

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



WIPO | PCT



(10) Numéro de publication internationale

WO 2013/150040 A2

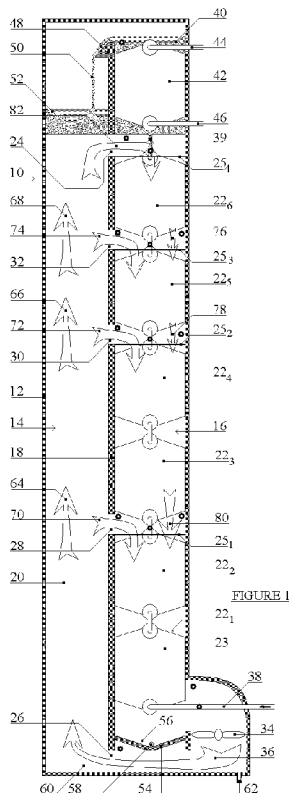
(43) Date de la publication internationale  
10 octobre 2013 (10.10.2013)

- (51) Classification internationale des brevets : Non classée (74) Mandataire : HIRSCH & ASSOCIES (GROUPEMENT 161); 58, Avenue Marceau, F-75008 Paris (FR).
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/EP2013/056964 (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (22) Date de dépôt international : 2 avril 2013 (02.04.2013) (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 12 00 985 3 avril 2012 (03.04.2012) FR
- (71) Déposant : TMW [FR/FR]; 6 Place de la République Dominicaine, F-75017 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : DOMEN, Jean-Paul; 30 route de Brissac, F-49320 Vauchretien (FR). VIANNAY, Stéphane; La Fontaine, Rue Jean Pontoise, F-49190 Saint Aubin De Luigne (FR). BOISDON, Olivier; 1 Chemin de Dauvert, F-49170 Saint Leger Des Bois (FR). DIMECK, Florian; 5 rue de l'Espine, F-49100 Angers (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : WATER DISTILLING APPARATUS USING SATURATED AIR CURRENTS AND METHODS FOR MAXIMISING THE PERFORMANCE THEREOF

(54) Titre : DISTILLATEURS D'EAU A COURANTS D'AIR SATURE PROCEDES POUR EN MAXIMISER LES PERFORMANCES



(57) Abstract : One of these distilling apparatus (10) comprises two columns, an evaporation column (14) and a condensation column (16), separated by a partition (18) equipped with rows of slits dividing them into 4 distillation stages. The evaporation column (14) comprises plates with hydrophilic or wettable faces, and the condensation column comprises rectangular hollow-plate (21) heat exchangers (22<sub>1-6</sub>). Cold water ascends in these exchangers and saturated humid hot air descends in the condensation column (16). A perforated sheet (25<sub>1-4</sub>) increases the uniformity of the partial airflows descending between the plates. The water is heated in a boiler (34); the hot water is scattered at the top of the evaporation column and the air cooled in the condensation column is sucked downwards by a fan (34). The air flows in a closed circuit. Performance is maximised, after the top temperature T<sub>E2</sub> (45 to 90°C) and the mass flow rate Q<sub>E0</sub> of the scattered water have been set, by adjusting the mass flow rate Q<sub>A1</sub> of the sucked dry air in order to give the temperature T<sub>A</sub> of this air a preset value at the top of the lowest evaporation chamber. Next, the effective cross sections of the partition apertures are adjusted in order to bring the air exiting from the evaporation chambers of higher rank to other preset temperatures T<sub>A2</sub> to T<sub>AN</sub>, the enthalpy curves of the air deviating from flat by < 1.5°C. Next, the effective cross sections are corrected in order to make the temperature of the air at the entrance of an evaporation chamber equal to the temperature at the exit of the condensation chamber of the same rank. The performance coefficient (PCo) of the apparatus may be > 6, with a satisfactory flow rate of distilled water. Applications: production of fresh or very high purity water; production of concentrated industrial wastewater; production of high-concentration ethanol, acids or bases.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/150040 A2



MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**  
— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

---

L'un de ces distillateurs (10) comporte deux colonnes, l'une d'évaporation (14) et l'autre de condensation (16), séparées par une cloison (18), dotée de rangées de fentes les divisant en 4 étages de distillation. La colonne d'évaporation (14) comporte des plaques à faces hydrophiles ou mouillables et celle de condensation, des échangeurs thermiques (22<sub>1-6</sub>), à plaques creuses rectangulaires (21). L'eau fraîche monte dans ces échangeurs et l'air chaud humide saturé descend dans la colonne de condensation (16). Un plateau perforé (25<sub>1-4</sub>) uniformise les débits partiels d'air descendant entre les plaques. L'eau est chauffée dans une chaudière (34), l'eau chaude est répandue en haut de la colonne d'évaporation et l'air refroidi dans la colonne de condensation est insufflé en bas, par un ventilateur (34). L'air circule en circuit fermé. La maximisation des performances consiste, après avoir fixé la température haute  $T_{E2}$  (45 à 90°C) et le débit massique  $Q_{E0}$  de l'eau répandue, à régler le débit massique  $Q_{A1}$  de l'air sec insufflé, pour 1 donner une valeur prédéterminée à la température  $T_A$  de cet air, en haut de la chambre d'évaporation la plus basse. Puis, les sections efficaces des ouvertures de cloison sont ajustées pour amener à d'autres températures prédéterminées  $T_{A2}$  à  $T_{AN}$ , l'air sortant des chambres d'évaporation de rang supérieur. Avec des courbes d'enthalpie de l'air ayant des flèches de festons  $< 1,5^\circ\text{C}$ . Puis les sections efficaces sont corrigées pour rendre égales les températures de l'air à l'entrée d'une chambre d'évaporation et à la sortie de la chambre de condensation de même rang. Le Coefficient de Performance (CoP) de l'appareil peut être  $> 6$ , avec un débit d'eau distillée satisfaisant. Applications: Production d'eau douce ou à très haute pureté 2 Production de concentrés d'eaux industrielles Production d'éthanol, d'acide ou de base, à haute concentration.

DISTILLATEURS D'EAU A COURANTS D'AIR SATURE  
PROCEDES POUR EN MAXIMISER LES PERFORMANCES

L'invention concerne à la fois des distillateurs d'eau perfectionnés, du genre à  
5 courants forcés d'air chaud humide saturé et récupération de chaleur latente de  
condensation, et des procédés pour en maximiser les performances. Les applications de ces  
distillateurs comprennent le dessalement de l'eau de mer et, plus généralement, la  
deminéralisation de toute eau claire, notamment pour produire de l'eau ultra pure. Elles  
concernent également la concentration de solutions aqueuses industrielles diverses, à  
10 transformer (agroalimentaires) ou à détruire (effluents pollués) ainsi que la séparation de  
certains liquides volatils de leur solvant aqueux (éthanol, acides, bases...).

Deux distillateurs d'eau, à courants forcés d'air chaud humide saturé et récupération  
de chaleur latente de condensation, sont décrits en commentaires (1) de la figure 5 d'une  
15 demande de brevet français de 1975, publiée sous le N°2 281 896, et (2) d'un brevet US  
3 860 492 de la même année.

Dans le distillateur d'eau selon cette demande de brevet français,

- trois étages de distillation superposés sont aménagés ;
- chaque étage de distillation comprend un couple de chambres, l'une d'évaporation et l'autre  
20 de condensation, les hauts de ces chambres communiquant par un conduit ;
- les conduits des deux étages de distillation inférieurs comportent des moyens manuels de  
réglage de leurs sections de passage ;
- les trois chambres d'évaporation sont garnies de noix artificielles mouillables, entassées en  
vrac ;
- 25 - les trois chambres de condensation comportent trois serpentins montés en série ;
- des moyens sont raccordés à l'appareil pour faire circuler, de bas en haut dans les trois  
serpentins des chambres de condensation, un courant d'eau à température initiale basse ;
- une chaudière est raccordée en haut de ces serpentins pour porter à une température  
haute de 95°C, le courant d'eau qui en sort;
- 30 - des moyens d'épandage sont installés au-dessus de la chambre d'évaporation supérieure  
pour répandre cette eau, à température haute, au sommet de cette chambre ;
- un ventilateur est installé en bas de la chambre d'évaporation inférieure, pour forcer des  
débits ajustés d'air chaud humide saturé à circuler, de bas en haut dans les trois chambres  
d'évaporation et de haut en bas dans les trois chambres de condensation, afin de faire  
35 prendre des températures prédéterminées aux courants d'air circulant en haut des chambres  
d'évaporation ;

- des moyens, pour recueillir l'eau distillée et la solution aqueuse concentrée, sont respectivement installés en bas des chambres basses de condensation et d'évaporation.

Ce distillateur d'eau a été aménagé pour former ces trois étages de distillation, afin d'améliorer les échanges thermiques entre des courants d'eau chaude et d'air ou d'air chaud et d'eau, circulant en sens opposés, effectués dans les chambres d'évaporation et de condensation de l'appareil. Une telle solution (non justifiée dans le document) est en effet nécessaire car, en fonction de la température, la capacité calorifique  $C_{pE}$  d'un kilogramme d'eau est constante (4,18 kJ/K), alors que la capacité calorifique apparente  $C_{pA}$  d'un kilogramme d'air sec à pression standard, inclus dans de l'air chaud humide saturé, augmente avec la température et présente une branche hyperbolique, qui tend vers l'infini à 100°C. Avec trois étages de distillation, on transforme en deux suites de trois festons la paire de courbes représentatives des flux d'enthalpie de l'air montant et descendant. Dans ces conditions, on minimise grandement les écarts entre, d'une part, ces deux suites de festons et, d'autre part, les deux droites parallèles représentatives des flux d'enthalpie de l'eau montante et descendante. L'échange thermique total ainsi effectué est nettement supérieur à ce qu'il aurait été avec un seul étage de distillation et la quantité d'eau distillée produite est, dans ces conditions, fortement augmentée. Mais les performances d'un tel distillateur d'eau sont cependant loin d'être maximales.

En effet, dans ce distillateur d'eau, avec un courant d'air à température initiale  $T_{A0} = 20^\circ\text{C}$  et un courant d'eau à températures, basse  $T_{E0} = 20^\circ\text{C}$  et haute  $T_{E2} = 95^\circ\text{C}$ , on a, en haut des trois étages de distillation de rangs 1 à 3, pour de l'air circulant en boucle ouverte :  $T_{A1} = 55^\circ\text{C}$ ,  $T_{A2} = 75^\circ\text{C}$ ,  $T_{A3} = 90^\circ\text{C}$  et  $35^\circ\text{C}$ , en bas de la colonne de condensation. Pour l'eau circulant en boucle ouverte, en bas des trois chambres d'évaporation, on a du sommet à la base de la colonne d'évaporation :  $T_{E2}$ ,  $85^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$  et  $T_{E3} = 40^\circ\text{C}$ . En haut des trois chambres de condensation, on a pour l'eau, de la base au sommet de la colonne de condensation :  $T_{E0}$ ,  $45^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$  et  $T_{E1} = 75^\circ\text{C}$ . Dans ces conditions, le Coefficient de Performances de l'appareil (rapport entre l'énergie thermique utilisée en distillation et l'énergie thermique fournie par la chaudière)  $\text{CoP} = (T_{E2} - T_{E0}) / (T_{E2} - T_{E1}) = 3,75$ , ce qui est une valeur moyenne, acceptable lorsque l'énergie utilisée est bon marché. Mais, ce CoP calculé est-il possible avec l'appareil décrit ?

Pour voir ce qu'il en est, on va s'intéresser de plus près aux températures annoncées pour l'air et pour l'eau. Et l'on va s'apercevoir que ces températures (à l'évidence non expérimentales) ne sont pas adaptées à l'obtention de performances moyennes et a fortiori élevées, aussi bien techniques qu'économiques. Il en est tout d'abord ainsi pour les températures de l'air en haut des chambres d'évaporation et en bas des chambres de condensation des trois étages de distillation.

Dans un premier temps, il s'agit du choix des deux températures intermédiaires  $T_{A1}$  et  $T_{A2}$  de l'air, en haut des chambres d'évaporation de rang 1 et 2. Ce choix est normalement fait à partir des températures extrêmes de l'air : la basse  $T_{A0}$ , imposée par l'air ambiant, et la haute  $T_{A3}$ , relativement proche de  $T_{E2}$ , la température haute de l'eau répandue au sommet de la chambre d'évaporation supérieure. Du fait des trois étages de distillation aménagés dans l'appareil, la courbe souhaitée pour représenter les flux d'enthalpie corrigés des courants d'air chaud humide saturé montant dans les trois chambres d'évaporation, est une suite idéale de trois segments de droite à pentes  $A = \Delta H / \Delta T$ , avec  $\Delta H$  et  $\Delta T$ , les accroissements de flux d'enthalpie et de température de l'air dans chacune des chambres d'évaporation. En fait, la courbe réelle représentant ces flux corrigés est constituée par trois festons ayant deux points de jonction anguleux. L'écart maximal entre ces deux courbes, réelle et optimale, est la flèche  $\Delta T_F$  de chaque feston. Pour chaque feston, la valeur en degrés de sa flèche  $\Delta T_F$  est le quotient  $\Delta H^* / A$ , avec  $\Delta H^*$  l'écart de flux d'enthalpie, entre le milieu du segment de droite recherché et le point de la courbe de flux d'enthalpie de l'air, à la température moyenne de la chambre. Dans le cas des températures extrêmes de l'air chaud humide saturé, en bas et en haut des chambres d'évaporation, annoncées dans le brevet concerné, à savoir 30 (environ), 55, 75 et 90°C, les valeurs des flux d'enthalpie de 1kg/s d'air sec, emporté par le courant d'air chaud humide saturé montant dans chaque chambre d'évaporation, sont données par la table de l'enthalpie spécifique  $H$  de l'air chaud humide saturé. Pour les températures remarquables de l'air humide (extrémités et milieu des segments de droite), on a  $H_{90} = 3887$  kW;  $H_{82,5} = 1864$  ;  $H_{75} = 1088$  ;  $H_{65} = 600$  ;  $H_{55} = 353$ ;  $H_{42,5} = 179$  et  $H_{30} = 100$  kW. Pour le feston inférieur, on a  $\Delta H_1^* = \frac{1}{2} (H_{55} + H_{30}) - H_{42,5} = 48$  kW et  $A_1 = (H_{55} - H_{30}) / 25 = 10$  kW/K, de sorte que  $\Delta T_{F1} = 4,8^\circ\text{C}$ . Pour le feston central, on a  $\Delta H_2^* = 120$  kW,  $A_2 = 37$  kW/K et  $\Delta T_{F2} = 3,2^\circ\text{C}$ . Pour le feston supérieur, on a  $\Delta H_3^* = 623$  kW,  $A_3 = 187$  kW/K et  $\Delta T_{F3} = 3,3^\circ\text{C}$ . Toutes ces valeurs sont inacceptables, parce que trop élevées. Mais la flèche  $\Delta T_{F1}$  du feston inférieur étant la plus importante, elle est, de ce fait, la seule à être prise en compte pour déterminer  $(T_{E2} - T_{E1})$ . Elle représente ici le quart de l'accroissement de température imposé à la chaudière, ce qui diminue d'autant le CoP de l'appareil. En conclusion de ces premiers commentaires, on voit que dans un distillateur d'eau efficace, le nombre d'étages de distillation et le choix des températures de l'air au sommet des chambres d'évaporation ne peuvent pas être décidés par une approche arbitraire, même si celle-ci paraît être de bon sens.

En ce qui concerne les températures en bas des chambres de condensation, il n'y a aucune raison pour que les températures du courant d'air dérivé par les deux communications entre les chambres d'évaporation et de condensation de rangs 1 et 2, et les températures des courants d'air descendant des chambres de condensation de rang 2 et 3

soient les mêmes. En effet, les architectures des deux chambres d'un étage de distillation étant différentes l'une de l'autre, a priori leurs coefficients d'échange thermique respectifs le sont également. L'inégalité de ces températures engendre une baisse du CoP, si elle n'est pas corrigée.

5           En outre, comme la forme et les dimensions des sections des conduits débouchant dans les chambres de condensation, tout comme la forme de la section de ces chambres, ne sont pas précisées, on ignore les conditions exactes dans lesquelles les courants d'air dérivés par ces conduits aboutissent dans ces chambres et se mélangent aux courants d'air descendant des chambres de rang supérieur. De toute façon, les veines d'air qui lèchent les  
10 serpentins sont a priori très minoritaires par rapport à celles qui en sont écartées. Ce qui engendre localement des couplages thermiques air/eau déséquilibrés, très différents les uns des autres. Globalement l'air chaud humide saturé est très mal refroidi et la vapeur très mal condensée dans des chambres de condensation équipées de serpentins. Pour qu'il en soit autrement, il faut que la surface volumique  $S/V$  d'échange thermique de ces serpentins soit  
15 importante dans la chambre de condensation. Comme un tel rapport est  $S/V > 150 \text{ m}^2/\text{m}^3$  pour des échanges thermiques air/eau efficaces, on voit que cela est inconcevable pour des serpentins usuels, en zigzag ou en hélice, pour lesquels  $S/V < 10 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . La situation est meilleure lorsque plusieurs serpentins ou tronçons de serpentins sont assemblés en parallèle, avec collecteurs amont et aval. Ce que le document cité ne suggère pas. De toute  
20 façon, la structure filiforme des serpentins usuels entraîne une perte de charge souvent inacceptable pour le courant d'eau. En outre, leur coût est souvent prohibitif du fait que, étant a priori métalliques, leur métal doit être insensible à l'action corrosive de l'eau de mer. La conclusion de ces commentaires est simple : les serpentins métalliques usuels ne sont absolument pas adaptés à la double fonction qui leur est affectée dans un distillateur d'eau,  
25 à hautes performances ( $\text{CoP} > 4$ ), à savoir : réchauffer efficacement un courant d'eau de mer montant par un courant descendant d'air chaud humide saturé et condenser le maximum de vapeur d'eau emportée par ce courant d'air, dans des conditions économiques satisfaisantes pour les marchés concernés.

Par ailleurs, l'entassement de noix artificielles mouillables dans la colonne  
30 d'évaporation conduit à des pertes de charge importantes pour le courant d'air, insufflé par le ventilateur installé en bas de cette colonne. Cela entraîne pour ce courant d'air, l'obligation d'une surpression relativement importante et des vitesses locales élevées, qui se traduisent par la présence inévitable de gouttes de saumure dans les courants d'air entrant dans la colonne de condensation. Dans le cas d'un distillateur d'eau traitant de l'eau de mer  
35 standard, cela conduit à une teneur de 1 à 2 g de sel par litre d'eau distillée produite. Ce qui en rend la consommation désagréable. Dans le cas d'un distillateur d'eau traitant des eaux

industrielles polluées, interdites à la décharge, la situation est pire : l'eau distillée reste polluée et interdite de rejet.

Pour terminer l'exposé des problèmes, posés par le distillateur d'eau décrit dans le document cité, on peut encore noter que la température  $T_{E2} = 95^{\circ}\text{C}$  prévue, pour l'eau  
5 chaude à répandre en haut de la colonne d'évaporation, est une température trop importante, dangereuse à terme, car elle accélère la précipitation de certains sels dissous dans cette eau et, de ce fait, entraîne d'importants dépôts de tartre dans les passages empruntés, qui perturbent et à la longue finissent par bloquer le fonctionnement de la machine.

10 Le distillateur d'eau selon le brevet US 3 860 492 est aménagé en système automatique pour concentrer de l'eau industrielle. Il comprend un premier étage de distillation, matérialisé dans la moitié basse des deux colonnes, et un nombre indéterminé d'étages aménagé au-dessus. Les composants mouillables de la colonne d'évaporation sont  
15 des filets de pêche pendus et les composants creux d'échange thermique de la colonne de condensation, des serpentins. La plupart des commentaires négatifs précédents s'appliquent. De plus, la flèche du feston de la courbe d'enthalpie de l'air dans ce premier étage, est a priori notablement plus grande que celle du cas précédent. Un distillateur plus performant à huit étages est par ailleurs envisagé, sans plus de détails.

20 En conclusion des commentaires concernant ces deux documents, on peut affirmer qu'une condition majeure pour que le procédé concerné ait une bonne performance énergétique est que l'écart de température entre l'air humide et l'eau soit le plus faible possible tout le long des colonnes d'évaporation et de condensation. Le fait de découper chaque colonne en plusieurs étages, où les débits d'air humide sont différents et le débit d'eau pratiquement constant, permet déjà une réduction globale de l'écart de température  
25 entre l'air humide et l'eau. Les deux documents cités proposent une telle solution. Le brevet français ne donne pas d'explication. Le brevet US donne une explication partielle à partir de la courbe d'évolution, en fonction de la température, de l'enthalpie de l'air humide saturé. Mais aucun de ces brevets ne s'intéresse à la façon de minimiser l'écart de température air humide/eau au sein de chacun des étages.

30 A cette condition majeure, s'en ajoute une autre tout aussi importante : les coefficients d'échange thermique, résultant notamment des échanges thermiques en air sec, du mécanisme de diffusion de la vapeur d'eau dans l'air et des surfaces volumiques (S/V) des composants des unités de distillation, doivent être aussi élevés que possible, pour pouvoir suffisamment réduire cet écart de température entre l'air humide et l'eau. Mais cela  
35 est d'autant plus difficile qu'une bonne maîtrise des échanges de chaleur en air humide saturé n'est pas chose évidente.

Le premier objet de l'invention concerne différents distillateurs d'eau perfectionnés, à courants forcés d'air chaud humide saturé et récupération de chaleur latente de condensation, comportant plusieurs unités de distillation aptes à opérer dans des conditions optimales.

Le deuxième objet de l'invention concerne de tels distillateurs d'eau perfectionnés, dans lesquels par construction, ces conditions optimales, dans les chambres de condensation, sont établies par des composants à coefficient d'échange thermique très élevé.

Le troisième objet de l'invention concerne de tels distillateurs d'eau perfectionnés, dans lesquels ces conditions optimales, dans les deux chambres de chaque unité de distillation, sont établies par des écarts de température entre l'air humide et l'eau, aussi faibles que possible.

Le quatrième objet de l'invention est de réaliser de tels distillateurs d'eau perfectionnés, à capacité élevée et/ou variable de production journalière d'eau distillée, constitués par des unités de distillation modulaires, aisées à construire, à installer et à exploiter.

Le cinquième objet de l'invention concerne des procédés pour maximiser les performances de ces différents distillateurs d'eau.

Le sixième objet de l'invention est de construire de tels distillateurs d'eau perfectionnés aptes, avec des rendements énergétiques élevés, à déminéraliser de l'eau, notamment à dessaler de l'eau de mer, à concentrer des eaux industrielles et à séparer des liquides volatils de leur solvant aqueux.

Selon une définition élargie du distillateur d'eau, décrit dans le brevet français commenté ci-dessus, ce distillateur est du genre dans lequel :

- un nombre N d'unités de distillation est aménagé, l'unité de rang 1 étant la moins chaude et celle de rang N, la plus chaude ;
- chacune de ces N unités de distillation comprend un couple de chambres verticales, communiquant par le haut, assurant l'évaporation de l'eau et la condensation de la vapeur ;
- chacune de ces N chambres d'évaporation est occupée par un ensemble de composants mouillables ou hydrophiles ;
- chacune de ces N chambres de condensation est occupée par un dispositif creux d'échange thermique, ces N dispositifs étant montés en série ;



- des moyens sont raccordés à l'appareil pour lui fournir un courant d'eau, à débit massique  $Q_{E0}$ , à température initiale basse  $T_{E0}$  et à surpression appropriée, pour faire circuler ce courant d'eau de bas en haut dans les N dispositifs creux d'échange thermique ;
- une chaudière est raccordée à la sortie de ces N dispositifs creux d'échange thermique, pour porter à une température haute  $T_{E2}$ , inférieure à  $100^{\circ}\text{C}$ , le courant d'eau à température  $T_{E1}$  qui en sort ;
- des moyens sont installés dans l'appareil pour répandre cette eau chaude à température  $T_{E2}$ , en haut des composants de la chambre d'évaporation de rang N et pour la faire ruisseler le long des composants des chambres d'évaporation de rangs inférieurs ;
- des moyens sont installés dans l'appareil, pour forcer N débits ajustés d'air chaud humide saturé à circuler, de bas en haut dans les N chambres d'évaporation et de haut en bas dans les N chambres de condensation, afin de respectivement porter les N courants d'air circulant en haut des chambres d'évaporation à des températures prédéterminées  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$  ;
- des moyens de collecte, de l'eau distillée produite, sont installés en bas de la chambre de condensation de rang 1 ;
- des moyens de collecte, de la solution aqueuse concentrée produite, sont installés en bas de la chambre d'évaporation de rang 1.

Selon l'invention, un distillateur d'eau perfectionné, du genre élargi ainsi défini, est caractérisé en ce que :

- les N dispositifs creux d'échange thermique ont des sections et des hauteurs sensiblement identiques à celles des N chambres de condensation ;
- ces N dispositifs d'échange thermique sont des groupes de plaques creuses en polymère, assemblées séparées à pas constant, chaque groupe étant doté de collecteurs amont et aval ;
- dans les N chambres de condensation, les plaques creuses sont installées verticales.

Selon l'invention, un tel distillateur d'eau est en outre caractérisé en ce qu'il comporte N plateaux perforés, aptes à répartir les débits totaux d'air, entrant respectivement dans les N chambres de condensation, en débits partiels sensiblement égaux, pénétrant dans les espaces séparant les plaques creuses de ces chambres.

- Selon l'invention, un tel distillateur d'eau est plus précisément caractérisé en ce que, dans chacune des N unités de distillation :
  - la communication entre les chambres d'évaporation et de condensation, comporte une fenêtre rectangulaire allongée horizontale ;
  - la section de la chambre de condensation, le plateau perforé et les plaques creuses sont tous rectangulaires ;

- le plateau perforé est installé sans fuites latérales notables et il comporte des rangées de trous surmontant toutes les plaques creuses ;
- ces trous sont oblongs et percés au pas des plaques, leur largeur étant sensiblement égale à celle des espaces entre plaques.

5 Ces dispositions simples sont à la fois nouvelles et non évidentes, car elles apportent des solutions pratiques à des problèmes concrets non évidents, puisque ignorés et/ou non formulés jusqu'à ce jour. Tout d'abord, le choix de chambres de condensation à section rectangulaire n'est pas le seul possible mais à l'évidence le plus rationnel, dès lors que le dispositif d'échange thermique est constitué par un assemblage de plaques creuses  
10 rectangulaires, les seules actuellement disponibles sur le marché. Avec des chambres de condensation, à section non rectangulaire, l'agencement des plaques creuses, sera fait en fonction de la ou des géométries spécifiques, données à ces plaques par le constructeur.

Avec une fenêtre d'entrée rectangulaire horizontale, selon l'invention, le courant d'air chaud humide saturé, qui pénètre dans la chambre de condensation de chacune des N  
15 unités de distillation, le fait sous la forme de veines d'air parallèles horizontales uniformes, à section rectangulaire globale allongée (40 x 10 cm, par exemple). Dans ces conditions, dans l'unité de distillation de rang N, de telles veines d'air peuvent correctement s'étaler au-dessus du dispositif d'échange thermique, qui occupe toute la section de la chambre de condensation (40 x 30 cm, par exemple). Dans les autres unités, les deux débits, horizontal  
20 et vertical, qui entrent dans la chambre de condensation sont à la même température (on en verra plus loin le pourquoi et le comment) mais leur mélange présente des mouvements et des surpressions désordonnés.

Le plateau perforé, installé sans fuites latérales notables, corrige l'action potentielle de ces surpressions désordonnées, en forçant le débit total d'air, entrant dans chaque  
25 chambre de condensation, à se répartir en débits partiels sensiblement égaux, pénétrant dans les espaces séparant les plaques creuses verticales du dispositif d'échange thermique.

Avec des chambres de condensation à section rectangulaire et des plaques creuses rectangulaires, assemblées à pas constant, les perforations du plateau sont des rangées de trous oblongs, au pas de ces plaques. Dans chaque chambre de condensation de rang 1 à  
30 N, l'égalité des débits partiels d'air circulant entre plaques est le résultat de la chute notable de pression  $\Delta p_n = \frac{1}{2} \rho_n v_n^2$ , engendrée pendant leur traversée des trous ( $\rho_n$  est la densité de l'air chaud humide saturé, entrant dans la chambre de rang n, et  $v_n$ , sa vitesse de traversée des trous). En conséquence, les surfaces, totale et individuelle, des trous oblongs du plateau perforé de chaque chambre de condensation peuvent être déterminées à la suite d'un calcul  
35 simple, fait à partir du débit total d'air entrant, lui-même calculé comme on le verra ci-après. Par ailleurs, il est possible de remplacer chaque rangée de trous par une ou plusieurs fentes

de largeur appropriée calculée, mais la répartition des débits partiels d'air, circulant entre les plaques creuses, est alors moins uniforme et, dans la chambre de condensation, l'échange thermique effectué est moins efficace mais généralement satisfaisant.

Grâce aux dispositions selon l'invention, des échanges thermiques efficaces sont effectués entre, d'une part, les lames (épaisses de 3 à 6 mm) descendantes d'air chaud humide saturé, balayant les deux faces (30 x 40 cm, par exemple) de plaques creuses (épaisses de 4 à 6 mm), à parois fines (< 1 mm) en polymère, et, d'autre part, les faibles épaisseurs d'eau (2 à 4 mm) montant dans ces plaques. Cela est fait en dépit de la résistivité thermique relativement élevée des polymères. Le coefficient d'échange et la conductance thermiques, entre ces courants d'eau et d'air, sont importants car ceux-ci sont étalés sur les deux faces relativement grandes de cette pluralité de plaques creuses à parois fines, assemblées proches, occupant tout le volume d'une chambre de condensation. Il en est ainsi parce que la surface volumique, de l'échangeur thermique à plaques creuses assemblées séparées, peut atteindre  $S/V = 250 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , lorsque le pas des plaques est de 8 mm. Cette conductance thermique est plusieurs dizaines de fois supérieure à celle produite entre un courant d'air, traversant une chambre de condensation, occupée par un serpentin métallique usuel, en zigzag ou en hélice, et l'eau véhiculée par lui.

En outre, si l'on remplace ces serpentins usuels de 1975 par leurs successeurs sur le marché d'aujourd'hui, à savoir des faisceaux de tubes en polymère, à collecteurs amont et aval, la surface volumique d'un tel faisceau (selon leurs constructeurs,  $15 < S/V < 110 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ), demeure en moyenne trois fois inférieure à celle d'un groupe de plaques creuses assemblées. Le remplacement des plaques creuses par de tels faisceaux de tubes conduirait en moyenne à tripler les épaisseurs d'air et d'eau, et donc à diminuer notablement les conductances thermiques volumiques. Un autre avantage comparatif important et non évident des échangeurs thermiques à plaques creuses, installés dans les chambres de condensation d'un distillateur d'eau, est présenté plus loin, en relation avec les températures et les débits des courants d'air chaud humide saturé dans ces chambres.

A ces premiers avantages propres aux plaques creuses en polymère, s'ajoute celui fourni par le plateau perforé selon l'invention, à savoir la division du débit total d'air entrant dans chaque chambre de condensation en débits partiels sensiblement égaux circulant entre ces plaques. L'égalité de ces débits partiels d'air est nécessaire dès lors que l'on veut maximiser les performances de l'appareil. En effet, un calcul simple montre qu'un déséquilibre modéré (< 20%) entre ces débits partiels d'air a pour résultat de diviser jusque par deux l'efficacité des échanges thermiques réalisés et donc les performances de l'appareil. Et ce d'autant plus fortement que le CoP visé est plus important. En conséquence, grâce à ces premières dispositions selon l'invention, dans un distillateur d'eau ainsi

perfectionné, les échanges thermiques efficaces, réalisés dans la chambre de condensation de chaque unité de distillation, y entraînent une condensation maximale de vapeur et un réchauffement maximal de l'eau.

Par ailleurs, l'expérience a montré qu'avec les trous oblongs du plateau perforé, à  
5 largeur sensiblement égale à celle de l'écart entre deux plaques creuses ( $> 3$  mm), le risque d'obturer ces trous, par des gouttes d'eau condensée, est supprimé. En outre, chaque débit partiel d'air sortant d'un trou se répartit efficacement entre deux plaques, lorsqu'un écart de moins d'environ 10 cm sépare deux rangées de trous du plateau perforé.

Selon l'invention, un procédé pour maximiser les performances de ces distillateurs  
10 d'eau est caractérisé en ce que, en fonction des conditions d'emploi de l'appareil, il comprend les étapes préliminaires suivantes :

- choisir une valeur appropriée pour le débit massique  $Q_{E0}$  de l'eau à traiter et une température  $T_{E2}$  comprise entre 45 et 90°C pour l'eau à répandre, en haut de la chambre d'évaporation de rang N, et relever les températures initiales basses de l'air  $T_{A0}$  et de l'eau  
15  $T_{E0}$  ;
- choisir un appareil comportant un nombre N d'étages de distillation, avec un minimum de 3 et un maximum de 6, déterminé en fonction directe des valeurs des écarts ( $T_{E2} - T_{E0}$ ) ou ( $T_{AN} - T_{A0}$ ) entre les températures extrêmes de l'eau ou de l'air, le nombre  $N = 4$  convenant dans tous les cas ;
- 20 - choisir N températures prédéterminées optimales approchées  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$ , à faire prendre aux courants d'air en haut des N chambres d'évaporation, pour que les flèches des N festons des courbes d'enthalpie de l'air chaud humide saturé, montant dans ces N chambres d'évaporation, aient des amplitudes réduites satisfaisantes et à peu près égales ;
- calculer les débits massiques approchés d'air sec  $Q_{A1}$  à  $Q_{AN}$  puis les N débits volumiques  
25 approchés d'air chaud humide saturé  $Q_{S1}$  à  $Q_{SN}$ , circulant dans les N chambres d'évaporation de l'appareil.

Grâce au choix de température  $T_{E2} < 90^\circ\text{C}$  pour l'eau chaude à répandre, on minimise les entartrages des composants de l'appareil. La valeur de  $T_{E2}$ , entre 90 et 45°C, est choisie en fonction de la source de chaleur primaire disponible (solaire, moteurs  
30 thermiques, effluents chauds, brûleurs...) et, le cas échéant, de la température d'ébullition du liquide volatil (éthanol, acide, base) dissous dans l'eau, que l'on veut séparer de son solvant.

Pour mettre en œuvre les différentes dispositions de ce procédé selon l'invention, on utilise tout d'abord la table des enthalpies de l'air chaud humide saturé. On a vu plus haut que la flèche d'un feston, dans une chambre d'évaporation particulière, est l'écart en degrés,  
35 qui correspond à l'écart maximal en watts, entre la courbe représentant la valeur réelle du flux d'enthalpie de l'air chaud humide saturé, et celle qu'elle aurait si cette courbe était un

segment de droite. Un logiciel approprié permet d'établir l'abaque numérique des amplitudes de ces N festons pour tout couple de températures extrêmes ( $T_{A0}$ ,  $T_{AN}$ ) retenu pour le courant d'air montant dans la colonne d'évaporation. Avec un distillateur à quatre étages de distillation, une température haute de l'eau  $T_{E2} = 85^\circ\text{C}$  et des températures extrêmes de l'air  $T_{A4} = 83^\circ\text{C}$  et  $T_{A0} = 33^\circ\text{C}$ , les températures optimales approchées de l'air en haut des chambres d'évaporation de rang 1 à 3, sont sensiblement :  $47,5^\circ$ ,  $61^\circ$  et  $73^\circ\text{C}$ . Dans ce cas, les quatre échelons  $\Delta T_{A1}$  à  $\Delta T_{A4}$  entre les températures extrêmes de l'air dans les chambres d'évaporation sont, de haut en bas, de 10, 12, 13,5 et  $14,5^\circ\text{C}$ , cependant que les flèches des festons sont sensiblement égales à  $1,2^\circ\text{C}$  (à quoi s'ajoute l'écart imposé de  $0,5^\circ\text{C}$ , dû à la salinité de l'eau). Si l'on augmente le nombre d'étages de distillation, les flèches des festons diminuent, mais en deçà d'environ  $0,5^\circ\text{C}$  pour ces flèches, l'augmentation du nombre N n'a guère d'intérêt. Dans un distillateur d'eau, perfectionné selon l'invention, le nombre optimal d'étages de distillation peut aller de  $N = 3$  à  $N = 6$ , selon que l'écart entre les températures extrêmes de l'air ( $T_{AN} - T_{A0}$ ), passe de  $35$  à  $65^\circ\text{C}$ . En pratique, le nombre  $N = 4$  convient dans tous les cas, pour des raisons techniques et économiques.

Dans les quatre chambres d'évaporation, les températures  $T_{A1}$  à  $T_{A4}$  ainsi que les échelons  $\Delta T_{A1}$  à  $\Delta T_{A4}$  étant établis, les capacités calorifiques  $C_{pA1}$  à  $C_{pA4}$  de l'air chaud humide saturé, aux températures moyennes  $T_{m1}$  à  $T_{m4}$  dans ces chambres, sont connues. Les flux d'enthalpie échangés dans une chambre d'évaporation de rang n sont :  $\Delta H_{An} = Q_{An} \cdot C_{pAn} \cdot \Delta T_{An}$  et  $\Delta H_{En} = Q_{En} \cdot C_{pEn} \cdot \Delta T_{En}$ . Comme les échelons  $\Delta T_{An}$  et  $\Delta T_{En}$  sont sensiblement égaux et  $Q_{En}$  peu différent de  $Q_{E0}$ , le débit massique approché d'air sec dans un étage de rang n est sensiblement  $Q_{An} = Q_{E0} \cdot C_{pE} / C_{pAn}$ . Les tables de densité de l'air chaud humide saturé permettent de connaître les débits volumiques approchés  $Q_{S1}$  à  $Q_{S4}$  de cet air chaud, aux températures moyennes  $T_{m1}$  à  $T_{m4}$ , dans les quatre chambres d'évaporation. A partir de ces valeurs, il est aisé pour chaque chambre de condensation de calculer les surfaces, totale et individuelle, des trous du plateau perforé et la chute de pression qui doit être engendrée par la présence de ce plateau.

A titre d'exemple, avec  $Q_{E0} = 100$  g/s et dans la chambre d'évaporation de rang 1,  $T_{m1} = 41^\circ\text{C}$ ,  $C_{pA1} = 8,74$  kW/kg.K,  $Q_{A1} = 47,8$  g/s on a  $Q_{S1} = 43,9$  dm<sup>3</sup>/s. Dans la chambre d'évaporation de rang 4, avec  $T_{m4} = 79^\circ\text{C}$  et  $C_{pA4} = 102,6$  kW/kg.K, on a  $Q_{A4} = 4,1$  g/s et  $Q_{S4} = 4,92$  dm<sup>3</sup>/s. Ces deux débits volumiques si différents signifient que les écoulements de l'air, dans les chambres de condensation de rang 1 à 4, sont progressivement passés d'un régime turbulent à un régime laminaire. Cela entraîne des surfaces très différentes pour les trous des plateaux de rang 1 à 4. De plus, cela conduit à une justification supplémentaire non évidente de l'emploi exclusif d'échangeurs thermiques à plaques creuses, dans les distillateurs d'eau selon l'invention.

En effet, avec de l'air sec les coefficients d'échange thermique dépendent :

- de la vitesse de l'air (les échanges croissent avec la vitesse) ;
- d'une dimension caractéristique de l'échangeur (plus celle-ci est petite, plus les échanges sont élevés) : pour un assemblage de plaques creuses, c'est l'épaisseur du canal d'air entre deux plaques ; pour un faisceau de tubes, c'est le diamètre des tubes ; et, en général, l'épaisseur du canal est bien plus petite que le diamètre des tubes ;
- des caractéristiques physiques de l'air (viscosité et conductivité thermique) qui dépendent un peu de la température.

Dans le cas des plaques creuses, en dessous d'une certaine vitesse de l'air, l'écoulement change de régime (de turbulent il devient laminaire) et le coefficient d'échange ne dépend plus de la vitesse mais reste relativement élevé, car la dimension caractéristique est petite. Il n'en est pas de même dans le cas des faisceaux de tubes, où la transition de régime d'écoulement est moins nette et la dimension caractéristique plus importante que pour des plaques.

Avec de l'air humide saturé, en régime d'évaporation ou de condensation, le coefficient d'échange thermique apparent dépend du coefficient d'échange en air sec défini plus haut, mais, de plus, le mécanisme de diffusion qui intervient dans le processus d'évaporation ou de condensation amplifie très fortement ce coefficient d'échange et le coefficient d'amplification est sensiblement proportionnel à la vitesse d'augmentation de la pression de vapeur saturante en fonction de la température. En conséquence dans la chambre de condensation la plus chaude du distillateur (rang N), où le débit équivalent d'air sec (et donc sa vitesse) est faible, un échangeur thermique à plaques creuses aura de bien meilleures performances qu'avec un faisceau de tubes ; et cela est d'autant plus vrai que sa surface volumique  $S/V$  est grande. Il en sera plus ou moins de même pour les chambres de condensation moins chaudes du distillateur.

Selon l'invention, un tel distillateur d'eau, du genre dans lequel :

- les N unités de distillation sont superposées, formant deux colonnes d'évaporation et de condensation ;

- et un ventilateur est installé en bas de la colonne d'évaporation ;

est caractérisé en ce que :

- les N chambres d'évaporation comportent des supports plans minces, à faces mouillables ou hydrophiles, installés verticaux, à pas constant ;

- les N communications, entre les couples de chambres, sont N rangées horizontales de fentes verticales, au même pas que le précédent, pratiquées dans une cloison séparant les deux chambres ;

- la commande du ventilateur est préréglée et les sections de passage respectives des rangées de fentes sont fixes ;
- cette commande du ventilateur et ces sections de fentes ont été établies en accord avec les spécifications de construction découlant des réglages manuels finaux du premier appareil d'une série d'appareils identiques.

Selon une alternative, un distillateur d'eau, du genre dans lequel :

- les N unités de distillation sont superposées, formant deux colonnes d'évaporation et de condensation ;
- les N chambres d'évaporation sont garnies de noix artificielles mouillables, entassées en vrac ;
- un ventilateur est installé en bas de la colonne d'évaporation ;

est caractérisé en ce que :

- les N communications, entre les couples de chambres, sont des conduits, à section rectangulaire allongée, comportant en amont une zone perforée horizontale, apte à bloquer lesdites noix et à laisser passer l'air, et en aval, ladite fenêtre rectangulaire allongée horizontale ;
- dans chacun des N conduits, en aval immédiat de la zone perforée, est installé un dévésiculateur, suivi d'une cloison comportant une fente rectangulaire horizontale ;
- la commande du ventilateur est préréglée et les largeurs respectives de ces N fentes

horizontales sont fixes ;

- cette commande du ventilateur et ces largeurs de fentes ont été établies en accord avec les spécifications de construction découlant des réglages manuels finaux du premier appareil d'une série d'appareils identiques.

Selon l'invention, un procédé pour maximiser les performances, du premier exemplaire d'une série de l'un ou l'autre de ces deux distillateurs, comprend les étapes complémentaires suivantes :

- ajuster la vitesse du ventilateur pour faire circuler en boucle ouverte ou fermée, dans l'étage de distillation de rang 1, le débit volumique d'air chaud humide saturé  $Q_{S1}$  précédemment calculé, afin de porter la température de ce courant d'air, en haut de la chambre d'évaporation de cet étage, à la valeur optimale approchée prédéterminée  $T_{A1}$  ;

- ajuster successivement les sections de passage réglables des communications, établies entre les chambres d'évaporation et de condensation de rangs 1 à (N-1), pour respectivement porter les températures des courants d'air en haut des chambres d'évaporation des étages de distillation de rangs 2 à N, aux valeurs optimales approchées prédéterminées  $T_{A2}$  à  $T_{AN}$  ;

- maximiser la température  $T_{E1}$  de l'eau sortant de la colonne de condensation, pour déterminer les spécifications de construction de ce ventilateur et de ces (N-1) sections de passage, (a) en rendant respectivement égales les températures  $T_{A1}$  à  $T_{A(N-1)}$  des courants d'air chaud humide saturé, entrant dans les chambres d'évaporation des étages de distillation de rangs 2 à N, et les températures  $T_{A1^*}$  à  $T_{A(N-1)^*}$  des courants d'air chaud humide saturé, sortant des chambres de condensation de ces étages de distillation, par une légère correction des (N-1) sections de passage précédemment ajustées; et (b) en réajustant le débit d'air précédemment produit par le ventilateur, notamment par une légère correction de la fréquence de la tension d'alimentation de son moteur, lorsque celui-ci est de type synchrone.

La mise en œuvre du procédé selon l'invention peut débuter dès lors que le nombre N d'étages de distillation et les N températures  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$  ont été choisis, que l'eau chaude est répandue depuis un certain temps ( $t > 1$  h, du fait de l'inertie thermique de l'appareil), que le ventilateur fait circuler de l'air, en boucle ouverte ou fermée, et que les ouvertures de cloison sont mi-closes. On met fin à ce premier réglage dès que la température  $T_{A1}$  prévue est observée. Le débit massique d'air sec  $Q_{A1}$ , inclus dans le débit d'air fourni par le ventilateur, est alors, comme  $T_{A1}$ , à une valeur optimale approchée. Lorsque la circulation de l'air est faite en boucle fermée, la température  $T_{E0}$  de l'eau froide et l'état initial des sections de passage des ouvertures de cloison déterminent la température basse initiale  $T_{A0}$  de l'air. Dans ce cas,  $T_{A1}$  est une température prédéterminée provisoire, obtenue à la fin de cette première étape de réglage des débits des courants d'air circulant dans les chambres d'évaporation.

La deuxième étape du procédé selon l'invention fait usage des moyens de réglage des sections de passage de l'air. On commence par l'ouverture la plus basse, afin d'ajuster la température  $T_{A2}$  du courant d'air, en haut de la chambre d'évaporation de rang 2. Ce réglage effectué, on fait de même pour les chambres d'évaporation de rangs croissants de 3 à N. On recommence l'opération au moins une seconde fois pour corriger les variations des températures  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$  inévitablement entraînées par les réglages successifs, puisque les débits massiques d'air sec  $Q_{A1}$  à  $Q_{AN}$  et leurs températures  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$  sont interdépendants. Dans le cas d'une circulation d'air en boucle fermée, la température basse  $T_{A0}$  de l'air, insufflé en bas de la colonne d'évaporation, se rapproche progressivement de  $T_{E0}$ , la température initiale de l'eau.

La troisième étape du procédé selon l'invention a pour objet de respectivement amener à des valeurs égales, les températures  $T_{A1}$  à  $T_{A(N-1)}$  et  $T_{A1^*}$  à  $T_{A(N-1)^*}$ , des tranches d'air circulant en bas des chambres d'évaporation et de condensation des (N-1) étages de distillation superposés les plus hauts. Lorsque la température de l'air, en bas d'une chambre



de condensation de rang donné, est différente de celle en bas de la chambre d'évaporation de même rang, on ignore si le débit massique d'air sec concerné,  $Q_{A1}$  à  $Q_{AN}$ , y est un peu trop important ou trop faible. En pratique, on commence par l'étage le plus haut et on augmente ou diminue le débit d'air circulant dans la chambre d'évaporation de rang N, en augmentant ou en diminuant légèrement et avec précaution la section de passage de la communication entre les chambres concernées. On attend un moment pour voir si cette action se traduit par un rapprochement des deux températures en question. Si oui, on continue jusqu'à ce qu'elles soient égales. Sinon, on fait l'inverse. Si cela n'est pas suffisant pour obtenir l'égalité recherchée, on retient le réglage le meilleur et on le complète en ajustant la section de passage de la communication délimitant le haut de l'étage de distillation de rang (N-1) jusqu'à ce que cette égalité de températures soit observée. On procède ensuite de la même façon pour cet étage de distillation de rang (N-1) en ajustant la section de passage de l'ouverture délimitant l'étage de rang (N-2) et en revenant sur les deux ouvertures de rangs supérieurs, pour maintenir l'égalité des températures en bas des chambres d'évaporation et de condensation des étages de distillation des rangs (N-1) et N. La procédure est renouvelée pour tous les étages de rangs inférieurs, jusqu'à l'étage de rang 2. Ensuite, il est a priori nécessaire d'ajuster le débit d'air produit par le ventilateur pour maximiser  $T_{E1}$ , la température de l'eau en sortie de la colonne de condensation.

Avec une circulation d'air en boucle fermée, on aura finalement minimisé au mieux la température de l'air  $T_{A0^*}$  en bas de la colonne de condensation en la rapprochant de  $T_{E0}$ , celle de l'eau y entrant et, en même temps, on aura maximisé au mieux les températures  $T_{AN}$  de l'air et  $T_{E1}$  de l'eau en haut de cette colonne, en les rapprochant toutes deux de celle de l'eau répandue  $T_{E2}$ . Les températures de l'air, en bas et en haut des étages de distillation, ont alors des valeurs optimales de consigne  $T_{A0C}$  à  $T_{ANC}$ , légèrement différentes des valeurs optimales théoriques initiales  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$ , qui correspondent aux valeurs retenues pour les trois termes  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$  et  $T_{E0}$  d'un distillateur particulier. Dans les N étages, la représentation  $f(T)$  des flux d'enthalpies des débits massiques d'eau, comprend deux droites parallèles, de pente  $C_{pE}$ , écartées d'un nombre de degrés ( $T_{E2} - T_{E1}$ ), et la représentation  $f(T)$  des flux d'enthalpies de l'air comprend, entre ces deux droites, une seule ligne formée par des festons, à extrémités successives  $T_{A0C}$  à  $T_{ANC}$ , la pente moyenne de cette ligne étant un peu supérieure à celle de ces deux droites. Les relations entre les températures extrêmes d'eau et d'air sont :  $(T_{E1} - T_{E0}) = (T_{E2} - T_{E3}) < (T_{ANC} - T_{A0C})$ .

Pour finir, on notera que, du fait des fortes inerties thermiques des différents composants de l'appareil, l'ensemble des opérations de mise en œuvre du procédé pour maximiser les performances du premier distillateur d'eau d'une série peut durer quelques

heures, ce nombre d'heures étant lui-même directement proportionnel au nombre N d'étages.

Dans ces conditions, en mettant en œuvre le procédé selon l'invention, l'expérience a montré qu'avec un distillateur d'eau à quatre étages de distillation, construit selon l'invention, un CoP > 6 peut être obtenu, pour un débit quotidien d'eau distillée produit, égal à 3 à 5 fois le volume total des chambres d'évaporation et de condensation de l'appareil.

Selon l'invention, le premier modèle d'un second type de distillateur d'eau perfectionné, ayant l'architecture générale du nouveau distillateur d'eau défini plus haut et N unités de distillation superposées, constituant une colonne d'évaporation et une autre de condensation ;

est caractérisé en ce que

- ces N étages de distillation sont séparés les uns des autres par (N-1) cloisons horizontales ;
- deux communications, l'une en haut et l'autre en bas, sont établies entre les chambres verticales d'évaporation et de condensation de chaque étage de distillation ;
- N ventilateurs à débits ajustables, notamment au moyen de moteurs synchrones, externes aux chambres de condensation, ont leurs hélices installées dans les communications basses des N étages de distillation, pour produire N courants d'air indépendants circulant respectivement dans ces N étages ;
- les ensembles de composants creux des chambres de condensation de ces N étages de distillation sont raccordés entre eux par des tubes traversant ces (N-1) cloisons horizontales ;
- en haut et en bas des composants hydrophiles ou mouillables des chambres d'évaporation de ces N étages de distillation, sont respectivement installés des moyens d'épandage et de collecte de l'eau circulant dans la colonne d'évaporation, les moyens d'épandage des chambres d'évaporation de rangs (N-1) à 1 étant respectivement alimentés par les moyens de collecte des chambres de rangs N à 2.

Selon l'invention, le second modèle de ce second type de distillateur d'eau perfectionné, ayant l'architecture générale du nouveau distillateur d'eau défini plus haut, est caractérisé en ce que :

- les N unités de distillation sont juxtaposées ;
- deux communications, l'une en haut et l'autre en bas, sont établies entre les chambres verticales d'évaporation et de condensation de chaque unité de distillation ;
- N ventilateurs à débits ajustables, notamment au moyen de moteurs synchrones, externes aux chambres de condensation, ont leurs hélices installées dans les communications basses

des N unités de distillation, pour produire N courants d'air indépendants circulant respectivement dans ces N unités ;

- les N dispositifs creux d'échange thermique de ces N chambres de condensation, sont raccordés entre eux par (N-1) conduits calorifugés ;

5 - les N ensembles de composants hydrophiles ou mouillables, des N chambres d'évaporation, comportent en haut et en bas de leurs extrémités respectives des moyens d'épandage et des moyens de collecte d'eau à distiller ;

- (N-1) pompes et (N-1) conduits calorifugés sont installés entre les N chambres d'évaporation, pour amener l'eau recueillie, par les moyens de collecte des unités de  
10 distillation de rangs N à 2, à se déverser dans les moyens d'épandage des unités de rangs (N-1) à 1.

Selon l'invention, un procédé pour maximiser les performances, du premier appareil d'une série de l'un ou l'autre des deux distillateurs d'eau perfectionnés de ce second type, est caractérisé en ce qu'il comprend les étapes complémentaires suivantes :

15 - ajuster successivement les N débits d'air respectivement produits par les N ventilateurs, pour engendrer en haut des N unités de distillation des températures optimales approchées prédéterminées  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$ , correspondant aux valeurs choisies  $Q_{E0}$  et  $T_{E2}$  ;

- ensuite, corriger légèrement ces N débits pour maximiser  $T_{E1}$ , la température de l'eau sortant du dispositif d'échange thermique de rang N, et afficher des températures optimales  
20 de consigne  $T_{A1C}$  à  $T_{ANC}$  ;

- relever les réglages finaux des commandes des N ventilateurs pour notamment en faire les spécifications des appareils de la série.

Grâce à ces dernières dispositions, on peut construire deux nouveaux distillateurs d'eau particulièrement intéressants, adaptés à traiter des eaux à paramètres d'entrée fixes :  
25 débit massique  $Q_{E0}$  et température haute  $T_{E2}$ . En effet, les N unités de distillation sont sensiblement identiques, à ceci près cependant que les rangées de trous des plateaux sont différentes d'une unité à l'autre et que les commandes des N ventilateurs sont réglées différemment. Un tel distillateur d'eau, à unités de distillation juxtaposées, présente un grand intérêt lorsque la production journalière d'eau distillée est importante ( $>10 \text{ m}^3/\text{jour}$ ). En effet,  
30 il permet de construire des unités de distillation identiques, de hauteur moyenne, plus faciles à manutentionner que des tours à étages ayant le même nombre d'unités de distillation.

Dans le cas où les deux paramètres  $Q_{E0}$  et  $T_{E2}$  sont variables (énergie solaire), une situation intéressante se présente également. En effet, comme on l'a vu plus haut, pour tout groupe de paramètres d'entrée  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$ , dès lors que sont fixées les températures  
35  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$ , il est aisé de calculer  $Q_{A1}$  à  $Q_{AN}$  ainsi que  $Q_{S1}$  à  $Q_{SN}$  et donc les conditions de fonctionnement des ventilateurs. Avec des ventilateurs à moteurs synchrones, on détermine

ainsi les fréquences  $F_1$  à  $F_N$  de leurs tensions d'alimentation. Cette mise en œuvre du procédé, selon l'invention, pour maximiser les performances d'un distillateur d'eau à N unités juxtaposées, est particulièrement aisée, au moyen d'un ordinateur, établissant les correspondances entre les fréquences  $F_1$  à  $F_N$  et les températures de consigne  $T_{A1C}$  à  $T_{ANC}$  à  
5 obtenir, dès lors que les quatre valeurs  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$  y sont entrées. Pour ce faire, on constitue une banque de données expérimentales, en procédant à au moins trois opérations de réglage optimal, pour chacun des quatre paramètres d'entrée  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$ . Ensuite, on élabore un logiciel reliant ces données aux N températures optimales de consigne  $T_{A1C}$  à  $T_{ANC}$  et aux N fréquences  $F_1$  à  $F_N$  des tensions d'alimentation des moteurs. Ces fréquences  
10 seront établies par un ordinateur, à partir des valeurs choisies pour  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$ , puis réglées manuellement ou automatiquement.

Pour pouvoir correctement dimensionner les chambres d'évaporation et de condensation des N unités de distillation des différents types de distillateurs d'eau présentés  
15 ci-dessus, en fonction du débit d'eau distillée souhaité pour l'appareil à construire, il est nécessaire de déterminer leurs conductances thermiques CT (watts par degré) et/ou à leurs résistances thermiques RT (degrés par watt). Pour ce faire, on les calcule. Cela se fait en fonction des architectures et des composants respectifs, envisagés pour la construction des deux colonnes du distillateur. On calcule alors la conductance thermique d'une tranche  
20 élémentaire de chambre d'évaporation ou de condensation. Puis on intègre ces résultats sur la hauteur de chacune des deux chambres de chacun des N étages de distillation, pour finalement constituer les abaques des conductances et résistances thermiques des deux colonnes. La précision de ces calculs est estimée à 10%. Les structures des deux colonnes ayant été choisies, l'étape suivante consiste à respectivement donner des résistances  
25 thermiques appropriées aux deux chambres des N étages de distillation. Cela est fait en accord avec les flux égaux d'enthalpies  $\Delta H_E$  et  $\Delta H_A$  à échanger dans les deux chambres d'un même étage de distillation. D'un étage à l'autre, ces flux sont égaux ou non. Il en est de même pour les résistances thermiques des deux chambres d'une unité de distillation, en fonction de considérations pratiques imposées par la géométrie des appareils.

30

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront d'une manière plus précise à la suite de la description ci-après, faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente le schéma d'un distillateur d'eau, à quatre étages de distillation,  
35 notamment pour dessaler de l'eau de mer ;

- la figure 2 représente le schéma d'un distillateur d'eau du même genre, pour concentrer de l'eau industrielle polluée;
- la figure 3 représente les moyens de réglage de la section efficace d'une ouverture de cloison ;
- 5 - la figure 4 représente les courbes des enthalpies de l'eau et de l'air circulant dans un distillateur d'eau selon l'invention ;
- la figure 5 représente un plateau de répartition de l'air dans les chambres de condensation ;
- la figure 6 représente le schéma d'un distillateur d'eau, à quatre unités de distillation juxtaposées, selon l'invention.

10

La figure 1 représente schématiquement le premier appareil d'une série de distillateurs d'eau de mer, selon l'invention. C'est une tour 10, à parois isolantes 12, haute de 280 cm, qui comprend deux colonnes, l'une d'évaporation 14 et l'autre de condensation 16, séparées par une cloison 18 en polymère. L'ensemble des composants de la colonne d'évaporation 14 est constitué par une juxtaposition au pas de 15 mm de quarante plaques 20, en polymère, épaisses de 2 mm, hautes de 240 cm et larges de 20 cm. La surface totale d'évaporation de la colonne 14 est de 38,4 m<sup>2</sup> et son volume est de 0,29 m<sup>3</sup>. Les plaques 20 sont revêtues d'un flochage hydrophile, épais de 0,5 mm, et elles sont juxtaposées verticales, l'écart entre plaques étant de 12 mm. La colonne de condensation 16 mesure 240 cm de haut et elle comporte, montés en série par des tubes de 5 cm, six échangeurs thermiques 22<sub>1-6</sub>, hauts de 35 cm et larges de 20, formés par une juxtaposition à pas constant (10 mm), de quarante plaques creuses rectangulaires 23, installées verticales. Ces plaques creuses 23 sont extrudées soufflées et elles ont des parois gaufrées minces (< 1 mm) en polymère et une épaisseur interne de 3 mm, l'écart entre plaques étant de 5 mm. Les têtes de raccordement de ces plaques creuses assemblées sont soudées pour former les collecteurs amont et aval de l'échangeur thermique ainsi formé. Ces plaques creuses et ces échangeurs sont décrits dans la demande de brevet international publiée WO 2011/145065 A1, déposée par le demandeur. Au-dessus de chaque échangeur est installé un plateau à rangées de trous 25<sub>1-4</sub>, apte à égaliser les débits partiels d'air circulant entre les plaques creuses. Une forme de réalisation particulière d'un tel plateau est représentée à la figure 5. La surface totale de condensation de la colonne 16 est de 29 m<sup>2</sup> et le volume total des chambres est de 0,19 m<sup>3</sup>.

La cloison 18 a 240 cm de haut et elle comporte deux larges ouvertures : l'une 24 à son sommet et l'autre 26, à sa base. Cette cloison 18 comporte en outre trois ouvertures intermédiaires identiques, 28, 30 et 32, et chacune de ces ouvertures est une rangée horizontale de fentes verticales, hautes de 10 cm et larges de 2 mm, ayant le même pas (15

mm) que les plaques 20 de la colonne d'évaporation 14. Une telle rangée de fentes est représentée à la figure 3. Ces trois rangées de fentes ont des sections efficaces ajustables, grâce à des caches également décrits à la figure 3. Le bas de l'ouverture 32 est situé à 2 m du plancher de la colonne, et les bas des ouvertures 30 et 28, à 1.6m et 0,8 m, Les hauteurs  
5 des quatre étages de distillation de la tour 10 s'en déduisent. Les deux étages du haut de la tour 10 comportent chacun un échangeur thermique  $22_6$ ,  $22_5$  et les deux du bas, chacun deux échangeurs  $22_4$ - $22_3$  et  $22_2$ - $22_1$ . Des conduits en polymère, qui relient les collecteurs de ces échangeurs  $22_{1-6}$ ; font face aux trois ouvertures 28, 30,32 de la cloison 18. Les résistances thermiques respectives des chambres d'évaporation et de condensation des  
10 quatre étages de distillation, ainsi aménagés dans la tour 10, ont été calculées comme indiqué plus haut.

L'ouverture 26, aménagée en bas de la cloison 18, est équipée d'un ventilateur 34 pour aspirer l'air du bas de la colonne de condensation 16 et le propulser de bas en haut de la colonne d'évaporation 14 (flèche 36). Le moteur électrique de ce ventilateur 34 est, par  
15 exemple, du type synchrone et alimenté par une tension à fréquence variable. L'abaque donnant le débit et la surpression maximale de l'air fourni par ce ventilateur 34, en fonction de la fréquence d'alimentation, est disponible. Le collecteur amont de l'échangeur thermique  $22_1$  de la colonne de condensation 16 est connecté par un conduit en polymère 38 à un réservoir lui fournissant l'eau de mer à distiller, à débit massique  $Q_{E0}$  approprié. Cette eau de  
20 mer constitue la source froide de l'appareil. Le collecteur aval de l'échangeur thermique  $22_6$  de la colonne de condensation 16 est raccordé, par un conduit en polymère 39, à l'entrée d'une chaudière 40, équipée de moyens de chauffage, constitués par un échangeur thermique 42, semblable aux échangeurs  $22_{1-6}$ . Cet échangeur 42 est alimenté par deux tuyaux amont et aval 44-46, dans lesquels circule un fluide caloporteur, fourni par une  
25 source chaude primaire externe (non représentée). La chaudière 40 dispose d'un déversoir 48, duquel coule un filet 50 d'eau de mer chaude, qui aboutit dans une bassine 52. Cette bassine 52 est dotée d'un fond percé de quarante paires de trous à collier, correspondant à quarante gouttières d'épandage (non représentées) coiffant les sommets des quarante plaques 20 de la colonne d'évaporation 14. A la base de la colonne de condensation 16, est  
30 installé un bac 54 pour collecter l'eau distillée 56 ; ce bac 54 est doté de parois en forme de V très ouvert et d'un conduit d'évacuation 58. La colonne d'évaporation 12 et la tour 10 comportent, à leur base commune, un bac 60 pour recueillir l'eau de mer concentrée, ce bac 60 étant doté d'un conduit d'évacuation 62. Les flèches 64-66-68 représentent les courants d'air montant dans la colonne d'évaporation et les flèches 70-72-74, les courants d'air  
35 dérivés à travers les ouvertures 28-30-32 de la cloison 18. Les flèches 76-78-80 représentent les courants d'air descendant dans la colonne de condensation 16 et la flèche

82, le courant entrant dans cette colonne 16, par l'ouverture 24 aménagée au sommet de la cloison 18.

Dans ce premier appareil 10 d'une série de distillateurs identiques, plusieurs thermocouples mesurant les températures  $T_{A1}$  à  $T_{A4}$  et  $T_{A1^*}$  à  $T_{A4^*}$  définies plus haut, sont installés à des emplacements remarquables de ce distillateur ; ils sont représentés par des points noirs à centre blanc et sont reliés à un circuit de conversion numérique et d'affichage, non représenté. Deux thermocouples, respectivement installés dans des inserts métalliques creux, engagés étanches dans des trous pratiqués à travers la paroi des conduits d'entrée 38 et de sortie 39 de la colonne de condensation 16 mesurent  $T_{E0}$  et  $T_{E1}$  et un troisième thermocouple placé dans la chaudière 40 mesure  $T_{E2}$ . Cinq thermocouples, respectivement situés en face des ouvertures haute 24, basse 26, et intermédiaires 28, 30, 32 de la cloison 18, mesurent  $T_{A0}$  à  $T_{A4}$ . Trois autres thermocouples, respectivement situés en bas des échangeurs thermiques 22<sub>3</sub>, 22<sub>5</sub>, 22<sub>6</sub> et au voisinage de la paroi externe de la colonne de condensation 16, mesurent  $T_{A1^*}$ ,  $T_{A2^*}$  et  $T_{A3^*}$ . Trois thermocouples, respectivement engagés dans des inserts en métal traversant la paroi des conduits reliant les échangeurs thermiques 22<sub>2</sub>-22<sub>3</sub>, 22<sub>4</sub>-22<sub>5</sub> et 22<sub>5</sub>-22<sub>6</sub>, mesurent, au niveau des ouvertures intermédiaires 28, 30, 32, les températures de l'eau montant dans la colonne de condensation.

La figure 2 est une représentation simplifiée, partiellement schématique, du premier appareil 100 d'une série de distillateurs d'eau identiques, à quatre étages, selon l'invention, adapté à concentrer des eaux industrielles (effluents pollués ou solutions aqueuses agroalimentaires). Pour produire un liquide hautement concentré, ce distillateur opère avec de l'eau circulant en circuit fermé et de l'air circulant en circuit ouvert. L'air ambiant constitue la source froide de l'appareil. Selon cette figure 2, le distillateur d'eau 100 est enfermé dans une armoire haute de 240 cm, large de 100 cm, profonde de 50 cm et dotée d'une paroi externe isolante 102, en polymère expansé, épaisse de 10 cm. Ce distillateur 100 comporte deux colonnes, l'une d'évaporation 104 et l'autre de condensation 106, séparées par une cloison 108, épaisse de 15 cm et haute de 220 cm. La colonne d'évaporation 104 a une section carrée de 25 cm de côté et elle comporte un fond oblique 110, perforé d'ouvertures de 1 cm de diamètre, disposées en quinconce, avec des écarts de 2 cm, une bande basse, large de 3 cm, n'étant pas perforée. La face externe du fond 110 est lisse et sa face interne, dotée d'un collier, haut de 5 mm, autour de chaque ouverture. Sur ce fond 110, des noix artificielles mouillables sont entassées en vrac, jusqu'à un niveau 112, proche du sommet de la cloison 108. Ces noix peuvent être des selles NOVALOX® en céramique ou en plastique, longues de 12 mm. Sous le fond oblique perforé 110, est aménagée une chambre 114, comportant une ouverture circulaire occupée par un ventilateur 116, à débit d'air ajustable,

capable de produire une surpression de plusieurs centaines de Pascals. Dans la bande basse non perforée du fond oblique 110, débouche la partie verticale d'un conduit 118 d'évacuation de la solution aqueuse concentrée.

La colonne de condensation 106 comprend quatre échangeurs thermiques  $120_{1-4}$ , à  
5 plaques creuses rectangulaires 121 et collecteurs amont-aval, semblables aux échangeurs  $22_{1-6}$  de la figure 1. Ces échangeurs  $120_{1-4}$  sont montés en série, avec des intervalles de 5 cm entre leurs collecteurs et au-dessus de chaque échangeur est installé un plateau à rangées de trous  $123_{1-4}$ , semblable au plateau  $25_{1-4}$  de la fig.1 et au plateau 190 de la figure 5. Sous l'échangeur thermique  $120_1$ , est aménagée une chambre 122, pourvue d'une fenêtre  
10 124, débouchant sur l'extérieur, et d'un fond concave 126, doté d'un conduit d'évacuation 128. Le collecteur aval de l'échangeur thermique  $120_4$ , est raccordé, par un conduit 130, à l'entrée d'une chaudière 132, constamment remplie d'eau polluée. Dans cette chaudière 132, est monté fixe un échangeur thermique 134, identique aux échangeurs  $120_{1-4}$ . Cet échangeur 134 est pourvu d'un tuyau amont 136 et d'un tuyau aval 138, reliés à la sortie et à  
15 l'entrée d'une source chaude externe, qui fournit à cet échangeur 134 un fluide chaud à température et à débit appropriés. La chaudière 132 est pourvue d'un déversoir 140, par lequel l'eau chaude coule dans une bassine d'épandage 142, reposant sur le sommet 112 de l'entassement des noix artificielles mouillables garnissant la colonne d'évaporation 104. Le fond de la bassine 142 est percé de nombreux trous à colliers de débordement, disposés en  
20 quinconce, ces trous ayant 3 mm de diamètre et 2 cm d'écart.

La cloison 108 est en polymère expansé. La partie la plus basse de cette cloison 108 est sans aménagement et toute son autre partie est occupée par quatre chambres de transit indépendantes  $144_{1-4}$ , dotées d'entrées rectangulaires allongées, formées par des rangées de fentes verticales, représentées à la figure 3. Ces fentes ont une largeur inférieure à toute  
25 dimension des noix de garnissage de la colonne d'évaporation 104. La hauteur du bord inférieur de la rangée de fentes à l'amont de la chambre de transit  $144_1$  est de 65 cm et celles des bords inférieurs des autres rangées de fentes  $144_{2-4}$ , de respectivement 105, 145 et 185 cm. Ces hauteurs sont celles des plafonds des chambres d'évaporation superposées de la colonne 104 du distillateur 100.

30 Comme les courants d'air, dérivés par les entrées des chambres de transit  $144_{1-4}$ , emportent généralement des gouttes d'eau industrielle, plus ou moins concentrée, ces entrées comportent des dévésiculateurs, constitués par des chicanes  $145_{1-4}$  et des déflecteurs  $146_{1-4}$ , en forme de crochet, coopérant pour bloquer ces gouttes d'eau et les ramener dans la colonne d'évaporation 104. Au-delà de ces déflecteurs, des conduits sont aménagés qui  
35 débouchent sur des vannes à boisseaux cylindriques  $148_{1-4}$ , puis sur les intervalles  $150_{1-4}$ , qui séparent échangeurs thermiques  $120_{1-4}$  et chaudière 132. Dans les vannes  $148_{1-4}$ , les



cylindres tournants, à ouvertures longitudinales diamétralement opposées, (en noir sur le dessin) sont dotés de moyens de commande manuelle non représentés. La vanne 148<sub>4</sub> est ouverte au maximum et la perte de charge, apportée par la chambre 144<sub>4</sub>, est négligeable.

Le conduit 118 d'évacuation de l'eau polluée concentrée, produite par le distillateur  
5 100, est relié à un dispositif 119 de refroidissement naturel de l'eau, débouchant au-dessus  
d'un réservoir 152. Ce réservoir 152 possède deux conduits de sortie, l'un 154, relié à  
l'entrée d'une pompe 156, et l'autre 158, pourvu d'une électrovanne 160, pour évacuer cette  
eau industrielle concentrée vers une citerne de stockage. Pour fermer la boucle de  
10 circulation de l'eau dans le distillateur 100, un tuyau 162 relie la sortie de la pompe 156, au  
collecteur amont de l'échangeur thermique 120<sub>1</sub>, de la colonne de condensation 106. L'unité  
industrielle, produisant l'eau polluée à concentrer, est raccordée au distillateur 100 par un  
conduit 164 débouchant au-dessus du réservoir 152, ce conduit étant pourvu d'une  
électrovanne 166. Comme pour le distillateur 10 de la figure 1, des thermocouples non  
15 représentés sont installés aux différents points de ce distillateur 100 afin de mesurer les  
températures remarquables de l'air et de l'eau qui y circulent.

Lorsque dans un distillateur 100, selon la figure 2, l'eau industrielle circule en circuit  
fermé et l'air, en circuit ouvert ou fermé, pour effectuer une concentration des matières  
dissoutes dans cette eau, il est nécessaire de faire appel à un dispositif 119 de  
refroidissement, de préférence naturel, pour abaisser au maximum la température initiale  $T_{E3}$   
20 du concentré, à déverser dans le réservoir 152 et à en faire une ou la source froide de  
l'appareil. Si ce refroidissement n'est pas suffisant pour amener ce concentré à une  
température  $T_{E0}$  inférieure à la température  $T_{A0}$  du courant d'air entrant dans la colonne  
d'évaporation ou de  $T_{A0^*}$  du courant d'air sortant de la colonne de condensation, le CoP du  
distillateur en est directement affecté. Plus le liquide concentré recyclé sera refroidi, moins la  
25 dégradation du CoP sera importante. Un refroidissement naturel maximal de ce concentré  
tiède peut être obtenu, lorsqu'il est déversé au sommet d'un ensemble de supports verticaux,  
à faces hydrophiles ou mouillables, puis refroidi au cours de sa descente, par convection  
naturelle ou forcée de l'air ambiant. Lorsque le point de rosée de cet air ambiant est  
suffisamment bas, la température finale  $T_{E0}$  du liquide concentré à recycler est, comme sur la  
30 figure 4, inférieure à  $T_{A0}$  la température initiale basse de l'air injecté au pied de la colonne  
d'évaporation.

La figure 3 représente une partie d'une rangée horizontale 170 de fentes verticales  
172, aménagée dans la cloison 18 du distillateur 10 de la figure 1 et à l'entrée d'une  
chambre de transit 144<sub>1,4</sub> de la cloison 108 du distillateur 100 de la figure 2. Cette figure 3  
35 représente également le cache coulissant 174, disposé devant chaque rangée de fentes de  
la cloison 18 du distillateur 10. Ces fentes 172 ont 10 cm de haut, 2 mm de large et un pas

de 15 mm. Le cache 174 comporte une rangée de fentes de largeur identique à celle des fentes de la rangée 170 et, de préférence, une hauteur décroissante avec le rang de l'étage de distillation concerné. Ce cache 174 est solidaire d'une tige filetée 176, montée tournante dans un écrou fixe, non représenté.

5 La figure 4 représente les courbes  $H_E = f(T)$  des flux d'enthalpie de l'eau, circulant en circuit ouvert, et celles  $H_A = f(T)$  de l'air, circulant en circuit fermé, dans un distillateur 10 dans lequel tous les réglages ont été correctement effectués. Les droites 180 et 182 représentent respectivement les flux d'enthalpie, croissant et décroissant, des courants d'eau froide montante et d'eau chaude descendante. Ces droites sont parallèles et leur  
10 pente est  $C_{pE}$ . Les températures aux extrémités de ces deux droites 180-182 sont respectivement  $T_{E0}$ ,  $T_{E1}$  et  $T_{E2}$ ,  $T_{E3}$ . La courbe 184 représente à la fois les flux d'enthalpie des courants, montant et descendant, de l'air chaud humide saturé circulant dans le distillateur 10. La courbe 184 comporte quatre festons 188<sub>1-4</sub> correspondant aux quatre étages de distillation de l'appareil 10. Les températures aux extrémités de ces festons 188<sub>1-4</sub>  
15 sont respectivement  $T_{A0C}$ ,  $T_{A1C}$ ,  $T_{A2C}$ ,  $T_{A3C}$  et  $T_{A4C}$ . Entre les tranches successives des festons 188<sub>1-4</sub> et des deux droites, 180 montante et 182 descendante, les écarts horizontaux, sont représentatifs des résistances thermiques apparentes différentes des tranches correspondantes des colonnes d'évaporation 14 et de condensation 16 du distillateur.

La figure 5 représente un plateau 190, en polymère, surmontant l'une des chambres  
20 de condensation d'un distillateur d'eau, selon l'invention. L'échangeur thermique de cette chambre est constitué par la juxtaposition et la mise en parallèle de deux dispositifs identiques à 24 plaques creuses, larges de 20 cm, assemblées au pas de 10 mm, avec des écarts de 5 mm. Le plateau 190 mesure 40 cm de long, 33 cm de large et 3 mm d'épaisseur ; il comporte quatre rangées 192<sub>1-4</sub>, de 25 trous chacune, séparées par des  
25 écarts de 10 cm. Chaque rangée comporte 23 trous oblongs tels 193, larges de 6 et longs de 12 mm, et deux trous ronds d'extrémité, de 6 mm de diamètre. Les trous oblongs 193 sont disposés au-dessus des espaces séparant les plaques creuses et les trous ronds au-dessus des espaces entre les plaques extrêmes et les parois de la chambre de condensation. Le plateau 190 comporte trois bords 194<sub>1-3</sub> épais de 30 et hauts de 50 mm, pour assurer  
30 l'étanchéité du conduit d'air entre deux chambres de condensation superposées, et deux ouvertures 196<sub>1-2</sub> pour permettre le passage étanche de deux tubes de raccordement entre les deux échangeurs thermiques de chacune de ces chambres de condensation.

Pour commenter le fonctionnement du premier appareil 10 ou 100 de l'un ou l'autre des deux distillateurs de série concernés, on considèrera que ce distillateur 100 est, dans un  
35 premier temps, virtuellement simplifié et agencé pour opérer de la même façon que le distillateur 10. Les données de base sont le débit massique  $Q_{E0}$  de l'eau répandue et les

températures d'eau  $T_{E0}$ ,  $T_{E2}$  et d'air  $T_{A0}$ . A titre d'exemple,  $Q_{E0} = 100$  g/s et  $T_{E2} = 85^\circ\text{C}$ , pour les deux appareils. Les distillateurs 10 et 100, opérant tous deux à courants d'air en boucle fermée et courants d'eau en boucle ouverte, on a  $T_{E0} = 20^\circ\text{C}$  puis  $T_{A0} = 27^\circ\text{C}$  et  $T_{A4} = 83^\circ\text{C}$ . A partir de ces données, on applique la procédure de réglage longuement décrite plus haut

5 pour le ventilateur et les sections de passage des ouvertures de cloison. On commence par déterminer les températures des courants d'air à établir au niveau des rangées de fentes 28, 30, 32 de la cloison 18 du distillateur 10 et des rangées semblables de la cloison 108 du distillateur 100. Avec les températures extrêmes de 27 et  $83^\circ\text{C}$ , on aura successivement (à peu près) 45, 61,  $73^\circ\text{C}$  et des échelons locaux de sensiblement 18, 16, 12 et  $10^\circ\text{C}$ . Ensuite,

10 on répand de l'eau chaude, pendant un bon moment pour amener les composants de chaque appareil à une température appropriée, puis on met en marche le ventilateur 34 ou 116. La colonne d'évaporation 16 étant équipée de plaques verticales, à faces mouillables ou hydrophiles, juxtaposées à pas constants, et la colonne 104, de noix artificielles mouillables entassées en vrac, les passages offerts aux courants d'air et les pertes de

15 charges y sont très différents. Dans ces conditions, il en est de même pour les surpressions de l'air à produire par les ventilateurs : de 100 à 200 Pascals pour le ventilateur 34 du distillateur 10 et 300 à 500 Pascals pour le ventilateur 116 du distillateur 100. De ce fait, dans le distillateur 10, les courants d'air montant ont des vitesses uniformes et ne risquent pas d'emporter des gouttes d'eau, ce qui permet aux rangées de fentes verticales 24, 26, 28,

20 32 de directement déboucher dans la colonne de condensation 16. En revanche, il n'en est pas de même dans le distillateur 100, puisque des courants d'air peuvent avoir des vitesses locales importantes entraînant des gouttes d'eau et de saumure, notamment dans la rangée de fentes disposée en amont de l'entrée de la chambre de transit 141<sub>1</sub> de l'étage de distillation de rang 1. Ces gouttes d'eau et de saumure emportées rendent nécessaire la

25 présence des dévésiculeurs 145<sub>1-4</sub> – 146<sub>1-4</sub>, qui les bloquent et les renvoient dans les chambres d'évaporation.

On règle les débits des ventilateurs 34 ou 116, pour provisoirement amener à  $45^\circ\text{C}$  la température  $T_{A1}$  de l'air traversant la rangée de fentes de rang 1 des cloisons 18 ou 108 des distillateurs 10 et 100. Puis, au moyen des caches 174 ou de vannes 148<sub>1-3</sub> on règle les

30 sections de passage des ouvertures concernées de la cloison 18 du distillateur 10 ou celles de la cloison 108 du distillateur 100, pour avoir les températures  $T_{A2} = 61^\circ\text{C}$  puis  $T_{A3} = 73^\circ\text{C}$ , aux sommets des chambres d'évaporation de rangs 2 et 3. Ensuite, on réajuste les réglages des caches 174 ou des vannes 148 de rang n, pour que deviennent égales la température  $T_{An}$ , à l'entrée de la chambre d'évaporation de rang n, et celle  $T_{An^*}$ , en sortie de la chambre

35 de condensation de même rang. Ces températures ont alors des valeurs optimales de consigne  $T_{A1C}$ ,  $T_{A2C}$  et  $T_{A3C}$ , lesquelles ne diffèrent des températures initiales que d'un écart <

1,5°C. Puis on corrige légèrement la vitesse du ventilateur pour maximiser la température  $T_{E1}$  de l'eau en sortie de la colonne de condensation et la rapprocher au mieux de  $T_{E2}$ , jusqu'à  $T_{E1} = .75^\circ\text{C}$  par exemple.

Cela étant fait, le bac 54 ou 126 reçoit une quantité horaire d'eau distillée de 40 litres et, avec les valeurs indiquées ci-dessus pour  $T_{E0}$ ,  $T_{E1}$  et  $T_{E2}$ , le CoP = 6,5. La puissance thermique fournie à l'appareil par la chaudière est  $P_{Ch} = 3,8$  kW et celle utilisée en distillation  $P_{Dist} = 24,7$  kW, de sorte que la conductance thermique globale apparente des colonnes d'évaporation et de condensation du distillateur 10 ou 100 s'établit à  $CT = P_{Dist} / (T_{E2} - T_{E1}) = 2470$  W/K.

Ensuite, on relève les valeurs des réglages des commandes des ventilateurs 34 et 116 ainsi que de celles des réglages des sections de passage des communications entre chambres des unités de distillation et on utilise ces valeurs comme spécifications de construction des appareils de série. Ce seront des fréquences pour les moteurs synchrones des ventilateurs et des valeurs, précises au dixième de millimètre, pour les quatre rangées de fentes verticales de l'appareil 10 et pour les fentes horizontales des quatre cloisons remplaçant les vannes ajustées de l'appareil 100. Quant aux dimensions des trous des plateaux 25<sub>1-4</sub> et 123<sub>1-4</sub>, elles sont calculées pour chaque chambre de condensation, en fonction des débits volumiques approchés d'air chaud humide saturé  $Q_{S1}$  à  $Q_{S4}$  circulant dans ces quatre chambres.

Les distillateurs d'eau ainsi construits sont destinés à opérer avec des paramètres d'entrée  $Q_{E0}$  et  $T_{E2}$  constants. Aussi longtemps qu'il en est ainsi, le CoP de l'appareil est maximal, mais lorsque pour une raison quelconque la valeur de l'un et/ou l'autre de ces paramètres s'écarte quelque peu de sa valeur initiale, les performances globales du distillateur sont modérément abaissées, sans pour autant ne pas demeurer satisfaisantes.

Dans le cas du distillateur 10 ou du distillateur 100 simplifié, traitant tous deux de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre, notamment fossile, l'eau distillée est recueillie puis transformée en eau potable, par adjonction de sels minéraux appropriés, cependant que l'eau de mer faiblement concentrée en sel est directement rejetée à la mer.

Dans le cas du distillateur 100 décrit, opérant en générateur de concentré d'eau industrielle, le courant d'air circule en boucle ouverte ou fermée et le courant d'eau, en boucle fermée. Le concentré, préalablement refroidi dans le dispositif 119 (il devient source froide unique quand l'air circule en boucle fermée) est recueilli dans le réservoir 152 et il est recyclé jusqu'à ce que sa concentration soit suffisante. Pour ce faire, l'eau polluée, à concentration progressive, contenue dans le réservoir 152, est aspirée par la pompe 156 et injectée dans le collecteur amont de l'échangeur thermique 120<sub>1</sub> de la colonne de condensation 106. Lorsque cette concentration est suffisante, la pompe 156 est arrêtée,

l'électrovanne 160 de vidage du réservoir 152 est actionnée et un volume donné d'eau industrielle, fortement concentrée (5 à 10 fois), est stocké dans une citerne éloignée, en attente d'enlèvement. Dès la fin de cette opération, un volume d'eau industrielle fraîche est déversé dans ce réservoir 152, en actionnant l'électrovanne 166 pendant une durée  
5 appropriée. Ensuite, la pompe 156 redémarre. Le cycle de ces opérations est déterminé à la suite d'essais, en fonction de l'efficacité de l'appareil ; les électrovannes 160 et 166 ainsi que la pompe 156, sont commandées selon ce cycle, par un programmeur automatique. Le coût de destruction d'un concentré d'eau polluée est diminué en accord avec le taux de concentration réalisé. De son côté, l'eau distillée peut être récupérée pour un usage local ou  
10 rejetée dans la nature. Avec les mêmes sous-ensembles complémentaires, un distillateur 10, à colonne d'évaporation équipée de plaques à faces mouillables, peut être transformé en appareil pour produire un concentré d'eau industrielle. Et, de son côté, un distillateur 100 peut être utilisé pour produire de l'eau distillée et de la saumure fortement concentrée.

La figure 6 représente en A le schéma d'un distillateur d'eau 200, formé par quatre  
15 unités de distillation juxtaposées, vues de face, 202, 204, 206 et 208, semblables aux étages de distillation des figures 1-2, ayant respectivement des rangs 4, 3, 2 et 1. En B, la figure 6 représente le schéma de l'unité de distillation 208, vue en coupe CC.

Dans chacune des chambres d'évaporation de ces unités, sont disposées verticales,  
à pas constant de 15 mm, cent plaques non métalliques 210, à faces mouillables du fait de  
20 reliefs appropriés, épaisses de 6 mm, larges de 80 cm et hautes de 125 cm. La surface totale d'échange de ces plaques est de 200 m<sup>2</sup> et le volume d'une chambre d'évaporation est 1,5 m<sup>3</sup>. Dans chacune des chambres de condensation, l'échangeur thermique 212 est du même type que ceux des figures 1 et 2 (plaques creuses extrudées-soufflées, à collecteurs amont et aval soudés). Chaque échangeur 212 comprend cent cinquante plaques creuses  
25 verticales 213, larges de 80 et hautes de 125 cm, assemblées au pas de 10 mm. La surface totale d'échange des plaques est de 300 m<sup>2</sup> et le volume de chaque chambre de condensation, de 1,5 m<sup>3</sup>. Le raccord amont 214 de l'échangeur thermique 212 de l'unité la moins chaude 208 est relié à une borne 216 d'alimentation en eau de mer, à température ambiante (20°C) et surpression appropriée. Le raccord aval 218 de cet échangeur 212 est  
30 relié à un conduit calorifugé 220 qui aboutit au raccord amont de l'échangeur thermique de l'unité de distillation 206. Il en est de même, pour les unités 204 et 202 dans lesquelles des conduits calorifugés 222 et 224 relient le raccord aval, de l'échangeur thermique de la première, au raccord amont de l'échangeur de la seconde. Le raccord aval de l'échangeur de l'unité la plus chaude 202 est relié à l'entrée d'une chaudière 226 dont la sortie est reliée  
35 à une bassine 228, alimentant les gouttières individuelles d'épandage (non représentées) des plaques mouillables 210. Le plancher de la chambre d'évaporation de l'unité 202 est

aménagé en bac 230 de collecte de l'eau de mer, à teneur augmentée en sel, qui s'écoule de ses plaques mouillables 210. Dans ce bac 230 est installée une pompe 232 reliée, par un conduit calorifugé 234, à la bassine 236 du dispositif d'épandage de l'unité 204, laquelle comporte un bac de collecte 238 et une pompe 240. Cette pompe 240 est reliée par un  
5 conduit calorifugé 242 à la bassine 244 du dispositif d'épandage de l'unité 206, laquelle comporte un bac de collecte 246 et une pompe 248. Cette pompe 248 est reliée par un conduit calorifugé 250 à la bassine 252 du dispositif d'épandage de l'unité 208, laquelle comporte un bac de collecte 254 doté d'un conduit d'évacuation 256. Comme les précédentes, la bassine 252, représentée en B de la figure 5, est dotée de cent paires de  
10 déversoirs à débordement 253 a-b, alimentant les gouttières d'épandage des cent plaques 210. Sur cette figure 5B, au-dessus des chambres de condensation sont disposés des plateaux à rangées de trous 257, semblables aux plateaux 25 et 123, des figures 1 et 2. Dans une ouverture basse pratiquée dans une cloison 258 séparant les chambres d'évaporation et de condensation de l'unité 208, est installée une hélice 260, reliée par un  
15 arbre 262 au moteur synchrone d'un ventilateur. Ce moteur et son alimentation à fréquence variable sont représentés par le bloc 264, extérieur à la chambre de condensation. Ce bloc comprend soit une commande manuelle, dotée d'un cadran 266, soit une commande automatique pilotée par un calculateur. Les quatre unités 202, 204, 206 et 208 sont équipées d'hélices internes semblables 260<sub>1-4</sub> et de blocs moteurs externes 264<sub>1-4</sub>. Les puissances de  
20 ces moteurs et/ou les pas de ces hélices sont adaptés aux conditions de fonctionnement de chaque unité. Les flèches 265 et 267 indiquent le sens de circulation en circuit fermé des courants d'air engendrés par les ventilateurs. L'eau distillée est collectée dans un bac 268, installé au pied de chaque chambre de condensation. Tous ces bacs sont raccordés à un tuyau d'évacuation 270. La continuité des températures, entre ces unités de distillation  
25 juxtaposées, est assurée par le courant d'eau montant ou descendant, passant d'une unité à l'autre.

Ce distillateur à quatre unités de distillation juxtaposées est bien adapté à des productions journalières importantes d'eau distillée. Pour une puissance de la chaudière 226 de 120 kW et un débit massique  $Q_{E0}$  de 4.5 kg/s d'eau à distiller, la production journalière est  
30 d'environ 30 m<sup>3</sup>/jour, pour le distillateur 200. Et, en outre, celui-ci convient particulièrement bien à des situations dans lesquelles la puissance thermique disponible est variable, notamment en cours de journée, et impose des débits massiques d'eau évoluant plus ou moins dans les mêmes conditions. Dans ce cas, un calculateur, comportant le logiciel approprié défini plus haut, fournit les réglages des blocs moteurs, dès lors que les  
35 paramètres  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$  y sont entrés. Ces réglages sont ensuite effectués de deux façons possibles : (1) relever sur l'écran du calculateur les repères de consigne de cadrans

associés aux commandes de ces quatre fréquences et afficher manuellement ces repères sur ces cadrans, ou (2) programmer le calculateur pour lui faire directement régler les moyens de commande de ces quatre fréquences.

Les modifications à apporter aux appareils 10 et 100, à unités de distillation superposées, représentés aux figures 1 et 2, pour les transformer en appareils, dans lesquels les courants d'air dans les étages de distillation sont indépendants les uns des autres, découlent des définitions mêmes de ces appareils. Entre quatre étages, à peu près identiques à celui de rang 1 sur ces deux figures, ce seront des cloisons horizontales traversées par des tubes de liaison entre échangeurs thermiques, auxquelles s'ajouteront dans chaque étage des moyens de collecte et d'épandage de l'eau à distiller, identiques à ceux de la figure 6. Une figure illustrant un distillateur d'eau, selon la figure 1 ou 2, pourvu de ces compléments banals n'est donc pas utile. Par ailleurs, il peut être intéressant de combiner ces deux formes de réalisation et de constituer des groupes formés par deux unités de distillation superposées et ensuite de juxtaposer ces groupes. Cela convient à des unités de distillation de hauteur moyenne ( $< 120$  cm) qui peuvent être aisément superposées, sans entraîner de problèmes de manutention particulier.

L'invention n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites aux figures 1, 2 et 6.

En effet, les composants des chambres d'évaporation et de condensation peuvent être différents de ceux présentés (plaques à faces hydrophiles ou mouillables, noix mouillables en céramique ou polymère). Dans tous les cas, ces composants seront non métalliques, pour éviter des problèmes de corrosion et un coût trop élevé. Pour les chambres d'évaporation, cela peut être tout support plan mince, notamment formé par une nappe tissée hydrophile tendue, ou encore des noix artificielles en terre cuite. Pour les chambres de condensation, on pourra utiliser des échangeurs thermiques, formés par des plaques alvéolaires du commerce, dotées de collecteurs primaires, raccordés à des collecteurs secondaires amont et aval. Dans le distillateur 200, à unités de distillation juxtaposées, les chambres d'évaporation pourront être garnies de noix artificielles mouillables et les communications entre le couple de chambres de chaque unité comporteront des dévésiculeurs. En plus des distillateurs standards, construits pré-réglés, des appareils identiques au premier de chaque série, incluant la plupart de ses moyens de mesure et de réglage, pourront évidemment être commercialisés, pour satisfaire des clients particuliers.

## REVENDICATIONS

1. Distillateur d'eau (10 ou 100 ou 200), à courants d'air chaud humide saturé et à récupération de chaleur latente de condensation, du genre dans lequel :

- 5 - un nombre N d'unités de distillation est aménagé, l'unité de rang 1 étant la moins chaude et celle de rang N, la plus chaude ;
- chacune de ces N unités de distillation comprend un couple de chambres verticales, l'une d'évaporation d'eau et l'autre de condensation de vapeur, communiquant par le haut ;
- chacune de ces N chambres d'évaporation est occupée par un ensemble de composants mouillables ou hydrophiles (20 ou 104 ou 210) ;
- 10 - chacune de ces N chambres de condensation est occupée par un dispositif creux d'échange thermique (22 ou 120 ou 212), ces N dispositifs étant montés en série ;
- des moyens (38 ou 153 ou 216) sont raccordés à l'appareil pour lui fournir un courant d'eau, à débit massique  $Q_{E0}$ , à température initiale basse  $T_{E0}$ , pour faire circuler ce courant d'eau de bas en haut dans les N dispositifs creux d'échange thermique ;
- 15 - une chaudière (42 ou 134 ou 226) est raccordée à la sortie des N dispositifs creux d'échange thermique, pour porter à une température haute  $T_{E2}$ , inférieure à 100°C, le courant d'eau à température  $T_{E1}$  qui en sort ;
- des moyens (52 ou 142 ou 228-236-244-252) sont installés dans l'appareil pour répandre cette eau chaude à température  $T_{E2}$ , en haut des composants de la chambre d'évaporation de rang N et pour la faire ruisseler le long des composants des chambres d'évaporation de rangs (N-1) à 1 ;
- des moyens (34 et 170-172) ou (116 et 148<sub>1-4</sub>) ou (260<sub>1-4</sub>) sont installés dans l'appareil pour forcer N débits ajustés d'air chaud humide saturé à circuler, de bas en haut dans les N
- 25 chambres d'évaporation et de haut en bas dans les N chambres de condensation, afin de respectivement porter les N courants d'air, circulant en haut des chambres d'évaporation, à des températures prédéterminées  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$  ;
- des moyens pour recueillir les débits d'eau distillée (56 ou 126 ou 266) sont installés en bas de la chambre de condensation de rang 1 ;
- 30 - des moyens pour recueillir les débits de solution aqueuse concentrée (60 ou 119 ou 254) sont installés en bas de la chambre d'évaporation de rang 1 ;
- caractérisé en ce que :
- les N dispositifs d'échange thermique (22<sub>1-6</sub> ou 120<sub>1-4</sub> ou 212) ont des sections et des hauteurs sensiblement identiques à celles des N chambres de condensation ;



- ces N dispositifs d'échange thermique sont des groupes de plaques creuses en polymère (23, 121, 213), assemblées séparées à pas constant, chaque groupe étant doté de collecteurs amont et aval ;
- dans les N chambres de condensation, les plaques creuses sont installées verticales.

5

2. Distillateur d'eau (10 ou 100 ou 200), selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte N plateaux perforés (25<sub>1-4</sub>, 123<sub>1-4</sub>, 257, 190), aptes à répartir les débits totaux d'air, entrant respectivement dans les N chambres de condensation, en débits d'air partiels sensiblement égaux, pénétrant dans les espaces séparant les plaques creuses (23, 121, 213) de ces chambres.

10

3. Distillateur d'eau (10 ou 100 ou 200), selon la revendication 2, caractérisé en ce que, dans chacune des N unités de distillation :

15

- la communication, entre les chambres d'évaporation et de condensation, comporte une fenêtre rectangulaire allongée horizontale (170, 150) ;
- la section de la chambre de condensation, le plateau perforé (25<sub>1-4</sub>, 123<sub>1-4</sub>, 257, 190) et les plaques creuses (23, 121, 213) sont rectangulaires ;
- le plateau perforé est installé sans fuites latérales notables et il comporte des rangées (192<sub>1-4</sub>) de trous (193), surmontant toutes les plaques creuses (23, 121, 213) ;
- ces trous (193) sont oblongs et percés au pas d'assemblage des plaques, leur largeur étant sensiblement égale à celle des espaces entre plaques.

20

4. Distillateur d'eau (10), selon la revendication 2 ou 3, du genre dans lequel :

25

- les N unités de distillation sont superposées, formant deux colonnes d'évaporation et de condensation ;
  - et un ventilateur est installé en bas de la colonne d'évaporation ;
- caractérisé en ce que

30

- les N chambres d'évaporation comportent des supports plans minces, à faces mouillables (210) ou hydrophiles (20), installés verticaux, à pas constant ;
- les N communications, entre les couples de chambres, sont N rangées horizontales (170) de fentes verticales (172), au même pas que le précédent, pratiquées dans une cloison (18) séparant les deux chambres et dotées ou non de N caches coulissants (174-176) ;

35

- soit la commande du ventilateur (34) est préréglée et les sections de passage respectives de ces N rangées de fentes (170-172) sont fixes, le réglage de cette commande et les dimensions de ces sections ayant été établis selon les spécifications de construction

découlant des réglages manuels finaux du premier appareil d'une série de distillateurs identiques ;

- soit le réglage de la commande de ce ventilateur (34) et les réglages de ces N caches coulissants (174-176) sont manuels comme dans ce premier appareil.

5

5. Distillateur d'eau (10), selon la revendication 2 ou 3, du genre dans lequel :

- les N unités de distillation sont superposées, formant deux colonnes d'évaporation et de condensation ;

10 - les N chambres d'évaporation sont garnies de noix artificielles mouillables, entassées en vrac,

- un ventilateur (116) est installé en bas de la colonne d'évaporation ;

caractérisé en ce que :

15 - les N communications, entre les couples de chambres, sont des conduits, à section rectangulaire allongée, comportant en amont une cloison à zone perforée horizontale (170-172), apte à bloquer lesdites noix et à laisser passer l'air, et en aval, ladite fenêtre rectangulaire allongée horizontale (150<sub>1-4</sub>) ;

- dans chacun des N conduits (144<sub>1-4</sub> – 150<sub>1-4</sub>), sont installés un dévésiculateur (145<sub>1-4</sub> – 146<sub>1-4</sub>), disposé en aval immédiat de la zone perforée (170-172), et soit une cloison, dotée d'une fente rectangulaire allongée horizontale, soit une vanne à boisseau réglable (148<sub>1-3</sub>)

20 - soit la commande de ce ventilateur (116) est pré-réglée et les largeurs respectives de ces N fentes des cloisons sont fixes, le réglage de cette commande et ces largeurs ayant été établis selon les spécifications de construction, découlant des réglages manuels finaux du premier appareil d'une série de distillateurs identiques ;

25 - soit le réglage de la commande de ce ventilateur (116) et les réglages des N vannes à boisseau sont manuels comme dans ce premier appareil.

6. Distillateur d'eau, selon la revendication 2 ou 3, du genre dans lequel les N unités de distillation sont superposées et constituent deux colonnes, l'une d'évaporation et l'autre de condensation ;

30 caractérisé en ce que

- ces N étages de distillation sont séparés les uns des autres par (N-1) cloisons horizontales ;

- deux communications, l'une en haut et l'autre en bas, sont établies entre les chambres verticales d'évaporation et de condensation de chaque étage de distillation ;

35 - N ventilateurs à débits ajustables, notamment au moyen de moteurs synchrones externes aux chambres de condensation, ont leurs hélices installées dans les communications basses

des N étages de distillation, pour produire N courants d'air indépendants circulant respectivement dans ces N étages ;

- les ensembles de composants creux des chambres de condensation de ces N étages de distillation sont raccordés entre eux par des tubes traversant ces (N-1) cloisons horizontales ;

- en haut et en bas des composants hydrophiles ou mouillables des chambres d'évaporation de ces N étages de distillation, sont respectivement installés des moyens d'épandage et de collecte de l'eau circulant dans la colonne d'évaporation, les moyens d'épandage des chambres d'évaporation de rangs (N-1) à 1 étant respectivement alimentés par les moyens de collecte des chambres de rangs N à 2.

7. Distillateur d'eau (200), selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que :

- les N unités de distillation (202, 204, 206, 208) sont juxtaposées ;

- deux communications, l'une en haut et l'autre en bas, sont établies entre les chambres verticales d'évaporation et de condensation de chaque unité de distillation ;

- N ventilateurs (260<sub>1-4</sub>, 262<sub>1-4</sub>, 264<sub>1-4</sub>) à débits ajustables, notamment au moyen de moteurs synchrones (264<sub>1-4</sub>, 266<sub>1-4</sub>) externes aux chambres de condensation, ont leurs hélices (260<sub>1-4</sub>) installées dans les communications basses des N unités de distillation, pour produire N courants d'air indépendants circulant respectivement dans ces N unités ;

- les N dispositifs creux d'échange thermique (212) de ces N chambres de condensation, sont raccordés entre eux par (N-1) conduits calorifugés (220, 222, 224) ;

- les N ensembles de composants hydrophiles ou mouillables (212), des N chambres d'évaporation, comportent en haut et en bas de leurs extrémités respectives des moyens d'épandage (228, 236, 244, 252) et des moyens de collecte d'eau à distiller (230, 238, 246, 254) ;

- (N-1) pompes (232, 240, 248) et (N-1) conduits calorifugés (234, 242, 250) sont installés entre les N chambres d'évaporation, pour amener l'eau recueillie, par les moyens de collecte des unités de distillation de rangs N à 2, à se déverser dans les moyens d'épandage des unités de rangs (N-1) à 1.

8. Distillateur d'eau selon les revendications 6 et 7, caractérisé en ce que le nombre d'unités de distillation étant pair, cet appareil est constitué par des groupes juxtaposés comprenant chacun deux unités superposées.

9. Distillateur d'eau (200) selon l'une des revendications 6, 7 ou 8, caractérisé en ce que la chambre d'évaporation de chaque unité de distillation étant garnie de noix artificielles

mouillables, un dévésiculeur (145<sub>1-4</sub> – 146<sub>1-4</sub>) est installé dans la communication établie entre les hauts de cette chambre d'évaporation et de sa chambre de condensation.

10. Distillateur d'eau (100), selon l'une des revendications 4 à 9, constituant un
- 5 appareil pour concentrer une eau industrielle, caractérisé en ce qu'il comporte :
- un premier conduit (118) pour récupérer la solution aqueuse concentrée, coulant en bas de la chambre d'évaporation (104) de rang 1, ce conduit (118) alimentant un dispositif de refroidissement naturel (119) débouchant au-dessus d'un réservoir (152) ;
  - une pompe (156) pour aspirer le contenu de ce réservoir (152) et l'injecter en bas des
  - 10 composants creux de la chambre de condensation (106) de rang 1, afin de faire circuler en boucle fermée dans l'appareil un courant de solution aqueuse concentrée ;
  - un deuxième conduit (128) pour assurer en permanence l'évacuation, en vue d'une récupération ou d'une élimination, du débit d'eau distillée produit ;
  - un troisième conduit (158) associé à une première électrovanne (160), pour assurer
  - 15 l'évacuation en vue d'une récupération du volume de solution aqueuse concentrée, contenu dans le réservoir (152) ;
  - un quatrième conduit (164) associé à une seconde électrovanne (166) pour assurer le remplacement du contenu du réservoir par un nouveau volume d'eau industrielle ;
  - les deux électrovannes (160-166) opèrent selon une période déterminée par l'efficacité de
  - 20 l'appareil.

11. Procédé pour maximiser les performances du premier appareil d'une série de distillateurs d'eau identiques (10, 100 ou 200), selon l'une des revendications 4 à 9, caractérisé en ce que, en fonction des conditions d'emploi de l'appareil, il comprend les
- 25 étapes préliminaires suivantes :
- choisir une valeur appropriée pour le débit massique  $Q_{E0}$  de l'eau à traiter et une température haute  $T_{E2}$  inférieure à 90°C pour cette eau ; puis relever les températures initiales basses de l'air  $T_{A0}$  et de l'eau  $T_{E0}$  ;
  - choisir un appareil comportant un nombre N d'étages de distillation, avec un minimum de 3
  - 30 et un maximum de 6, déterminé en fonction directe des valeurs des écarts ( $T_{E2} - T_{E0}$ ) ou ( $T_{AN} - T_{A0}$ ) entre les températures extrêmes de l'eau ou de l'air, le nombre  $N = 4$  convenant à tous les cas ;
  - choisir N températures prédéterminées optimales approchées  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$ , à faire prendre aux courants d'air en haut des N chambres d'évaporation, pour que les flèches des N festons
  - 35 des courbes d'enthalpie de l'air chaud humide saturé, montant dans ces N chambres d'évaporation, aient des amplitudes sensiblement égales, inférieures à 1,5°C ;

- calculer les N débits massiques approchés d'air sec  $Q_{A1}$  à  $Q_{AN}$  puis les N débits volumiques approchés d'air chaud humide saturé  $Q_{S1}$  à  $Q_{SN}$ , circulant respectivement dans les N unités de distillation de l'appareil.

- 5           12. Procédé pour maximiser les performances du premier appareil d'une série de distillateurs d'eau identiques (10 ou 100), selon les revendications 11 et 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes complémentaires suivantes :
- au moyen du ventilateur (34 ou 116), faire circuler, en boucle ouverte ou fermée, un débit volumique d'air chaud humide saturé  $Q_{S1}$  dans l'étage de distillation de rang 1, pour porter la
  - 10 température de ce courant d'air, en haut de la chambre d'évaporation de rang 1, à la valeur optimale approchée prédéterminée  $T_{A1}$  ;
  - ajuster successivement les sections de passage réglables des communications (28-30-32) ou (144<sub>1,3</sub>-150<sub>1,3</sub>), établies entre les chambres d'évaporation et de condensation des étages de distillation de rangs 1 à (N-1), pour respectivement porter les températures des courants
  - 15 d'air en haut des chambres d'évaporation des étages de rangs 2 à N, aux valeurs optimales approchées prédéterminées  $T_{A2}$  à  $T_{AN}$  ;
  - maximiser la température  $T_{E1}$  de l'eau sortant de la colonne de condensation (16 ou 106), (a) en rendant respectivement égales les températures  $T_{A1}$  à  $T_{A(N-1)}$  des courants d'air chaud humide saturé, entrant dans les chambres d'évaporation des étages de distillation de rangs 2
  - 20 à N, et les températures  $T_{A1^*}$  à  $T_{A(N-1)^*}$  des courants d'air chaud humide saturé, sortant des chambres de condensation de ces mêmes étages de distillation, par une légère correction des sections de passage précédemment ajustées des (N-1) communications (28-30-32) ou (144<sub>1,3</sub>-150<sub>1,3</sub>); et (b) en réajustant le débit d'air précédemment produit par le ventilateur (34 ou 116), notamment par une légère correction de la fréquence de la tension d'alimentation
  - 25 de son moteur, lorsque celui-ci est de type synchrone ;
  - relever le réglage final de la commande du ventilateur (34 ou 116) et les dimensions finales de chacune des N sections de passage (172-174 ou 148) des communications entre les chambres de chacun des N étages de distillation pour notamment en faire les spécifications des distillateurs de la série.

30

13. Procédé pour maximiser les performances du premier appareil d'une série de distillateurs d'eau identiques (200), selon les revendications 11 et 6, 7, 8 ou 9, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
- ajuster successivement les N débits volumiques d'air chaud humide saturé  $Q_{S1}$  à  $Q_{SN}$ , respectivement produits par les N ventilateurs, pour engendrer en haut des N unités de
  - 35 distillation des températures optimales approchées prédéterminées  $T_{A1}$  à  $T_{AN}$  ;

- corriger légèrement ces N débits pour maximiser  $T_{E1}$ , la température de l'eau sortant du dispositif d'échange thermique de rang N, pour déterminer les températures optimales de consigne  $T_{A1C}$  à  $T_{A4C}$  ;

5 - relever les réglages finaux des commandes des N ventilateurs pour notamment en faire les spécifications des distillateurs de la série.

14. Logiciel pour piloter un distillateur d'eau (200), selon l'une des revendications 6 à 9, équipé de N ventilateurs à moteurs synchrones, ce distillateur devant pouvoir traiter de l'eau à débit massique  $Q_{E0}$  et à température haute  $T_{E2}$ , susceptibles tous deux de varier  
10 entre deux valeurs extrêmes déterminées, les températures basses de l'eau  $T_{E0}$  et de l'air  $T_{A0}$  n'étant pas connues ;

caractérisé en ce qu'il comprend :

- une banque de données, constituée selon le procédé défini à la revendication 13, reliant des groupes de températures de consigne  $T_{A1C}$  à  $T_{ANC}$  à des groupes de fréquences  $F_1$  à  $F_N$   
15 des tensions d'alimentation des moteurs synchrones des N ventilateurs, en réponse à au moins trois valeurs possibles de chacun des paramètres d'entrée  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$  du distillateur ;

- un programme principal P1, associé à cette banque de données, pour calculer, à partir de valeurs possibles de  $Q_{E0}$ ,  $T_{E2}$ ,  $T_{E0}$  et  $T_{A0}$ , les N températures  $T_{A1C}$  à  $T_{ANC}$  et les N fréquences  
20  $F_1$  à  $F_N$ , correspondant aux valeurs choisies par l'opérateur pour ces quatre paramètres;

- soit un programme complémentaire P2 pour afficher sur un écran les repères de consigne, de N cadrans associés à des commandes manuelles de ces N fréquences ;

- soit un programme complémentaire P2\* pour directement régler les commandes automatiques de ces N fréquences.

25

1/5

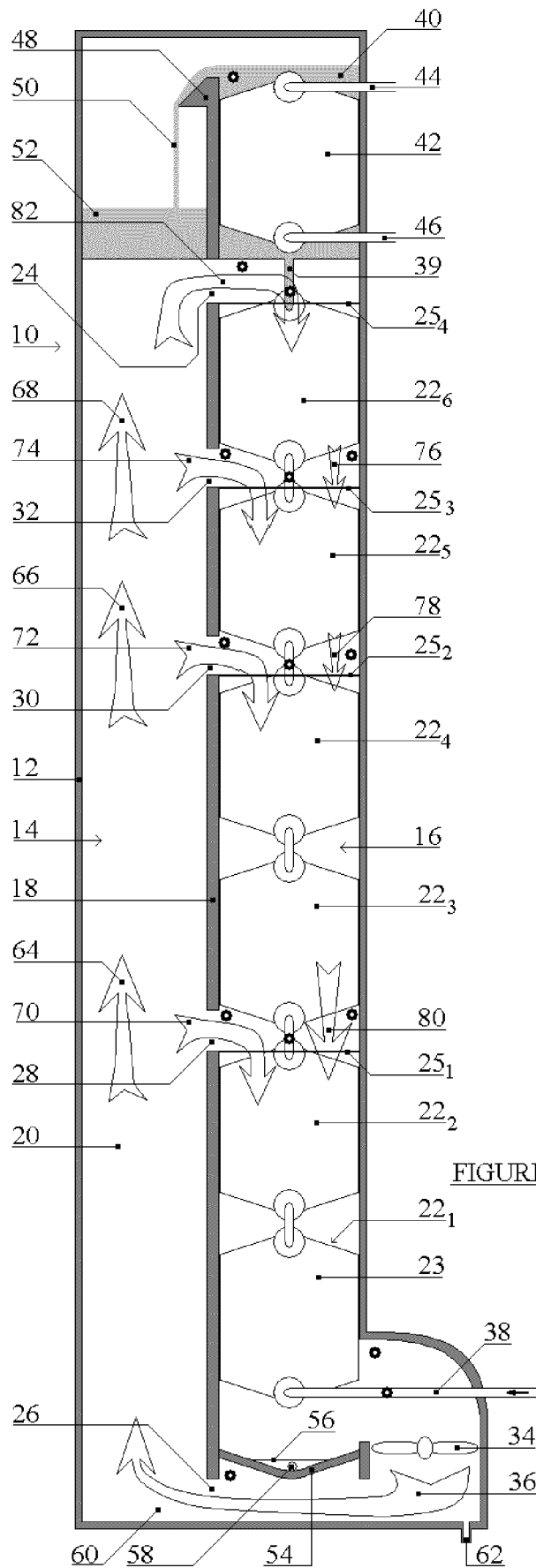


FIGURE 1

2/5

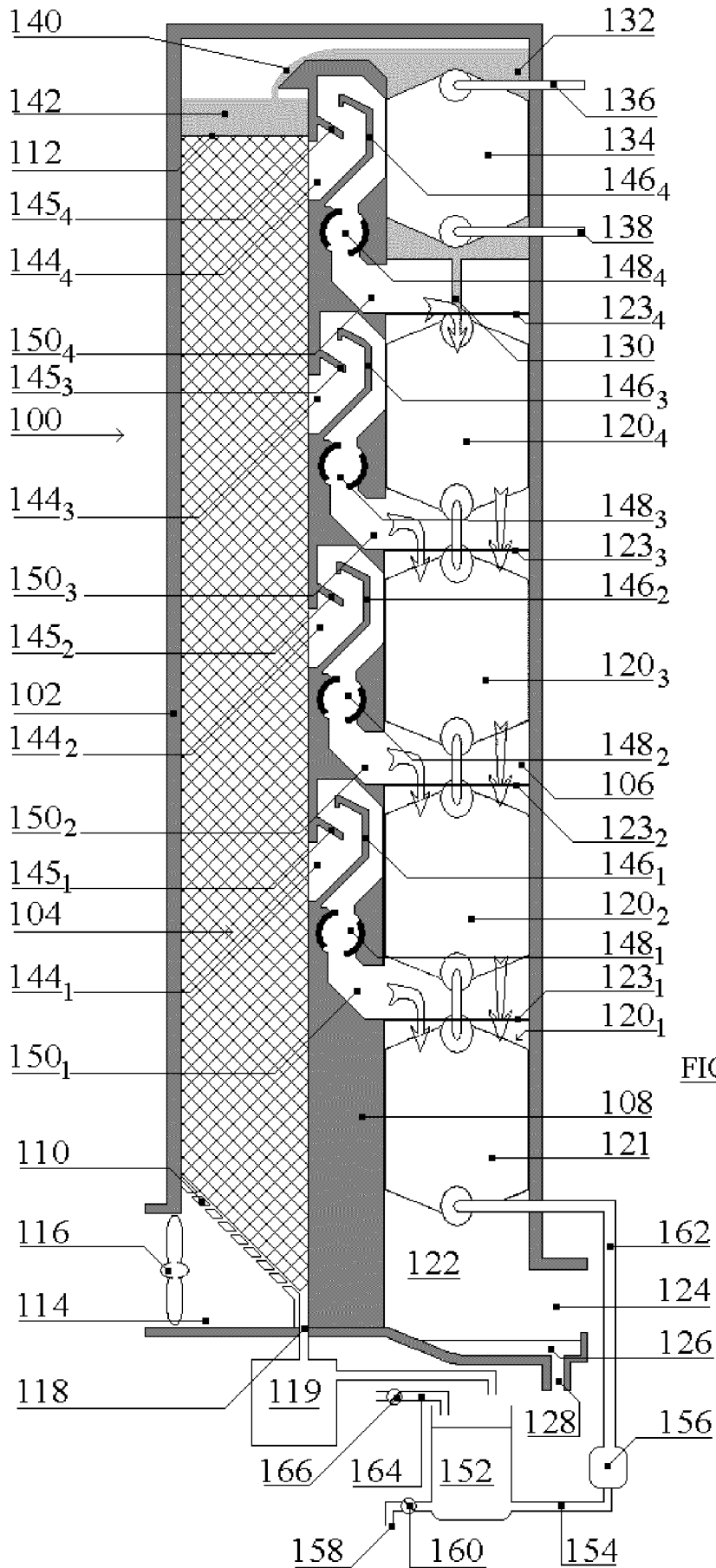


FIGURE 2



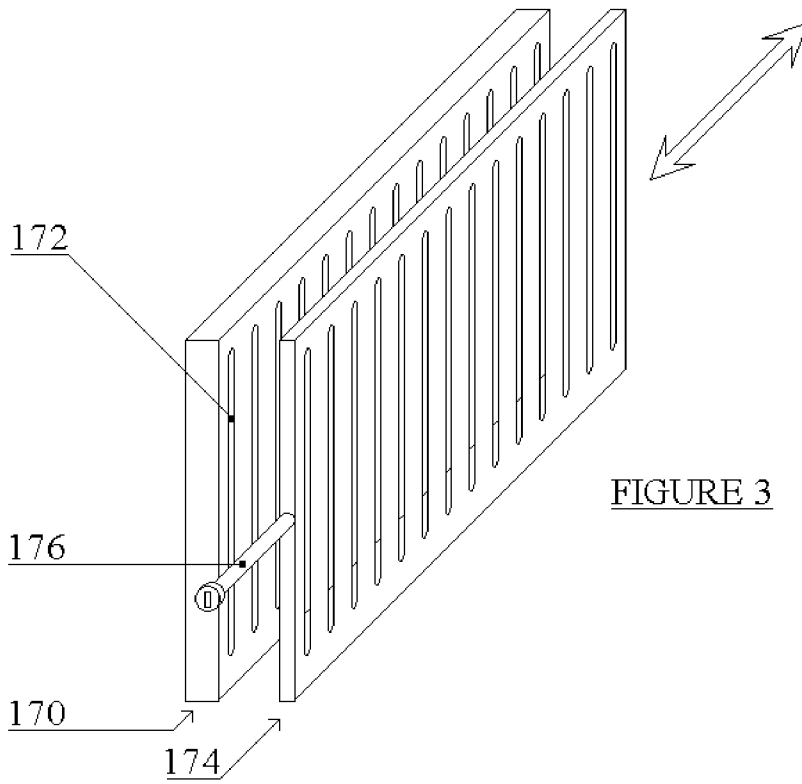


FIGURE 3

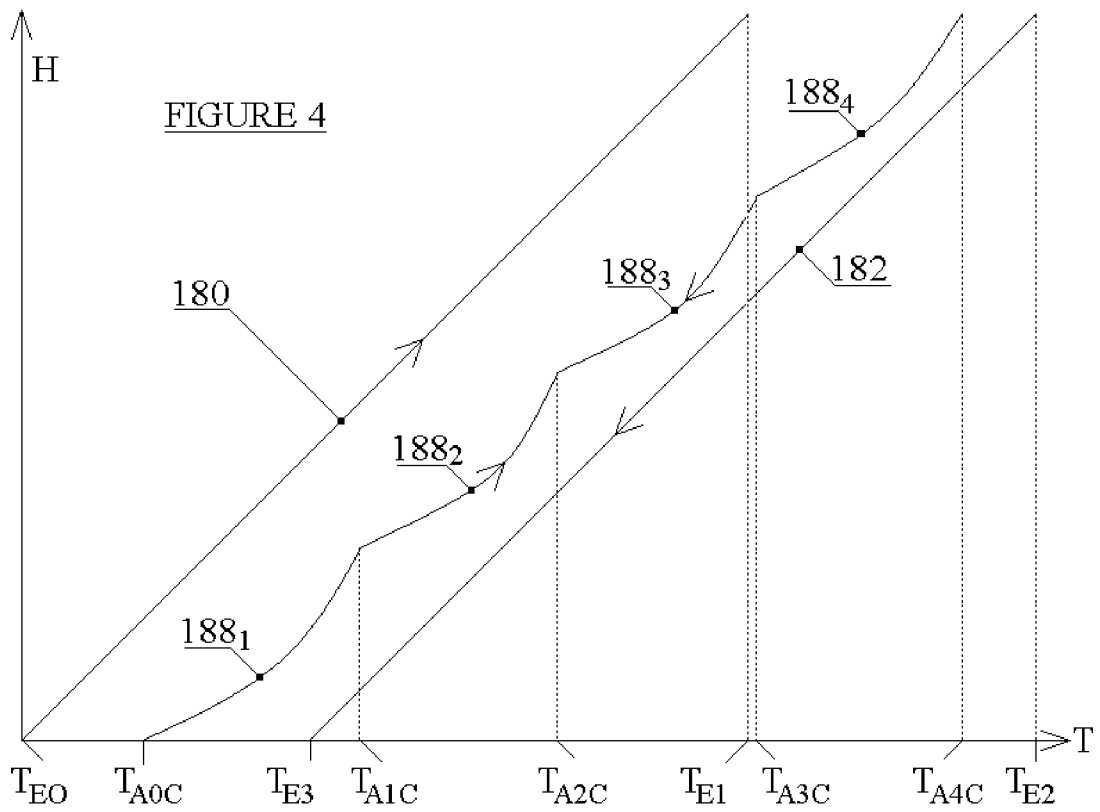


FIGURE 4

4/5

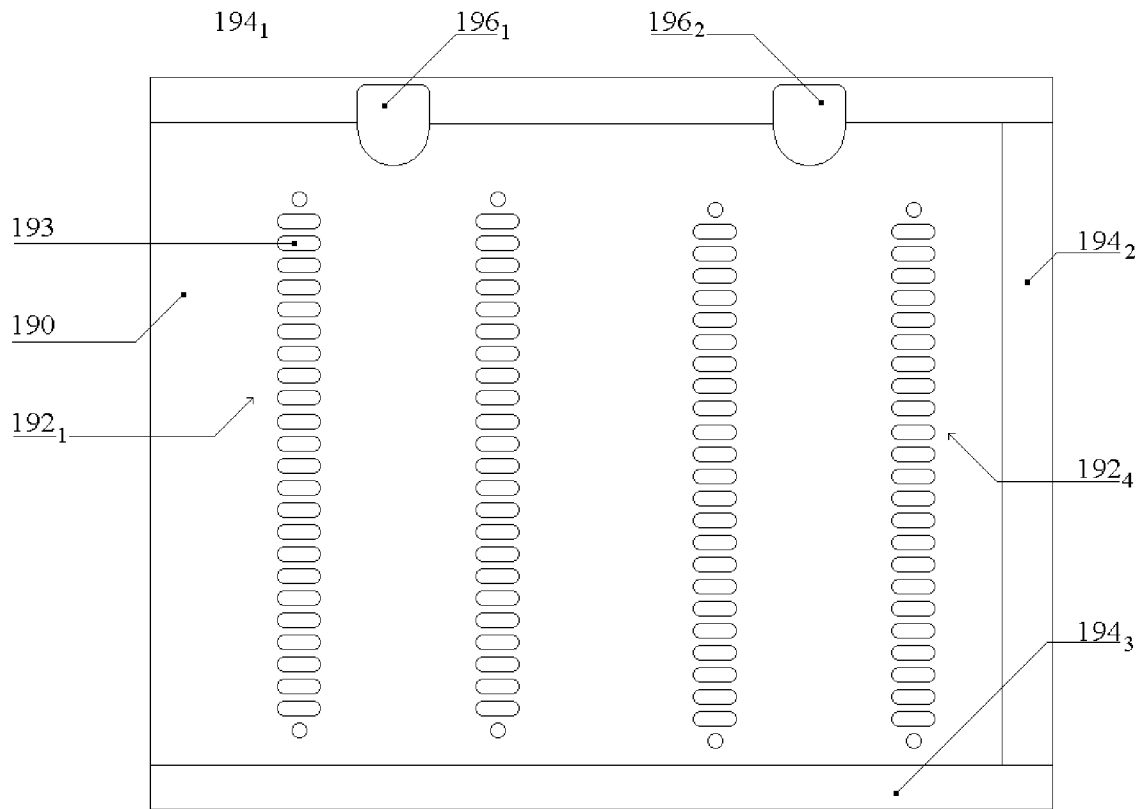


FIGURE 5

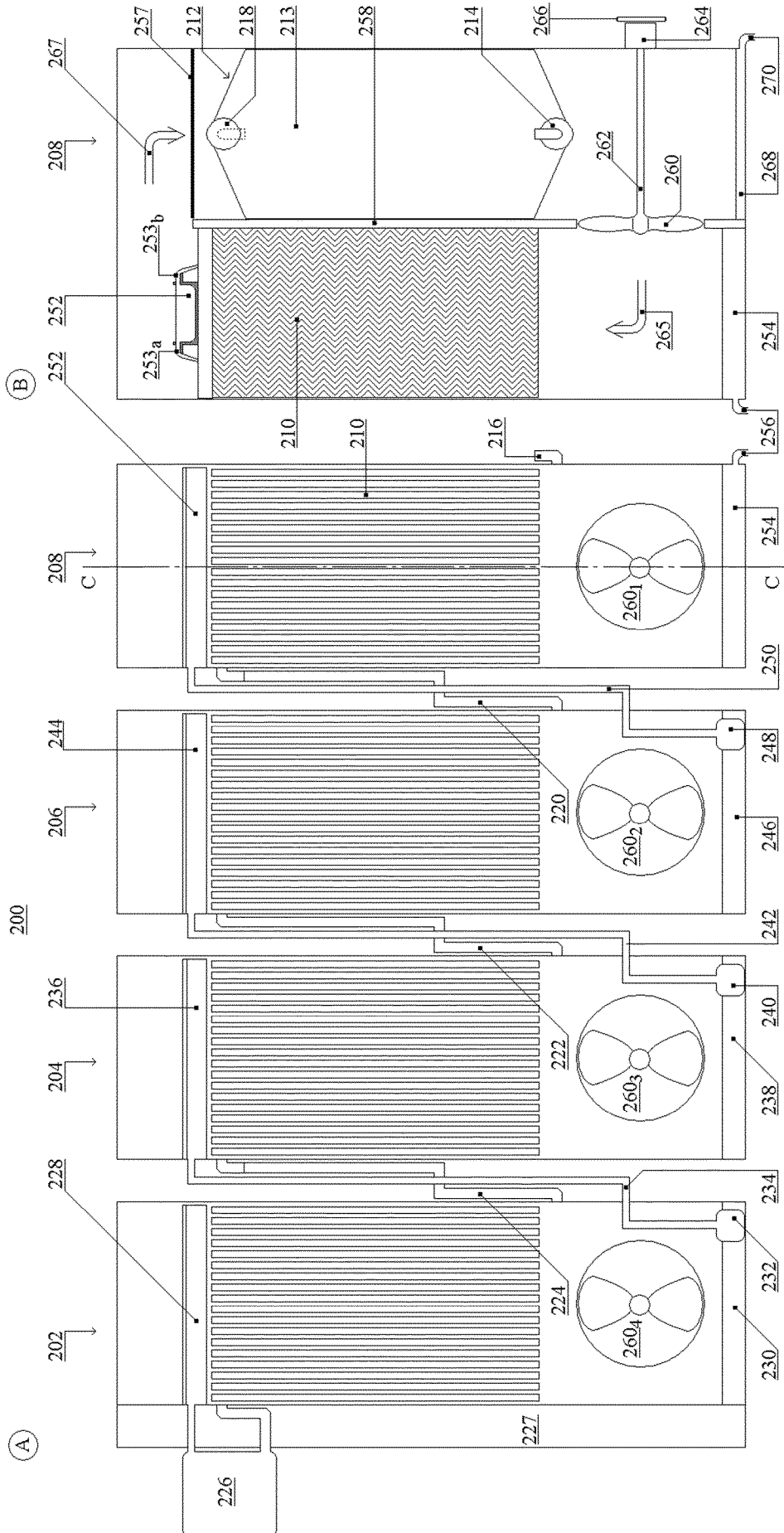


FIGURE 6