

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 016 876**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **14 50612**

⑤1 Int Cl⁸ : **C 02 F 1/04** (2014.01), B 01 D 1/14, B 01 D 3/00,
B 01 D 3/34

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 **INSTALLATION ET PROCÉDE DE TRAITEMENT PAR ÉVAPORATION/CONDENSATION
D'EAU POMPEE EN MILIEU NATUREL.**

②2 **Date de dépôt** : 24.01.14.

③0 **Priorité** :

④3 **Date de mise à la disposition du public
de la demande** : 31.07.15 Bulletin 15/31.

④5 **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention** : 01.01.21 Bulletin 20/53.

⑤6 **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 **Références à d'autres documents nationaux
apparentés** :

Demande(s) d'extension :

⑦1 **Demandeur(s)** : STARKLAB Société par actions
simplifiée — FR.

⑦2 **Inventeur(s)** : ZEMMOURI JAOUAD.

⑦3 **Titulaire(s)** : STARKLAB Société par actions
simplifiée.

⑦4 **Mandataire(s)** : MATKOWSKA & ASSOCIES
Société à responsabilité limitée.

FR 3 016 876 - B1



INSTALLATION ET PROCEDE DE TRAITEMENT PAR EVAPORATION/CONDENSATION D'EAU POMPEE EN MILIEU NATUREL

5 **Domaine technique**

La présente invention concerne une nouvelle installation et un nouveau procédé de traitement par évaporation/condensation d'eau pompée sous forme liquide en milieu naturel, telle que notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac, ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine. L'invention
10 permet par exemple de dessaler de l'eau de mer, ou de purifier de l'eau pompée en milieu naturel. L'invention trouve également son application à l'utilisation de l'énergie thermique de l'eau pompée en milieu naturel pour produire de l'électricité ou pour traiter un gaz.

Art antérieur

15 A la pression atmosphérique normale (au niveau de la mer) l'évaporation de l'eau se produit autour de 100°C. Cette évaporation se produit lorsque le milieu extérieur fournit de l'énergie à l'eau devenue vapeur sous forme de chaleur latente L_v . Tant que l'eau reste dans son état de vapeur, cette énergie L_v reste stockée dans cette vapeur. Si on diminue la
20 température de la vapeur, on assiste alors au phénomène de condensation par lequel la vapeur se transforme en liquide en cédant cette énergie stockée vers le milieu extérieur.

On parle souvent d'évaporation et d'ébullition sans distinction pour le passage de l'état liquide vers l'état gazeux. En réalité, ces deux
25 phénomènes sont différents et apparaissent dans des circonstances différentes. On désigne par évaporation l'apparition de molécules dans l'état gazeux au niveau de la surface du liquide. Si on apporte de l'énergie de manière rapide au bas d'un récipient, la température monte progressivement sur toute la colonne d'eau, mais au niveau de la surface en contact avec
30 l'apport d'énergie, la température va rapidement dépasser la température d'évaporation (100°C pour l'eau sous une pression atmosphérique normale).

Ceci crée une évaporation locale sous forme de petites bulles dans l'eau qui vont s'échapper et remonter dans le liquide à cause de la poussée d'Archimède. Ce phénomène va s'accélérer avec la montée de la température du liquide et le nombre de bulles devient important ; on obtient
5 alors le phénomène dit d'ébullition. On peut dire que l'ébullition est une évaporation à trois dimensions ou en volume contrairement à l'évaporation classique qui a lieu en surface.

L'évaporation d'un liquide, et notamment de l'eau à basse pression, est par ailleurs une méthode bien connue et maîtrisée. Cette méthode
10 d'évaporation est liée au fait que la température d'évaporation d'un liquide, et notamment de l'eau, diminue avec la pression atmosphérique au dessus de ce liquide. Par exemple à 0,2 bar, la température d'évaporation de l'eau est de l'ordre de 60°C ; à 20 mbar, la température d'évaporation de l'eau est de l'ordre de 17,5°C. Ainsi, si on place par exemple de l'eau à 20°C dans un
15 récipient, tel que par exemple un bêcher, il ne se passe rien à court terme à la pression atmosphérique. Si on place le récipient dans une cloche à vide reliée à une pompe à vide, l'eau se met à bouillir brutalement, et la température de l'eau baisse de plus en plus, pour finir à une température en dessous de zéro. A partir d'un certain moment, l'eau restante finit par geler
20 mettant un terme à l'évaporation. Il est donc possible en abaissant suffisamment la pression de faire évaporer et faire bouillir de l'eau à basse température, et par exemple à 20°C.

Lorsqu'un liquide tel que de l'eau s'évapore, il a besoin d'énergie pour passer de la phase liquide à la phase gazeuse : c'est la chaleur latente
25 L_v . La chaleur latente L_v est égale à 2,25MJ/kg pour l'eau à la pression atmosphérique. Cette énergie est fournie par le volume de l'eau à l'état liquide qui ne s'évapore pas et par le récipient contenant l'eau à l'état liquide, lesquels fournissent cette énergie thermique en abaissant leurs températures. Tant que l'évaporation continue, la température continue de
30 baisser jusqu'à descendre sous 0°C et l'eau liquide finit par se transformer en glace. Si on néglige la participation du récipient, on peut considérer en

première approximation, qu'il y a conservation de l'énergie entre l'énergie reçue par l'eau évaporée et l'énergie fournie par l'eau liquide. $E_{eva} = E_{liq}$ où E_{eva} est l'énergie reçue par l'eau évaporée et E_{liq} est l'énergie fournie par l'eau liquide.

$$5 \quad E_{liq} = m_{liq} C_{pliq} \Delta T$$

où, m_{liq} est la masse de liquide non évaporée, C_{pliq} est la capacité calorifique du liquide et vaut 4,18kJ/kg/K pour l'eau et ΔT est la variation de la température de l'eau liquide.

$$E_{eva} = m_{eva} L_v$$

10 où m_{eva} est la masse de liquide évaporé et L_v est la chaleur latente et vaut 2,25MJ/kg pour l'eau à la pression atmosphérique.

La conservation de l'énergie et de la matière impose que $E_{eva} = E_{liq}$ donc

$$m_{eva} L_v = m_{liq} C_{pliq} \Delta T$$

C'est cette relation ($E_{eva} = E_{liq}$) qui permet d'extraire de l'énergie d'un liquide par évaporation, et par exemple d'extraire de l'énergie par évaporation d'eau pompée en milieu naturel telle que notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau.

20 Ce phénomène d'évaporation d'un liquide, et notamment de l'eau, à basse pression, est utilisé depuis de très nombreuses années pour produire de la vapeur et pour utiliser la vapeur produite afin de générer de l'énergie électrique.

Cette énergie électrique produite à partir de la vapeur d'eau peut être obtenue au moyen d'une turbine, tel que par exemple dans les demandes de brevet français FR 2 515 727 et FR 2 534 293.

25 Cette énergie électrique peut également avantageusement être produite par condensation de la vapeur, et notamment de la vapeur d'eau produite, et par une transformation en énergie électrique de l'énergie récupérée lors de la condensation de la vapeur.

30 Plus particulièrement, au cours de la dernière décennie, la conversion de l'énergie thermique des océans et des mers a fait des progrès importants avec la technologie OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion).

Les systèmes OTEC sont décrits par exemple dans les demandes de brevet internationales WO 81/02231, WO 95/28567 et WO 96/411079 et dans le brevet US 3 967 449, et convertissent l'énergie thermique en électricité en utilisant la différence de température entre l'eau de mer chaude en surface et l'eau de mer froide en profondeur.

Habituellement on utilise les systèmes OTEC à cycle fermé qui utilisent un cycle thermodynamique d'un fluide de travail intermédiaire. Pour cela, il existe trois cycles thermodynamiques Rankine, Kalina et Uehara qui sont compatibles avec le principe des systèmes OTEC.

10 Cycle de Rankine :

Ce cycle est utilisé avec des liquides organiques qui ont un point d'ébullition inférieur à celui de l'eau. Par conséquent, il est appelé « Organic Rankine Cycle » (ORC).

Cycle de Kalina :

15 <http://www.thermooptim.org/sections/technologies/systemes/cycle-kalina/>

Ce cycle utilise un mélange d'eau et d'ammoniac comme fluide de travail. La concentration d'ammoniac est variable selon le besoin de chaque étape du cycle. En théorie, l'efficacité est 20% plus élevée que celle du cycle ORC. Le fluide de travail (eau + ammoniac) est bouilli en utilisant la chaleur dégagée par la source chaude. Ensuite, le fluide pénètre dans un séparateur et se divise en deux :

- la phase vapeur avec une grande concentration d'ammoniac qui entre par la suite dans la turbine à expansion qui fait tourner le générateur d'électricité.
- 25 - la phase liquide avec une faible concentration est utilisée dans le régénérateur. Par la suite les deux flux sont fusionnés dans le condenseur, où le fluide se condense en donnant de la chaleur à la source froide. Le fluide en sortie du condenseur est préchauffé dans le régénérateur et le même cycle recommence.

30 Le cycle de Kalina est un cycle qui présente la particularité de faire varier les concentrations du fluide caloporteur (eau + ammoniac) afin de

faire évoluer les points de fonctionnement. En effet, au niveau de l'échangeur la concentration en ammoniac est élevée, ce qui rend la température d'évaporation faible. Ainsi on peut évaporer le fluide à une température moins élevée. Si la concentration en ammoniac est faible, cela rend la température de condensation plus élevée et il devient donc plus facile de condenser la vapeur puisque le liquide qui va servir à condenser (source froide) n'aura pas besoin d'être très froid.

Cycle d'Uehara :

<http://www.thermoptim.org/sections/technologies/systemes/cycle-uehara>

Ce cycle utilise également de l'eau et de l'ammoniac comme fluide de travail à concentration fixe en ammoniac, mais son efficacité théorique est supérieure à Kalina et ce cycle est surtout adapté à des températures de la source chaude entre 20 et 30 °C.

Ce cycle de production d'électricité utilisant l'énergie thermique des mers est une amélioration du cycle de Kalina. Sa principale particularité est de simplifier le changement de composition du mélange eau-ammoniac en recourant à une détente étagée avec prélèvement.

Tout comme pour le cycle de Kalina, l'intérêt de ce cycle est de remplacer les évaporations et condensations à température constante du fluide de travail par des évolutions avec glissement de température, et donc de réduire les irréversibilités du système.

Dans ce cycle, un mélange riche en ammoniac est chauffé dans un économiseur et un vaporiseur, dont il sort à l'état diphasique. Les phases vapeur et liquide sont alors séparées, la première étant détendue jusqu'à une pression intermédiaire dans une turbine.

Une partie de ce flux détendu est re-circulée à moyenne pression, puis refroidie par échange avec le mélange de base, auquel elle est mélangée, pour former le fluide de travail, qui est ensuite remis en pression.

Le flux principal sortant de la turbine est détendu jusqu'à la basse pression dans une deuxième turbine puis dirigé vers un absorbeur, où il est mélangé avec la fraction liquide sortant du séparateur et préalablement refroidie dans le régénérateur par échange avec le fluide de travail sortant

de la pompe riche, puis détendue à la basse pression. En sortie d'absorbeur, le mélange de base obtenu est condensé avant d'être comprimé à la pression intermédiaire.

En pratique, une installation OTEC de 100MW fonctionnant avec un cycle d'Uehara présente les caractéristiques suivantes :

- Puissance électrique nette : 64MW
- Production électrique journalière de 1,5GWh
- Production électrique annuelle de 514GWh
- Production journalière d'eau douce : 120000m³/jour
- Débit d'eau de mer chaude : 111m³/s (= 111111kg/s)
- Débit d'eau de mer froide : 111m³/s (111111kg/s)
- Besoin électrique (généralement pour les pompes) : 23MW.

Les inconvénients majeurs des systèmes OTEC, et notamment des systèmes OTEC basés sur le cycle d'Uehara sont :

- les débits très importants d'entrée d'eau de mer chaude et froide et leurs effets potentiels sur l'environnement.
- l'aspiration d'eau à grande profondeur (généralement 1000 mètres) pour le condenseur, ce qui réduit fortement le rendement du système.

Objectif de l'invention

L'invention vise à proposer une nouvelle solution technique de traitement par évaporation/condensation d'eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, telle que notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac, ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine. La solution de l'invention permet d'améliorer les rendements de conversion d'énergie et les coûts de mise en œuvre.

Résumé de l'invention

L'invention a ainsi pour premier objet une installation de traitement, par évaporation et condensation, d'eau sous forme liquide pompée en milieu naturel. Ladite installation comporte un dispositif d'évaporation, qui comprend une enceinte d'évaporation destinée à contenir de l'eau sous forme liquide, et un échangeur thermique, qui comporte des moyens de

refroidissement, et qui permet au moins de condenser la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation. Ladite installation comprend des moyens d'alimentation en eau, qui permettent de pomper de l'eau sous forme liquide en milieu naturel, et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac
5 ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine, et d'alimenter l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, de telle sorte que cette eau sous forme liquide pompée en milieu naturel traverse ou soit en contact avec lesdits moyens de refroidissement et permette le refroidissement de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte
10 d'évaporation. Lesdits moyens d'alimentation en eau permettent également d'évacuer une partie de l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation. Ledit dispositif d'évaporation comprend des moyens d'alimentation en gaz permettant d'introduire un gaz dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation, de manière à former des
15 bulles de gaz dans ladite eau, et ainsi de favoriser l'évaporation de l'eau contenue dans l'enceinte d'évaporation.

Plus particulièrement, l'installation de l'invention peut comporter les caractéristiques additionnelles et optionnelles suivantes, prises isolément, ou en combinaison les unes avec les autres :

- 20 - Lesdits moyens de refroidissement de l'échangeur thermique sont positionnés à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation, et les moyens d'alimentation en eau permettent de faire circuler à travers lesdits moyens de refroidissement de l'échangeur thermique ladite eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, et permettent d'alimenter
25 l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, après son passage à travers les moyens de refroidissement de l'échangeur thermique.
- Au moins une partie des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique est positionnée à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation, de
30 manière à pouvoir être refroidie par l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

- 5 - Les moyens de refroidissement de l'échangeur thermique comportent un circuit d'évaporation/condensation fermé, dans lequel peut circuler en boucle fermée un fluide de travail, et qui comprend un évaporateur dudit fluide de travail et un condenseur dudit fluide de travail ; l'évaporateur permet la condensation de la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation.
- 10 - Lesdits moyens d'alimentation en eau permettent de refroidir le fluide de travail lors de son passage dans ledit condenseur, avec de l'eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, et permettent d'alimenter l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide après son réchauffement par le fluide de travail dans le condenseur.
- 15 - L'évaporateur est positionné à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation et le condenseur est positionné dans l'enceinte d'évaporation, de manière à pouvoir être immergé dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.
- 20 - Ledit échangeur thermique constitue un système de production d'électricité qui permet de condenser la vapeur issue de l'enceinte d'évaporation et de récupérer l'énergie de cette condensation en la transformant en énergie électrique.
- 25 - Ledit échangeur thermique comporte une turbine, qui est montée entre l'évaporateur et le condenseur, et qui est actionnée par le fluide de travail à l'état de vapeur, de manière à produire de l'énergie électrique.
- 30 - L'échangeur thermique est conçu pour mettre en œuvre un cycle de Kalina, ou un cycle d'Uehara ou un cycle de Rankine, ou un cycle dérivé de l'un ou l'autre de ces cycles.
- Les moyens de refroidissement de l'échangeur thermique comportent un circuit de refroidissement, qui est destiné à être en contact avec la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation, et dans lequel circule un liquide caloporteur, et dans laquelle lesdits moyens d'alimentation

- en eau permettent d'introduire et de faire circuler dans ledit circuit de refroidissement ladite l'eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, laquelle eau pompée en milieu naturel fait office de liquide caloporteur dans le circuit de refroidissement, et permettent
- 5 d'alimenter l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide issue du circuit de refroidissement après son réchauffement par la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation.
- Les moyens d'alimentation en gaz comportent un compresseur permettant d'aspirer du gaz et de la vapeur d'eau à l'intérieur de

10 l'enceinte d'évaporation et d'alimenter l'échangeur thermique avec du gaz et de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation ; l'enceinte d'évaporation comporte une ouverture d'admission par laquelle, lorsque le compresseur fonctionne, du gaz est aspiré et introduit dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte

15 d'évaporation.

 - L'ouverture d'admission de l'enceinte d'évaporation est une admission d'air communiquant à l'air libre, par laquelle de l'air est introduit dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

20

 - L'ouverture d'admission de l'enceinte d'évaporation, par laquelle du gaz est introduit dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation, est équipée d'une vanne de contrôle de débit du gaz.
 - Le compresseur permet de chauffer le gaz et la vapeur d'eau lors de

25 leur passage à travers le compresseur. - Les moyens d'alimentation en gaz comportent un compresseur, une tubulure d'admission d'un gaz dans le compresseur et une tubulure de sortie, qui permet l'injection du gaz délivré par le compresseur dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

30

 - Les moyens d'alimentation en gaz permettent de réguler automatiquement le débit d'alimentation du gaz entrant dans l'eau

sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

- Les moyens d'alimentation en gaz permettent de recycler le gaz provenant de l'enceinte d'évaporation en le réinjectant en tout ou partie dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.
- Les moyens d'alimentation en eau permettent d'alimenter l'enceinte d'évaporation avec de l'eau à une température supérieure à la température de l'eau sortant de l'enceinte d'évaporation.
- Les moyens d'alimentation en eau sont aptes à réguler automatiquement le débit d'eau entrant dans l'enceinte d'évaporation de manière à entretenir l'évaporation de l'eau dans l'enceinte d'évaporation.
- Le gaz introduit dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation est de l'air ou un mélange à base d'air.
- Le gaz introduit dans l'eau comprend un gaz inerte, et notamment de l'hélium.
- Les moyens d'alimentation en gaz permettent l'évaporation de l'eau contenue dans l'enceinte à une température d'évaporation inférieure à la température d'ébullition de ladite eau.
- L'installation est, conçue pour évaporer un volume d'eau liquide à une température d'évaporation inférieure à 100°C, de préférence inférieure à 50°C, et plus préférentiellement encore inférieure à 25°C.
- Les moyens d'alimentation en gaz permettent d'introduire de l'air dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation en prélevant tout ou partie de cet air dans l'air ambiant à l'extérieur de l'enceinte.

L'invention a également pour objet un procédé de traitement d'eau sous forme liquide, par évaporation/condensation, dans lequel on évapore, dans une enceinte d'évaporation d'un dispositif d'évaporation, une partie de l'eau sous forme liquide contenue dans cette enceinte d'évaporation, et on condense la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation au moyen d'un échangeur thermique, dans lequel on pompe de l'eau sous forme

liquide en milieu naturel, et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine, et on alimente l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide, de telle sorte que cette eau sous forme liquide pompée en milieu naturel traverse ou soit en contact avec
5 lesdits moyens de refroidissement et permette le refroidissement de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation, dans lequel on évacue de l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation, de manière à renouveler l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation, et dans lequel on introduit un gaz dans l'eau sous forme
10 liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation, de manière à former des bulles de gaz dans cette eau et ainsi favoriser l'évaporation de l'eau contenue dans l'enceinte d'évaporation.

Plus particulièrement, le procédé de l'invention peut comporter les caractéristiques additionnelles et optionnelles suivantes, prises isolément,
15 ou en combinaison les unes avec les autres :

- Lesdits moyens de refroidissement de l'échangeur thermique sont positionnés à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation, on fait circuler cette eau sous forme liquide pompée en milieu naturel à travers les moyens de refroidissement dudit échangeur thermique, et on introduit
20 cette eau dans l'enceinte d'évaporation, après qu'elle ait été réchauffée lors de son passage dans les moyens de refroidissement de l'échangeur thermique.
- Au moins une partie des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique est positionnée à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation, et on introduit dans l'enceinte d'évaporation l'eau sous forme liquide,
25 pompée en milieu naturel, de telle sorte que ladite partie des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique positionnée à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation est immergée dans le l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.
- Les moyens de refroidissement dudit échangeur thermique
30 comportent un circuit fermé, qui contient un fluide de travail, et qui

- comprend un évaporateur dudit fluide de travail et un condenseur dudit fluide travail ; on condense la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation en l'amenant au contact de l'évaporateur ; on fait circuler ledit fluide de travail dans ledit circuit fermé, de manière à évaporer le fluide de travail lors de son passage dans l'évaporateur et à condenser ledit fluide de travail lors de son passage dans le condenseur ; on refroidit ledit fluide de travail dans ledit condenseur avec de l'eau sous forme liquide pompée en milieu naturel.
- 5
- On alimente l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, après son réchauffement par le fluide de travail.
- 10
- On produit de l'électricité en récupérant une partie au moins de l'énergie de condensation de ladite vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation.
- 15
- Avant le passage du fluide de travail dans le condenseur, on utilise le fluide de travail pour faire tourner au moins une turbine électrique.
 - On condense la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation en la mettant en contact avec le circuit de refroidissement des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique ; on fait circuler, dans ledit circuit de refroidissement, ladite l'eau sous forme liquide qui est pompée en milieu naturel, et qui fait office de fluide caloporteur dudit circuit de refroidissement, et on alimente l'enceinte d'évaporation avec ladite eau sous forme liquide issue du circuit de refroidissement après son réchauffement par la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation.
- 20
- 25
- L'enceinte d'évaporation est à une pression supérieure ou égale à la pression atmosphérique.
 - L'enceinte d'évaporation est mise en dépression.
 - On régule automatiquement la pression dans l'enceinte d'évaporation au dessus du liquide.
- 30
- On régule automatiquement le débit de gaz entrant dans le l'eau sous

forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

- On remplace continuellement une partie de l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation avec de l'eau à une température supérieure à la température de l'eau qui est évacuée en dehors l'enceinte d'évaporation.
- 5
- On régule automatiquement le débit de liquide entrant dans l'enceinte d'évaporation.
- Le gaz introduit dans le liquide est de l'air ou un mélange gazeux à base d'air.
- 10
- Le gaz introduit dans l'eau sous forme liquide comporte un gaz inerte et notamment de l'hélium.
- On évapore une partie de l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation à une température d'évaporation inférieure à la température d'ébullition de ladite eau.
- 15
- On évapore une partie de l'eau dans l'enceinte d'évaporation à une température d'évaporation inférieure à 100°C, et de préférence inférieure à 50°C, et plus préférentiellement inférieure à 25°C.
- On récupère l'eau issue de la condensation de la vapeur d'eau.
- Une partie au moins du gaz injecté dans l'eau sous forme liquide
- 20
- contenue dans l'enceinte d'évaporation est de l'air prélevé dans l'air ambiant.
- Une partie au moins du gaz injecté dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation est recyclé en étant réinjecté dans le liquide contenu dans l'enceinte d'évaporation.
- 25
- L'invention a également pour objet une utilisation de l'installation susvisée ou du procédé susvisé :
- pour produire de l'électricité à partir d'eau pompée en milieu naturel et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine,
- 30
- ou
- pour purifier et le cas échéant dessaler et/ou dépolluer de l'eau

pompée en milieu naturel et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine,

ou

- pour refroidir et/ou dépolluer le gaz injecté dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

Brève description des figures

Les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée ci-après de plusieurs variantes particulières de réalisation de l'invention, lesquelles variantes particulières de réalisation sont décrites à titre d'exemples non limitatifs et non exhaustifs de l'invention, et en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- La figure 1 représente de manière schématique une variante de réalisation d'un dispositif d'évaporation de l'invention.
- La figure 2 représente des exemples de courbes de fonctionnement du dispositif de la figure 1, montrant l'évolution dans le temps de la température de l'eau dans l'enceinte d'évaporation pour différents volumes d'eau initiaux (2l, 1l, 2l) et avec différents débits d'air (4l/s ; 6l/s ; 6l/s).
- La figure 3 représente de manière schématique une première variante de réalisation d'une installation de l'invention permettant la production d'électricité par évaporation/condensation d'eau pompée en milieu naturel, et par exemple de l'eau de mer.
- La figure 4 représente de manière schématique une deuxième variante de réalisation d'une installation de l'invention permettant la production d'électricité par évaporation/condensation d'eau pompée en milieu naturel, et par exemple de l'eau de mer.
- La figure 5 représente de manière schématique une troisième variante de réalisation d'une installation de l'invention permettant la production d'électricité par évaporation/condensation d'eau pompée en milieu naturel, et par exemple de l'eau de mer.

- Les figures 6 à 8 représentent respectivement de manière schématique des installations pour le traitement par évaporation/condensation d'eau pompée en milieu naturel, et par exemple pour la désalinisation d'eau de mer, dans lesquels ladite eau pompée en milieu naturel fait office de fluide caloporteur dans un circuit de refroidissement utilisé pour la condensation de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation de l'installation.
- La figure 9 représente de manière schématique une troisième variante de réalisation d'une installation de l'invention permettant la production d'électricité par évaporation/condensation d'eau pompée en milieu naturel, et par exemple de l'eau de mer.

Description détaillée

Figures 1 et 2

On a représenté de manière schématique sur la figure 1, un exemple de dispositif d'évaporation 1 expérimental.

Ce dispositif 1 comporte :

- une enceinte d'évaporation 10 contenant un volume initial de liquide 11 à évaporer, et par exemple un volume d'eau.
- des moyens d'alimentation 12 permettant d'introduire un gaz, et par exemple de l'air, dans le liquide 11, de manière à former des bulles de gaz 13 dans le liquide.

Les moyens d'alimentation 12 comportent plus particulièrement un compresseur 121, une conduite d'admission 120 permettant d'alimenter le compresseur 121 avec de l'air ambiant, et une conduite de sortie 122, reliée à une extrémité à la sortie du compresseur 121, et ayant son autre extrémité plongée dans le liquide 11, de sorte que l'air produit par le compresseur 121 est introduit dans le liquide 11, à proximité du fond de l'enceinte 10.

Le passage d'un gaz, tel que de l'air, à travers le liquide 11 provoque une ébullition forcée à basse température (en l'occurrence à température ambiante) qui permet d'améliorer le rendement de l'évaporation. Ceci peut s'expliquer par le fait que les bulles de gaz 13, qui

sont créées de manière forcée dans le liquide par le gaz, se chargent en vapeur (vapeur d'eau si le liquide 11 est de l'eau), en prélevant de la chaleur latente L_v au liquide 11 et en refroidissant ainsi le liquide dans l'enceinte 10. Sous l'effet de la poussée d'Archimède, les bulles 13 du gaz chargées de

5 vapeur montent de plus en plus vite pour éclater en surface de l'eau.

Il est à noter que le gaz peut être simplement de l'air ou tout autre gaz, et par exemple et de manière non limitative et non exhaustive, un mélange gazeux à base d'air, ou un gaz inerte, et notamment de l'hélium.

Le dispositif de la figure 1 a été testé dans les conditions

10 suivantes :

- Enceinte 10 en plastique contenant un volume initial d'eau 11 à une température de 19,5°C pour la courbe avec un débit d'air de 4l/s et de 17°C pour les deux autres courbes avec un débit d'air d 6l/s.
- Température du jet d'air en sortie du compresseur 121 : 17°C

15

- Pression du jet d'air en sortie du compresseur 121: 2 bars
- Débit du jet d'air en sortie du compresseur 121: modifiable
- Température ambiante : 20,3°C.

La figure 2 montre l'évolution dans le temps de la température de l'eau dans l'enceinte 10 pour différents volumes d'eau initiaux (2l ; 1l ; 2l) et avec différents débits d'air (4l/s ; 6l/s ; 6l/s).

20

Les courbes de la figure 2 montrent que plus le débit du gaz augmente, et plus la température du liquide dans l'enceinte 10 chute rapidement. Cette chute de température correspond à l'évaporation d'une certaine quantité de liquide. En contrôlant le débit de gaz à l'entrée de

25 l'enceinte, on agit ainsi sur la vitesse d'évaporation du liquide et sur la quantité de vapeur produite dans le temps.

Ainsi, l'introduction d'un gaz, et en particulier d'air, dans le liquide 11 contenu dans l'enceinte d'évaporation 10 permet avantageusement de créer des bulles de gaz 13, et plus particulièrement de bulles d'air, qui permettent

30 l'accélération de l'évaporation.

Figure 3 : Production d'énergie électrique - 1ère variante

On a représenté sur la figure 3, une variante de réalisation d'une installation qui est conforme à l'invention, et qui permet de produire de l'électricité à partir de la conversion de l'énergie thermique d'eau, pompée sous forme liquide en milieu naturel, et par exemple de l'eau de mer, l'eau
 5 d'un lac, ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau d'une source naturelle souterraine

Cette installation comporte un dispositif d'évaporation 1' par ébullition forcée, raccordé à un échangeur thermique 3 qui, dans cette variante, permet plus particulièrement la production d'énergie électrique, à
 10 partir de la condensation de la vapeur d'eau issue du dispositif d'évaporation 1'.

Le dispositif d'évaporation 1' comporte une enceinte d'évaporation 10 destinée à contenir de l'eau 11, qui a été pompée sous forme liquide en milieu naturel.

15 Cette enceinte d'évaporation 10 comporte :

- en partie basse, une ouverture d'admission d'air 10b qui communique avec l'air libre à l'extérieur de l'enceinte,
- en partie supérieure, une ouverture 10a qui permet l'évacuation de l'air et de la vapeur d'eau.

20 Cette enceinte d'évaporation 10 comporte un fond 100 dans lequel est ménagée une ouverture 100a pour son alimentation avec de l'eau pompée sous forme liquide en milieu naturel.

En partie haute, l'enceinte d'évaporation 10 comporte également une ouverture 10c pour l'évacuation de l'eau liquide 11 contenue dans
 25 l'enceinte.

L'échangeur thermique 3 pour la production d'électricité permet la mise en œuvre d'un cycle thermodynamique fermé, de type cycle Rankine.

Il comporte une unité de condensation 30, comprenant une enceinte de condensation 300, qui communique avec l'ouverture d'évacuation 10a de
 30 l'enceinte d'évaporation 10, et qui permet la condensation de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation 10.

La récupération d'une partie au moins de l'énergie de condensation de la vapeur d'eau et sa transformation en énergie électrique sont effectuées par un système de conversion d'énergie de type Rankine, qui comporte un circuit fermé 31, dans lequel circule en boucle fermée un fluide de travail caloporteur. Ce circuit fermé 31 comprend un évaporateur 310 dudit fluide de travail (source froide du cycle Rankine), qui est en forme de serpentín, et qui est positionné dans ladite enceinte de condensation 300, et un condenseur 311 dudit fluide de travail (source chaude du cycle Rankine), qui est en forme de serpentín, et qui est positionné à l'extérieur de l'enceinte de condensation 300. De manière connue en soi, sur le parcours du fluide de travail est en outre interposé un compresseur 312 entre la sortie du condenseur 311 et l'entrée de l'évaporateur 310.

L'échangeur thermique 3 comprend également une turbine 32, qui permet la production d'électricité au moyen du fluide de travail F, et qui est montée sur le parcours du fluide de travail, entre l'évaporateur 310 du fluide de travail et le condenseur 311 du fluide de travail

Le fluide de travail F est par exemple un mélange d'eau et d'ammoniac.

L'installation comporte également des moyens d'alimentation 12 permettant d'introduire de manière forcée de l'air dans l'eau 11 contenue dans l'enceinte 10.

Ces moyens d'alimentation 12 comportent un compresseur 121 dont l'admission est raccordée à l'ouverture d'évacuation 10a de l'enceinte d'évaporation 10 par une conduite 120, et dont la sortie est raccordée à une entrée de l'enceinte de condensation 300 par une conduite 122, et une vanne de contrôle de débit d'air 123 qui est montée sur l'ouverture d'admission 10b de l'enceinte d'évaporation 10.

Plus particulièrement, un filtre (non représenté) peut être monté en sortie de l'enceinte d'évaporation 10, et en amont du compresseur 121, afin d'éviter l'encrassement de l'installation en aval du dispositif d'évaporation 1'.

L'installation comporte également des moyens d'alimentation en eau

14, comportant une pompe hydraulique 140, qui permet de pomper de l'eau L sous forme liquide en milieu naturel, telle que par exemple de l'eau de mer, de l'eau d'un lac, de l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine.

5 Cette pompe hydraulique 140 est raccordée en sortie à une extrémité d'une conduite d'alimentation en eau 141. L'autre extrémité de la conduite d'alimentation en eau 141 est raccordée à l'ouverture d'admission 144a d'un circuit de refroidissement 144, qui est en contact avec le condenseur 311, et qui permet de refroidir le fluide de travail F circulant dans le condenseur 311. L'ouverture d'évacuation 144b de ce circuit de
10 refroidissement 144 est raccordée à une extrémité d'une conduite 142, qui est raccordée à son autre extrémité à l'ouverture 100a dans le fond 100 de l'enceinte d'évaporation 10.

Les moyens d'alimentation en eau 14 comportent également une conduite d'évacuation 143 verticale qui est raccordée à l'ouverture 10c de
15 l'enceinte d'évaporation, et qui permet l'évacuation par gravité d'une partie de l'eau 11 contenue dans l'enceinte 10.

La sortie 143a de cette conduite d'évacuation 143, qui est située en contrebas de l'enceinte d'évaporation 10, est par exemple, mais non nécessairement, plongée dans la même source d'eau naturelle (mer, océan,
20 lac, cours d'eau...) que celle dans laquelle la pompe 140 hydraulique pompe de l'eau.

En fonctionnement on pompe, au moyen de la pompe hydraulique 140, de l'eau froide L sous forme liquide à une température T_f en milieu naturel, et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours
25 d'eau, ou de l'eau souterraine ; on fait circuler cette eau pompée en milieu naturel dans le circuit de refroidissement 144, ce qui permet de refroidir le condenseur 311, et de condenser le fluide caloporteur F lors de son passage dans le condenseur 311. Cette eau L est ainsi réchauffée lors de son passage dans le circuit de refroidissement 144.

30 Puis on introduit cette eau L sous forme liquide et réchauffée à une température $T_f + \Delta T_1$ dans l'enceinte d'évaporation 10, par l'ouverture

d'admission 100a dans le fond 100 de l'enceinte 10, ce qui permet de renouveler et réchauffer l'eau sous forme liquide contenue dans cette enceinte 10.

Lorsque le niveau d'eau dans l'enceinte d'évaporation 10 est
5 suffisant, une partie de l'eau contenue dans l'enceinte 10 est automatiquement évacuée par l'ouverture 10c et par la conduite 143. La température ($T_f + \Delta T_1$) de l'eau sous forme liquide entrant dans l'enceinte d'évaporation 10 est supérieure à la température ($T_f - \Delta T_2$) de l'eau sous forme liquide sortant de l'enceinte d'évaporation 10 par l'ouverture 10c.

10 Le débit de la pompe 140 est réglé ou est régulé automatiquement, de manière à continuellement apporter de l'énergie thermique en quantité suffisante pour maintenir le volume d'eau 11 dans l'enceinte 10 à une température suffisamment élevée pour que le phénomène d'évaporation ne s'arrête pas.

15 Ce débit de la pompe 140 peut être fixe ou peut avantageusement être régulé automatiquement, par exemple à partir d'une détection de niveau de liquide dans l'enceinte 10, afin de maintenir dans le temps un niveau minimum de liquide dans l'enceinte, et/ou par exemple à partir d'une détection de la température de liquide 11 dans l'enceinte 10, de manière à
20 maintenir dans le temps la température du liquide au-dessus d'un seuil de température minimum conditionnant l'évaporation du liquide.

Parallèlement, le compresseur 121 fonctionne et aspire du gaz (en l'espèce de l'air) et de la vapeur d'eau en partie haute de l'enceinte d'évaporation 10, et crée une dépression dans l'enceinte d'évaporation 10
25 au dessus du niveau d'eau. Cette dépression permet une aspiration de l'air à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation à travers la vanne 123 et l'ouverture d'admission 10b de l'enceinte 10, et permet ainsi d'introduire de manière forcée de l'air en provenance de l'extérieur de l'enceinte 10 dans le volume d'eau liquide 11 contenu dans l'enceinte 10.

30 De manière comparable à ce qui a été décrit précédemment, cet air forme des bulles d'air 13 (ébullition forcée) dans l'eau liquide 11 qui

remontent à la surface de l'eau et qui favorisent l'évaporation de l'eau.

En réglant ou régulant le débit d'air entrant dans l'enceinte 10 au moyen de la vanne 123 de contrôle de débit d'air, on contrôle avantageusement la quantité de vapeur produite dans le temps.

5 La dépression à l'intérieur de l'enceinte créée par le compresseur 121 et cette ébullition forcée de l'eau liquide dans l'enceinte 10 permettent avantageusement la production de vapeur d'eau avec de l'eau à basse température, et par exemple avec de l'eau à température ambiante ($T_f + \Delta T_1$ par exemple comprise entre 15°C et 60°C)

10 L'air et la vapeur d'eau produite en partie haute de l'enceinte d'évaporation 10 sont aspirés par le compresseur 121, et sont refoulés par le compresseur 121 dans l'enceinte de condensation 300, en ayant été chauffés de plusieurs degrés Celsius dans le compresseur 121.

15 La vapeur d'eau est condensée dans l'enceinte 300 au contact de l'évaporateur 310 et cède une partie des calories au fluide de travail F, ce qui réchauffe et évapore le fluide de travail F dans l'évaporateur 310.

Ce fluide de travail F sous forme de vapeur permet de faire tourner la turbine 32 qui produit l'électricité.

20 Une fois qu'il est passé à travers la turbine 32, le fluide de travail F sous forme de vapeur est refroidi dans le condenseur 311, puis est remis en circulation vers l'évaporateur 310 par le compresseur 312 interposé entre la sortie du condenseur 311 et l'entrée de l'évaporateur 310.

25 L'eau provenant de la condensation de la vapeur d'eau dans l'enceinte 300 est recueillie en partie basse de l'enceinte 300 et est évacuée par la sortie 300a. L'air sec après condensation est évacué de l'enceinte 300 de condensation par sortie d'air 300b.

30 Lorsque la pompe hydraulique 140 prélève de l'eau salée (eau prélevée dans la mer ou dans un océan), l'eau provenant de la condensation de la vapeur d'eau dans l'enceinte 300 et recueillie en partie basse de l'enceinte 300 est de l'eau douce, l'installation permettant ainsi, en plus de la production d'électricité, de produire de l'eau douce en dessalant de l'eau de

mer. Cette eau douce peut avantageusement être récupérée en étant évacuée de l'enceinte de condensation 300 dans un circuit de récupération d'eau douce.

5 Egalement, s'agissant d'eau salée ou d'eau douce prélevée en milieu naturel, et susceptible de contenir des polluants, l'évaporation/condensation de cette eau dans l'installation permet de récupérer, à la sortie 300a de l'enceinte d'évaporation 300, de l'eau purifiée dépolluée.

10 L'introduction forcée d'air dans l'enceinte d'évaporation 10 permet avantageusement de générer de la vapeur d'eau à basse température (par exemple à une température inférieure 20°C), sans qu'il ne soit nécessaire de créer le vide dans l'enceinte d'évaporation 10. A titre d'exemple, la dépression créée par le compresseur 121 à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation au dessus du niveau d'eau peut par exemple être comprise
15 entre 0.1bars et 0.5bars.

Cette vapeur à basse température permet avantageusement un transfert de chaleur par condensation plus efficace, et permet par conséquent la mise en œuvre d'une source (fluide de travail dans l'évaporateur 310) qui est moins froide, pour récupérer par condensation
20 l'énergie stockée dans la vapeur afin de la transformer en énergie électrique. Il n'est donc plus nécessaire, contrairement aux systèmes traditionnels OTEC, de pomper de l'eau très froide, et notamment de l'eau de mer à très grande profondeur pour refroidir le condenseur 311, mais cette eau moins froide (T_f par exemple comprise entre 15°C et 30°C) peut
25 avantageusement être pompée à proximité de la surface, et les rendements de conversion d'énergie sont améliorés.

L'utilisation de la vapeur d'eau avec ébullition forcée permet également de réduire le besoin en structure et en nombre de pompes (actuellement les systèmes OTEC de 100MW nécessitent des pompes
30 ayant un débit cumulé de 111m³/s pour pomper l'eau de mer chaude). Dans l'installation de la figure 3, la pompe à eau 140 peut en comparaison avoir

un débit relativement faible.

L'invention permet ainsi d'extraire de l'énergie thermique de l'eau en milieu naturel, et notamment d'eau de mer avec une consommation d'énergie plus faible que les systèmes OTEC traditionnels.

5 Les performances de l'installation de l'invention dépendent de la température de l'eau qui est pompée en milieu naturel par la pompe à eau 140. Les performances de l'installation de l'invention peuvent être améliorées en augmentant la température de l'air introduit dans le liquide 11, car cet air chaud cédera son énergie excédentaire à la vapeur d'eau.

10 Dans une variante de l'invention, les parois de l'enceinte d'évaporation 10 peuvent également être chauffées avec un système de chauffage additionnel.

Dans une autre variante, l'air introduit dans l'enceinte 10 peut être remplacé par un autre gaz, et par exemple un mélange gazeux à base d'air, 15 ou un gaz inerte, et plus particulièrement de l'hélium.

L'installation de la figure 3 peut également être modifiée de manière à mettre en œuvre un cycle thermodynamique fermé, de type cycle de Kalina, cycle d'Uehara, ou un dérivé de l'un et/ou l'autre de ces cycles, l'eau pompée en milieu naturel étant également utilisée pour le refroidissement 20 d'un fluide de travail utilisé dans ce cycle thermodynamique fermé.

Figure 4 : Production d'énergie électrique - 2^{ème} variante

Dans une autre variante illustrée sur la figure 4, le gaz (en l'espèce de l'air prélevé dans l'environnement ambiant) est introduit dans l'enceinte 10 de la même manière que pour la figure 1, c'est-à-dire en utilisant un 25 compresseur 121 qui permet de souffler (et non plus d'aspirer) ce gaz dans le volume de liquide 11 contenu dans l'enceinte 10. Dans ce cas, l'ouverture d'évacuation 10a de l'enceinte d'évaporation 10 peut également être raccordée directement à l'entrée de l'enceinte de condensation 300 par une conduite, ou tout autre moyen équivalent, permettant de faire communiquer 30 la partie haute de l'enceinte d'évaporation 10 avec l'enceinte de condensation 30. Dans cette variante l'enceinte d'évaporation 10, au dessus

du niveau de l'eau 11, est à la pression atmosphérique.

Figure 5 : Production d'énergie électrique - 3^{ème} variante

L'installation peut fonctionner en circuit fermé tel qu'illustré sur la figure 5, en recyclant, via le compresseur 121, l'air sec issu du système de condensation 30. Sur cette figure 4, une électrovanne EV est montée sur la tubulure d'admission 120.

Cette modification permet de réduire la consommation électrique du ou des compresseurs 121. En effet, l'utilisation de compresseur en circuit fermé nécessite moins d'énergie, car le même air est utilisé en permanence pour le fonctionnement du système.

Une ou plusieurs sondes de température ST peuvent être positionnées au sein du circuit de circulation d'air, afin de contrôler la température d'air de fonctionnement et de piloter automatiquement l'électrovanne d'admission d'air EV, s'il s'avère nécessaire de faire entrer de l'air ambiant dans le circuit afin d'augmenter la température ou de changer entièrement l'air de fonctionnement.

Figure 6 : installation de traitement par évaporation/condensation d'eau prélevée en milieu naturel

On a représenté sur la figure 6, une installation de traitement par évaporation/condensation d'eau prélevée en milieu naturel, qui est similaire à l'installation de la figure 3 précédemment décrite en ce qu'elle comporte les mêmes éléments suivants : dispositif d'évaporation 1' ; moyens d'alimentation 12 comportant un compresseur 121 et une vanne 123 de contrôle de débit d'air ; moyens 14 d'alimentation en eau permettant de pomper de l'eau sous forme liquide en milieu naturel.

Cette installation de la figure 6 comporte un échangeur thermique 3', qui permet également la condensation de la vapeur d'eau provenant du dispositif d'évaporation 1', mais qui est différent de l'échangeur thermique 3 de l'installation de la figure 3

Cet échangeur thermique 3' comporte une unité de condensation 30, qui comporte une enceinte de condensation 300 communiquant avec

l'enceinte d'évaporation 10 du dispositif d'évaporation 1', et un circuit de refroidissement 301 en forme de serpentin, qui est positionné dans l'enceinte d'évaporation 300, et dans lequel circule un liquide caloporteur

Dans l'installation de la figure 6, la sortie de la pompe hydraulique 140 est raccordée à l'entrée 301a du circuit de refroidissement 301 par une conduite 141, et la sortie 301b du circuit de refroidissement 301 est raccordée à l'ouverture d'admission 100a de l'enceinte 10 par une conduite 142.

En fonctionnement, la pompe hydraulique 140 permet pomper de l'eau de milieu naturel à une température T_f , de faire circuler dans le circuit de refroidissement 301 cette l'eau pompée en milieu naturel et faisant office de liquide caloporteur du circuit de refroidissement 301. En sortie du circuit de refroidissement 301, l'eau qui été réchauffée (température $T_f + \Delta T_1$), suite aux échanges thermiques découlant de la condensation dans l'enceinte 300 de la vapeur d'eau provenant du dispositif d'évaporation 1', est introduite dans l'enceinte d'évaporation 10 à travers l'ouverture d'admission 100a.

Les mêmes avantages précédemment décrits pour l'installation de la figure 3 sont obtenus avec l'installation de la figure 6.

Il est possible de modifier cette installation de la figure 6, de telle sorte que le gaz, qui est introduit dans le volume d'eau liquide 11 contenue dans l'enceinte d'évaporation 10, à travers l'ouverture d'admission 10b, ne soit pas de l'air prélevé dans l'air ambiant, mais soit un autre gaz.

Plus particulièrement, lorsque ce gaz est un gaz chaud et/ou un gaz contenant des polluants, le dispositif d'évaporation 1' permet dans ce cas le refroidissement de ce gaz et/ou la dissolution dans le liquide 11 des polluants contenus dans le gaz. Après passage dans le liquide 11, le gaz est refroidi et/ou dépollué.

Ce dispositif peut par exemple être utilisé pour le refroidissement et la dépollution d'un gaz issu d'un incinérateur et pouvant avoir une température de plusieurs centaines de degrés, le passage du gaz dans le liquide permettant de bloquer la propagation des polluants dans

l'atmosphère.

Figures 7 et 8

On a représenté sur la figure 7 une variante de réalisation mettant en œuvre un compresseur 121 qui permet de souffler (et non plus d'aspirer) un gaz dans le volume de liquide 11 contenu dans l'enceinte 10, de manière comparable à la variante de la figure 4.

On a représenté sur la figure 8 une variante de réalisation fonctionnant en circuit fermé de manière similaire à la variante de la figure 5, c'est-à-dire en recyclant, via le compresseur 121, l'air sec issu de l'unité de condensation 30.

Figure 9

On a représenté sur la figure 9 une autre variante de réalisation, dans laquelle l'évaporateur 310 de l'échangeur thermique 3'' est positionné à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation 10, et le condenseur 311 est positionné dans l'enceinte d'évaporation 10, de manière à pouvoir être immergé dans l'eau sous forme liquide 11 contenue dans l'enceinte d'évaporation 10.

Dans cette variante, la pompe 142 permet de pomper, en milieu naturel, de l'eau L sous forme liquide à une température T_f , et d'introduire cet eau directement dans l'enceinte d'évaporation 10, de telle sorte que le condenseur 311 de l'échangeur thermique 3'' est immergé dans l'eau sous forme liquide 11 contenue dans l'enceinte d'évaporation 10. Lors de son passage dans le condenseur 311, le fluide de travail F est ainsi refroidi par l'eau 11 contenue dans l'enceinte d'évaporation 10, puis est renvoyé sous forme liquide par le compresseur 312 dans l'évaporateur 310 pour permettre la condensation de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation 10.

REVENDEICATIONS

1. Installation de traitement, par évaporation et condensation, d'eau sous forme liquide pompée en milieu naturel, ladite installation comportant un dispositif d'évaporation (1'), qui comprend une enceinte d'évaporation (10) destinée à contenir de l'eau (11) sous forme liquide, et qui permet d'évaporer une partie de l'eau contenue dans l'enceinte d'évaporation (10), et des moyens d'alimentation en gaz (12) permettant d'introduire un gaz dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10), de manière à former des bulles de gaz dans ladite eau, et un échangeur thermique (3 / 3' / 3"), qui comporte des moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) et qui permet au moins de condenser la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10), ladite installation comprenant des moyens (14) d'alimentation en eau, qui permettent de pomper de l'eau sous forme liquide (L) en milieu naturel, et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine, de faire traverser dans lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) ou de mettre en contact avec lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) cette eau sous forme liquide (L) pompée en milieu naturel, de manière à permettre le refroidissement de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10), et d'alimenter l'enceinte d'évaporation (10) avec ladite eau sous forme liquide (L) pompée en milieu naturel après que cette eau sous forme liquide (L) a été réchauffée en ayant traversé ou en ayant été mise en contact avec lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301), dans laquelle l'enceinte d'évaporation (10) comporte des moyens d'évacuation (10c ; 143) d'une partie de l'eau sous forme liquide (L) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10) qui, permettent un renouvellement de l'eau sous forme liquide (L) à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation (10), de telle sorte que la température de l'eau sous forme liquide (L) contenue dans l'enceinte

(10) est maintenue à une température suffisante pour entretenir l'évaporation d'une partie de l'eau contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).

- 5 2. Installation selon la revendication 1, dans laquelle lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) de l'échangeur thermique (3 / 3') sont positionnés à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation (10), et les moyens (14) d'alimentation en eau permettent de faire circuler à travers lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301)
- 10 de l'échangeur thermique (3 / 3') ladite eau sous forme liquide (L) pompée en milieu naturel, et permettent d'alimenter l'enceinte d'évaporation (10) avec ladite eau sous forme liquide (L) pompée en milieu naturel, après son passage à travers les moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) de l'échangeur thermique (3 / 3').
- 15
3. Installation selon la revendication 1, dans laquelle au moins une partie (311) des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique (3'') est positionnée à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation (10), de manière à pouvoir être refroidie par l'eau sous forme liquide (11) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 20
4. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans laquelle les moyens de refroidissement de l'échangeur thermique (3/3'') comportent un circuit d'évaporation/condensation fermé (31), dans lequel peut circuler en boucle fermée un fluide de travail (F), et qui comprend un évaporateur (310) dudit fluide de travail (F) et un condenseur (311) dudit fluide de travail (F), et dans laquelle l'évaporateur (310) permet la condensation de la vapeur d'eau issue
- 25
- 30 de l'enceinte d'évaporation (10).

5. Installation selon les revendications 3 et 4 dans laquelle l'évaporateur (310) est positionné à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation (10) et le condenseur (311) est positionné dans l'enceinte d'évaporation (10), de manière à pouvoir être immergé dans l'eau sous forme liquide (11) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
6. Installation selon la revendication 5, dans laquelle ledit échangeur thermique (3/3'') comporte une turbine (32), qui est montée entre l'évaporateur (310) et le condenseur (311), et qui est actionnée par le fluide de travail (F) à l'état de vapeur, de manière à produire de l'énergie électrique.
7. Installation selon la revendication 2, dans laquelle les moyens de refroidissement de l'échangeur thermique (3') comportent un circuit de refroidissement (301), qui est destiné à être en contact avec la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation, et dans lequel circule un liquide caloporteur, et dans laquelle lesdits moyens d'alimentation en eau (14) permettent d'introduire et de faire circuler dans ledit circuit de refroidissement (301) ladite l'eau (L) sous forme liquide pompée en milieu naturel, laquelle eau (L) pompée en milieu naturel fait office de liquide caloporteur dans le circuit de refroidissement (301), et permettent d'alimenter l'enceinte d'évaporation (10) avec ladite eau sous forme liquide (L) issue du circuit de refroidissement (301) après son réchauffement par la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation (10).
8. Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle les moyens d'alimentation en gaz (12) comportent un compresseur (121) qui est positionné entre l'enceinte d'évaporation (10) et l'échangeur thermique (3/3'), et qui permet d'aspirer du gaz et

- de la vapeur d'eau à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation (10) et d'alimenter l'échangeur thermique (3 / 3') avec du gaz et de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10), et dans laquelle l'enceinte d'évaporation comporte une ouverture d'admission (10b) par laquelle, lorsque le compresseur (121) fonctionne, du gaz est aspiré et introduit dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 5
9. Installation selon la revendication 8 dans laquelle l'ouverture d'admission (10b) de l'enceinte d'évaporation (10) est une admission d'air communiquant à l'air libre, par laquelle de l'air est introduit dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 10
10. Installation selon la revendication 8 ou 9 dans laquelle l'ouverture d'admission (10b) de l'enceinte d'évaporation (10), par laquelle du gaz est introduit dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10), est équipée d'une vanne (123) de contrôle de débit du gaz.
- 15
- 20
11. Installation selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans laquelle les moyens d'alimentation en gaz (12) comportent un compresseur (121), une tubulure (120) d'admission d'un gaz dans le compresseur (121) et une tubulure de sortie (122), qui permet l'injection du gaz délivré par le compresseur (121) dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 25
- 30
12. Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le gaz introduit dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10) est de l'air ou un mélange à base d'air.

13. Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans laquelle le gaz introduit dans l'eau comprend un gaz inerte, et notamment de l'hélium.

5
14. Procédé de traitement d'eau sous forme liquide par évaporation/condensation, dans lequel on évapore, dans une enceinte d'évaporation (10) d'un dispositif d'évaporation (1'), une partie de l'eau (11) sous forme liquide contenue dans cette enceinte d'évaporation
10 (10), et on condense la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10) au moyen d'un échangeur thermique (3 / 3' / 3''), dans lequel on introduit un gaz dans l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10), de manière à former des bulles de gaz (13) dans cette eau, dans lequel on pompe de l'eau (L)
15 sous forme liquide en milieu naturel, et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine, on fait traverser dans lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) ou on met en contact avec lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) cette eau sous forme liquide (L) pompée en
20 milieu naturel, de manière à permettre le refroidissement de la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10), et on alimente l'enceinte d'évaporation (10) avec ladite eau sous forme liquide, après que cette eau sous forme liquide (L) a été réchauffée en ayant traversé ou en ayant été mise en contact avec lesdits moyens de
25 refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301), dans lequel on évacue une partie de l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10), de manière à renouveler l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10), de telle sorte que la température de l'eau sous forme liquide (L) contenue dans l'enceinte
30 (10) est maintenue à une température suffisante pour entretenir l'évaporation d'une partie de l'eau contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).

15. Procédé selon la revendication 14, dans lequel lesdits moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) de l'échangeur thermique (3 / 3') sont positionnés à l'extérieur de l'enceinte d'évaporation (10), on fait circuler cette eau sous forme liquide pompée en milieu naturel à travers les moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) dudit échangeur thermique (3 / 3'), et on introduit cette eau dans l'enceinte d'évaporation (10), après qu'elle ait été réchauffée lors de son passage dans les moyens de refroidissement (300, 310, 311 / 300, 301) de l'échangeur thermique (3 / 3').
16. Procédé selon la revendication 14, dans lequel au moins une partie (311) des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique (3'') est positionnée à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation (10), et dans lequel on introduit dans l'enceinte d'évaporation (10) l'eau (L) sous forme liquide, pompée en milieu naturel, de telle sorte que ladite partie (311) des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique (3'') positionnée à l'intérieur de l'enceinte d'évaporation (10) est immergée dans le l'eau sous forme liquide (11) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 16, dans lequel les moyens de refroidissement dudit échangeur thermique (3) comportent un circuit fermé (31), qui contient un fluide de travail (F), et qui comprend un évaporateur (310) dudit fluide de travail (F) et un condenseur (311) dudit fluide travail (F), dans lequel on condense la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10) en l'amenant au contact de l'évaporateur (310), dans lequel on fait circuler ledit fluide de travail (F) dans ledit circuit fermé (31), de manière à évaporer le fluide de travail (F) lors de son passage dans l'évaporateur (310) et à condenser ledit fluide de travail (F) lors de son passage dans le condenseur (311), dans lequel on refroidit ledit fluide de travail (F) dans

ledit condenseur (311) avec de l'eau (L) sous forme liquide pompée en milieu naturel.

- 5 18. Procédé selon la revendication 17, dans lequel on alimente l'enceinte d'évaporation (10) avec ladite eau (L) sous forme liquide pompée en milieu naturel, après son réchauffement par le fluide de travail (F).
- 10 19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 18, permettant la production d'électricité, dans lequel on produit de l'électricité en récupérant une partie au moins de l'énergie de condensation de ladite vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10).
- 15 20. Procédé selon les revendications 17 et 19, dans lequel, avant le passage du fluide de travail (F) dans le condenseur (311), on utilise le fluide de travail (F) pour faire tourner au moins une turbine électrique (32).
- 20 21. Procédé selon la revendication 14, dans lequel on condense la vapeur d'eau issue de l'enceinte d'évaporation (10) en la mettant en contact avec le circuit de refroidissement (301) des moyens de refroidissement de l'échangeur thermique (3'), dans lequel on fait circuler, dans ledit circuit de refroidissement (301), ladite l'eau sous forme liquide (L) qui est pompée en milieu naturel, et qui fait office de fluide caloporteur dudit circuit de refroidissement (301), et dans lequel on alimente
- 25 l'enceinte d'évaporation (10) avec ladite eau sous forme liquide (L) issue du circuit de refroidissement (301) après son réchauffement par la vapeur d'eau provenant de l'enceinte d'évaporation (10).
- 30 22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 21, dans lequel l'enceinte d'évaporation (10) est à une pression supérieure ou égale à la pression atmosphérique.

23. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 21, dans lequel l'enceinte d'évaporation (10) est mise en dépression.
- 5 24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 23, au cours duquel on règle automatiquement la pression dans l'enceinte d'évaporation (10) au dessus du liquide (11).
- 10 25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 24, au cours duquel on règle automatiquement le débit de gaz entrant dans le l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 15 26. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 25, au cours duquel on remplace continuellement une partie de l'eau sous forme liquide (11) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10) avec de l'eau à une température ($T_f + \Delta T1$ ou T_f) supérieure à la température ($T_f - \Delta T2$) de l'eau qui est évacuée en dehors l'enceinte d'évaporation (10).
- 20 27. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 26, au cours duquel on règle automatiquement le débit de liquide entrant dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 25 28. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 27, dans lequel le gaz introduit dans le liquide (11) est de l'air ou un mélange gazeux à base d'air.
- 30 29. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 28, dans lequel le gaz introduit dans l'eau sous forme liquide (11) comporte un gaz inerte et notamment de l'hélium.
- 30 30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 29, dans lequel on évapore une partie de l'eau (11) sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation (10) à une température d'évaporation

inférieure à la température d'ébullition de ladite eau.

- 5 31. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 30, dans lequel on évapore une partie de l'eau (11) dans l'enceinte d'évaporation (10) à une température d'évaporation inférieure à 100°C, et de préférence inférieure à 50°C, et plus préférentiellement inférieure à 25°C.
- 10 32. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 31, au cours duquel on récupère l'eau issue de la condensation de la vapeur d'eau.
- 15 33. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 32, au cours duquel une partie au moins du gaz injecté dans l'eau sous forme liquide (11) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10) est de l'air prélevé dans l'air ambiant.
- 20 34. Procédé selon l'une quelconque des revendications 14 à 33, au cours duquel une partie au moins du gaz injecté dans l'eau sous forme liquide (11) contenue dans l'enceinte d'évaporation (10) est recyclé en étant réinjecté dans le liquide (11) contenu dans l'enceinte d'évaporation (10).
- 25 35. Utilisation de l'installation visée à l'une quelconque des revendications 1 à 13 ou du procédé visé à l'une quelconque des revendications 14 à 34 pour produire de l'électricité à partir d'eau pompée en milieu naturel et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine,
- 30 36. Utilisation de l'installation visée à l'une quelconque des revendications 1 à 13 ou du procédé visé à l'une quelconque des revendications 14 à 34, pour purifier et le cas échéant dessaler et/ou dépolluer de l'eau pompée en milieu naturel et notamment de l'eau de mer, l'eau d'un lac

ou l'eau d'un cours d'eau, ou de l'eau souterraine.

- 5 37. Utilisation de l'installation visée à l'une quelconque des revendications 1 à 13 ou du procédé visé à l'une quelconque des revendications 14 à 34, pour refroidir et/ou dépolluer le gaz injecté dans l'eau sous forme liquide contenue dans l'enceinte d'évaporation.

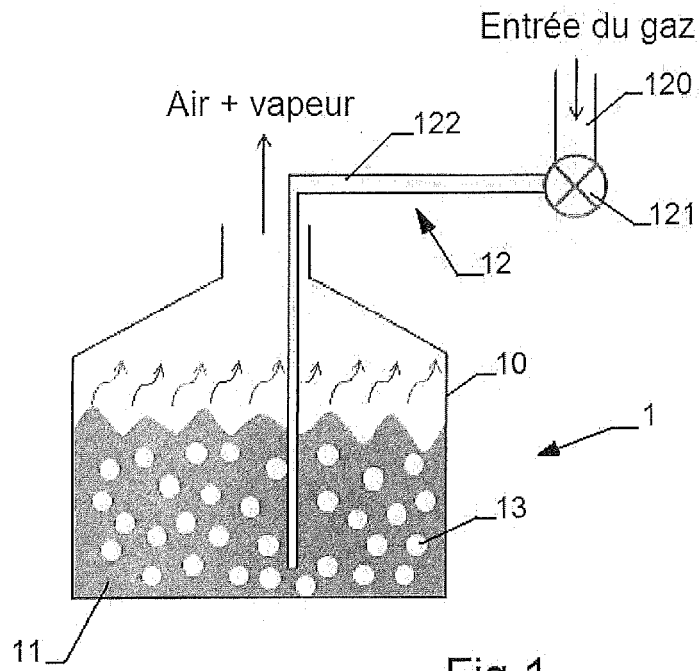


Fig.1

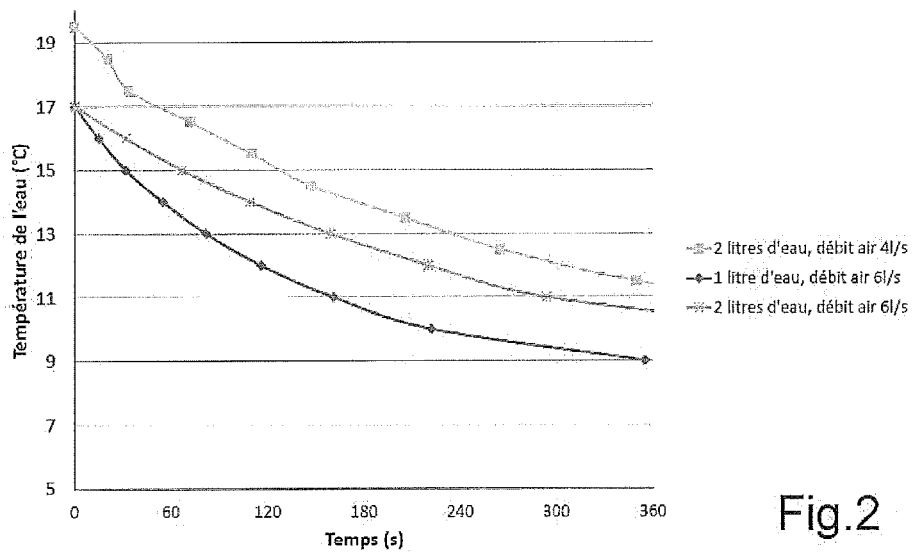


Fig.2

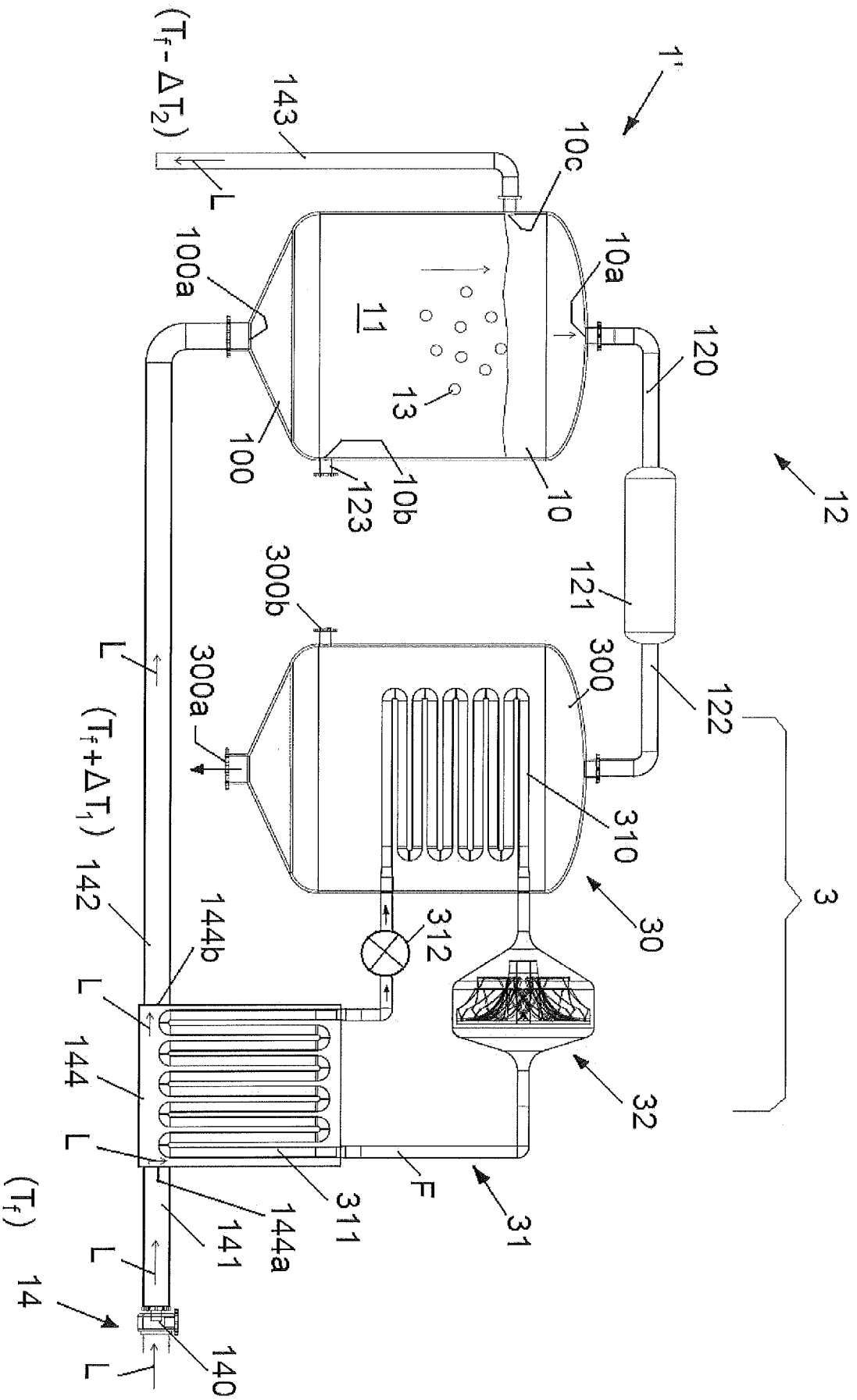


FIG. 3

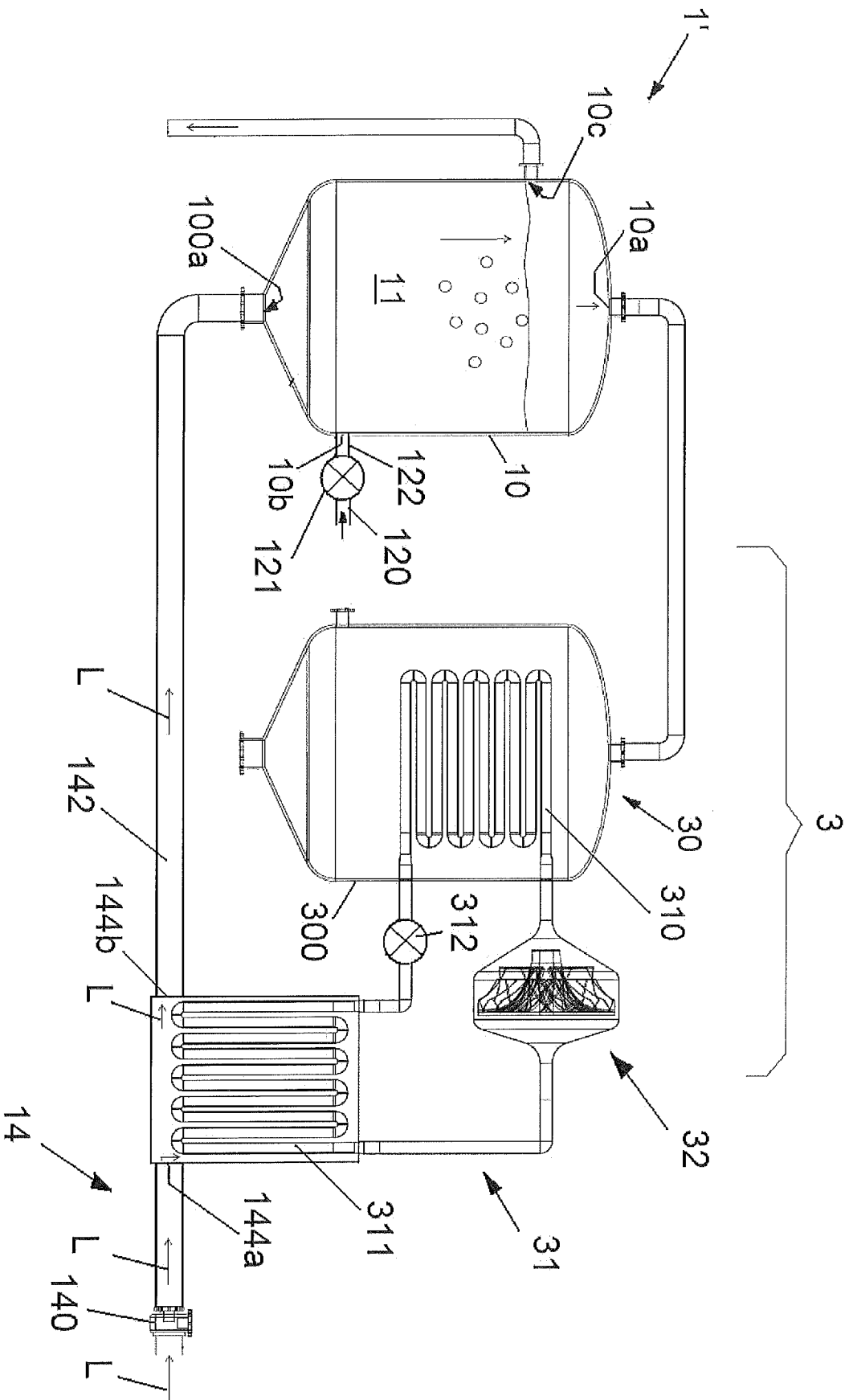


FIG. 4

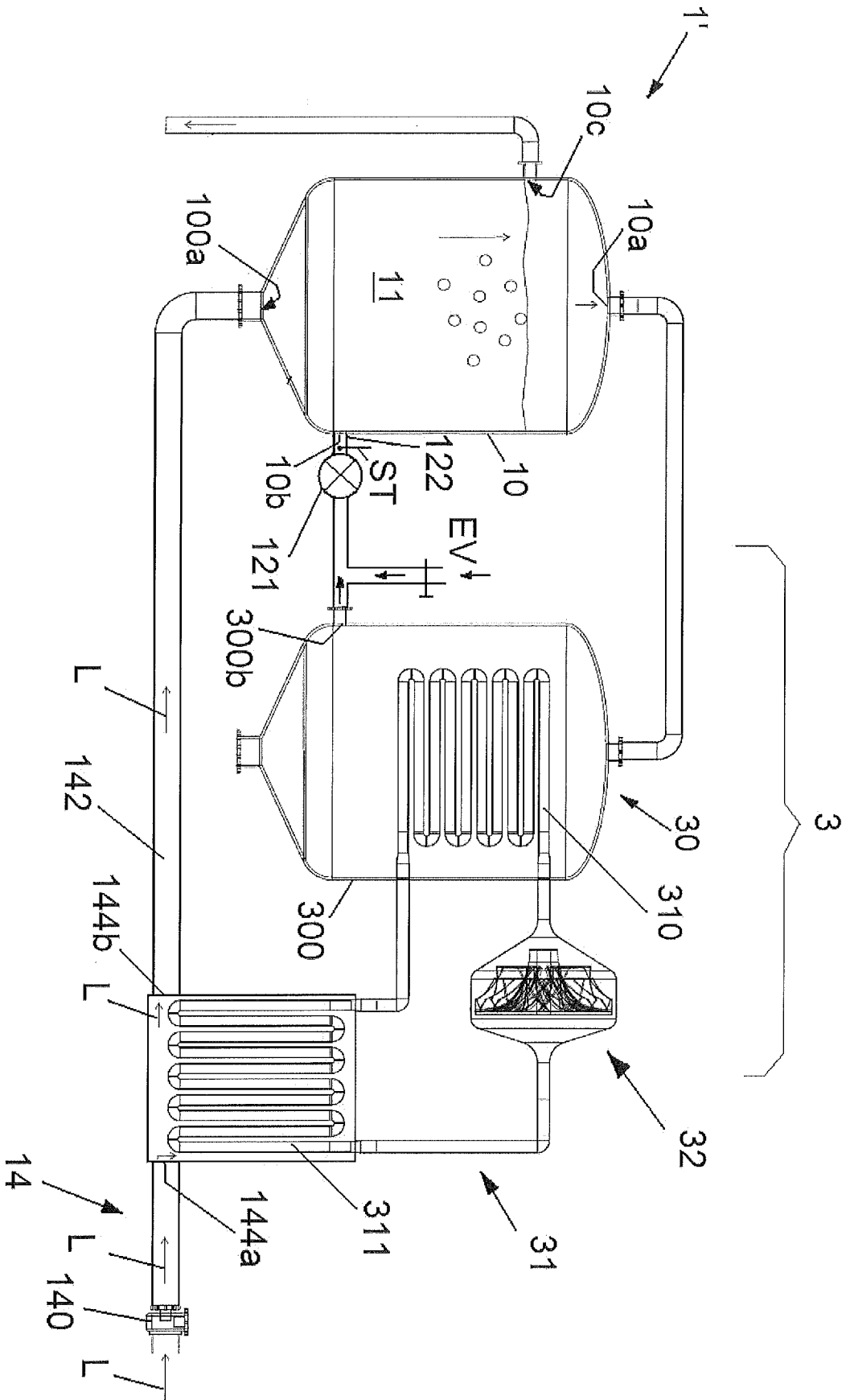


FIG. 5

5/8

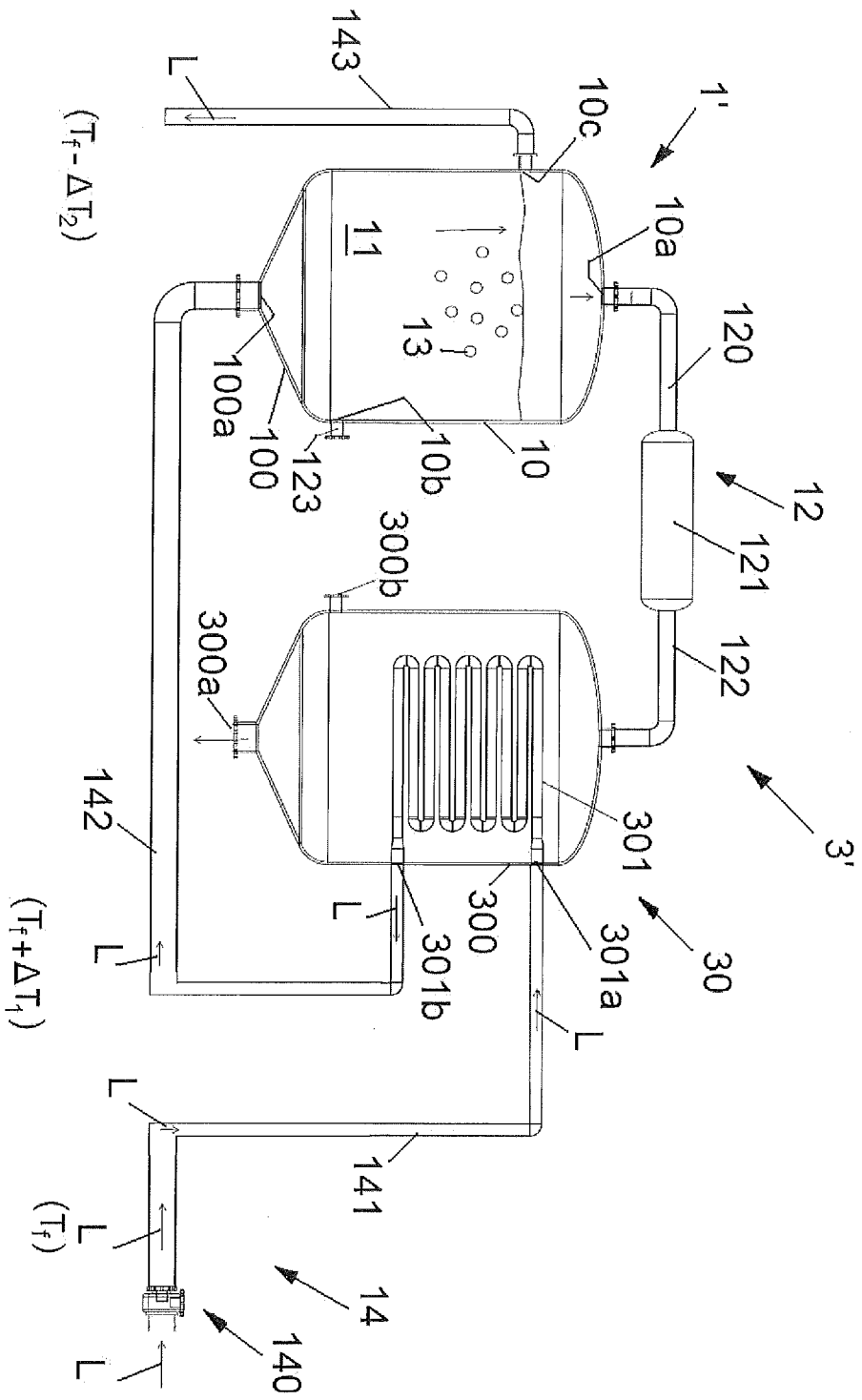


FIG.6

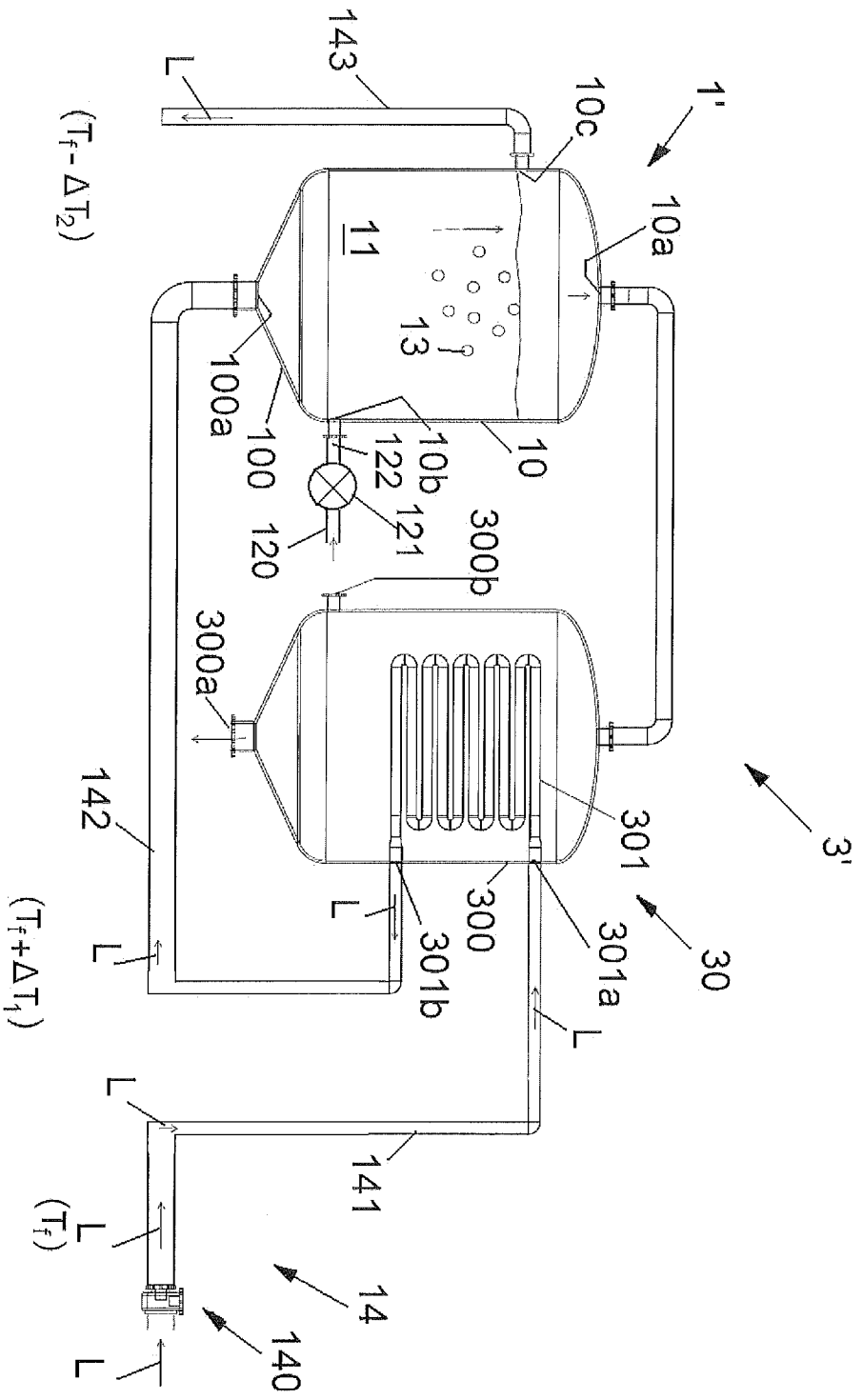


FIG. 7

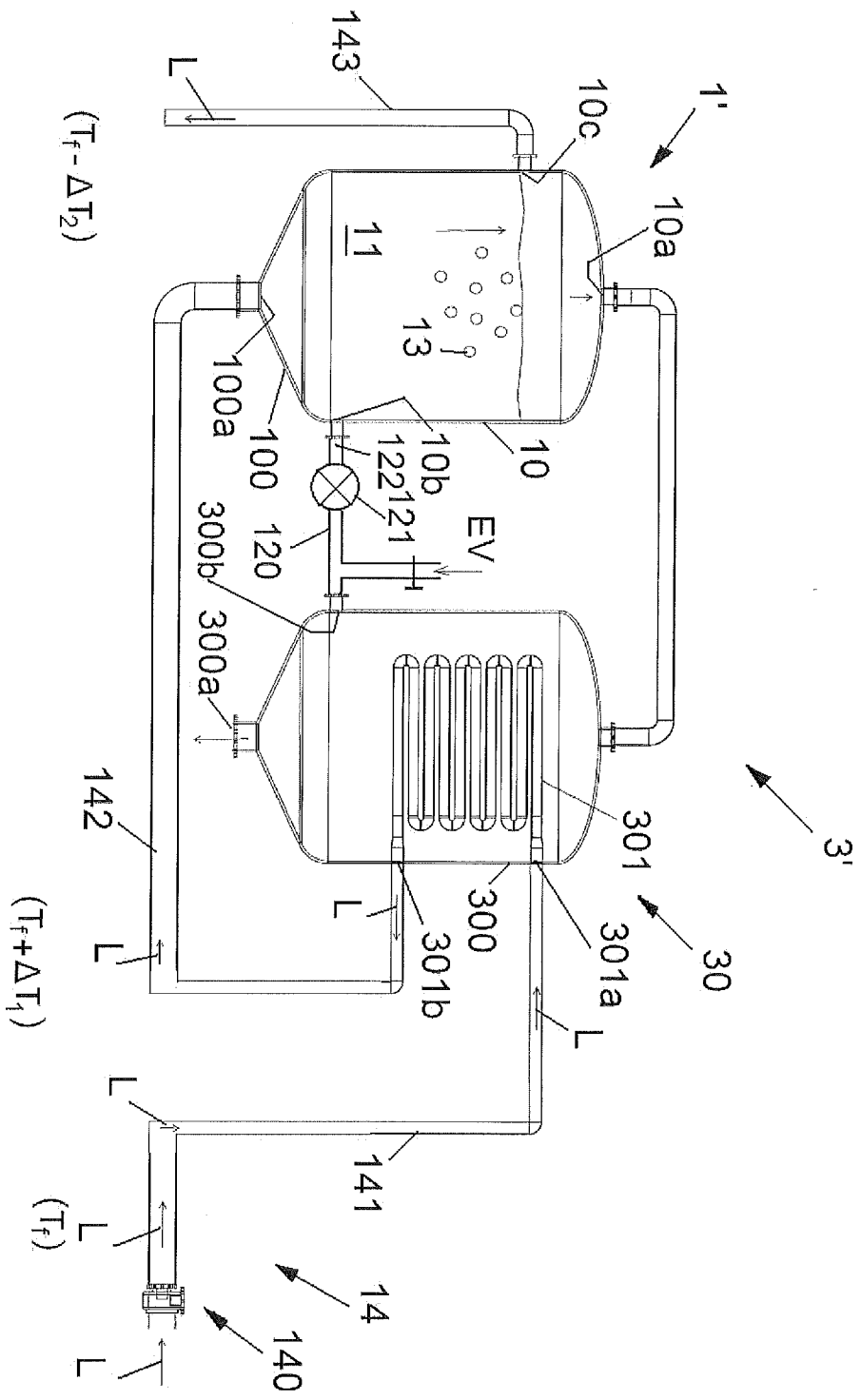


FIG.8

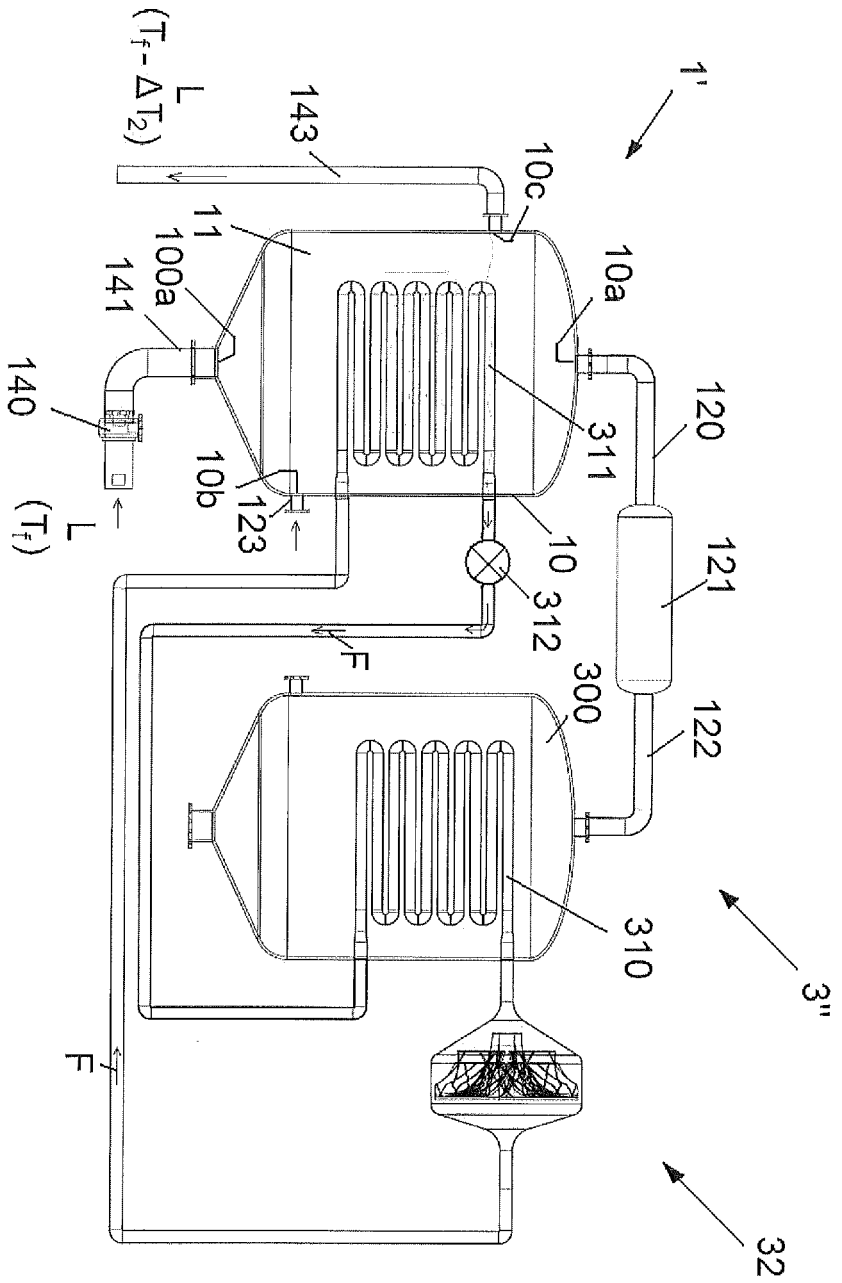


FIG. 9

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

Y B Karhe, Dr. P.V Walke: "A solar desalination system using humidification - dehumidification process - A review of recent research", International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), 30 avril 2013 (2013-04-30), XP055131967, Extrait de l'Internet:

URL:http://www.ijmer.com/papers/Vol3_Issue 2/CH32962969.pdf [extrait le 2014-07-28]

WO 2009/000019 A1 (GOMTECH PTY LTD [AU]; STEIN HAYDEN JOHN [AU]) 31 décembre 2008 (2008-12-31)

US 4 743 343 A (SAKAI TADAAKI [JP]) 10 mai 1988 (1988-05-10)

US 2012/205236 A1 (GOVINDAN PRAKASH N [US] ET AL) 16 août 2012 (2012-08-16)

EL-AGOUZ S A ET AL: "Experimental analysis of humidification process by air passing through seawater", ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, OXFORD, GB, vol. 49, no. 12, 20 août 2008 (2008-08-20) , pages 3698-3703, XP025571346, ISSN: 0196-8904, DOI: 10.1016/J.ENCONMAN.2008.06.033 [extrait le 2008-08-20]

DE 10 2009 007193 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 5 août 2010 (2010-08-05)

A. E. KABEEL ET AL: "Water Desalination Using a Humidification-Dehumidification Technique-A Detailed Review", NATURAL RESOURCES, vol. 04, no. 03, 30 juin 2013 (2013-06-30) , pages 286-305, XP055132208, ISSN: 2158-706X, DOI: 10.4236/nr.2013.43036

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT