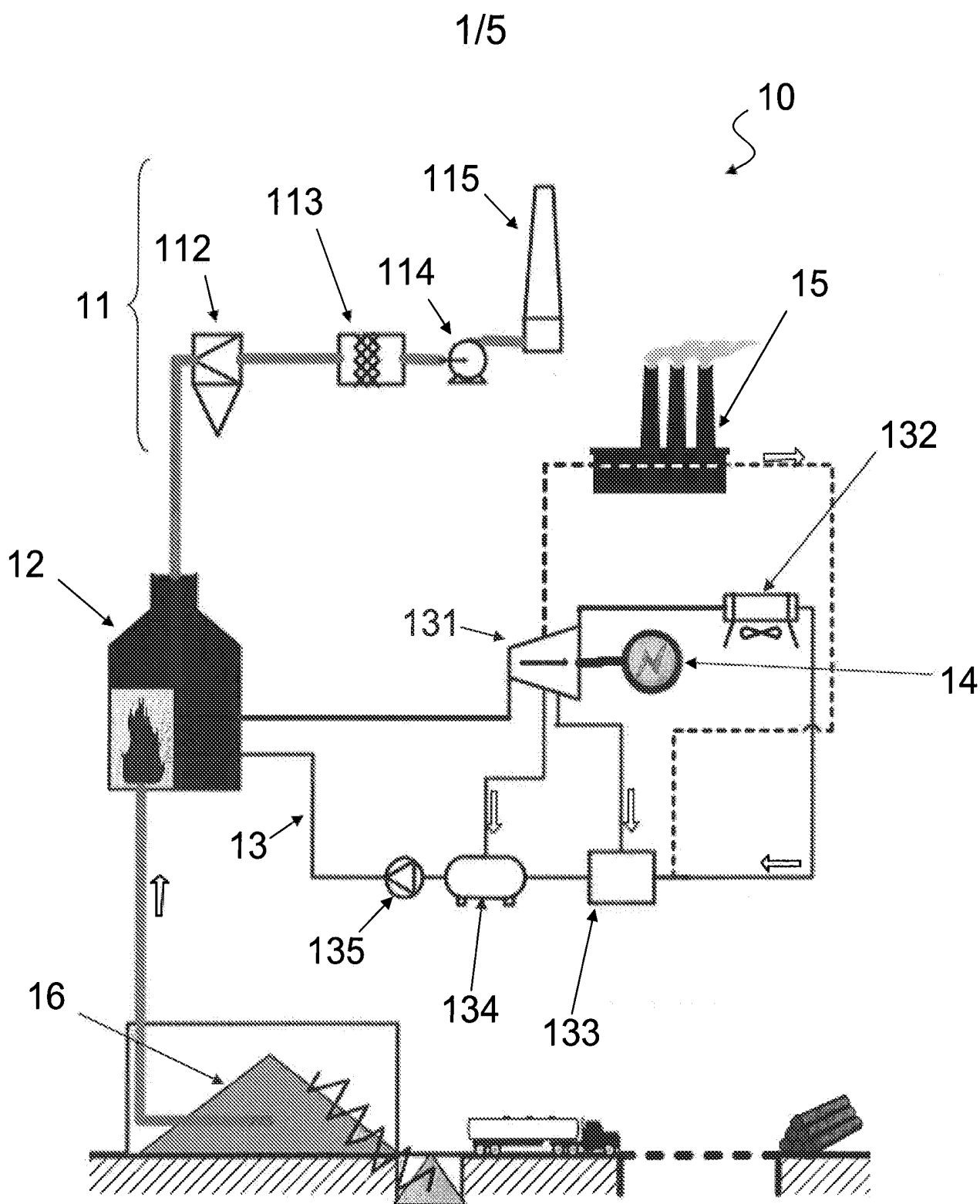


FIG. 1
Etat de la technique

2/5

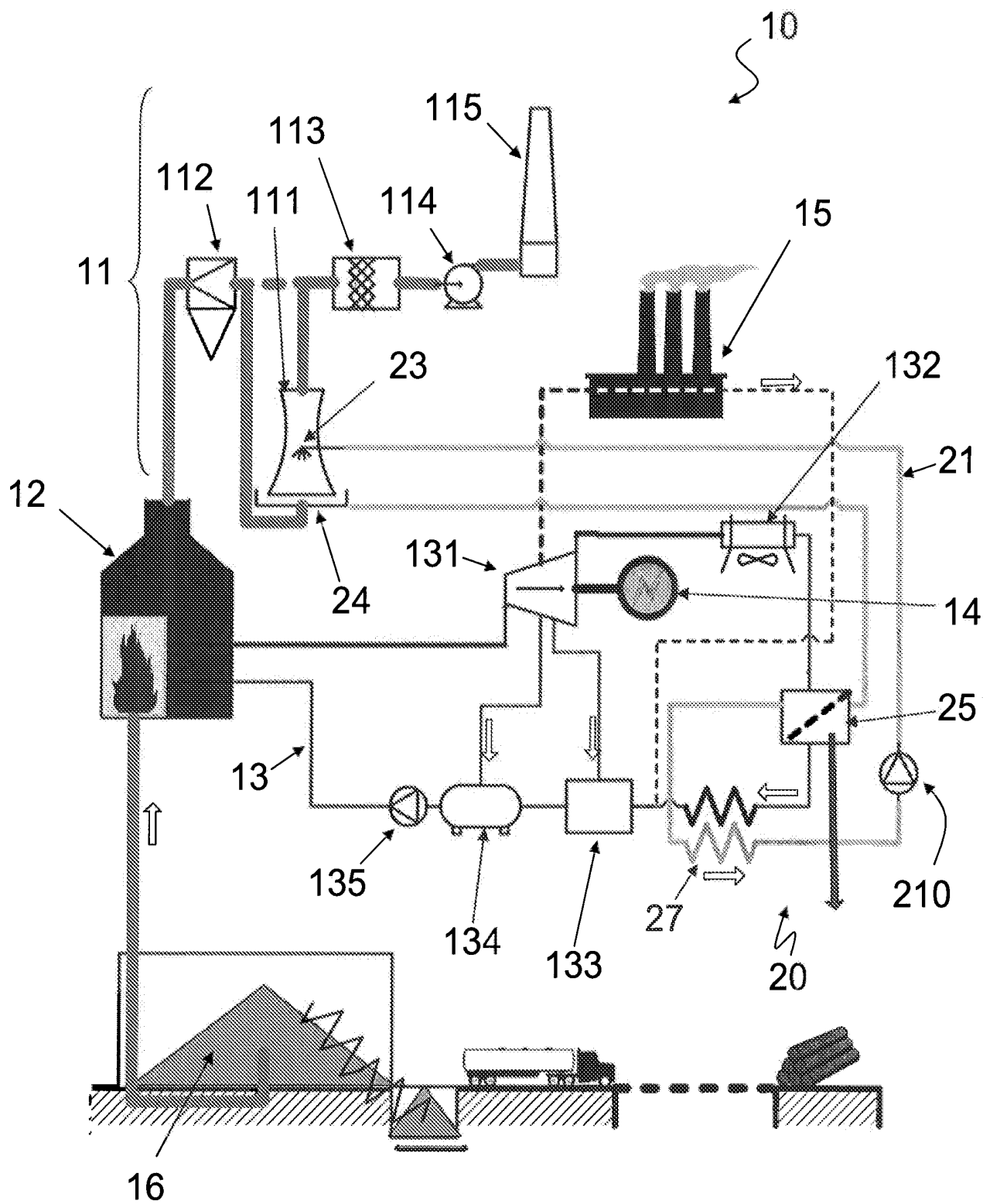


FIG. 2

3/5

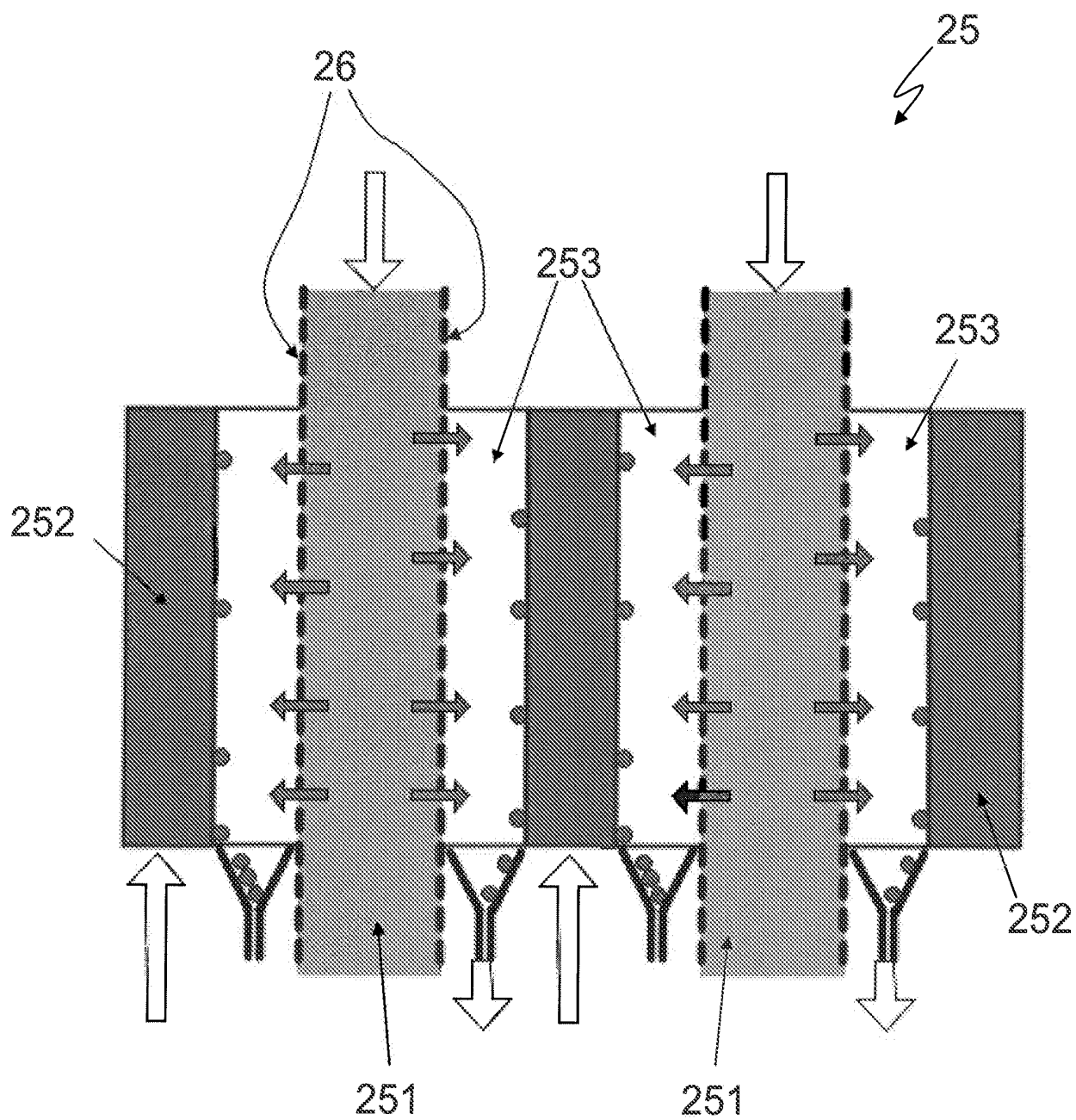


FIG. 3a

4/5

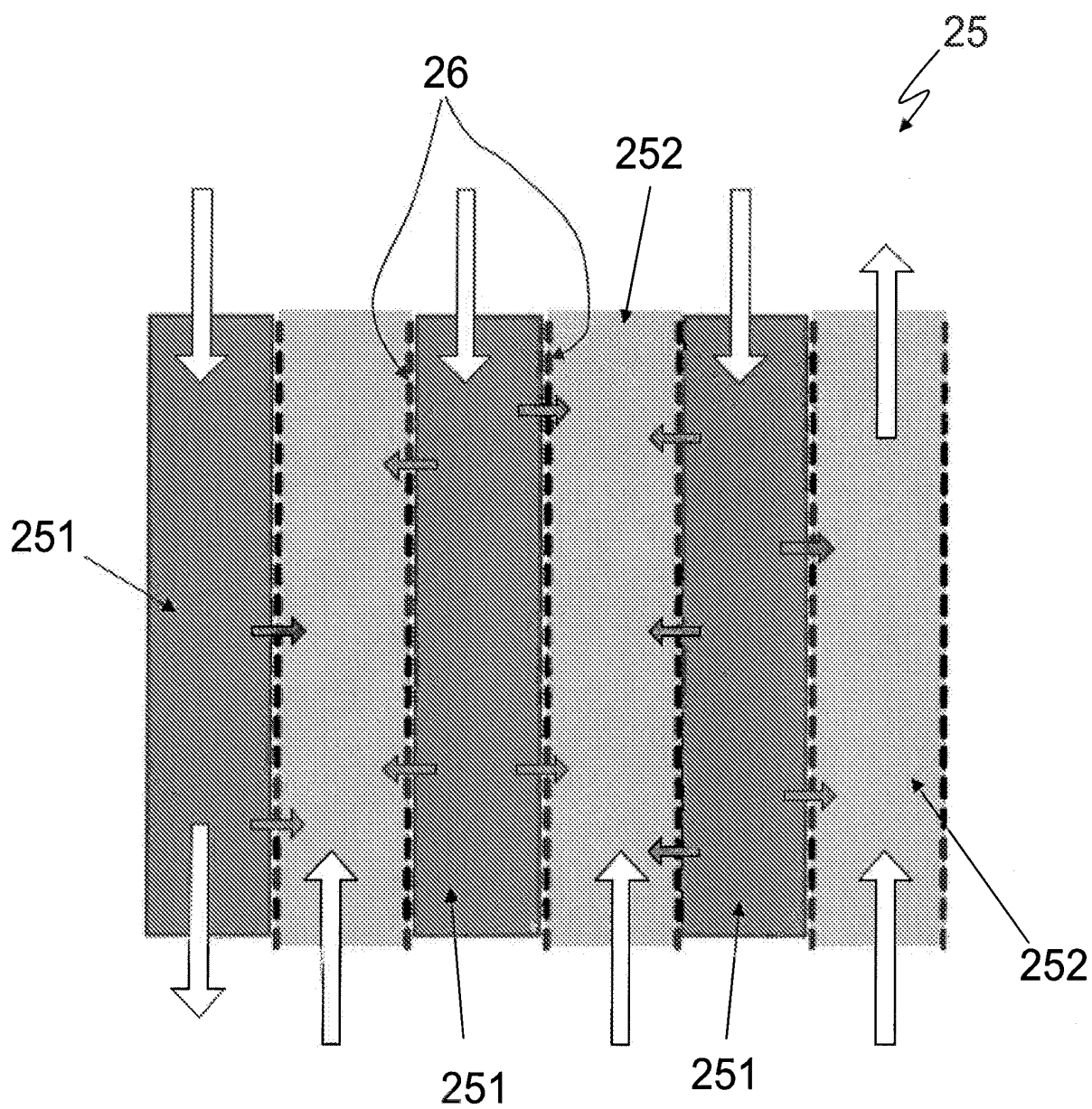


FIG. 3b

5/5

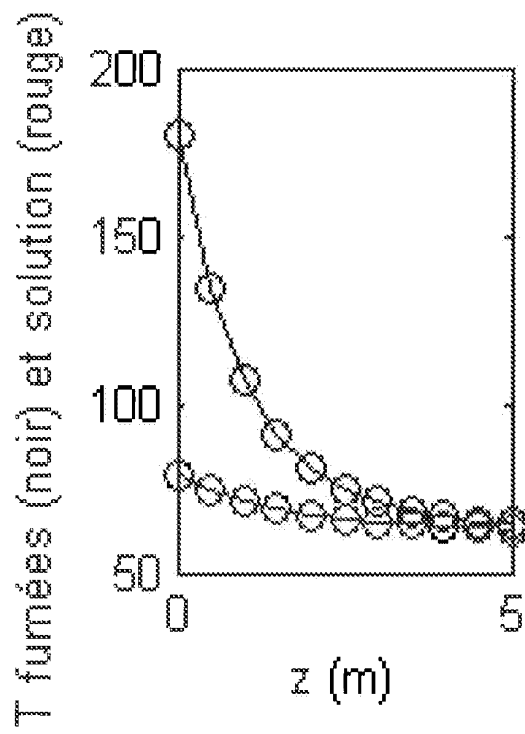


FIG. 4a

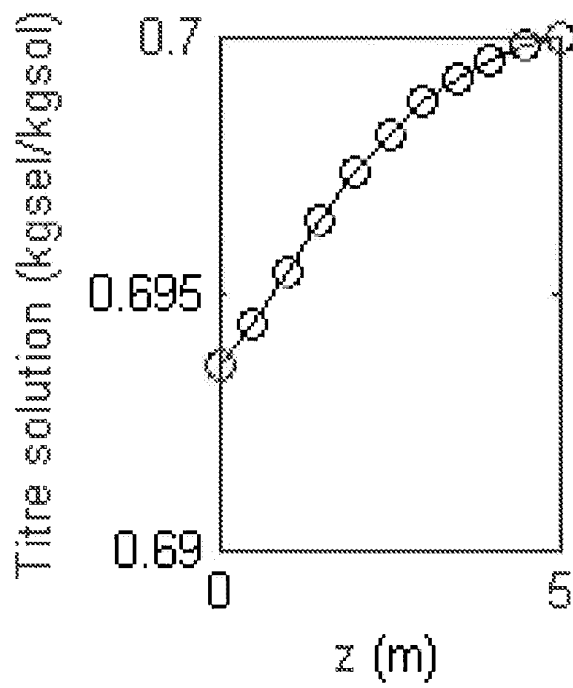


FIG. 4b



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 731442
FR 1050410

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 4 340 572 A (BEN-SHMUEL DAN ET AL) 20 juillet 1982 (1982-07-20) * regenerating mentioned but not described, cooling of the solution by boiler feed water.; le document en entier *	1-3,9,10	F24H8/00
A	EP 1 685 890 A1 (WESTERMARK ENERGIUTVECKLING AB [SE] HYHEAT AB [SE]) 2 août 2006 (2006-08-02) * regenerating by heat; alinéa [0001] - alinéa [0002] * * alinéa [0016] - alinéa [0030]; figure 1 *	1,8-11	
A	DE 10 2007 005578 A1 (BHF VERFAHRENSTECHNIK GMBH [DE]) 7 août 2008 (2008-08-07) regenerating by heat; * abrégé; revendication 1; figure 1 *	1,8-11	
A,D	EP 0 857 923 A2 (BHF VERFAHRENSTECHNIK GMBH [DE]) 12 août 1998 (1998-08-12) * regenerating by heat; le document en entier *	1	
A	US 2 324 193 A (RICHARD BRUNEL) 13 juillet 1943 (1943-07-13) * low pressure regeneration, no cooling with condensed boiler water; page 1, colonne 1, ligne 1-5 * * page 2, colonne 2, ligne 11-52; figures 1A,1B *	1,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B01D F01K F23J F24F F24H F28B F28D
		-/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 septembre 2010		Leclaire, Thomas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 731442
FR 1050410

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	FR 2 637 510 A1 (MERIDIONAL OENOLOGIE CENTRE [FR]) 13 avril 1990 (1990-04-13) * electrolytic regeneration for clean air applications. vacuum distillation and compression condensation mentioned. * -----	5-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	FR 2 750 346 A1 (REALISATIONS D EQUIPEMENTS GAZ [FR]) 2 janvier 1998 (1998-01-02) * pervaporating regeneration of hygroscopic glycol solution; le document en entier * -----	5-8	
A	US 2006/156761 A1 (MOLA STEFANO [IT] ET AL) 20 juillet 2006 (2006-07-20) * membrane regenerator in automotive hvac dehumidifier; alinéas [0001], [0011] - [0029] * -----	5-8	
A	DE 42 28 471 A1 (HENKEL KGAA [DE]) 3 mars 1994 (1994-03-03) * membrane separation of gypsum from absorbing solution in SO2-washer; colonne 1, ligne 1 - colonne 2, ligne 52 * -----	5-8	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 septembre 2010		Leclaire, Thomas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date	
autre document de la même catégorie		de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

1
EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1050410 FA 731442**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 29-09-2010

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4340572	A	20-07-1982	CA 1102786 A1	09-06-1981
EP 1685890	A1	02-08-2006	AT 472361 T	15-07-2010
			SE 527739 C2	23-05-2006
			SE 0401390 A	29-11-2005
DE 102007005578	A1	07-08-2008	AUCUN	
EP 0857923	A2	12-08-1998	AT 230473 T	15-01-2003
			DE 19704888 A1	13-08-1998
US 2324193	A	13-07-1943	AUCUN	
FR 2637510	A1	13-04-1990	AUCUN	
FR 2750346	A1	02-01-1998	AUCUN	
US 2006156761	A1	20-07-2006	AT 348019 T	15-01-2007
			DE 602004003710 T2	18-10-2007
			EP 1651456 A1	03-05-2006
			WO 2005014317 A1	17-02-2005
			ES 2279394 T3	16-08-2007
DE 4228471	A1	03-03-1994	AT 143285 T	15-10-1996
			WO 9405400 A1	17-03-1994
			EP 0656806 A1	14-06-1995
			ES 2091631 T3	01-11-1996