

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 41532 B1** (51) Cl. internationale : **C02F 1/04; B01D 1/14**
- (43) Date de publication : **31.10.2019**

---

(21) N° Dépôt : **41532**

(22) Date de Dépôt : **24.11.2017**

(71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE IBN TOFAIL, CAMPUS UNIVERSITAIRE B.P 242 KENITRA (MA)**

(72) Inventeur(s) : **ZEJLI DRISS ; CHOUKAI OUMAIMA**

(74) Mandataire : **IGOZAL MOHAMMED**

---

(54) Titre : **Procédé de dessalement par Humidification-Déshumidification alimenté par une centrale thermo-solaire à concentration à tour**

(57) Abrégé : Le présent brevet concerne un procédé de cogénération d'énergie électrique et d'eau douce via respectivement une Tour Solaire et un système de dessalement par Humidification-Déshumidification, Le principe consiste en la récupération de la chaleur de l'air de retour de la tour solaire et son utilisation pour l'alimentation en air chaud d'un distillateur à Humidification - Déshumidification. Cet air de retour doté d'une température de près de 300°C est d'une humidité relative tellement faible que sa capacité à s'humidifier est importante. Son utilisation, dans un distillateur à Humidification-Déshumidification, produit de l'eau douce nécessaire au fonctionnement de la centrale solaire à tour utilisant le cycle de refroidissement humide, dans une région aride ou semi-aride où l'eau douce est rare ou fait défaut et où de l'eau saumâtre ou de mer pourrait abonder.

## **Procédé de dessalement par Humidification- Déshumidification alimenté par une centrale thermo- solaire à concentration à tour**

### **ABREGE :**

Le présent brevet concerne un procédé de cogénération d'énergie électrique et d'eau douce via respectivement une Tour Solaire et un système de dessalement par Humidification-Déshumidification. Le principe consiste en la récupération de la chaleur de l'air de retour de la tour solaire et son utilisation pour l'alimentation en air chaud d'un distillateur à Humidification - Déshumidification. Cet air de retour doté d'une température de près de 300°C est d'une humidité relative tellement faible que sa capacité à s'humidifier est importante. Son utilisation, dans un distillateur à Humidification-Déshumidification, produit de l'eau douce nécessaire au fonctionnement de la centrale solaire à tour utilisant le cycle de refroidissement humide, dans une région aride ou semi-aride où l'eau douce est rare ou fait défaut et où de l'eau saumâtre ou de mer pourrait abonder.

### **Mots clés :**

Tour solaire, air de retour, chaleur, dessalement, humidification-déshumidification, cogénération, refroidissement humide

## **DESCRIPTION :**

### **Domaine technique :**

La présente invention concerne le couplage de l'une des technologies thermosolaires à concentration au procédé d'Humidification-Déshumidification pour le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres.

### **État de la technique antérieure**

Les technologies thermosolaires à concentration sont basées sur le concept de la concentration du rayonnement solaire sur un point ou sur un axe pour produire de la chaleur à température élevée, qui pourrait à son tour être transformée en énergie mécanique (et électrique) à travers un cycle thermodynamique (AQUA-CSP project, final report expected by December 2007, <http://www.dlr.de/tt/aqua-csp>).

Quatre schémas de centrales thermosolaires à concentration ont été développés et plus ou moins commercialisés : les réflecteurs cylindro-paraboliques, les réflecteurs Fresnel linéaires, les centrales à tour solaire, et les réflecteurs paraboliques (MED-CSD. Combined Solar Power and Desalination Plants: Techno-Economic Potential in Mediterranean Partner Countries. Final Report. June 2009).

Le concept de la distillation par Humidification-Déshumidification n'est pas nouveau. D'après Goosen et al. (Goosen, M. F. A.; Sablani, S. S.; Shayya, W. H.; Paton, C.; Al-Hinai, H. Thermodynamic and economic consideration in solar desalination. Desalination 2000;129:63-89), le premier distillateur basé sur ce principe a été construit en Chili en 1872.

Alors que les centrales thermosolaires à concentration sont souvent installées dans des zones arides et semi-arides pour leur fort potentiel solaire, leur demande en eau pour les besoins du cycle à vapeur, le cycle de refroidissement humide et le nettoyage des miroirs est considérée comme le plus élevé de toutes les centrales thermiques de production d'électricité (Macknick, J.; Newmark, R.; Heath, G. and Hallett, K. C. A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies. NREL, March 2011). D'où la nécessité de faire appel, soit au refroidissement sec sachant qu'il est moins performant que le refroidissement humide, soit, procéder au dessalement des eaux saumâtres ou de mer si ces régions en disposent.

Si on se limite dans le cadre de ce brevet au seul dessalement, nombreuses sont les études qui ont traité le couplage du cycle de Rankine de ces centrales, aux procédés thermiques de dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres tels que le procédé Flash ou l'Évaporateur à Multiples Effets. Dans ce cas de figure, le couplage du cycle de Rankine à

l'Evaporateur à Multiples Effets s'est révélé relativement le plus rentable (Blanco, J. ; Malato, S. ; Fernandez-Ibanez, P. ; Alarco, D. ; Gernjak, W. ; Maldonado, M. I. Review of feasible solar energy applications to water processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1437–1445).

Cependant, cette cogénération s'accompagne inévitablement d'un rendement plus faible de production d'électricité (Shinnar, R. ; Citro, F. Solar thermal energy: The forgotten energy source. *Technology in Society* 29 (2007) 261–270) vu l'utilisation de la turbine à contre-pression qui remplace le condenseur classique à basse pression d'une centrale fonctionnant sans cogénération (Martin, J. ; Wauters, P. Installations thermiques motrices: Analyse énergétique et exergetique. Presses Universitaires de Louvain, 2011).

Le brevet WO 2008142459 A2 concerne une cheminée solaire composée d'un cylindre positionné au centre d'une serre couverte. Une chaudière solaire centrale qui est suffisamment élevée par rapport au sol et située à l'extérieur, à la périphérie du cylindre, collecte le rayonnement réfléchi à partir d'un grand nombre d'héliostats à deux axes et produit de la vapeur capable de mettre en mouvement une turbine à vapeur à génération de puissance; la vapeur rejetée est utilisée pour le fonctionnement d'une installation de distillation conventionnelle.

La nouveauté dans la présente invention réside dans l'utilisation de la cogénération dans le cas des centrales à tour en vue de dessaler l'eau de mer ou de l'eau saumâtre, mais sans toucher au cycle à vapeur. Il s'agit de recycler l'air chaud employé par la tour comme fluide caloporteur pour la génération de la vapeur, en l'introduisant dans un distillateur à Humidification-Déshumidification pour produire de l'eau douce.

## **Exposé de l'invention**

La présente invention combine une centrale thermo-solaire à tour à un distillateur à Humidification-Déshumidification comme le montre la figure 1.

Les centrales à tours sont constituées de trois blocs :

1-le bloc solaire ou héliostats. Il s'agit d'un champ de miroirs munis de moteurs qui leurs permettent des rotations individuelles à deux axes. Les héliostats sont disposés autour de la tour de manière à réfléchir à tout moment le rayonnement solaire vers le récepteur où l'énergie solaire est convertie en chaleur.

2-Le bloc de puissance, similaire à une centrale thermique conventionnelle, est constitué d'un échangeur pour la génération de vapeur et d'une turbine entraînant un alternateur pour la production de l'électricité. Un fluide caloporteur permet le transfert de la chaleur du bloc solaire au bloc de puissance,

3- Le bloc de stockage de la chaleur.

L'air aspiré au niveau de l'absorbeur, situé au point focal au sommet de la tour solaire, est chauffé à une température d'environ 700°C. Une partie de cet air chaud peut alimenter le système de stockage thermique et l'autre partie est acheminée vers les échangeurs de chaleur de génération de la vapeur. L'air sort de ces échangeurs et du système de stockage aux environs de 300°C. A cette température, l'air a une humidité relative très faible d'environ 9.10<sup>-3</sup>%, le dotant ainsi d'une forte capacité d'absorption de la vapeur. Au lieu qu'il soit rejeté ou recyclé au niveau de la tour, il est proposé dans le cadre de ce brevet de l'envoyer vers le distillateur à Humidification-Déshumidification.

L'eau est pompée d'un puits d'eau saumâtre ou de la mer. Une fois cette eau est filtrée, elle est dirigée vers un condenseur (figure 1), qui alimente un évaporateur traversé de bas en haut par l'air chaud de retour de la tour solaire (300°C). L'air ainsi humidifié est presque saturé, il passe à travers le condenseur susmentionné, où circule l'eau de mer ou saumâtre froide. Le condensat est récupéré et représente la production d'eau douce du distillateur.

### Description détaillée d'un mode de réalisation :

Dans le cadre de notre simulation des résultats de notre invention. Le modèle mathématique du procédé d'humidification-déshumidification, ci-dessous, fût traduit en un modèle informatique en blocs.

Quantité d'eau évaporée :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{eau\_evapor\text{-}e} &= \dot{m}_{entr\text{-}e\_vaporateur} - \dot{m}_{sortie\_vaporateur} \\ &= \dot{m}_{air\_sec}(w_{sortie\_vaporateur} - w_{entr\text{-}e\_vaporateur})\end{aligned}$$

Quantité d'eau condensée :

$$\dot{m}_{eau\_condens\text{-}e} = \dot{m}_{air\_sec}(w_{entr\text{-}e\_condenseur} - w_{sortie\_condenseur})$$

Avec,

$$\begin{aligned}\dot{m}_{air\_sec} &= d v S \\ d &= \frac{PM}{RT} = 1,292 \frac{273,15}{T}\end{aligned}$$

$\dot{m}$  : Le flux massique (Kg/s)

$d$  : La densité d'air sec en (kg/m<sup>3</sup>)

$T$  : La température exprimée en Kelvin (K)

$v$  : La vitesse de l'air mesurable via anémomètre (m/s)

$S$  : La section de l'humidificateur (m<sup>2</sup>)

Sachant que l'enthalpie de l'air humide peut s'exprimer comme suit :

$$h(T, P, w) = C_{p, \text{air sec}} T + w (\Delta h_{g0} + C_{p, \text{eau(vapeur)}} T)$$

$h$  : L'enthalpie spécifique (kJ/kg)

$\Delta h_{g0} = \Delta h_{\text{eau(vapeur-Liquide)}}(0^\circ\text{C})$  : l'enthalpie spécifique de la vapeur d'eau saturée à  $0^\circ\text{C}$  (en J/Kg)

$w$  : L'humidité absolue de l'air

$C_{p,e(v)}$ : La chaleur spécifique (vapeur) (kJ/kg.°C)

$C_{p,as}$ : La chaleur spécifique (air sec) à 100kPa entre 0 et  $50^\circ\text{C}$  (kJ/kg.°C)

Aussi,

$$w = \frac{18}{29} \frac{p_v}{P_{atm} - p_v}$$

Où,

$$p_v = \phi p_{vs}$$

$$p_{vs} = 10^{2.7877 + (7.625T)/(241.6+T)}$$

Valable pour  $T > 0^\circ\text{C}$  avec la présence d'eau liquide

$p_v$ : La pression partielle de la vapeur (Pa)

$P_{atm}$ : La pression atmosphérique (Pa)

$p_{vs}$ : La pression de saturation de la vapeur (Pa)

$\phi$  : L'humidité relative mesurable via psychromètre

En guise d'étude de cas, les données suivantes ont été utilisées comme données d'entrée du modèle:

**Température ambiante  $T_0 = 25^\circ\text{C}$**

**Température de l'air de retour de la tour =  $300^\circ\text{C}$**

**Humidité relative de l'air ambiant  $\phi_1 = 30\%$**

**Section de l'humidificateur =  $1\text{m}^2$ .**

Sachant qu'une centrale thermo-solaire à tour de 1,5 MW comme celle de Jülich (Allemagne) fonctionne avec un débit d'air de près de 10 kg/s (Tiddens, A. ; Röger, M. ; Stadler, H ; Hoffschmidt, B. Air return ratio measurements at the solar tower Jülich using a tracer gas Method. Solar Energy 146 (2017) 351–358.), on peut prendre **un flux massique d'air de 6 kg/s pour une puissance de centrale de 1 MW.**

Le modèle de simulation utilisé donne une production d'eau douce de 491 g/s, soit un productible de 17 676 Litres/jour pour 10 heures de fonctionnement par jour, et donc pour 10 MWh produits. Ce qui donne **1767 litres/MWh produit.**

Les centrales thermosolaires à tour, utilisant le cycle de refroidissement humide, consomment généralement entre 2000 et 3000 litres d'eau par MWh produit (International Energy Agency. Technology Roadmap Concentrating Solar Power. 2010 & Bracken, N. ;Macknick, J. ; Tovar-Hastings, A. ; Komor, P. ; Gerritsen, M. ; and Mehta, S. Concentrating Solar Power and Water Issues in the U.S. Southwest. Joint Institute for Strategic Energy Analysis, March 2015).

**REVENDEICATIONS:**

1- Procédé de dessalement d'eau par Humidification-Déshumidification, via la récupération de la chaleur de l'air de retour d'une tour solaire.

2- Procédé de dessalement d'eau par Humidification-Déshumidification selon la revendication 1, caractérisée par le fait que ce procédé est réalisé sans toucher au cycle à vapeur de la tour.

3- Procédé de dessalement d'eau par Humidification-Déshumidification selon les revendications 1 et 2, caractérisée par le fait que dans le mode de réalisation suivant :

- Température de l'air de retour de la tour de 300°C
- Flux massique de l'air de 6 kg/s
- Puissance de la centrale de 1 MW.

Le procédé permet un productible de près de 17 676 Litres/jour pour 10 heures de fonctionnement par jour. Ce qui donne 1767 litres/MWh produit.

4- Procédé de dessalement d'eau salée par humidification-déshumidification selon les revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que le procédé permet de produire entre 60 et 90% des besoins en eau douce de la centrale.



Liste des figures

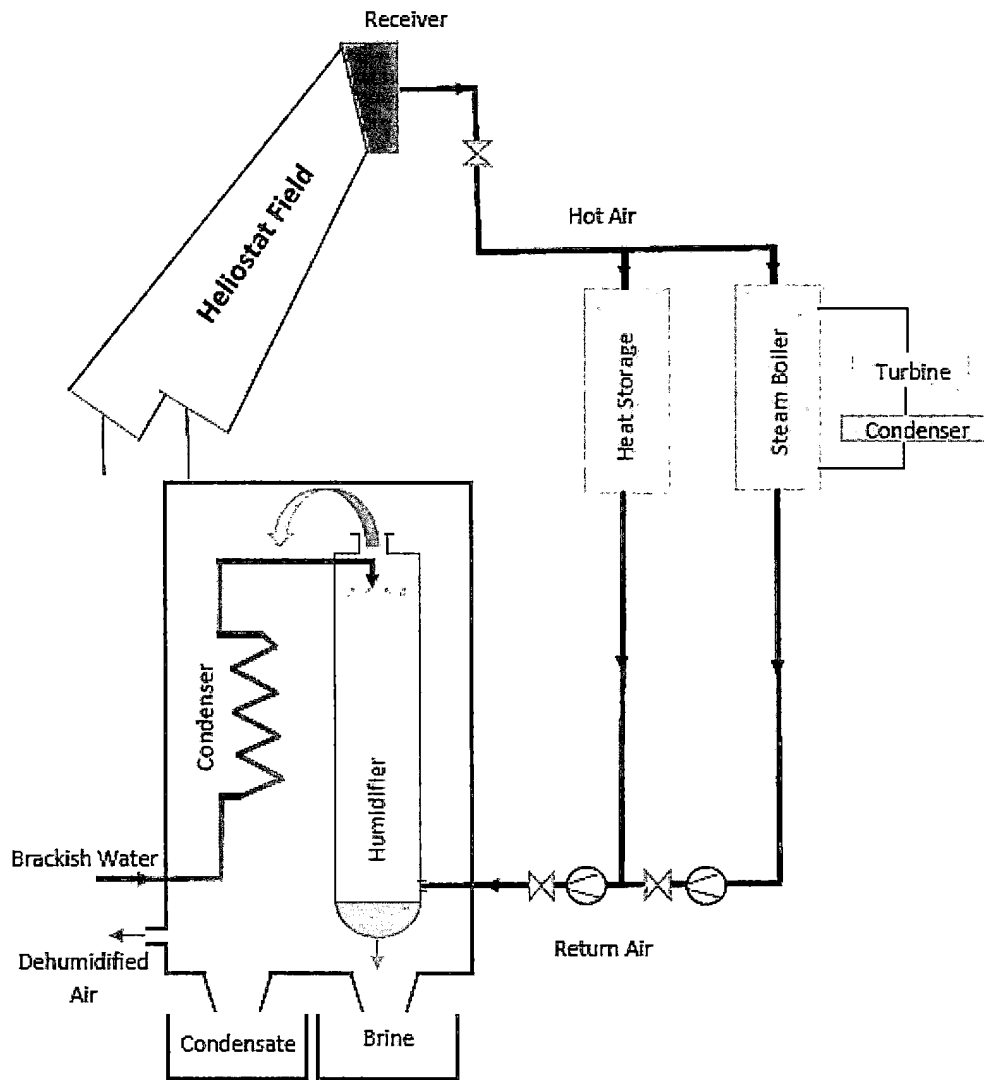


Figure 1 : Schéma de principe du procédé objet de l'invention

ROYAUME DU MAROC  
\*\*\*\*\*  
OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE  
\*\*\*\*\*



المملكة المغربية  
-----  
المكتب المغربي  
للملكية الصناعية والتجارية  
-----

**RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION SUR  
LA BREVETABILITE**

*Établi conformément à l'article 43.2 de la loi 17-97 relative à la  
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée  
par la loi 23-13*

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 41532	Date de dépôt : 24/11/2017 ;
Déposant : UNIVERSITE IBN TOFAIL	
Intitulé de l'invention : Procédé de dessalement par Humidification-Déshumidification alimenté par une centrale thermo-solaire à concentration à tour	
<b>Classement de l'objet de la demande :</b> CIB : B 01D 1/14, C 02F 1/04	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité	
Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 3 : Remarques de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Abdelfettah EL KADIRI	Date d'établissement du rapport : 05/09/2019
Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14	

**Partie 1 : Considérations générales****Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
  - Revendications  
1-4
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
  - Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)
  - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)
- Observations à l'encontre de la décision de rejet

## Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité

## Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle

Nouveauté	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants:

D1 : US2014291137 A1

### 1. Nouveauté

Aucun document de l'état de l'art ne divulgue les mêmes caractéristiques techniques contenues dans les revendications 1-4. Par conséquent, l'objet des revendications 1-4 est nouveau conformément à l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

### 2. Activité inventive

Le document D1 considéré comme l'état de l'art le plus proche de l'objet de la revendication 1, divulgue un procédé de dessalement d'eau par Humidification-Déshumidification, via la récupération de la chaleur de retour d'une tour solaire. (voir Para [0010], [0012], [0018],...).

L'objet de la revendication 1 diffère de D1 par la récupération de l'air chaud de retour de la tour solaire et son utilisation pour l'alimentation en air chaud d'un distillateur à Humidification-Déshumidification placé en dehors de la tour solaire et du circuit vapeur de la centrale solaire.

Le problème à résoudre par la présente demande est considéré comme la valorisation de la chaleur de l'air rejeté et sortant des échangeurs de chaleur pour la production d'eau douce servant de fluide moteur à la centrale solaire.

La solution proposée par la présente demande est considérée comme inventive, étant donné que l'homme de métier ne trouve aucune incitation de l'état de l'art D1 lui permettant la récupération de l'air chaud de retour de la tour solaire et son utilisation pour l'alimentation en air chaud d'un distillateur à Humidification- Déshumidification placé en dehors de la tour solaire et du circuit vapeur de la centrale solaire, sans faire preuve d'esprit inventif.

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 implique une activité inventive conformément à l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

L'objet des revendications dépendantes 2-4 implique lui aussi une activité inventive conformément à l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

### **3. Application industrielle**

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.