

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 13.06.00.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.12.01 Bulletin 01/50.

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) : THE THIRD MILLENIUM WATER CY  
Société anonyme — FR.

72) Inventeur(s) : DOMEN JEAN PAUL.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) :

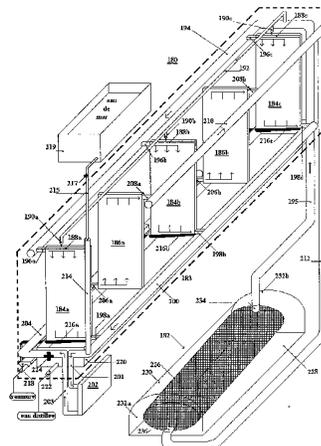
54) ECHANGEURS THERMIQUES PERFECTIONNES PROCEDES ET APPAREILS DE DISTILLATION EN FAISANT USAGE NOTAMMENT POUR PRODUIRE DE L'EAU DOUCE.

57) Un de ces appareils comprend une chaudière solaire (182) et, dans une chambre de traitement isolée (183), un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique E-C (184-186), à revêtement hydrophile, intercalés avec des espaces libres étroits et respectivement affectés à l'Evaporation d'eau et à la Condensation de vapeur. Par thermosiphon, l'eau chaude circule en circuit fermé, descend dans les éléments E puis remonte dans les éléments C, une partie étant étalée en haut des éléments E. La vapeur produite se condense en face sur les parois " froides " des éléments C. L'eau à distiller est introduite (214) en amont du collecteur bas des éléments C.

Coefficient de performances élevé. Absence d'énergie mécanique.

Applications: Production continue d'eau douce et/ ou de saumure

Cogénération électricité / eau douce.



1

E C H A N G E U R S   T H E R M I Q U E S   P E R F E C T I O N N E S  
P R O C E D E S   E T   A P P A R E I L S   D E   D I S T I L L A T I O N  
E N   F A I S A N T   U S A G E  
N O T A M M E N T   P O U R   P R O D U I R E   D E   L ' E A U   D O U C E

L'invention se rapporte à des procédés et des appareils de distillation à hautes performances. En pratique, de telles performances consistent en une production économique importante de distillat par unité d'énergie thermique consommée, c'est-à-dire une combinaison inhabituelle d'un coefficient de per-  
05 formances élevé, d'un très faible emploi d'énergie mécanique et d'une utilisation intensive d'énergie thermique à basse température (généralement moins de 100°C), le tout mis en oeuvre au moyen de techniques de construction, d'exploitation et de maintenance, banales et bon marché. Les échangeurs thermiques perfectionnés selon l'invention constituent des moyens permettant de dévelop-  
10 per de tels procédés et de réaliser de tels appareils. Deux applications particulières (mais non limitatives) de l'invention concernent la production d'eau douce, notamment à partir d'eau de mer, et celle de concentrés tels que sirops ou saumures.

Un procédé intéressant de distillation d'eau de mer est mis en oeuvre  
15 dans un des alambics solaires de production d'eau douce décrits dans une demande de brevet internationale, déposée par Jean-Paul DOMEN, publiée sous le N° WO 98/16474. Le procédé en question utilise une chaudière (solaire) pour à la fois produire de l'eau chaude et de la vapeur d'eau, dans une chambre d'évaporation comportant deux surfaces d'évaporation, une surface directement  
20 chauffée par la source de chaleur et une autre réchauffée par une cloison mitoyenne mince, présentée ci-après. Un ventilateur fait circuler en circuit fermé un courant d'air entraînant cette vapeur vers une première puis vers une seconde chambre de condensation. Les parois de ces deux chambres étant relativement froides, la vapeur entraînée par l'air se condense sur ces parois. La  
25 première chambre de condensation est séparée de la chambre d'évaporation par la cloison mitoyenne mince, visée plus haut, laquelle conduit relativement bien la chaleur. Du côté de la chambre d'évaporation, cette cloison comporte un revêtement hydrophile dans lequel l'eau chaude produite par la chaudière s'écoule lentement, par capillarité et gravité. Du côté de la première chambre  
30 de condensation, le courant d'air chaud humide qui lèche cette cloison mitoyenne est, tout le long de cette cloison, toujours un peu plus chaud que l'eau chaude en écoulement sur l'autre face. A travers cette cloison mitoyenne, une partie de la chaleur latente de condensation de la vapeur est, en conséquence,

recyclée dans la chambre d'évaporation, pour évaporer une partie de l'eau chaude en écoulement dans le revêtement hydrophile. Dans la seconde chambre de condensation, à paroi extérieure humidifiée en permanence, la vapeur résiduelle est partiellement condensée et l'air d'entraînement est refroidi avant son  
05 retour dans la chambre d'évaporation, afin de permettre d'y réaliser un recyclage de la chaleur latente de condensation. Dans les deux chambres, une ségrégation air/eau se produit qui permet de recueillir l'eau douce aux points bas de ces deux chambres. Quant à la saumure, elle est recueillie au point bas de la cloison mitoyenne, du côté de la chambre d'évaporation.

10 Ce procédé donne des résultats intéressants mais cependant encore insuffisants pour deux raisons principales. Tout d'abord, la partie recyclée de la chaleur latente de condensation de la vapeur est faible parce que les échanges thermiques entre la chambre d'évaporation et la première chambre de condensation sont eux-mêmes faibles. En effet, dans la forme de réalisation décrite,  
15 la surface de la cloison mitoyenne est nécessairement limitée et des distances moyennes importantes existent entre cette cloison mitoyenne et les couches d'air circulant en sens inverses dans ces deux chambres. De ce fait, l'air sortant de la première chambre de condensation est encore relativement chaud et humide. Le refroidissement et l'assèchement de cet air dans la seconde  
20 chambre de condensation sont peu efficaces car ils sont réalisés avec des limitations semblables à celles de la première, à savoir: une surface de paroi extérieure froide nécessairement limitée et un écart moyen trop important entre cette surface froide et les veines d'air en circulation à l'intérieur.

25 Le premier objet de l'invention est de développer de nouveaux procédés de distillation qui reprennent et extrapolent les concepts de base du procédé antérieur visé plus haut, afin de maximiser le recyclage de la chaleur latente de condensation de la vapeur et ainsi de considérablement augmenter les performances de ces procédés.

30 Le deuxième objet de l'invention concerne des procédés de distillation faisant appel à des éléments d'échange thermique perfectionnés, susceptibles d'être assemblés pour présenter de très grandes surfaces totales d'évaporation et de condensation, chaque élément étant adapté à efficacement coopérer avec les couches d'air qui le séparent des éléments voisins.

35 Le troisième objet de l'invention est de fabriquer de tels éléments d'échange thermique perfectionnés, particulièrement efficaces et cependant bon marché.

Le quatrième objet de l'invention est de construire des appareils de

distillation à coefficient de performances élevé, qui soient particulièrement économiques à la construction, à l'exploitation et à la maintenance, pour produire de l'eau douce et/ou des concentrés de solutions aqueuses.

Le cinquième objet de l'invention est de construire des appareils de  
05 distillation d'eau de mer à hautes performances, qui soient particulièrement bien adaptés à la production d'eau douce dans les régions sèches peu développées du littoral.

Selon l'invention, un premier procédé de distillation à coefficient de  
10 performances élevé comprenant les étapes suivantes:

- produire du liquide chaud et de la vapeur, dans une chaudière alimentée par du liquide à distiller;
- entraîner ladite vapeur dans une chambre de condensation, par un courant d'air chaud sensiblement saturé;
- 15 - faire couler lentement ledit liquide chaud sur la face mouillable ou hydrophile d'une cloison mitoyenne mince, interposée entre une chambre d'évaporation et ladite chambre de condensation, afin qu'une partie de ce liquide puisse être évaporée dans la chambre d'évaporation par récupération de la chaleur latente de condensation de la vapeur sur l'autre face de cette cloison;
- 20 - séparer l'air d'entraînement du distillat condensé sur ladite autre face de la cloison mitoyenne;
- refroidir l'air d'entraînement ainsi séparé du distillat et, à cette occasion, condenser une partie de la vapeur résiduelle;
- faire balayer ladite face mouillable ou hydrophile par cet air ainsi refroidi et retourner cet air à la chaudière;
- 25 - recueillir le distillat en un point bas de la chambre de condensation;
- recueillir le concentré en un point bas de ladite face mouillable;

est caractérisé en ce que:

- un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique quasi-réversible  
30 liquide/vapeur, pourvus de raccords amont et aval ainsi que de parois extérieures au moins mouillables et de préférence hydrophiles, étant verticalement disposés dans une chambre de traitement à haute isolation thermique, avec des espaces libres étroits aménagés entre ces éléments;
- la circulation du courant d'air chaud saturé se fait de haut en bas dans ces  
35 alvéoles et de bas en haut dans les espaces libres, l'ensemble des volumes intérieurs de ces alvéoles constituant la chambre de condensation et l'ensemble desdits espaces libres, la chambre d'évaporation;
- le refroidissement de l'air avant son entrée dans la chambre d'évaporation

est réalisé par son passage dans un serpentin immergé dans du liquide à la température extérieure.

Grâce à ces dispositions, un premier procédé de distillation à coefficient de performances élevé est réalisé, qui est une extension directe du procédé mis en oeuvre dans la demande de brevet citée ci-dessus en référence. Dans ce nouveau procédé, les deux surfaces d'évaporation du procédé antérieur sont éloignées l'une de l'autre, au lieu d'appartenir à la même chambre d'évaporation. Cela permet de réaliser trois perfectionnements importants: (1) disposer de cloisons mitoyennes d'échange thermique de grande surface totale, 10 puisque les dimensions de la chaudière ne limitent plus la surface de ces cloisons, (2) pouvoir réduire au mieux l'épaisseur des couches d'air qui circulent le long de ces parois d'échange thermique et (3) pouvoir utiliser une chaudière conventionnelle aussi bien que solaire.

En outre, ce premier procédé permet de remplacer la seconde chambre de 15 condensation par un dispositif plus efficace, à savoir un serpentin immergé dans du liquide à la température extérieure. Ce liquide ainsi réchauffé pourra être soit immédiatement rejeté soit en partie récupéré pour alimenter la chaudière. Ce nouveau procédé présente toutefois l'inconvénient de devoir remplacer le ventilateur à faible consommation électrique, utilisé dans le procédé 20 antérieur, par une turbine nécessitant une consommation électrique nettement supérieure. Cela est fait pour faire rapidement circuler dans les raccords à section nécessairement réduite des alvéoles des éléments d'échange thermique, un courant d'air sous une pression relativement élevée cependant que cet air circule à vitesse lente et à pression plus faible dans les alvéoles et les espaces 25 libres de la chambre de traitement, le serpentin et la chaudière.

Le deuxième procédé de distillation selon l'invention permet de réduire notablement cette consommation électrique tout en conservant la plupart des avantages du premier procédé.

Selon l'invention, un deuxième procédé de distillation à coefficient de 30 performances élevé, comprenant les étapes suivantes:

- produire du liquide chaud dans une chaudière alimentée par le liquide à distiller;
- faire couler lentement ledit liquide chaud sur la face mouillable ou hydrophile d'une paroi d'échange thermique appartenant à une chambre d'évaporation;
- 35 - entraîner la vapeur, produite dans ladite chambre d'évaporation, dans une chambre de condensation, par un courant d'air chaud sensiblement saturé;
- faire balayer ladite face mouillable ou hydrophile par le courant d'air sortant de la chambre de condensation;

-5-

- recueillir le distillat en un point bas de la chambre de condensation;
- recueillir le concentré en un point bas de la chambre d'évaporation;

est caractérisé en ce que:

- les chambres de condensation et d'évaporation possèdent des parois extérieures à haute isolation thermique et une cloison mitoyenne percée d'ouvertures en haut et en bas et elles contiennent chacune un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible;
- lesdits éléments sont pourvus de raccords amont et aval ainsi que de parois extérieures au moins mouillables et de préférence hydrophiles, et ils sont verticalement disposés dans lesdites chambres avec des espaces étroits aménagés entre eux;

et ledit procédé comprend les étapes suivantes:

- faire circuler en circuit fermé un courant d'air dans les chambres de condensation et d'évaporation, l'air passant du haut des espaces libres de la chambre d'évaporation en haut des espaces libres de la chambre de condensation, puis du bas de ces derniers en bas des premiers;
- faire circuler en circuit fermé le liquide à distiller dans les éléments de la chambre de condensation, dans la chaudière puis dans les éléments de la chambre d'évaporation, avec un sens de circulation inverse de celui de l'air dans les espaces libres des chambres de condensation et d'évaporation, afin de récupérer la chaleur latente de condensation de la vapeur puis de restituer cette chaleur au liquide chaud en écoulement lent sur les parois des éléments d'échange thermique de la chambre d'évaporation;
- ajouter un débit déterminé de liquide à la température extérieure au liquide entrant en bas des éléments de la chambre de condensation pour permettre de constamment étaler du liquide chaud sur les extrémités supérieures des parois mouillables ou hydrophiles des éléments de la chambre d'évaporation;
- refroidir le liquide sortant du bas des éléments de la chambre d'évaporation.

Selon une caractéristique complémentaire de ce deuxième procédé, l'opération consistant à refroidir le liquide sortant du bas des éléments de la chambre d'évaporation est réalisée par le passage de ce liquide dans un organe de refroidissement installé à l'extérieur des chambres de condensation et d'évaporation, de manière à y être disposé à l'ombre et exposé à l'air ambiant.

Grâce à ces dispositions, un deuxième procédé de distillation à hautes performances est défini, qui diffère principalement du premier par la présence d'un circuit de liquide caloporteur intermédiaire entre une chambre de condensation et une chambre d'évaporation, toutes deux pourvues d'éléments d'échange

thermique selon l'invention. Ce qui permet de conserver un ventilateur mais impose l'emploi d'une pompe à consommation électrique comparable, pour faire circuler ce liquide caloporteur en circuit fermé, avec un débit relativement faible et une pression constante. En outre, la chaudière ne doit produire que  
 05 du liquide chaud, étant entendu cependant qu'une production de vapeur y est toutefois possible mais, en général, sans intérêt particulier.

On notera que les deux opérations consistant respectivement à refroidir le liquide à un emplacement donné du circuit et à ajouter du liquide relativement froid à ce liquide en un emplacement voisin du premier, peuvent dans  
 10 certains cas être confondues. Dans ce cas, le coefficient de performances du procédé est diminué tout en demeurant intéressant.

Le troisième procédé de distillation selon l'invention est un perfectionnement du deuxième qui permet d'en conserver tous les avantages, tout en en simplifiant les conditions de mise en oeuvre jusqu'à supprimer tout besoin  
 15 d'énergie mécanique.

Selon l'invention, un troisième procédé de distillation à coefficient de performances élevé, est caractérisé en ce qu'il consiste à:

- produire du liquide chaud dans une chaudière alimentée par le liquide à distiller;
- 20 - disposer à la verticale, dans une chambre de traitement thermiquement bien isolée, un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible, pourvus de raccords amont et aval ainsi que de parois extérieures au moins mouillables et de préférence hydrophiles;
- répartir lesdits éléments en deux groupes, le premier affecté à l'évaporation  
 25 tion de liquide et le second à la condensation de vapeur;
- installer chaque élément du second groupe entre deux éléments du premier, tout en ménageant entre eux un espace libre relativement étroit;
- pourvoir de collecteurs hauts et bas les raccords des alvéoles des éléments de chacun des deux groupes;
- 30 - relier l'entrée de la chaudière au collecteur haut des éléments du deuxième groupe et relier sa sortie au collecteur haut des éléments du premier;
- faire circuler en circuit fermé le liquide à distiller dans les éléments du deuxième groupe puis dans la chaudière et dans les éléments du premier groupe, le liquide circulant de bas en haut dans les éléments du deuxième groupe et de  
 35 haut en bas dans ceux du premier groupe;
- ajouter un débit déterminé de liquide à distiller à la température extérieure, au liquide circulant dans le collecteur bas des éléments du deuxième groupe, pour constamment étaler et faire lentement couler du liquide chaud sur les

parois extérieures des éléments du premier groupe;

- refroidir le liquide sortant du collecteur bas des éléments du premier groupe puis faire entrer le liquide ainsi refroidi dans le collecteur bas des éléments du deuxième groupe.

05 - recueillir le distillat en bas des éléments d'échange thermique du deuxième groupe;

- recueillir le concentré en bas des éléments d'échange thermique du premier groupe.

10 Selon une première caractéristique complémentaire de ce troisième procédé de distillation selon l'invention, l'opération consistant à refroidir le liquide sortant du collecteur bas des éléments du premier groupe est réalisée par le passage de ce liquide dans un organe de refroidissement, installé à l'extérieur de la chambre de traitement, de manière à y être disposé à l'ombre et exposé à l'air ambiant.

15 Selon une deuxième caractéristique complémentaire du troisième procédé de distillation selon l'invention, la chaudière est installée sous la chambre de traitement et la distance entre la chaudière et la chambre de traitement est suffisante pour permettre à la circulation du liquide à distiller d'être effectuée par thermo-siphon.

20 Selon une caractéristique complémentaire de la précédente, appliquée à la production d'eau douce, la chaudière est un chauffe-eau solaire à accumulation, comportant un réservoir, le volume de ce réservoir étant d'environ dix fois le volume total des alvéoles d'échange thermique de la chambre de traitement.

25 Ce troisième procédé de distillation selon l'invention est un perfectionnement important du deuxième procédé précédemment décrit. En effet, dans ce troisième procédé, les éléments alvéolaires d'échange thermique quasi-réversible E et C, respectivement affectés à une Evaporation d'eau et à une Condensation de vapeur, ne sont plus installés dans deux chambres séparées, 30 bien isolées l'une de l'autre, respectivement dédiées à ces deux fonctions, mais au contraire, dans une chambre de traitement unique, dans laquelle les éléments de condensation C sont installés entre deux éléments d'évaporation E. Ce qui rend inutile l'utilisation d'un ventilateur pour faire circuler en circuit fermé un courant d'air chaud saturé dans une chambre de condensation puis 35 un courant d'air asséché et refroidi, dans une chambre d'évaporation. Cela, parce que la vapeur d'eau est produite de haut en bas d'une surface d'évaporation, disposée à très courte distance d'une surface de condensation, ayant à tout niveau quelques degrés de moins. De ce fait, la vapeur produite se trans-

porte en face, par le seul effet d'une diffusion naturelle à travers une lame mince d'air chaud saturé.

Dans ce troisième procédé de distillation selon l'invention, le résultat de la distillation est tout à fait semblable à ceux obtenus par les deux autres procédés. Comme dans le deuxième procédé, un organe de refroidissement extérieur à la chambre de traitement est prévu mais peut, de la même façon et avec les mêmes conséquences, être supprimé. Comme dans le deuxième procédé, la chaudière ne produit que du liquide chaud mais, de plus, aucune énergie électrique n'est nécessaire puisque le ventilateur est supprimé de même que la pompe, la circulation de liquide à distiller pouvant être assurée par thermosiphon. Ce qui est particulièrement intéressant lorsque la chaudière est un chauffe-eau solaire à accumulation, pourvu d'un réservoir surdimensionné par rapport à la capacité de traitement instantané des éléments d'échange thermique installés dans l'appareil de distillation. Dans ce cas, une accumulation d'eau chaude est réalisée pendant les six heures de grand soleil d'une journée, ce qui permet à un appareil de distillation selon l'invention, comprenant une chambre de traitement à capacité limitée, de fonctionner jour et nuit et à sa production journalière d'eau douce d'être plus que triplée. L'ensemble des avantages comparatifs de ce troisième procédé, par rapport à ceux des deux autres, justifie qu'il soit généralement choisi pour être exploité dans les appareils de distillation de puissance moyenne ou petite selon l'invention, proposés au marché international.

Pour la mise en oeuvre des procédés de distillation selon l'invention, des éléments d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible nouveaux sont utilisés, qui sont chacun constitués par un ensemble alvéolaire relativement grand, regroupant des conduits longs et étroits juxtaposés, pourvus de raccords amont et aval, chaque élément possédant une bonne tenue mécanique en présence de liquides relativement chauds de moins de 100°C, des parois minces conduisant relativement bien la chaleur et des surfaces extérieures au moins mouillables et, de préférence, hydrophiles.

Selon l'invention, une première forme de réalisation d'un tel élément d'échange thermique est une nappe relativement grande, regroupant un nombre important de conduits longs et étroits, constitués entre des lignes parallèles de soudure, réalisées entre deux membranes plastiques, de préférence en polyéthylène, comportant de l'autre côté un revêtement hydrophile, deux lignes de soudure transverses, l'une courte et l'autre longue et oblique, bordant les raccords amont et aval de ces conduits, les débouchés de ces raccords étant diagonalement opposés et chacun connecté à une tubulure de liaison. De telles

membranes sont décrites dans la demande de brevet visée plus haut.

Selon l'invention, une seconde forme de réalisation d'un tel élément d'échange thermique est constituée par un panneau rectangulaire relativement grand, en plastique alvéolaire, de préférence en polypropylène, les parois  
05 extérieures de ce panneau sont traitées pour devenir au moins mouillables et, de préférence, hydrophiles, les raccords amont et aval des alvéoles de l'élément sont constitués dans deux plaques de raccordement et de suspension, en plastique, symétriquement disposées, chacune desdites plaques comportant, taillée dans son épaisseur, une cavité étroite, engagée et collée sur les  
10 extrémités des alvéoles du panneau, pour constituer un conduit de forme adéquate pour l'alimentation des alvéoles, ladite cavité débouchant sur un embout de liaison percé, destiné à être connecté à un collecteur.

Les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront d'une  
15 manière plus précise à la suite de la description ci-après de trois formes de réalisations particulières d'appareils perfectionnés de distillation d'eau de mer, données à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 représente sous une forme schématique un premier élément d'échange thermique selon l'invention;  
20
- les figures 2 a,b représentent sous des formes schématiques deux vues d'un second élément d'échange thermique selon l'invention;
- la figure 3 représente sous une forme schématique un appareil de distillation, adapté à produire de l'eau douce à partir de l'eau de mer chaude rejetée  
25 par le moteur marin d'une petite centrale électrique;
- la figure 4 représente sous une forme schématique un appareil de distillation d'eau de mer à chaudière conventionnelle de faible puissance, mettant en oeuvre le deuxième procédé selon l'invention;
- la figure 5 représente en perspective simplifiée, un appareil de distillation d'eau de mer, pourvu d'une chaudière solaire à accumulation, mettant en  
30 oeuvre le troisième procédé selon l'invention.

Selon la figure 1, un premier type d'élément d'échange thermique perfectionné est constitué par une nappe 10, fabriquée à partir de deux membranes de  
35 polyéthylène, pourvues d'un revêtement hydrophile collé, réalisé en non-tissé de cellulose. Ces membranes sont soudées l'une à l'autre suivant des lignes droites parallèles 12 a...n et des lignes transverses, respectivement longues et obliques, 14a-16a et courtes 14b-16b. De la sorte, sont constitués un grand

nombre (100, par exemple) de conduits longs et étroits 18 a...m, juxtaposés dans un plan. Ces conduits sont pourvus de raccords amont et aval 20 a,b, de forme triangulaire et ont des débouchés 22 a,b diagonalement opposés. Ces raccords sont destinés à être reliés à des tubulures rigides non représentées, 05 solidaires d'un collecteur. Une autre ligne de soudure transverse 24 est réalisée sur la partie supérieure de la nappe 10, pour permettre la mise en place d'une tige de soutien 26, prévue pour prendre appui sur un bâti adapté à supporter le poids d'un grand nombre (100) d'éléments remplis d'eau de mer.

Selon les figures 2 a,b, un second élément d'échange thermique selon 10 l'invention est représenté. La figure 2a est une vue perspective schématique d'un panneau alvéolaire 30, en polypropylène, d'un type disponible dans le commerce, notamment pour constituer des supports d'affichage. A titre d'exemple, un tel panneau 30 mesure 40 cm de large et 80 cm de long et comporte environ 120 longues alvéoles telles 32 a...g, à section carrée de 3 mm de côté, 15 pourvues de parois internes 34 a..f et externes 36 a,b de 0,15 mm d'épaisseur.

La figure 2b est une vue schématique de face d'un élément d'échange thermique perfectionné, réalisé à partir d'un tel panneau 30. Les extrémités 20 ouvertes du panneau 30 sont engagées et collées entre les lèvres d'une cavité étroite 38 (3,5 mm), taillée dans l'épaisseur (6 mm) de deux plaques de raccordement et de suspension 40-42, en polypropylène de 41 x 5 cm, symétriquement disposées. La forme de la cavité 38 est celle d'un trapèze rectangulaire, ayant son côté droit 44 engagé de 10 mm sur le panneau 30, sa petite base 46 (4 mm), fermée et sa grande base 48 (30 mm), pourvue d'un embout de liaison 50, à section carrée, dans lequel est aménagé un passage 52, 25 de section adéquate, destiné à être connecté à un collecteur. Dans chacune de ces plaques 40-42, deux trous 54 a,b et 56 a,b sont pratiqués, pour permettre la mise en place de quatre tiges d'assemblage et de suspension des panneaux 30. A cette occasion, ces panneaux seront séparés l'un de l'autre par une rondelle intercalaire d'épaisseur adéquate. Ces tiges sont destinées à être 30 fixées et prendre appui sur un bâti, adapté à supporter le poids de plusieurs dizaines ou plusieurs centaines de panneaux alvéolaires 30, contenant chacun de 1 à 3 litres d'eau de mer à distiller.

Les parois extérieures des panneaux 30 ont été traitées pour devenir au moins mouillables et de préférence hydrophiles. Plusieurs procédés permettent 35 d'obtenir ces deux résultats, notamment un collage d'un tissu de velours en fibres plastiques fines pour le premier ou un collage de fibres de cellulose projetées en vrac ou préalablement assemblées en nappe, pour le second.

La figure 3 représente schématiquement un appareil pour la mise en oeuvre du premier procédé de distillation à hautes performances selon l'invention. Cet appareil 58 comprend un réservoir 60 alimenté par un conduit 59, pourvu d'une vanne de réglage de débit 61, véhiculant  $2 \text{ m}^3/\text{heure}$  d'eau de mer 05 chaude à  $95^\circ\text{C}$ , produite par le moteur marin d'une petite centrale électrique du littoral, réalisant une cogénération électricité et eau douce. Ce réservoir 60 est installé au-dessus d'une chambre de traitement 62, en forme de cuve à fond rectangulaire de  $150 \times 450 \text{ cm}$ , haute de  $120 \text{ cm}$ . La chambre de traitement 62 possède des parois 67, à haute isolation thermique, et elle contient un 10 bâti (non représenté), sur lequel sont installés et fixés par leurs tiges d'assemblage (non représentées) quatre cents éléments d'échange thermique de  $120 \text{ cm}$  de large et de  $80 \text{ cm}$  de haut, tels 64 a...g, constituant des panneaux alvéolaires à revêtements hydrophiles (représentés en pointillés non référencés), du genre illustré aux figures 2 a,b. Ces éléments sont séparés les uns 15 des autres par des rondelles intercalaires épaisses de  $3 \text{ mm}$  (non représentées), traversées par les tiges d'assemblage des panneaux, de façon à créer des espaces libres 66 a...h. Sur la tranche supérieure de chaque élément 64 a...g est monté fixe un tissu hydrophile 68 a...g, constituant une mèche de grande surface, enveloppant la plaque de raccordement et de suspension de l'élément 20 et empiétant sur les deux parois hydrophiles de cet élément. Sur chacune de ces mèches, sont disposées en appui les extrémités de plusieurs buses, disposées en rateaux, telles 70 a...g, raccordées à un collecteur 72, alimenté par de l'eau de mer chaude 74, contenue dans le réservoir 60.

La partie supérieure du réservoir 60 est remplie d'air chaud 78, saturé 25 en vapeur d'eau. Une turbine 80, raccordée à cette partie supérieure, est connectée par un conduit 82 à un collecteur 84 relié aux raccords hauts 65 a...g des éléments d'échange thermique 64 a...g. Dans le cas d'un débit d'eau chaude de  $2 \text{ m}^3/\text{heure}$ , cette turbine 80 engendre un débit d'air de  $0,4 \text{ m}^3/\text{sec}$  à une vitesse d'environ  $15 \text{ m/sec}$  et sous une pression de 3 hectopascals. L'air chaud 30 saturé en vapeur, ainsi injecté dans les alvéoles de ces éléments, les traverse de haut en bas, à vitesse lente. Un collecteur aval 86, relié aux tubulures des raccords bas 63 a...g des éléments 64 a...g, est connecté à l'entrée d'un ballon de ségrégation air/eau 88.

L'entrée basse d'un serpentin vertical 90, immergé dans l'eau d'un ballon de refroidissement 92, est connectée à la partie haute du ballon de ségrégation air/eau. Le ballon 92 comporte une entrée haute, alimentée en eau de mer à la température extérieure ( $25^\circ$  environ) par un conduit 94, pourvu d'une 35 vanne 95 de réglage de débit. Le ballon 92 comporte une sortie basse d'évacua-

tion d'eau de mer tiède (50°C environ). La sortie haute du serpentín 90 est reliée par un conduit 96 à un collecteur 97 connecté à plusieurs entrées basses, telles 98 a...h, débordant un peu du fond de la chambre de traitement 62. L'air asséché et refroidi ainsi injecté dans la chambre 62 est à une température de 40°C environ. Cette chambre 62 comporte plusieurs sorties hautes, telles 100 a...h, reliées à un collecteur 102, dont l'extrémité supérieure 103 plonge dans l'eau 74 du réservoir 60. Le ballon de ségrégation 88 comporte en un point bas un tuyau 106 d'évacuation de l'eau douce condensée dans les alvéoles 64 a...g et dans le serpentín 90. La chambre de traitement 62 comporte en un point bas un tuyau 108 d'évacuation de la saumure.

La figure 4 représente sous une forme schématique un appareil de distillation 110, réalisé selon le deuxième procédé de l'invention. Cet appareil 110 comprend deux chambres de traitement 112 et 114 pourvues de parois 113-115 à haute isolation thermique, séparées par une cloison mitoyenne isolante 116. Ces chambres 112-114 sont respectivement affectées à une condensation de vapeur et à une évaporation d'eau. L'ensemble formé par ces deux chambres contiguës constitue une cuve à fond rectangulaire de 40 x 60 cm, haute de 120 cm. La chambre de condensation 112 contient une quinzaine d'éléments d'échange thermique "froids", tels 118 a,b,c, en forme de panneaux alvéolaires, dotés de revêtements hydrophiles (représentés en pointillés non référencés), du genre décrit aux figures 2 a,b. La chambre d'évaporation 114 contient le même nombre de panneaux alvéolaires à revêtements hydrophiles, tels 120 a,b,c, mais ces panneaux sont chauds et ils diffèrent des panneaux froids 118 a,b,c par le fait qu'ils sont pourvus, sur leur partie supérieure, de mèches 122 a...f d'étalement d'eau chaude, recouvrant le haut des revêtements hydrophiles. Ces mèches sont en appui sur des buses disposées en rateaux, telles 124 a...f, connectées au conduit de sortie 126 d'une chaudière à gaz d'une puissance thermique de 1 kW qui comporte un réservoir 128 rempli d'eau de mer chauffée à environ 95°C. Les éléments d'échange thermique 118 a,b,c et 120 a,b,c sont séparés les uns des autres par des espaces libres 130 a...d et 132 a...d, de 3 mm de large.

Les parties hautes des espaces libres 130 a...d et 132 a...d, communiquent entre elles à travers un passage 134 relativement large, aménagé dans la partie supérieure de la cloison mitoyenne 116 séparant les chambres de condensation 112 et d'évaporation 114. Les parties basses des espaces libres 130 a...d et 132 a...d communiquent également entre elles à travers un passage semblable, aménagé dans la partie inférieure de la cloison 116, dans lequel est installé un ventilateur 136. Ce ventilateur 136 est adapté à faire entrer

-13-

dans la chambre d'évaporation 114 un courant d'air asséché et refroidi venant de la chambre de condensation 112 et ainsi faire circuler en circuit fermé un courant d'air dans ces deux chambres. Le débit du ventilateur 136 est, dans le cas d'une chaudière de 1 kW, de 80 litres/sec et la vitesse de l'air soufflé 05 entre les éléments, de 40 cm/sec.

Les raccords hauts 119 a,b,c des éléments d'échange thermique froids 118 a,b,c de la chambre de condensation 112 sont reliés à un collecteur 138, connecté à un conduit 140 qui traverse la partie supérieure horizontale de la paroi 113 et aboutit à l'entrée du réservoir 128. Le conduit de sortie 126 10 de ce réservoir 128 traverse la partie supérieure horizontale de la paroi 115 de la chambre d'évaporation 114 et aboutit à un collecteur 142, auquel sont connectés les raccords hauts 121 a,b,c des éléments d'échange thermique chauds 120 a,b,c. Les raccords bas des éléments chauds 120 a,b,c sont reliés à un collecteur 144 connecté à un conduit 146 qui traverse la partie inférieure de 15 la paroi 115 de la chambre 114 et aboutit à l'entrée d'une pompe 148.

La pompe 148 alimente un organe de refroidissement 150, exposé à l'air ambiant et disposé à l'ombre, qui débouche sur un conduit 152 traversant la paroi inférieure 113 de la chambre de condensation 112 et aboutit au collecteur bas 153 des éléments froids 118 a,b,c de cette chambre 112. Sous l'action 20 de la pompe 148, l'eau circule à une vitesse de 1 à 2 mm/sec dans les alvéoles des éléments d'échange thermique. Au conduit 150 est connectée l'extrémité basse d'une colonne 154, ouverte à l'air libre un peu au-dessus du réservoir 128. Cette colonne 154 est alimentée en eau de mer à la température extérieure. Une vanne 156 de réglage de débit est installée sur la colonne 154. Cette 25 colonne 154 et cette vanne 156 sont adaptées à ajouter, à l'eau de mer qui circule dans les éléments d'échange thermique 118 a,b,c et 120 a,b,c des deux chambres 112 et 114, un débit donné d'eau de mer à la température extérieure, ajusté en fonction des valeurs optimales des paramètres de fonctionnement de l'appareil, (soit environ 10% du débit de la pompe 148). Un conduit 158, assu- 30 rant l'évacuation de l'eau douce produite, traverse une paroi latérale de la chambre de condensation 112, au niveau du fond de cette chambre. Un autre conduit 160, assurant l'évacuation de la saumure, traverse une paroi latérale de la chambre d'évaporation 114, au niveau du fond de cette chambre.

L'organe de refroidissement 150 est un radiateur 151, réalisé à partir 35 d'une feuille de polyéthylène relativement épaisse (0,15 mm), pourvue d'un revêtement hydrophile. Plus précisément, et à titre d'exemple non limitatif, ce radiateur comporte six soudures internes horizontales de 40 cm de long et quatre soudures externes en carré de 50 cm de côté, le tout réalisé pour

délimiter sept conduits horizontaux et deux conduits verticaux communicants, ayant chacun 7 cm de circonférence. Le radiateur 151 est pourvu de deux raccords 147 et 149, diamétralement opposés, montés sur l'une et l'autre face. Les revêtements hydrophiles des deux faces du radiateur 151 sont constamment  
05 humidifiés, par exemple, à partir de l'eau de mer fournie par le conduit 154.

L'organe de reroidissement 150 a pour objet d'abaisser la température de l'eau de mer qui le traverse, à une valeur qui tend vers la température du point de rosée de l'air ambiant. Dans le désert, cette température est de 15°C environ, dans les régions sèches du bord de mer, elle est de 23°C environ et  
10 dans les régions chaudes et humides, de 30°C environ. Dans ces dernières régions où un appareil de distillation selon l'invention est intéressant pour produire de la saumure (ensuite chauffée pour produire du sel) sans consommation de bois de chauffage, l'utilisation d'un tel organe de refroidissement peut se révéler sans intérêt économique. Dans ce cas, le refroidissement  
15 nécessaire à réaliser sera alors obtenu par le seul apport d'eau de mer à la température extérieure.

En régime stable, la température de l'eau, qui sort de l'organe de refroidissement 150 et qui, par le conduit 152, entre dans le collecteur bas 153 des éléments froids 118 a,b,c, de la chambre de condensation 112, est supérieure de quelques degrés à la température du point de rosée de l'air ambiant  
20 (soit comprise entre 18 et 32°C). Quant à la différence de températures de l'eau à l'amont et à l'aval de l'organe de refroidissement 150, elle est sensiblement égale à la différence des températures (91 et 95°C, dans le cas de l'exemple présenté) à l'entrée et à la sortie du réservoir 128 de la chaudière  
25 (soit en général environ 4°C).

Certaines références présentées dans les paragraphes précédents n'ont pas été reportées sur le dessin pour ne pas surcharger les figures. Ces omissions ne diminuent en rien la compréhension des dessins.

La figure 5 représente le schéma d'un appareil domestique de distillation d'eau de mer 180, réalisé selon le troisième procédé de l'invention.  
30 L'appareil 180 comprend, à titre d'exemple non limitatif, une chaudière solaire à accumulation 182, installée sous une chambre de traitement 183 (partiellement représentée en pointillés), à fond rectangulaire et à haute isolation thermique, de 40 x 60 x 120 cm. Dans cette chambre, sont disposés vingt cinq  
35 éléments d'échange thermique, du genre décrit aux figures 2 a,b, répartis en un premier et un second groupe, respectivement affectés à l'Evaporation d'eau (les treize éléments chauds E, tels 184 a,b,c,) et à la Condensation de vapeur (les douze éléments froids C, tels 186 a,b), chaque élément froid C

étant intercalé entre deux éléments chauds E, avec des écarts de 3 mm. L'ensemble de ces éléments d'échange thermique est en principe adapté à traiter de l'eau chaude à température variant de 60 à 70°C, délivrée par une chaudière ayant une puissance thermique moyenne de 300 W. En fait, le nombre d'éléments  
05 visé plus haut fournit seulement un ordre de grandeur, le nombre exact étant déterminé à la suite d'essais systématiques destinés à optimiser le couplage de la chambre de traitement à la puissance thermique d'une chaudière, solaire ou non, d'une puissance déterminée.

Les parties supérieures des éléments d'échange thermique chauds E, 184  
10 a,b,c, affectés à l'évaporation, sont recouvertes de larges mèches 188 a,b,c d'étalement d'eau de mer chaude, empiétant sur le haut des parois hydrophiles de ces éléments. Sur ces mèches 188 a,b,c, sont installées en appui les extrémités de buses telles que 190 a,b,c. Ces buses sont disposées en rateau et connectées à un collecteur 192, relié à une canalisation 194, raccordée à la  
15 sortie de la chaudière 182, par une canalisation calorifugée 195. Les raccords hauts des éléments chauds 184 a,b,c du premier groupe sont alimentés en eau de mer chaude par des tubulures 196 a,b,c reliées à la canalisation 194. Les tubulures 198 a,b,c, fixées aux raccords bas de ces mêmes éléments chauds sont reliées à un collecteur 200, prolongé par un conduit 201 qui traverse la paroi  
20 inférieure de la chambre de traitement 183 et aboutit à l'entrée d'un organe de refroidissement 202, identique à l'organe 150 de la figure 4 et installé de même. La sortie de l'organe de refroidissement 202 est connectée à un conduit 203 qui traverse la paroi inférieure de la chambre 183 et aboutit à un collecteur 204 alimentant les tubulures 206 a,b des raccords bas des éléments d'échange thermique froids C, 186 a,b du second groupe, affectés à la condensation de vapeur. Les tubulures 208 a,b des raccords hauts des éléments d'échange thermique froids 186 a,b sont reliés à un collecteur 210, connecté à une canalisation calorifugée 212, reliée à l'entrée de la chaudière 182. Au conduit 200 est par ailleurs raccordée une colonne 214, débouchant à l'air libre  
30 un peu au-dessus du niveau du conduit 192, dans laquelle se déverse un débit déterminé constant d'eau de mer à la température extérieure, fourni par un tuyau 215, pourvu d'une vanne de réglage de débit 217 et relié à un réservoir 219 (lui-même précédé d'un filtre non représenté). Ce débit constant, qui correspond sensiblement à 10% du débit circulant dans l'appareil, détermine le  
35 débit d'eau chaude venant de la chaudière 182, répandu sur les parois externes hydrophiles des éléments d'évaporation 184 a,b,c. En outre, ce débit constant représente environ le double du débit d'eau douce attendu et au moins une fois et demie ce dernier débit, afin de ne jamais saturer la saumure produite.

Au-dessous de chaque élément d'échange thermique chaud E, 184 a,b,c du premier groupe, affecté à l'évaporation d'eau, est disposée une gouttière 216 a,b,c de collecte de la saumure qui s'écoule de chacun de ces éléments. Ces gouttières sont reliées à un collecteur unique 218, affecté à l'évacuation  
05 de cette saumure. Sur le fond de la chambre de traitement 183 est installé un bac 220 pourvu d'un conduit 222, destiné à l'évacuation de l'eau douce.

En installant la chaudière solaire 182 au-dessous de la chambre de traitement 183, de telle façon que la sortie de cette chaudière soit située à 2m environ au-dessous du collecteur 192 alimentant en eau chaude à étaler les  
10 éléments chauds E, 184 a,b,c, une circulation par thermo-siphon, de l'eau chaude produite par la chaudière, s'établit spontanément dans le circuit fermé constitué dans l'appareil de distillation. La vitesse moyenne finale de cette circulation est de 15 cm/sec environ, dans les canalisations calorifugées 195 et 212, et de quelques mm/sec dans les alvéoles des éléments d'échange thermi-  
15 que. Cette vitesse est réglée par une vanne 224, à commande manuelle, installée au point le plus froid de l'appareil, à savoir au début du collecteur 204 qui alimente en eau froide, produite par l'organe de refroidissement 202, les tubulures basses 206 a,b des éléments froids C, 186 a,b.

La chaudière solaire à accumulation 182 comprend un réservoir allongé  
20 226 en polyéthylène noir relativement épais (0,15 mm par exemple) de 30 cm de large et de 4 m de long, qui contient environ 300 litres d'eau, soit à peu près dix fois le volume d'eau contenu dans les alvéoles des éléments d'échange thermique 184-186. Le réservoir 226 est installé, d'une part, sur un plateau 228 de dimensions adéquates, pourvu d'un bon isolement thermique, et, d'autre  
25 part, sous une couverture transparente 230, en polyéthylène traité pour piéger les rayons infra-rouges, montée d'une manière étanche sur des flancs rigides transparents 232 a,b, thermiquement bien isolés, solidaires du plateau 228. Ce plateau 228 et le réservoir 226 sont orientés en fonction de la latitude du lieu d'installation de l'appareil 180 et légèrement inclinés.

30 L'extrémité basse de la canalisation calorifugée 195 de départ d'eau chaude est connectée à une bonde 234, installée à l'extrémité la plus haute du réservoir 226. La canalisation calorifugée 212 de retour d'eau refroidie aboutit sur une bonde 236, installée à l'extrémité la plus basse du réservoir 226. Une telle chaudière solaire à accumulation produit pendant les six heures de  
35 plein soleil de la journée une eau chaude à 70°C environ. Grâce au bon isolement thermique de l'appareil, pendant la nuit, cette température diminue lentement jusqu'à environ 60°C. Quant à la température de l'eau qui retourne à la chaudière, elle demeure constamment à environ 4°C au-dessous de la température

de l'eau chaude sortante. L'appareil 180 fonctionne jour et nuit, mais la production horaire d'eau douce diminue en même temps que la température de l'eau chaude fournie par la chaudière.

05 Grâce à ces dispositions, les trois appareils de distillation selon l'invention, décrits aux figures 3-4-5, fournissent des résultats particulièrement intéressants. Cela est dû à l'efficacité élevée de chacun des éléments d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible utilisés, à la possibilité de les assembler en un volume relativement faible, pour former de très grandes  
10 surfaces d'échanges thermiques et à la très faible épaisseur des lames d'air qui séparent ces éléments. A chaque niveau des parois de ces éléments d'échange thermique, les températures des fluides chauds qui circulent de haut en bas sont légèrement supérieures (au moins supérieure au seuil théorique d'environ 0,5°C (dans le cas de l'eau de mer) et jusqu'à 2°C environ pour le deuxième  
15 procédé et jusqu'à 4°C pour les deux autres) à celles des fluides "froids" qui circulent de bas en haut.

Dans les appareils de mise en oeuvre des deuxième et troisième procédés selon l'invention, environ 10% de l'eau en circulation dans les alvéoles des éléments d'échange thermique est étalée sur les parois à revêtement hydrophile  
20 des éléments chauds. Au cours de sa lente descente, par capillarité et gravité, le long de ces parois, la moitié environ et au plus les deux tiers de cette eau ainsi étalée sont évaporés puis condensés. Pour ce faire, la température de cette eau étalée diminue progressivement de haut en bas, de même que diminue celle de l'eau qui l'accompagne et qui circule de haut en bas dans les  
25 alvéoles des éléments chauds, cependant qu'augmente de la même façon la température de l'eau qui circule de bas en haut dans les éléments froids, lesquels récupèrent ainsi la chaleur latente de condensation de la vapeur.

On notera que le revêtement hydrophile des parois des éléments froids des figures 4-5, permet aux petites gouttes d'eau pure condensée sur elles, de  
30 descendre lentement en abandonnant au même rythme leur chaleur latente de condensation à l'eau de mer qui circule en sens inverse dans les alvéoles de ces éléments froids. Un tel revêtement hydrophile sur les parois froides de ces éléments empêche la formation progressive de grosses gouttes d'eau, suivie de descentes brusques de ces mêmes gouttes. Dans l'appareil de la figure 3, la  
35 vapeur se condense sur les parois internes nues des alvéoles. Ce qui diminue l'amplitude du transfert de chaleur recherché.

L'écart de température entre le haut et le bas de la lame d'air saturé en vapeur, présente dans les espaces libres séparant les éléments d'échange

thermique, est important mais la pression absolue dans ces espaces est constante, cependant que les pressions partielles de vapeur d'eau varient considérablement entre le haut relativement chaud et le bas relativement froid de ces lames d'air saturé. Il en résulte une diffusion naturelle des molécules de vapeur d'eau dans ces lames d'air saturé qui amène ces molécules à quitter un niveau de paroi chaude pour se condenser sur une paroi froide située au même niveau. Dans le cas du troisième procédé de distillation selon l'invention, l'importance de cette diffusion dépend directement du coefficient de transfert d'énergie (CTE) entre la paroi d'un élément chaud et celle de l'élément froid qui lui fait face. CTE augmente lorsque diminue l'écart entre deux parois opposées et lorsque croît la pression partielle de vapeur d'eau. Dans l'intervalle de température concerné (20 à 95°C), on a  $50 < \text{CTE} < 500 \text{ W/K.m}^2$ . En outre CTE est toujours largement supérieur à toutes les autres formes d'échange thermique entre les éléments (rayonnement, conduction à travers l'air, convection). Ce qui permet de réaliser une distillation d'eau très importante.

On remarquera que l'échange de chaleur, qui s'établit d'une paroi chaude vers la paroi froide de l'élément d'échange thermique d'en face, s'accompagne d'un échange d'eau pure à travers une sorte de membrane osmotique, constituée par la lame d'air humide saturé, disposée entre ces éléments. A ceci près cependant, que le moteur de l'échange n'est pas une différence de pression, établie de part et d'autre de la lame d'air, mais une simple différence de températures, beaucoup plus facile à obtenir, en intercalant une chaudière entre les sorties des éléments à parois froides et les entrées des éléments à parois chaudes.

Pour ce qui concerne l'énergie thermique apportée par la chaudière, elle se retrouve en fin de compte dans l'énergie dissipée par l'organe de refroidissement et dans la différence de températures existant entre les liquides tièdes (distillat et concentré) évacués par l'appareil et le liquide à température extérieure qui y entre (pour autant que les parois des chambres de traitement sont suffisamment isolantes) mais également dans le travail de séparation de l'eau pure et de la saumure qui détermine le seuil théorique de 0,5 °C visé plus haut.

Quant aux éléments d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible d'un appareil de distillation selon l'invention, ils traitent et recyclent des quantités d'énergie thermique équivalant jusqu'à cinquante fois celle fournie par la chaudière. Le coefficient de performances (CP) qui en résulte est d'autant plus élevé que sont faibles, d'une part, les pertes d'énergie au cours du double échange liquide/vapeur entre un fluide montant et un fluide descendant,

séparés par la paroi mince d'un élément d'échange thermique et, d'autre part, les pertes à travers les parois externes de l'appareil. Par ailleurs, on notera que la valeur théorique de ce coefficient CP est égale au quotient des différences de températures de l'eau en circulation, respectivement engendrées  
05 par les éléments d'échange thermique et par la chaudière.

En conséquence, des appareils de distillation d'eau de mer, comprenant les caractéristiques de l'un ou l'autre des procédés décrits plus haut, sont à la fois particulièrement efficaces et particulièrement économiques. En effet, avec des éléments d'échange thermique peu onéreux et peu encombrants à deux  
10 faces actives selon l'invention, on peut réaliser dans des volumes réduits, de très grandes surfaces d'échanges thermiques liquide/vapeur quasi-réversibles, par exemple les huit cents mètres carrés de l'appareil décrit à la figure 3. La production d'eau douce des appareils de distillation d'eau de mer, réalisés selon l'un ou l'autre des procédés de la présente invention, est estimée com-  
15 prise entre dix et cinquante litres par kilowatt/heure thermique utilisé, ce qui donne un coefficient CP susceptible d'être compris entre 7 et 35.

Les trois procédés de distillation selon l'invention peuvent être mis en oeuvre au moyen d'une chaudière solaire ou conventionnelle. Mais il faut noter que les appareils de distillation à chaudière solaire sont en général moins  
20 productifs, par unité d'énergie thermique utilisée, que ceux à chaudière conventionnelle. En effet, les températures maximales de l'eau chaude fournie par la chaudière sont très différentes dans l'un et l'autre type de chaudière et elles constituent l'un des paramètres majeurs déterminant le coefficient de performances de l'appareil. Avec une chaudière solaire, dont la puissance  
25 thermique dépend de facteurs extérieurs (la latitude et la saison du lieu d'installation), cette température maximale est comprise entre environ 65°C et 70°C, cependant qu'avec une chaudière conventionnelle à puissance thermique aisément réglable, elle atteint facilement 95°C. Quant aux températures mini-  
males engendrées par l'organe de refroidissement, elles sont, dans tous les  
30 cas, sensiblement comprises entre 20 et 30°C.

Dans ces conditions, la vanne 224 de réglage de débit de l'eau chaude fournie par la chaudière solaire et celle 217 ajustant l'alimentation en eau de mer à distiller, prévues pour un appareil de distillation selon le troisième  
procédé de l'invention, sont particulièrement importantes. En effet, quel  
35 que soit le type de chaudière utilisée, conventionnelle ou solaire avec ou sans accumulation, la maximisation du coefficient de performances CP d'un appareil de distillation dont les paramètres sont fixes (nombre, hauteur et largeur des éléments d'échange, puissance thermique maximale de la chaudière),

impose que la différence de températures entre les débits d'eau chaude et moins chaude sortant de la chaudière ou y entrant, soit aussi faible que possible, cependant que la différence de températures entre le haut et le bas des éléments d'échange thermique doit au contraire être aussi élevée que possible.

En jouant sur la vanne 224 de réglage du débit d'eau chaude, installée dans le circuit fermé comprenant la chaudière 182, on modifie la vitesse de montée par thermo-siphon de cette eau chaude dans la canalisation 195 d'alimentation des éléments d'échange thermique chauds 184 a,b,c et donc sa vitesse de circulation dans les alvéoles de ces éléments. La vitesse d'écoulement, par capillarité et par gravité, de l'eau chaude à évaporer, répandue par les buses 190 a,b,c et les mèches 188 a,b,c, sur les revêtements hydrophiles de ces éléments verticaux d'échange thermique, dépend du débit de ces buses et de ces mèches. Par ces mèches 188 a,b,c, s'écoule le trop plein du circuit fermé, alimenté par la colonne 214 et le tuyau 215 fournissant l'eau à distiller, à travers la vanne de réglage de débit 217. Au-delà d'un premier seuil (haut) de ce débit, on comprend que l'écoulement d'eau à distiller dans les revêtements hydrophiles des éléments d'échange thermique est trop rapide et se fait plus par gravité que par capillarité. Ce qui affecte directement le transfert de chaleur de l'eau chaude circulant dans les alvéoles à l'eau chaude à évaporer, répandue sur leurs parois. Cela diminue considérablement la production horaire d'eau douce de l'appareil et augmente inutilement la production d'une saumure peu concentrée. En revanche, en deçà d'un second seuil (bas) de débit d'eau à distiller, la concentration de la saumure peut être trop importante et approcher d'une amplitude de saturation, dommageable à un bon fonctionnement prolongé de l'appareil.

Sur les figures 3-4, les appareils de distillation selon l'invention incorporent des chaudières conventionnelles et les vannes telles que 61-95 (fig.3) ou 156 (fig.4) sont réglées une fois pour toutes. Au contraire avec des chaudières solaires, les vannes 224 et 217 doivent être périodiquement réglées pour optimiser le fonctionnement de l'appareil, en fonction des paramètres extérieurs visés plus haut. En pratique, on pourra disposer de moyens additionnels, manuels ou même automatiques, pour quelque peu modifier ces réglages en fonction des principales plages de températures maximales de l'eau chaude produite par la chaudière solaire, au cours des saisons et des jours.

On notera ici que, d'une part, avec des éléments alvéolaires d'échange thermique susceptibles de supporter sans déformations des températures relativement élevées (150°C, par exemple pour des éléments métalliques insensibles à

l'eau de mer, pourvus de revêtements adéquats) et que, d'autre part, avec une colonne 214 débouchant à plusieurs mètres au-dessus du collecteur 192 (fig.5), il est possible de faire travailler en surpression l'ensemble de ces éléments d'échange thermique. Ce qui permettrait d'augmenter notablement le coefficient  
05 de performances de l'appareil de distillation selon l'invention, en fonction directe de la température de l'eau chaude fournie par la chaudière conventionnelle utilisée. Cette variante pourrait convenir à la solution de problèmes particuliers propres aux industries des concentrés.

Selon le type de chaudières retenu, les destinations des appareils de  
10 distillation selon l'invention seront totalement différentes. Dans le cas des chaudières solaires, les marchés concernés seront, d'une part, celui de la production économique, familiale ou collective, d'eau douce dans les régions sèches du littoral et, d'autre part, celui de la production de saumure dans les salines. Dans le cas des chaudières solaires à accumulation, une applica-  
15 tion intéressante est l'irrigation de terres situées dans des régions sèches peu industrialisées du littoral. Dans le cas des chaudières conventionnelles (chauffe-eau domestique ou chaudière de chauffage central), outre la cogénération électricité et eau douce, visée par l'appareil selon la figure 3, les marchés concernés seront, d'une part, celui de la production économique d'eau  
20 douce sur les bateaux de plaisance et, d'autre part, celui d'une production économique de concentrés dans différentes industries et notamment dans les sucreries. Dans ce dernier cas, on notera que des appareils de distillation selon l'invention, opérant en surpression, sont susceptibles d'être particulièrement intéressants. Dans tous les cas, la réalisation et le fonctionnement  
25 des chambres de traitement seront très semblables. Pour ce qui concerne les concentrés, les appareils de distillation selon l'invention permettent de presque tripler à bon compte la concentration en sel ou en sucre des eaux à traiter.

Si l'on compare les appareils de distillation représentés aux figures 3-  
30 4-5, on peut noter ce qui suit.

Dans le cas de l'appareil de la figure 3, la turbine utilisée consomme une énergie électrique relativement importante, très supérieure à celle nécessaire au fonctionnement d'un ventilateur produisant un courant d'air à faible pression. Le calcul montre qu'un appareil de distillation selon le premier  
35 procédé de l'invention devrait cependant, avec de l'eau chaude rejetée par un moteur marin, être en mesure, en ne consommant que 2,5 kWh électriques, de produire un mètre cube d'eau douce. Ce qui permet de construire dans de bonnes conditions économiques, des appareils domestiques de distillation d'eau de mer

qui ont le même coefficient de performances CP que les unités industrielles onéreuses de dessalement d'eau de mer, fonctionnant par osmose inverse.

Dans le cas de l'appareil représenté à la figure 4, deux chambres de traitement sont utilisées au lieu d'une seule dans le premier appareil selon la figure 3. Ce qui, pour un nombre total donné d'éléments d'échange thermique et un volume total donné de ces chambres, a pour effet de diviser par deux les surfaces d'échange thermique respectivement affectées à la condensation et à l'évaporation. Le calcul montre que les performances susceptibles d'être obtenues par ce deuxième appareil, au moyen de l'énergie gratuite d'une chaudière solaire, est d'un mètre cube d'eau douce par kWh électrique consommé. Ce qui, en fin de compte, démontre un intérêt certain de ce deuxième procédé par rapport au premier. Cette conclusion demeure correcte avec des chaudières d'un type conventionnel.

Dans le cas de l'appareil représenté à la figure 5, une seule chambre de traitement est à nouveau utilisée. Mais dans cette unique chambre de traitement, les surfaces d'échange thermique respectivement affectées à la condensation de vapeur et à l'évaporation de liquide, sont à nouveau, pour un volume donné de cette chambre, deux fois plus faibles que dans le cas du premier appareil. Cet inconvénient est largement compensé par le fait qu'aucune énergie électrique n'est plus nécessaire. Dans ces conditions, la construction, l'exploitation et la maintenance d'appareils de distillation d'eau de mer, selon le troisième procédé de l'invention, destinés aux régions sèches du littoral, sont particulièrement banales et bon marché. En effet, ils ne prévoient aucun besoin d'énergie électrique et se contentent d'une chaudière solaire banale, avec ou sans accumulation, (de puissance thermique comprise entre 0,3 et 3 kW) associée à une chambre de traitement bien isolée, contenant quelques dizaines ou au plus une centaine d'éléments d'échange thermique selon l'invention, réalisés à partir de panneaux plastiques alvéolaires à bas prix. En outre, l'utilisation d'une chaudière à accumulation permet de faire fonctionner jour et nuit un appareil de distillation selon l'invention.

Pour terminer ces comparaisons, on notera qu'avec des appareils de distillation comportant un nombre donné d'éléments d'échange thermique correspondant à une puissance thermique donnée de la chaudière, ceux équipés d'une chaudière solaire sans accumulation ont un temps de mise en production stable (TMPS) de quelques heures et ceux pourvus d'une chaudière solaire à accumulation, une valeur TMPS d'environ un jour ou deux. Dans le cas d'appareils de distillation équipés d'une chaudière solaire sans accumulation, il faut éviter que, dès le crépuscule, l'eau chaude contenue dans les éléments d'échange

thermique ne soit évacuée par l'arrivée d'eau de mer froide à distiller. Pour ce faire, le robinet 217 de contrôle du débit de cette eau pourra comprendre un dispositif de manoeuvre automatique sensible au rayonnement solaire. Un tel robinet est inutile dans le cas d'une chaudière solaire à accumulation.

05

L'invention n'est bien entendu pas limitée aux formes de réalisation d'appareils de distillation et d'éléments d'échange thermique perfectionnés décrits ci-dessus.

10 L'appareil de distillation selon le premier procédé de l'invention, décrit à la figure 3, traite des débits d'eau chaude très élevés. En réduisant le nombre de mètres carrés d'échange thermique, ce même appareil convient tout à fait au traitement de débits beaucoup plus faibles.

15 L'appareil décrit à la figure 4 peut fonctionner avec une chaudière solaire avec ou sans accumulation. De même, l'appareil décrit à la figure 5 peut fonctionner avec une chaudière conventionnelle, avec ou sans pompe de circulation, si les conditions de son installation ne permettent pas d'utiliser une chaudière solaire avec ou sans accumulation et/ou de disposer la chaudière à une distance minimale sous la chambre de traitement.

20 Pour ce qui concerne les éléments d'échange thermique selon l'invention, leurs alvéoles longues et étroites n'imposent pas que leur seconde dimension transversale soit identique à celle de la première. En effet, la largeur des alvéoles des panneaux peut être aussi grande que permet la planéité que doivent avoir les parois de panneaux destinés à être assemblés avec des écarts de quelques millimètres. Cela est particulièrement pertinent pour des panneaux 25 alvéolaires métalliques dont les parois planes, faites de feuilles très minces, sont soudées sur des tiges formant entretoises. Quant aux revêtements au moins mouillables à prévoir pour de tels panneaux, on pourra utiliser et souder des nappes en velours de fils métalliques fins.

30 Par ailleurs, on notera que les matériaux plastiques (polyéthylène et polypropylène) présentés ci-dessus comme résultats de choix préférentiels pour la fabrication de deux types particuliers d'éléments alvéolaires d'échange thermique selon l'invention, n'excluent pas pour autant l'emploi d'autres matériaux plastiques, dès lors que ceux-ci répondent aux critères de choix mis en oeuvre. En fait tout matériau plastique, neutre vis-à-vis des liquides ali- 35 mentaires, peut en principe convenir. Plus précisément, de tels matériaux plastiques, susceptibles de constituer des feuilles souples (le cas échéant thermo-durcissables), tels que du PVC ou du polyuréthane, peuvent donc être aussi utilisés pour la réalisation de nappes d'alvéoles selon la figure 1. De

même, de tels plastiques susceptibles de constituer des panneaux alvéolaires relativement rigides, tels que du polycarbonate ou de l'ABS, peuvent être également utilisés pour la réalisation d'éléments alvéolaires d'échange thermique selon la figure 2b. Pour ce qui concerne la fixation de ces panneaux alvéolaires à leurs plaques de raccordement et de suspension, cette fixation sera faite par tout moyen approprié, collage ou soudure, en fonction de la caractéristique particulière concernée du matériau utilisé.

Dans les régions sèches du littoral, les centrales électriques qui utilisent de l'eau de mer pour leur refroidissement pourront, grâce aux procédés de distillation selon l'invention, valoriser leurs rejets d'eau de mer chaude, en produisant de l'eau douce à des conditions particulièrement économiques. Il en est de même pour les moteurs marins équipant les navires de gros tonnage, notamment ceux de croisière. Dans tous les cas, il sera intéressant de préférer le premier procédé de distillation selon l'invention qui, à production d'eau douce égale, requiert des mètres carrés d'échangeurs thermiques deux fois moins nombreux et moins encombrants, mais une puissance électrique ou mécanique relativement importante pour faire tourner la turbine nécessaire.

Dans les régions subtropicales, pour transformer en eau potable une eau fluviale chargée de limon et de bactéries, il est intéressant, après décantation et filtrage de cette eau naturelle, d'utiliser un appareil de distillation selon l'invention, notamment celui réalisé selon le troisième procédé qui fait appel à une chaudière solaire à accumulation et ne nécessite aucune énergie électrique. Au cas où, après distillation, l'eau douce produite contiendrait encore une proportion dangereuse de bactéries, on pourra introduire dans la chambre de traitement, d'une manière continue ou périodique, un gaz bactéricide (du chlore par exemple). En se mélangeant à l'air de la chambre de traitement, ce gaz permettra d'aseptiser facilement l'eau douce produite.

## R E V E N D I C A T I O N S

1. Procédé de distillation à coefficient de performances élevé, du genre comprenant les étapes suivantes:
- produire du liquide chaud (74) et de la vapeur (78), dans une chaudière (60) alimentée (59) par du liquide à distiller;
  - 05 - entraîner ladite vapeur dans une chambre de condensation (64 a...g), par un courant d'air chaud sensiblement saturé (80-82-84);
  - faire couler lentement (68 a...g) ledit liquide chaud sur la face mouillable ou hydrophile d'une cloison mitoyenne mince, interposée entre une chambre d'évaporation (66 a...h) et ladite chambre de condensation (64 a...g), afin
  - 10 qu'une partie de ce liquide puisse être évaporée dans la chambre d'évaporation par récupération de la chaleur latente de condensation de la vapeur sur l'autre face de cette cloison;
  - séparer (88) l'air d'entraînement du distillat condensé sur ladite autre face de la cloison mitoyenne;
  - 15 - refroidir (90-92) l'air d'entraînement ainsi séparé du distillat et, à cette occasion, condenser une partie de la vapeur résiduelle;
  - faire balayer ladite face mouillable ou hydrophile par cet air ainsi refroidi (96) et retourner (102-103) cet air à la chaudière (60);
  - recueillir (106) le distillat en un point bas (88) de la chambre de conden-
  - 20 sation (64 a...g);
  - recueillir le concentré en un point bas (108) de ladite chambre d'évaporation (66 a...h);
- caractérisé en ce que:
- un grand nombre d'éléments alvéolaires (64 a...g) d'échange thermique liqui-
  - 25 de/vapeur quasi-réversible, pourvus de raccords amont et aval ainsi que de parois extérieures au moins mouillables et de préférence hydrophiles, étant verticalement disposés dans une chambre de traitement (62) à haute isolation thermique, avec des espaces libres étroits (66 a...h) aménagés entre ces éléments (64 a...g);
  - 30 - la circulation du courant d'air chaud saturé se fait de haut en bas dans les alvéoles (64 a...g) de ces éléments et de bas en haut dans les espaces libres (66 a...h), l'ensemble des volumes intérieurs de ces alvéoles constituant la chambre de condensation et l'ensemble desdits espaces libres, la chambre d'évaporation;
  - 35 - le refroidissement de l'air avant son entrée dans la chambre d'évaporation

(66 a...h) est réalisé par son passage dans un serpentin (90), immergé dans du liquide (94), à la température extérieure.

2. Procédé de distillation à coefficient de performances élevé, du genre  
05 comprenant les étapes suivantes:

- produire du liquide chaud dans une chaudière (128), alimentée par le liquide à distiller (154-156);
- faire couler lentement (122 a...f) ledit liquide chaud sur la face mouillable ou hydrophile d'une paroi d'échange thermique appartenant à une chambre  
10 d'évaporation (114);
- entraîner (134) la vapeur produite dans la chambre d'évaporation (114) dans une chambre de condensation (112), par un courant d'air chaud sensiblement saturé (134-136);
- faire balayer ladite face mouillable ou hydrophile par le courant d'air sor-  
15 tant (136) de la chambre de condensation (112);
- recueillir le distillat en un point bas (158) de la chambre de condensation (112);
- recueillir le concentré en un point bas (160) de la chambre d'évaporation (114);

20 caractérisé en ce que:

- les chambres de condensation (112) et d'évaporation (114) possèdent des parois extérieures (113-115) à haute isolation thermique et une cloison mitoyenne (116), percée d'ouvertures en haut et en bas, et elles contiennent cha-  
cune un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique liquide/vapeur  
25 quasi-réversible (118 a,b,c - 120 a,b,c),
- lesdits éléments sont pourvus de raccords amont (121 a,b,c) et aval (119 a,b,c) ainsi que de parois extérieures au moins mouillables ou de préférence hydrophiles, et sont verticalement disposés dans lesdites chambres (112-114), avec des espaces libres étroits (130 a,b,c - 132 a,b,c) aménagés entre eux;

30 ledit procédé comprend les étapes suivantes:

- faire circuler (136) en circuit fermé un courant d'air dans les chambres de condensation (112) et d'évaporation (114), l'air passant (134) du haut des espaces libres (132 a...d) de la chambre d'évaporation (114) en haut des espaces libres (130 a...d) de la chambre de condensation (112) puis passant (136)  
35 du bas de ces derniers (130 a...d) en bas de ces premiers (132 a...d);
- faire circuler (144-148-152-153) en circuit fermé le liquide à distiller dans les alvéoles des éléments (118 a,b,c) de la chambre de condensation (112), dans la chaudière (138-140-128) puis (126-142) dans les alvéoles des

-27-

éléments (120 a,b,c) de la chambre d'évaporation (114), avec un sens de circulation inverse de celui de l'air dans les espaces libres (130 a...d - 132 a...d) des chambres de condensation (112) et d'évaporation (114), afin tout d'abord de récupérer la chaleur latente de condensation de la vapeur puis de  
 05 restituer cette chaleur au liquide chaud en écoulement lent (122 a..f) sur les parois extérieures des éléments (120 a,b,c) de la chambre d'évaporation (114);  
 - ajouter un débit déterminé (154-156) de liquide à la température extérieure au liquide entrant en bas des éléments (118 a,b,c) de la chambre de condensation (112), pour permettre de constamment étaler (122 a...f - 124 a...f) du  
 10 liquide chaud sur les parois des éléments de la chambre d'évaporation (114);  
 - refroidir (150) le liquide sortant (144) du bas des éléments (120 a,b,c) de la chambre d'évaporation (114).

3. Procédé de distillation à coefficient de performances élevé, caracté-  
 15 risé en ce qu'il consiste à:

- produire du liquide chaud dans une chaudière (182), alimentée par le liquide à distiller (214);
- disposer à la verticale, dans une chambre de traitement (183) thermiquement bien isolée, un grand nombre d'éléments alvéolaires (184 a,b,c - 186 a,b) d'é-  
 20 change thermique liquide/vapeur quasi-réversible, pourvus de raccords amont (196 a,b,c - 206 a,b) et aval (198 a,b,c - 208 a,b) ainsi que de parois extérieures au moins mouillables et de préférence hydrophiles;
- répartir en deux groupes lesdits éléments, le premier groupe (184 a,b,c) étant affecté à l'évaporation de liquide et le second (186 a,b), à la conden-  
 25 sation de vapeur;
- installer chaque élément (186 a,b) du second groupe entre deux éléments (184 a,b,c) du premier, en ménageant entre eux un espace libre relativement étroit;
- pourvoir de collecteurs hauts (194-210) et bas (200-204), les raccords des éléments (184 a,b,c - 186 a,b) de chacun des deux groupes;
- 30 - relier (212) l'entrée (236) de la chaudière (182) au collecteur haut (210) des éléments (186 a,b,c) du deuxième groupe et relier (195) sa sortie (234) au collecteur haut (194) des éléments (184 a,b) du premier groupe;
- faire circuler en circuit fermé le liquide à distiller dans les éléments (186 a,b) du deuxième groupe puis dans la chaudière (182) et dans les éléments  
 35 (184 a,b,c) du premier groupe, le liquide circulant de bas en haut dans les alvéoles des éléments (186 a,b) du deuxième groupe et de haut en bas dans les alvéoles des éléments (184 a,b,c) du premier groupe;
- ajouter un débit déterminé (214-215-217-219) de liquide à distiller à la

-28-

température extérieure au liquide circulant dans le collecteur bas (204) des éléments (186 a,b) du deuxième groupe, pour constamment étaler et faire lentement couler (192 - 188 a,b,c) sur les parois extérieures des éléments (184 a,b,c) du premier groupe, du liquide chaud produit (234-195) par la chaudière  
05 (182);

- refroidir (202-214) le liquide sortant du collecteur bas (200) des éléments (184 a,bc) du premier groupe puis faire entrer le liquide ainsi refroidi dans le collecteur bas (204) des éléments (186 a,b) du deuxième groupe;

- recueillir le distillat en bas (220-222) des éléments d'échange thermique  
10 (186 a,b) du deuxième groupe;

- recueillir le concentré en bas (216 a,b,c - 218) des éléments d'échange thermique (184 a,b,c) du premier groupe.

4. Procédé de distillation selon l'une ou l'autre des revendications 2  
15 et 3, caractérisé en ce que l'opération consistant à refroidir le liquide à distiller avant de le faire entrer en bas des alvéoles des éléments d'échange thermique (118 a,b,c ou 186 a,b) affectés à la condensation de vapeur, est réalisée par le passage de ce liquide dans un organe de refroidissement (150 ou 202), installé à l'extérieur des chambres de traitement (112-114 ou 183).  
20

5. Procédé de distillation selon la revendications 3, caractérisé en ce que la chaudière (182) est installée sous la chambre de traitement (183) à une distance suffisante pour que la circulation du liquide à distiller puisse se  
25 faire par thermo-siphon.

6. Procédé de distillation selon la revendication 5, appliqué à la production d'eau douce, caractérisé en ce que la chaudière (182) est un chauffe-eau solaire à accumulation (226-228-230) alimenté par de l'eau de mer, qui  
30 comporte un réservoir (226) dont le volume est d'environ dix fois le volume total des alvéoles des éléments d'échange thermique (184 a,b,c - 186 a,b) de la chambre de traitement (183).

7. Élément d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible, caracté-  
35 risé en ce qu'il est constitué par un ensemble alvéolaire (10-30) relativement grand, regroupant des conduits longs et étroits juxtaposés (18 a..m - 32 a..g) pourvus de raccords amont et aval (20 a,b ou 38), chaque élément possédant une bonne tenue mécanique en présence de liquides relativement chauds de moins de

100°C, des parois minces (36 a,b) conduisant relativement bien la chaleur et des surfaces extérieures au moins mouillables et, de préférence, hydrophiles.

05 8. Elément d'échange thermique selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il est formé par une nappe relativement grande (10), regroupant un nombre important de conduits longs et étroits (18 a...m), constitués entre des lignes parallèles de soudure (12 a...n), réalisées entre deux feuilles de plastique souple, comportant de l'autre côté un revêtement hydrophile, deux lignes de soudure transverses, respectivement longue et oblique (14a-16a) et 10 courte (14b-16b), bordant les raccords amont et aval (20 a,b) de ces conduits, les débouchés (22 a,b) de ces raccords étant diagonalement opposés et adaptés à être reliés à une tubulure.

15 9. Elément d'échange thermique selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il est constitué par un panneau rectangulaire (30), relativement grand, en plastique alvéolaire relativement rigide, les parois extérieures (36 a,b) de ce panneau (30) sont pourvues d'un revêtement au moins mouillable et de préférence hydrophile, les raccords amont et aval des alvéoles de l'élément sont constitués dans deux plaques (40-42) de raccordement et de suspension en 20 plastique, symétriquement disposées, chacune de ces plaques (40-42) comportant, creusée dans son épaisseur, une cavité étroite et longue (38), engagée et fixée sur les extrémités des alvéoles (32 a...g) du panneau (30), afin de constituer un conduit de forme adéquate pour l'alimentation de ces alvéoles, ladite cavité (38) débouchant sur un embout de liaison percé (50-52), adapté à 25 être connecté à un collecteur.

10. Elément d'échange thermique selon la revendication 9, caractérisé en ce que le revêtement hydrophile est réalisé par collage de fibres de cellulose, projetées en vrac ou préalablement assemblées en nappe. 30

11. Elément d'échange thermique selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend un panneau alvéolaire (30) pourvu d'un revêtement mouillable, constitué par un velours réalisé en fils fins imperméables.

35 12. Appareil de distillation (58), à coefficient de performances élevé, du genre comprenant:

- une chaudière (60) alimentée (59-61) par du liquide à distiller, produisant

-30-

- du liquide chaud (74) et de la vapeur (78);
- des moyens (80-82-84) pour entraîner ladite vapeur dans une chambre de condensation (64 a...g), par un courant d'air chaud sensiblement saturé;
  - des moyens pour faire couler lentement (68 a...g) ledit liquide chaud sur la
- 05 face mouillable ou hydrophile d'une cloison mitoyenne mince, interposée entre une chambre d'évaporation (66 a...h) et ladite chambre de condensation (64 a...g), afin qu'une partie de ce liquide puisse être évaporée dans la chambre d'évaporation par récupération de la chaleur latente de condensation de la vapeur sur l'autre face de cette cloison;
- 10 - des moyens pour séparer (88) l'air d'entraînement du distillat condensé sur ladite autre face de la cloison mitoyenne;
  - des moyens pour refroidir (90-92) l'air d'entraînement ainsi séparé du distillat et, à cette occasion, condenser une partie de la vapeur résiduelle;
  - des moyens (98 a...h - 100 a...h) pour faire balayer ladite face mouillable
- 15 ou hydrophile par cet air ainsi refroidi (96) et retourner (102-103) cet air à la chaudière (60);
- un tuyau (106) pour recueillir le distillat présent en un point bas (86) de la chambre de condensation (64 a...g);
  - un tuyau (108) pour recueillir le concentré en un point bas de ladite cham-
- 20 bre d'évaporation (66 a...h);
- caractérisé en ce que:
- un grand nombre d'éléments alvéolaires (64 a...g) d'échange thermique liquide/vapeur quasi réversible, pourvus de raccords amont (65 a...g) et aval (63 a...g) ainsi que de parois extérieures au moins mouillables et de préférence
- 25 hydrophiles, sont verticalement disposés dans une chambre de traitement (62), pourvue de parois (67) à haute isolation thermique, avec des espaces libres étroits (66 a...h) aménagés entre ces éléments (64 a...g);
- une turbine (80) reliée par un conduit (82) au collecteur amont (84) des alvéoles (64 a...g) des éléments d'échange thermique, fait circuler de haut en
- 30 bas dans ces alvéoles un courant d'air chaud saturé puis un courant d'air asséché et refroidi dans le collecteur aval (86) de ces alvéoles, lequel est connecté à l'entrée d'un ballon (88) de décantation air/liquide;
- un serpentín vertical (90), disposé au-dessus du ballon (88) et alimenté par lui, est installé dans un ballon de refroidissement (92), traversé par du li-
- 35 quide (94) à la température extérieure, et relié au collecteur amont (97) des espaces libres (66 a...h), lesquels débouchent sur un collecteur aval (102) dont l'extrémité libre plonge dans le liquide chaud (74) de la chaudière (60);
- l'ensemble des volumes intérieurs de ces alvéoles constitue la chambre de

condensation de l'appareil et l'ensemble de ces espaces libres, sa chambre d'évaporation.

13. Appareil de distillation (110) à coefficient de performances élevé,
- 05 du genre comprenant:
- une chaudière (128), alimentée par le liquide à distiller (154-156), pour produire du liquide chaud;
  - des moyens (124 a...f - 122 a...f) pour faire couler lentement ledit liquide chaud sur la face mouillable ou hydrophile d'une paroi d'échange thermique

10 appartenant à une chambre d'évaporation (114);

  - un ventilateur (136) adapté, d'une part, à produire un courant d'air chaud sensiblement saturé, entraînant la vapeur produite dans ladite chambre d'évaporation (114) dans une chambre de condensation (112) et, d'autre part, à faire balayer ladite face mouillable ou hydrophile par le courant d'air rela-

15 tivement asséché sortant de ladite chambre de condensation (112);

  - un tuyau (158) pour recueillir le distillat en un point bas de la chambre de condensation (112);
  - un tuyau (160) pour recueillir le concentré en un point bas de la chambre d'évaporation (114);
- 20 caractérisé en ce que:
- les chambres de condensation (112) et d'évaporation (114) ont des parois externes (113-115) à haute isolation thermique et une cloison mitoyenne isolante (116) et elles sont aménagées pour contenir chacune un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible (118

25 a,b,c - 120 a,b,c), les parois desdits éléments étant pourvues d'un revêtement au moins mouillable ou de préférence hydrophile;  - lesdits éléments (118 a,b,c - 120 a,b,c) sont verticalement disposés dans les deux chambres (112-114), avec des espaces libres étroits (130 a...d - 132 a...d) aménagés entre eux;

30 - les parties supérieures des espaces libres (130 a...d - 132 a...d) des deux chambres (112-114) communiquent entre elles par au moins un passage (134) aménagé dans la partie supérieure de la cloison mitoyenne (116);

  - les parties inférieures des espaces libres des deux chambres (112-114) communiquent entre elles par un passage aménagé dans la partie inférieure de la

35 cloison mitoyenne (116), ledit passage étant équipé d'un ventilateur (136);

  - le ventilateur (136) est adapté à faire circuler de l'air en circuit fermé de bas en haut des espaces libres (132 a...d) de la chambre d'évaporation et de haut en bas dans ceux (130 a...d) de la chambre de condensation;

- une pompe (148) est disposée entre le collecteur bas (144) des alvéoles des éléments chauds (120 a,b,c) de la chambre d'évaporation (114) et l'entrée d'un organe de refroidissement (150), installé à l'extérieur des chambres (112-114), la sortie dudit organe (150) étant reliée par un conduit (152) au collecteur bas (153) des éléments froids (118 a,b,c) de la chambre de condensation (112);
- l'entrée de la chaudière (128) est reliée par un conduit (140) au collecteur haut (138) des éléments froids (118 a,b,c) de la chambre de condensation (112) et sa sortie est reliée par un conduit (126) au collecteur haut (142) des éléments chauds (120 a,b,c) de la chambre d'évaporation (114);
- la pompe (148) fait circuler en circuit fermé le liquide à distiller dans les alvéoles des éléments froids (118 a,b,c) de la chambre de condensation (112), dans la chaudière (128) puis dans les alvéoles des éléments chauds (120 a,b,c) de la chambre d'évaporation (114), avec un sens de circulation inverse de celui de l'air dans les espaces libres (130 a...d - 132 a...d) des chambres de condensation (112) et d'évaporation (114);
- des moyens (154-156) pour introduire en amont du collecteur bas (153) des alvéoles des éléments froids (118 a,b,c) de la chambre de condensation (112), un courant déterminé de liquide à distiller à la température extérieure.

14. Appareil de distillation (180), à coefficient de performances élevé, caractérisé en ce que:

- une chaudière (182), alimentée par le liquide à distiller (214-215-219), est adaptée à produire du liquide chaud;
- une chambre de traitement (183), thermiquement bien isolée, comporte un grand nombre d'éléments alvéolaires d'échange thermique liquide/vapeur quasi-réversible, à parois extérieures au moins mouillables et de préférence hydrophiles, disposés à la verticale et répartis en deux groupes d'éléments respectivement chauds (184 a,b,c) et froids (186 a,b), pourvus de collecteurs bas (200-204) et de collecteurs hauts (194-210);
- les éléments chauds du premier groupe (184 a,b,c) sont affectés à l'évaporation de liquide et les éléments froids du second (186 a,b), à la condensation de vapeur;
- chaque élément froid (186 a,b) est installé entre deux éléments chauds (184 a,b,c), avec un un espace libre étroit aménagé entre eux;
- l'entrée (236) de la chaudière (182) est reliée par une canalisation calorifugée (212) au collecteur haut (210) des éléments froids (186 a,b) du deuxième groupe et sa sortie (234), reliée par une autre canalisation calorifugée (195) au collecteur haut (194) des éléments chauds (184 a,b,c) du premier groupe;

- des moyens sont prévus pour faire circuler en circuit fermé le liquide à distiller, dans les éléments des deux groupes et dans la chaudière (182), le liquide circulant de bas en haut dans les éléments froids (186 a,b) du deuxième groupe et de haut en bas dans les éléments chauds (184 a,b,c) du premier;
- 05 - des mèches (188 a,b,c) sont disposées en haut des éléments chauds du premier groupe (184 a,b,c) pour faire couler lentement sur les parois extérieures de ces éléments, du liquide chaud transporté par des canalisations (192-195) reliées à la sortie (234) de la chaudière (182);
- des moyens (214-215-217) sont installés pour introduire en amont du collec-
- 10 teur bas (204) des éléments froids (186 a,b), un courant déterminé de liquide à distiller à la température extérieure;
- un organe de refroidissement (202), extérieur à la chambre de traitement (183), est installé entre le collecteur bas (200) des éléments chauds (184 a,b,c) et le collecteur bas (204) des éléments froids (186 a,b);
- 15 - l'appareil comporte des moyens (220-222) pour recueillir le distillat en bas des éléments froids (186 a,b) du deuxième groupe et des moyens (216 a,b,c - 218) pour recueillir le concentré en bas des éléments chauds (184 a,b,c) du premier groupe.

20 15. Appareil de distillation d'eau naturelle non potable selon la revendication 14, caractérisé en ce que la chaudière (182) est un chauffe-eau solaire à accumulation (226-228-230), installé à une distance suffisante sous la chambre de traitement (183), pour que la circulation du liquide à distiller puisse se faire par thermo-siphon, ladite chaudière comportant un réservoir à

25 paroi noire (226), installé sous une couverture transparente (230) à haut isolement thermique, ledit réservoir (226) possédant un volume égal à environ dix fois le volume total des alvéoles des éléments d'échange thermique (184 a,b,c - 186 a,b) de la chambre de traitement (183).

30 16. Appareil de distillation selon l'une des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que l'organe de refroidissement (150 ou 202) est un dispositif (151), adapté à être disposé à l'ombre et exposé à l'air ambiant, réalisé à partir de feuilles de plastique pourvues d'un revêtement hydrophile, soudées l'une à l'autre par des lignes de soudure externes définissant des bords rec-

35 tangulaires ou carrés, et par des lignes de soudure internes, parallèles entre elles, définissant des conduits communiquant entre eux et aboutissant à deux raccords diagonalement disposés (147-149), ledit revêtement étant adapté à être humidifié en permanence par du liquide à distiller.

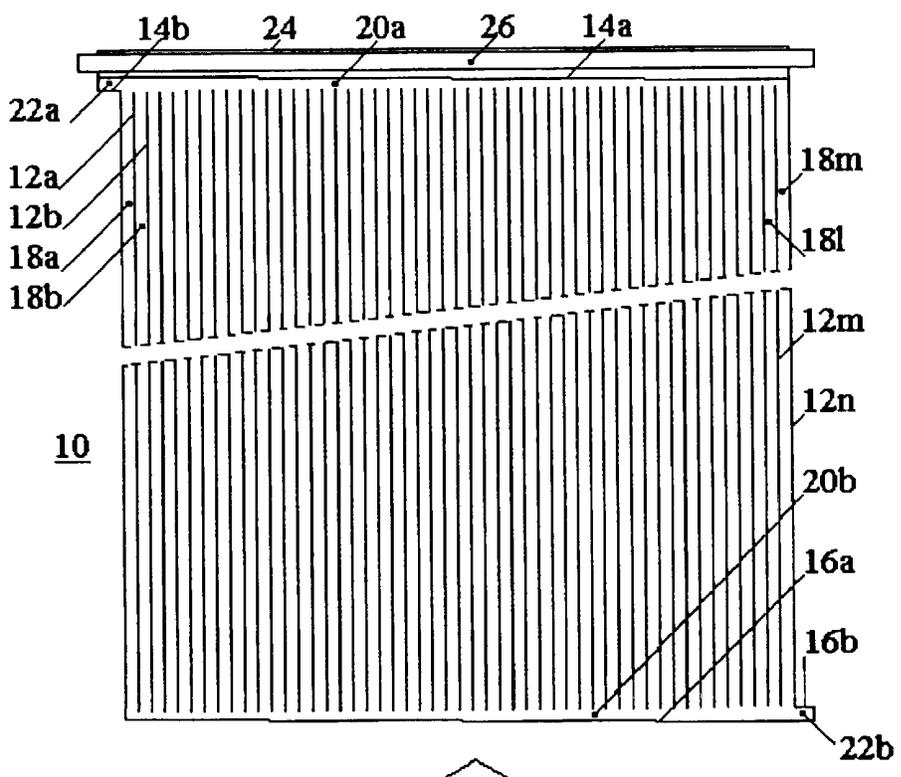


Figure 1

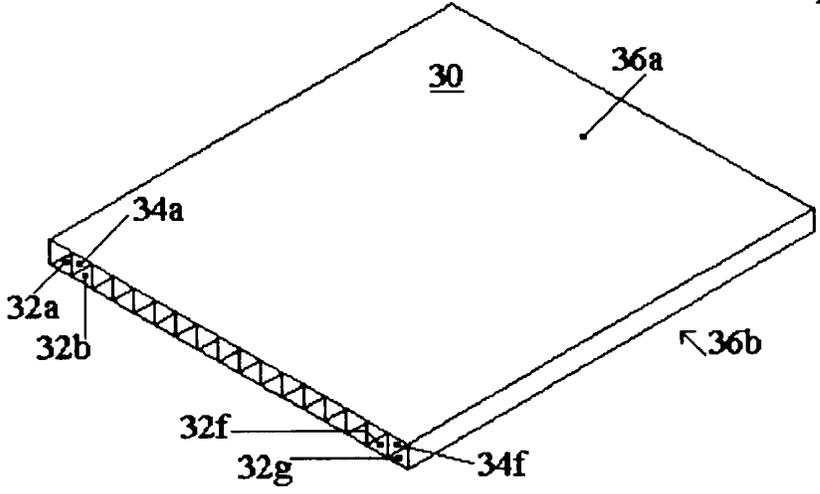


Figure 2a

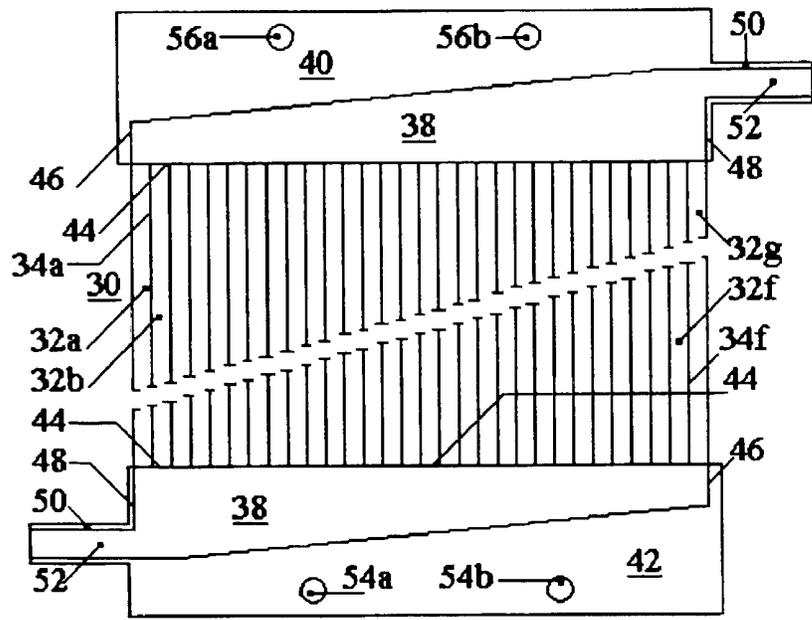


Figure 2b

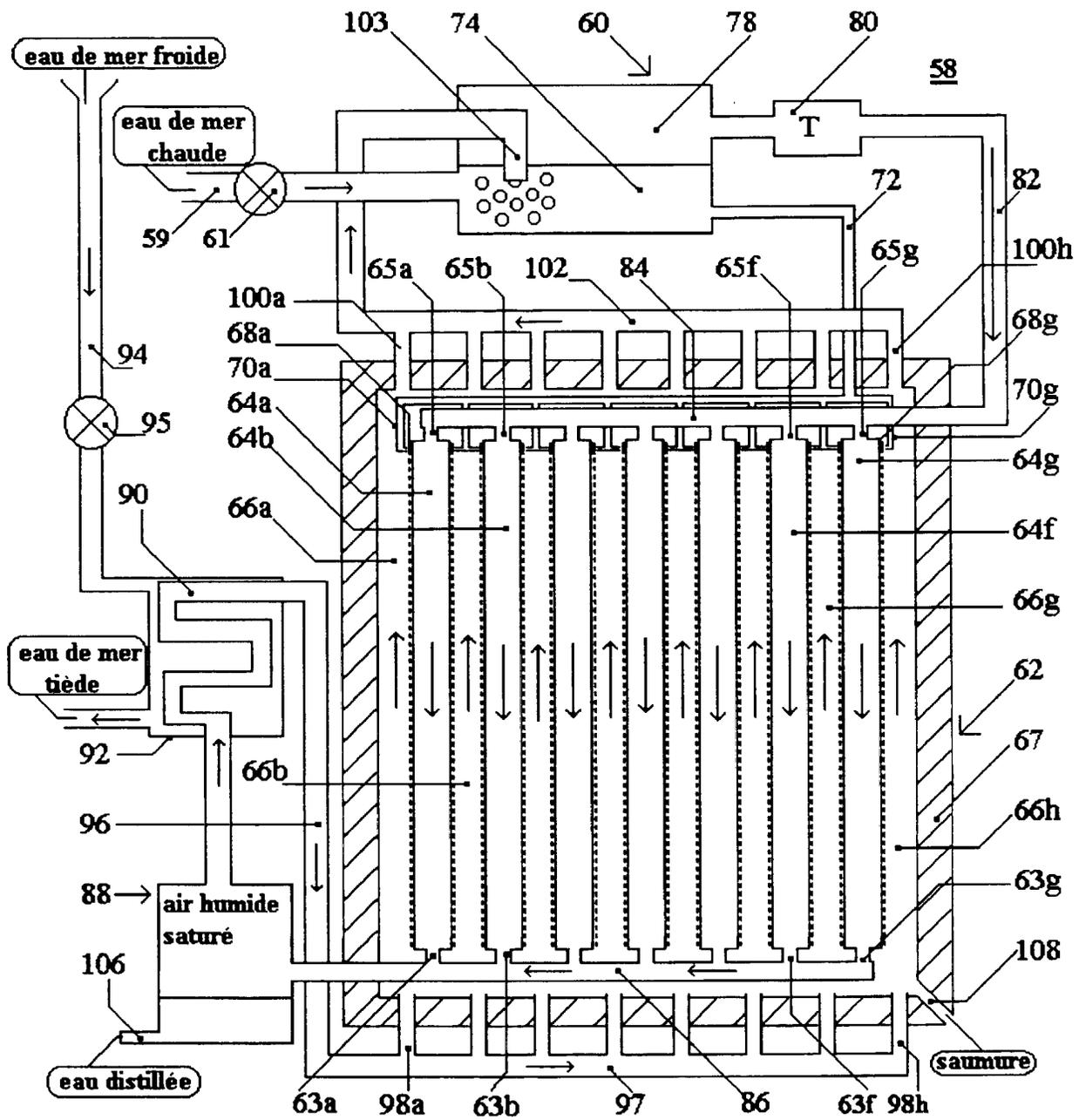


Figure 3

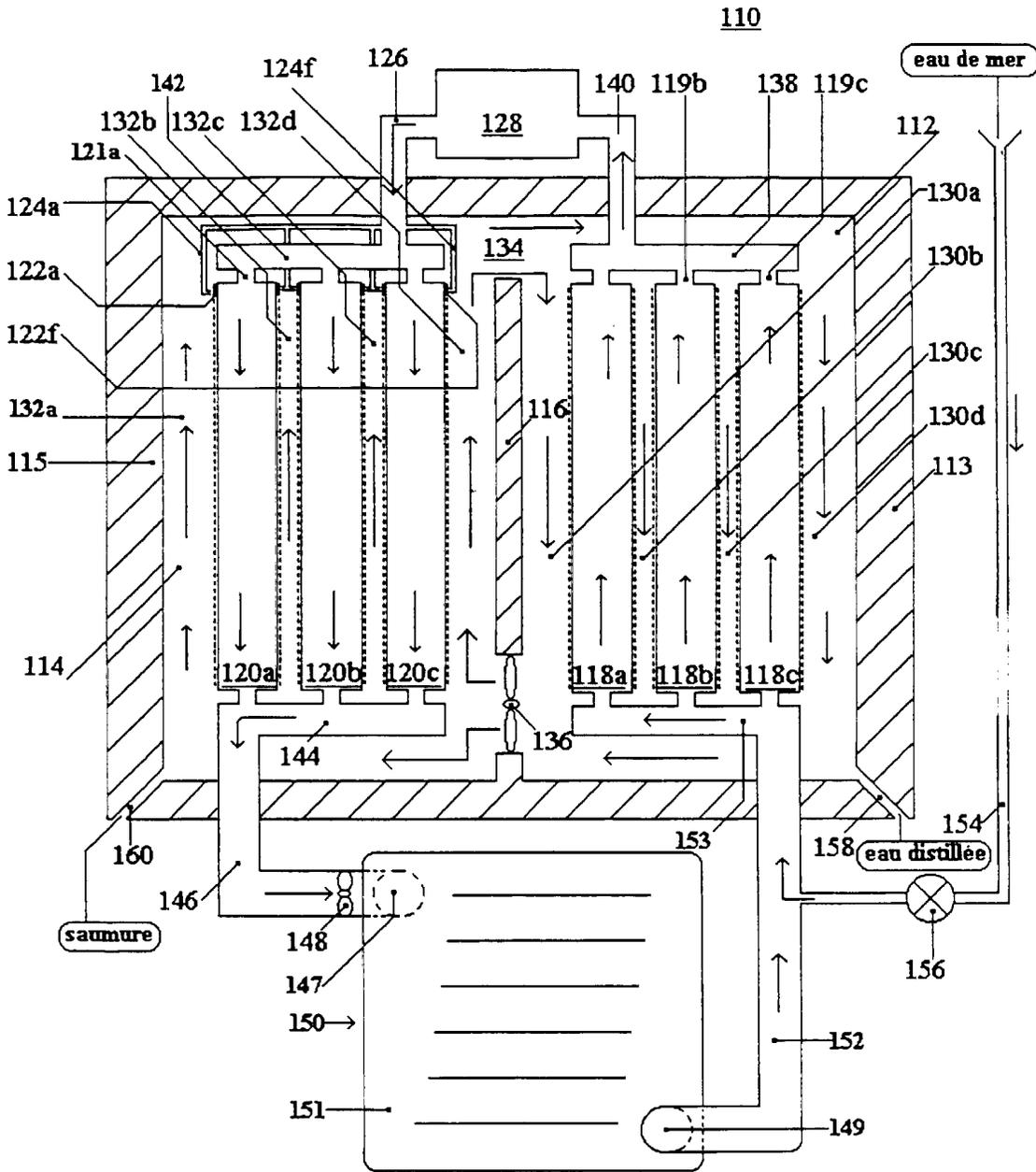


Figure 4

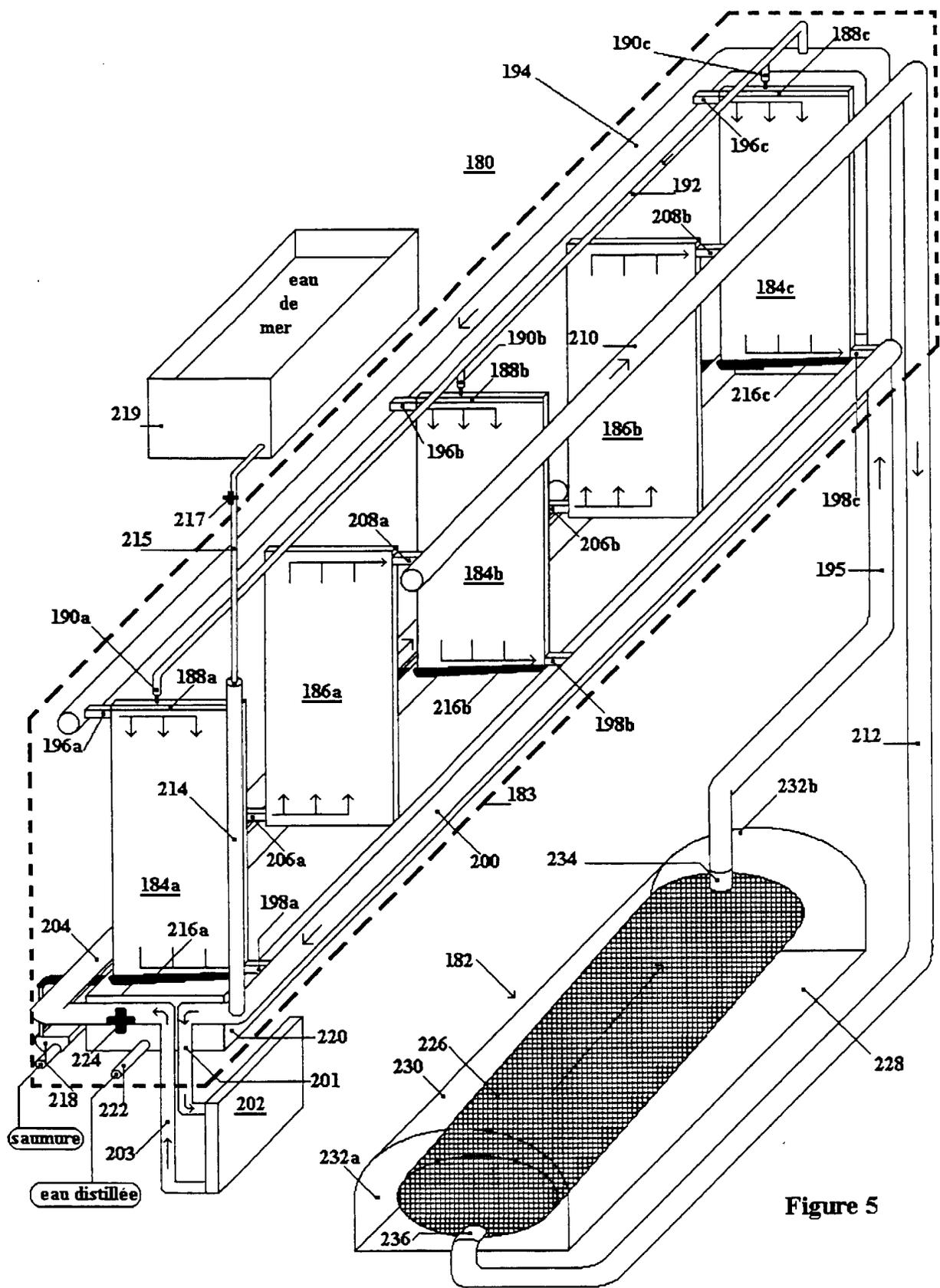


Figure 5

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	BE 768 099 A (C.F.A.LABRIQUE ET AL.) 3 novembre 1971 (1971-11-03) * revendications 1,8; figure 4 * ---	1,12	B01D3/00 B01D5/00 C02F1/04 C02F1/14
A	BE 758 288 A (C.F.A.LABRIQUE ET AL.) 1 avril 1971 (1971-04-01) * le document en entier * ---	1,12	
A	FR 2 713 219 A (P.DESPLATS ET AL.) 9 juin 1995 (1995-06-09) * le document en entier * ---	2,13	
A	DE 32 42 807 A (MITSUBISHI DENKI K.K.) 24 mai 1984 (1984-05-24) * revendications 1-9; figure 1 * ---	3,14	
A	BE 1 002 903 A (J.-P.A.LABRIQUE) 23 juillet 1991 (1991-07-23) * le document en entier * ---	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 007, no. 003, 7 janvier 1983 (1983-01-07) & JP 57 162605 A (DIESEL KIKI CO), 6 octobre 1982 (1982-10-06) * abrégé * ---	8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)  C02F B01D
A,D	WO 98 16474 A (J.-P.DOMEN) 23 avril 1998 (1998-04-23) * le document en entier * -----	1-16	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 mai 2001		Bertram, H	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	