



(12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 34695 B1** (51) Cl. internationale : **F01B 31/08; F01K 17/04; C02F 1/44**
- (43) Date de publication : **03.12.2013**

-
- (21) N° Dépôt : **34892**
- (22) Date de Dépôt : **24.05.2012**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE MOHAMMED V-AGDAL, AVENUE DES NATIONS UNIES, AGDAL, B.P 554 RABAT-CHELLAH (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **BOUNAHMIDI Tijani**
- (74) Mandataire : **MOULOUD EL MOUDANE**

-
- (54) Titre : **Système de refroidissement de centrale thermique solaire par couplage à un procédé de dessalement d'eaux saumâtres à osmose directe.**
- (57) Abrégé : LA PRÉSENTE INVENTION CONCERNE UN SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE CENTRALE THERMIQUE SOLAIRE À CONCENTRATION SITUÉE DANS UNE ZONE ARIDE, SANS FAIRE USAGE D'UTILITÉS FROIDES CONVENTIONNELLES, L'EAU ET L'AIR. LE SYSTÈME EXPLOITE LA CHALEUR DE CONDENSATION DU CYCLE DE RANKINE DE CETTE CENTRALE POUR LES BESOINS CALORIFIQUES DE DESSALEMENT D'EAUX SAUMÂTRES DE LA NAPPE PHRÉATIQUE DE LA RÉGION EN UTILISANT UN PROCÉDÉ PAR OSMOSE DIRECTE. LES BESOINS THERMIQUES DE CE PROCÉDÉ SONT OPTIMISÉS PAR LA TECHNIQUE D'INTÉGRATION ÉNERGÉTIQUE DU POINT DE PINCEMENT "PINCH TECHNOLOGY" ET SES BESOINS EN ÉNERGIE ÉLECTRIQUE SONT SATISFAITS PAR UNE MACHINE OSMOTIQUE À OSMOSE DIRECTE INTÉGRÉE AU SYSTÈME. CETTE SOLUTION POSSÈDE PLUSIEURS AVANTAGES DONT L'AMÉLIORATION DE LA COMPÉTITIVITÉ DES CENTRALES THERMIQUES SOLAIRES À CONCENTRATION ET DES PROCÉDÉS DE DESSALEMENT.

Système de refroidissement de centrale thermique solaire par couplage à un procédé de dessalement d'eaux saumâtres à osmose directe

Abrégé :

La présente invention concerne un système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration située dans une zone aride, sans faire usage d'utilités froides conventionnelles, l'eau et l'air. Le système exploite la chaleur de condensation du cycle de Rankine de cette centrale pour les besoins calorifiques de dessalement d'eaux saumâtres de la nappe phréatique de la région en utilisant un procédé par osmose directe. Les besoins thermiques de ce procédé sont optimisés par la technique d'intégration énergétique du point de pincement « Pinch Technology » et ses besoins en énergie électrique sont satisfaits par une machine osmotique à osmose directe intégrée au système. Cette solution possède plusieurs avantages dont l'amélioration de la compétitivité des centrales thermiques solaires à concentration et des procédés de dessalement.

03 DEC 2013

Système de refroidissement de centrale thermique solaire par couplage à un procédé de dessalement d'eaux saumâtres à osmose directe

5 Domaine technique de l'invention

La présente invention concerne le refroidissement de centrales thermiques solaires à concentration situées dans des zones arides, par intégration énergétique avec un procédé de dessalement et de production d'énergie par osmose directe. Elle concerne aussi la production simultanée de l'énergie et l'eau dessalée de manière générale.

10

Contexte et arrière plan technologique

Les problèmes de réchauffement climatique et leur lien avec le dégagement des gaz à effet de serre ainsi que la réglementation internationale s'y rapportant amènent les pays à revoir leur politique énergétique basée actuellement sur les combustibles fossiles.

15 Plusieurs pays ont développé durant les dix dernières années une stratégie énergétique prévoyant le remplacement d'une partie de leur approvisionnement énergétique par des énergies renouvelables.

L'énergie solaire est l'une des énergies renouvelables les plus abondantes surtout dans les régions arides disposant de gisements solaires importants. Même si les technologies solaires disponibles actuellement ne permettent pas une exploitation compétitive de ces gisements comparativement à celles utilisant les combustibles fossiles, les centrales thermiques solaires à concentration constituent l'une des technologies solaires les plus prometteuses pour atteindre cet objectif.

20 Les centrales thermiques solaires à concentration sont bien connues de l'homme du métier. Nous en décrivons ici les éléments essentiels nécessaires à la présentation de la problématique de la présente invention.

Elles sont constituées d'un champ de capteurs solaires qui concentrent les rayons du soleil sur un ou plusieurs tubes dans lesquels circule un fluide caloporteur. Ce dernier transmet une partie de cette chaleur à un fluide de travail qui l'utilise dans un cycle thermodynamique pour produire de l'énergie mécanique qui se transforme moyennant un générateur en énergie électrique.

30 Selon le type de capteurs solaires utilisé, quatre catégories de centrales thermiques peuvent être distinguées : les centrales à miroirs cylindro-paraboliques, les centrales à tour, les centrales à Dish Stirling paraboliques et les centrales à miroirs de Fresnel.

35 Différents cycles thermodynamiques peuvent être utilisés : le cycle de Rankine, le cycle de turbine à gaz (cycle de Brayton), le cycle combiné, le cycle de Stirling et le

cycle de Rankine organique. Alors que les quatre premiers exploitent les calories à haute température, le dernier est utilisé principalement pour des sources de chaleur à températures plus faibles. Vu son degré de maturité, le cycle de Rankine seul ou combiné au cycle de Brayton est le plus utilisé.

5 Quelque soit le cycle thermodynamique exploité, le rendement thermique de la centrale reste inférieur à une valeur de l'ordre de 50%. Autrement dit, plus de la moitié environ de la chaleur reçue par le fluide de travail (l'eau) dans la chaudière doit être cédée par ce fluide pour regagner son état liquide.

10 Deux méthodes de refroidissement sont généralement utilisées pour ce faire : le refroidissement à l'air et le refroidissement à l'eau. La première engendre un surcoût de production de l'ordre de 10% et la seconde nécessite, lorsque le refroidissement se fait en boucle fermée, une tour de refroidissement et une consommation d'eau par évaporation, de l'ordre de 1 kg d'eau par kg de vapeur sortant de la turbine, mais reste
15 moins coûteuse que la première. Ce qui rend le refroidissement à l'eau plus profitable sur le plan économique dans le but de réduire le coût de production qui est une condition nécessaire à la viabilité de ladite technologie.

Cependant, force est de constater que cette solution n'est pas à la portée des régions arides où le potentiel de développement de ce type de projet est le plus important. Ainsi, la rareté des ressources hydriques de ces régions constitue le principal défi au
20 développement des centrales solaires thermiques à concentration (Damerou et al., Costs of reducing water use of concentrating solar power to sustainable levels: Scenarios for North Africa ; Energy Policy 39 (2011) 4391–4398).

Etat de la technique

25 Pour relever le défi précité, certaines solutions de l'art antérieur proposent de remplacer les besoins en utilités froides coûteuses et dans le cas de l'eau, rare, par une exploitation profitable de la chaleur résiduelle du cycle de Rankine.

La demande de brevet PCT/US2010/ 026732 par E-CUBE ENERGY Inc. propose une solution d'ordre général utilisant la chaleur latente de condensation du cycle de
30 Rankine d'une centrale thermique quelconque pour les besoins de climatisation ou de dessalement, entre autre.

Plusieurs articles de recherche ont traité de la production simultanée de l'énergie et de l'eau dessalée : Gastli et al. , GIS-based assessment of combined CSP electric power and seawater desalination plant for Duqum-Oman , Renewable and Sustainable Energy
35 Reviews 14 (2010) 821–827 ; Palenzuela et al., Assessment of different configurations

for combined parabolic-trough (PT), solar power and desalination plants in arid regions, Energy 36 (2011) 4950-4958 ; Kamal, Integration of seawater desalination with power generation, Desalination 180 (2005) 217-229,...

En effet, la solution de couplage d'une centrale thermique solaire à un procédé de dessalement paraît très séduisante du fait que les besoins en eau des régions arides où ces centrales sont sensées être installées sont très importants et croissants dans le temps vu l'impact prévisible du réchauffement climatique. Parmi les méthodes de dessalement connues de l'homme du métier, celles basées sur la distillation multi-flash, la distillation à multiple effets, la distillation avec compression de vapeur, et sur l'osmose inverse ont été examinées dans le cadre des solutions proposées.

Les documents précités, soulignent l'impact positif de ce couplage sur le coût de production de l'énergie et de l'eau à la fois comparé à celui obtenu sans production simultanée de ces deux produits. Une réduction très importante de l'émission des gaz à effet de serre s'en déduit car l'énergie nécessaire à la production de ces deux produits n'est pas d'origine fossile.

Il faut néanmoins souligner que malgré cet impact positif, la capacité de production de la centrale thermique s'en trouve diminuée car les méthodes de dessalement utilisées ne se satisfont pas de la chaleur résiduelle du cycle de Rankine qui est d'un niveau de température insuffisant pour les méthodes de dessalement basées sur la distillation, et qui est inutilisable dans le cas du dessalement par l'osmose inverse nécessitant de l'électricité. Pour cette dernière méthode de dessalement, le problème de refroidissement de la centrale thermique solaire à concentration reste posé.

Ainsi, les différentes solutions de l'art antérieur proposant le couplage des centrales thermiques aux procédés de dessalement n'ont pas eu comme souci principal la résolution des problèmes posés par les utilités, notamment la rareté de l'eau, mais leur objectif global est l'amélioration de l'efficacité énergétique des centrales thermiques solaires par une production simultanée de l'énergie et de l'eau dessalée.

Une autre lacune des solutions de l'art antérieur, citées ci-dessus, est le fait de considérer généralement le dessalement de l'eau de mer alors que les considérations économiques et climatiques privilégient l'emplacement de ces centrales loin des zones côtières où le coût du foncier est souvent prohibitif pour ce genre de projets et où les conditions climatiques ne leur sont pas toujours favorables. Ainsi, le dessalement de l'eau saumâtre est plus adapté au problème posé.

Objet de l'invention

La présente invention a pour objectif principal de répondre aux besoins en refroidissement du cycle de Rankine de centrales thermiques solaires à concentration
5 situées dans des zones arides, sans consommation d'eau, et en exploitant cette chaleur de refroidissement pour les besoins de dessalement, par osmose directe, d'eaux saumâtres puisées dans les nappes phréatiques situées dans les zone géographiques les plus proches possibles des sites des centrales thermiques solaires à concentration concernées.

10

Par la réalisation de cet objectif, l'invention vise aussi une amélioration substantielle de l'efficacité énergétique des centrales thermiques solaires à concentration, permettant ainsi de réduire de façon très significative le coût de production de l'énergie électrique produite par ces centrales, pour les rendre plus compétitives par rapport aux
15 technologies utilisant les combustibles fossiles.

La réalisation du principal objectif de la présente invention permet aussi de contribuer à l'alimentation en eau fraîche des populations des zones arides, où les centrales thermiques solaires à concentration seront installées, tout en réduisant de façon très
20 significative le coût de production de cette eau, grâce à l'utilisation d'un procédé de dessalement à osmose directe, exploitant pour ses besoins thermiques la chaleur de condensation du cycle de Rankine de ces centrales, et pour ses besoins en énergie mécanique l'énergie produite par une machine osmotique associé au procédé de dessalement, dont le principe de fonctionnement est expliqué dans la section « Exposé
25 de l'invention » du présent document.

La réalisation de l'objectif principal de la présente invention vise aussi une production simultanée d'énergie et d'eau dessalée sans émissions de gaz à effets de serre et en minimisant la production de saumures de dessalement.

30

Exposé de l'invention

Il se dégage des éléments précédents, les caractéristiques principales de la présente invention qui constitue une solution permettant de résoudre le problème de refroidissement des centrales thermiques solaires à concentration : évacuer la totalité de
35 la chaleur de condensation du cycle de Rankine par un couplage à un procédé de

dessalement d'eau saumâtre sans consommation d'énergie utile de ces centrales pour les besoins de dessalement. Un type de procédé de dessalement pouvant satisfaire ces exigences, basé sur l'osmose directe bien connu de l'homme du métier est mis en œuvre par la présente invention (voir, par exemple, le brevet EP2407233 de Korea Institute of Machinery & Materials).

Les procédés de dessalement par osmose directe permettent de séparer l'eau de la solution saline sous l'effet d'un gradient de pression osmotique entre la solution à dessaler et une solution aqueuse de drainage contenant au moins un soluté de concentration plus élevée que celle des sels de la solution à dessaler. La solution à dessaler et la solution de drainage sont séparées par une membrane semi-perméable à l'eau et infranchissable par les autres substances des deux solutions, à travers laquelle un flux d'eau est transféré, sous l'effet du gradient de pression osmotique, de la solution saline vers la solution de drainage. Ce flux est proportionnel à ce gradient.

Ainsi, contrairement à la séparation membranaire par osmose inverse qui nécessite l'application à la solution à dessaler d'une pression supérieure à sa pression osmotique impliquant une consommation importante d'énergie, la séparation membranaire par osmose directe se fait naturellement sous l'effet d'un gradient de pression osmotique. Toutefois, pour obtenir de l'eau pure il est nécessaire de séparer le soluté de la solution de drainage par une opération de séparation permettant sa récupération maximale pour être recyclé dans le procédé et satisfaire la réglementation en vigueur pour la qualité de l'eau produite.

La séparation du soluté de drainage peut se faire par différents types de procédés, selon la nature du soluté, nécessitant une quantité d'énergie plus ou moins importante. La solution de drainage la plus appropriée pour le couplage du procédé de dessalement par osmose directe à la centrale thermique solaire à concentration est celle dont la séparation du soluté peut utiliser l'enthalpie de condensation du cycle de Rankine au niveau de température le plus bas possible, maximisant ainsi le rendement thermique de ce cycle tout en annulant son besoin en eau de refroidissement.

Selon la présente invention, le couplage entre le procédé de dessalement à osmose directe et le cycle de Rankine de la centrale thermique solaire à concentration est réalisé de manière optimale en utilisant la technique du point de pincement « Pinch Technology » bien connue de l'homme du métier. A l'aide de cette technique, la Grande courbe globale du procédé de séparation de la solution de drainage, représentée dans le diagramme enthalpie/température, est obtenue à partir de sa cascade énergétique constituée en utilisant la méthode des intervalles de température. Cette courbe permet de

déterminer l'emplacement du point de pincement du procédé de séparation de la solution de drainage. Lequel point de pincement sépare le procédé en deux parties isolées thermodynamiquement l'une de l'autre. La partie du profil thermodynamique dudit procédé dont les températures sont supérieures à la température du point de pincement constitue le profil froid du procédé nécessitant un réchauffage. C'est la partie 5 puits du profil thermodynamique du procédé. La partie de ce profil située au-dessous du point de pincement représente le profil chaud du procédé.

L'examen du profil froid du procédé de séparation de la solution de drainage par l'homme du métier permet de distinguer les courants du procédé pouvant satisfaire leurs 10 besoins calorifiques par échange mutuel de chaleur. Une meilleure intégration énergétique au sein dudit procédé peut ainsi être réalisée. Les besoins calorifiques des autres courants de ce profil seront satisfaits par l'échange de chaleur avec la vapeur sortant de la turbine du cycle de Rankine de la centrale thermique solaire à concentration.

Grâce à cette approche d'optimisation énergétique, la capacité de production du procédé de dessalement par osmose directe sera maximisée par rapport à ses besoins calorifiques en assurant une meilleure séparation du soluté de drainage qui constitue une impureté de l'eau produite soumise à la réglementation en vigueur. Cette meilleure 15 séparation permet aussi une meilleure récupération du soluté pour être recyclé dans le procédé, réduisant ainsi le coût de production de l'eau produite ainsi qu'une partie de l'impact environnemental du procédé de dessalement utilisé.

Pour ne pas avoir recours à l'énergie électrique de la centrale thermique solaire à concentration pour fournir l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement du procédé de dessalement (pompage de l'eau saumâtre de la nappe phréatique et 20 écoulement des matières au sein du procédé), cette énergie est produite, selon la présente invention, au moyen d'une machine osmotique, bien connue de l'homme du métier, exploitant le phénomène d'osmose directe.

Une telle machine consiste à mettre en contact, par l'intermédiaire d'une membrane semi-perméable, deux solutions de salinités différentes. Sous l'effet du gradient de 30 concentration, donc de pression osmotique, un flux d'eau passe à travers la membrane semi-perméable de la solution moins concentrée vers la solution concentrée. Si le compartiment contenant la solution concentrée est muni d'une tour d'eau suffisamment haute pour permettre à l'eau traversant la membrane de s'accumuler jusqu'à une hauteur correspondant à une pression hydrostatique ne dépassant pas la pression osmotique de la 35 solution concentrée, et si un trop-plein est placé en deçà de cette hauteur limite,

l'énergie potentielle du courant d'eau déversé par ce trop-plein est transformée en énergie cinétique qui est à son tour transformée en énergie mécanique par une turbine hydraulique puis en énergie électrique par un générateur électrique. L'énergie chimique due au gradient de pression osmotique est ainsi transformée en énergie électrique.

5 Selon un mode de réalisation préférentiel de cette machine osmotique, une pression hydraulique inférieure à la pression osmotique de la solution concentrée est appliquée à cette dernière. Cette pression hydraulique permet au courant d'eau traversant la membrane, de la solution moins concentrée vers la solution concentrée, de s'écouler à travers une turbine hydraulique produisant ainsi une énergie mécanique transformée en
10 énergie électrique à l'aide d'un générateur électrique. Cette machine osmotique exploite le principe de la « Pressure Reduced Osmosis » (osmose réduite par la pression) exprimant le fait que le flux d'eau traversant la membrane est proportionnel à la différence entre le gradient de pression osmotique à travers la membrane et la pression hydraulique appliquée à la solution concentrée, au lieu d'être proportionnel au gradient
15 de pression osmotique en absence de l'application de la pression hydraulique. Cette réduction de flux à travers la membrane est compensée par l'effet positif de la pression sur la puissance électrique produite par la machine osmotique.

Les deux solutions de salinité différentes mises en œuvre par la présente invention sont les suivantes : la solution concentrée est la solution à dessaler résiduelle obtenue
20 par le procédé de dessalement de la présente invention; la solution moins concentrée est l'eau saumâtre à dessaler mélangée au recyclage d'une partie de la saumure sortant du système. Vu le taux de récupération élevé du procédé de dessalement (plus de 75%), le gradient de concentration entre les deux solutions est très élevé, ce qui assure un flux d'eau assez important à travers la membrane de la machine osmotique, permettant ainsi
25 de produire l'énergie électrique utilisée pour le fonctionnement de l'unité de dessalement munie de sa machine osmotique obtenue selon le mode de sa réalisation principal.

Brève description des dessins

30 La figure 1 schématise le principe de l'invention selon son mode de réalisation principal.

Exposé détaillé de modes de réalisation de l'invention

Le principal mode de réalisation de la présente invention est schématisé sur la
35 figure 1.

Selon ce mode de réalisation, l'invention permet de condenser la vapeur sortant de la turbine du cycle de Rankine d'une centrale thermique solaire à concentration (100), sans faire usage d'eau qui est une ressource rare dans les zones arides qui constituent les zones privilégiées pour l'emplacement de ce type de centrales.

5 En lieu et place de cette utilité froide (eau), l'invention exploite la chaleur de condensation du cycle de Rankine de la centrale thermique solaire à concentration pour dessaler l'eau saumâtre de la nappe phréatique de proximité, en utilisant un procédé de dessalement à osmose directe ((200) et (300)).

Afin de ne pas affecter la production en énergie électrique de la centrale, et pour
10 améliorer davantage l'efficacité énergétique de celle-ci, l'invention utilise une machine osmotique ((400), (500) et (600)).

Le procédé de dessalement comporte :

- une unité de séparation membranaire (300) formée d'un compartiment recevant la solution à dessaler (301), une membrane semi-perméable (303) permettant le passage
15 de l'eau et bloquant celui de tous les autres constituants en présence, et un compartiment pour la solution de drainage (302) ;

- une unité de séparation du soluté de la solution de drainage (200).

La machine osmotique comporte :

- une unité de séparation membranaire (400) formée d'un compartiment de la
20 solution moins concentrée (401), d'un compartiment pour la solution plus concentrée (402) et d'une membrane semi-perméable (403) permettant le passage de l'eau et bloquant celui de toutes les autres substances en présence ;

- une turbine hydraulique (500) produisant de l'énergie mécanique, transformée en énergie électrique par une génératrice d'électricité, par l'écoulement de la
25 solution concentrée diluée par le flux d'eau traversant la membrane (403) ;

- une pompe (600) portant la solution plus concentrée à une pression appropriée pour une production optimale en énergie par la machine osmotique. Un compromis peut être trouvé entre l'effet négatif de cette pression sur le flux de
30 l'eau de la solution moins concentrée (dans le compartiment (401)) vers la solution concentrée (dans le compartiment (402)), à travers la membrane (403), et l'effet positif de cette pression sur l'écoulement de la solution concentrée à travers la turbine hydraulique (500).

Ainsi, selon ce mode de réalisation, l'eau saumâtre (1) mélangée au recyclage
35 d'une partie de la saumure résiduelle (12) est admise dans le compartiment (401) de

l'unité de séparation membranaire (400). Ce mélange y perd une partie de son eau à travers la membrane semi-perméable (403) par l'effet du gradient de pression osmotique entre la solution moins concentrée du compartiment (401) et la solution concentrée dans le compartiment (402). La solution (3) sortant du compartiment (401) est dessalée dans l'unité de séparation membranaire (300) après son admission dans le compartiment (302) de cette unité. Le dessalement de la solution (3) se fait par osmose directe sous l'effet du gradient de pression osmotique entre cette solution et la solution de drainage située dans le compartiment (302) de l'unité de séparation membranaire (300).

La solution de drainage diluée (5) par le flux d'eau à travers la membrane (303) de l'unité de séparation membranaire (300) est traitée dans l'unité de séparation (200) pour une récupération maximale du soluté de drainage sous l'effet de la chaleur de condensation de la vapeur (9) provenant de la turbine de la centrale thermique solaire à concentration (100). Le soluté récupéré est recyclé vers le compartiment (301) de la solution de drainage de l'unité de séparation membranaire (300) du procédé de dessalement. Le degré de séparation du soluté est fixé en respectant la réglementation en vigueur régissant la qualité de l'eau dessalée. L'utilisation de la vapeur de chauffe dans l'unité de séparation (200) est effectuée de manière rationnelle pour maximiser la capacité de production de l'unité de dessalement. Cette utilisation rationnelle de la vapeur de chauffe est réalisée à l'aide de la technique du point de pincement (Pinch Technology) bien connue de l'homme du métier et dont l'application à la présente invention a été décrite dans la section « Exposé de l'invention » de ce document. Après utilisation efficace de la vapeur de chauffe dans l'unité de séparation (200) les condensats (8) de cette vapeur sont recyclés vers la centrale thermique solaire à concentration (100) pour servir comme fluide de travail du cycle de Rankine de cette centrale.

Après séparation du soluté de drainage dans l'unité de séparation (200), l'eau dessalée purifiée (7) est traitée en fonction de l'usage de cette eau dans une unité non représentée sur la figure 1 pour lui ajouter des substances appropriées.

La saumure (4) de la solution dessalée sortant du compartiment (302) de l'unité de séparation membranaire (300) joue le rôle de la solution concentrée de la machine osmotique. Avant son admission dans le compartiment (402) de l'unité de séparation membranaire (400) de la machine osmotique, la solution (4) est portée à une pression appropriée par la pompe (600) lui assurant une vitesse d'écoulement convenable pour une bonne production. Comme il a été dit plus haut, la valeur de cette pression, qui réduit le flux d'eau osmotique (Pressure reduced osmosis (PRO)) à travers la membrane

semi-perméable (403) de l'unité de séparation membranaire (400) de la machine osmotique, est déterminée par optimisation du rendement énergétique de cette machine en utilisant des modèles bien connus de l'homme du métier.

La saumure sous pression (10) est admise dans le compartiment (402) de l'unité
5 de séparation membranaire (400) où elle sera diluée par le flux osmotique de l'eau, à travers la membrane semi-perméable (403) de l'unité de séparation membranaire (400) de la machine osmotique, sous l'effet du gradient de la pression osmotique entre la solution moins concentrée dans le compartiment (401) et la solution concentrée dans le compartiment (402) de l'unité de séparation (400) de la machine osmotique.

10 La saumure de dessalement sous pression et diluée (11) traverse la turbine hydraulique (500) qui transforme son énergie cinétique en énergie mécanique puis en puissance électrique (13) par un générateur électrique non représenté sur la figure 1.

La salinité de la solution (11) est fonction des flux osmotiques de l'eau à travers la membrane (403) de l'unité de séparation membranaire (400) de la machine osmotique
15 et à travers la membrane (302) de l'unité de séparation membranaire (300) de l'unité de dessalement à osmose directe. Le premier flux est positif alors que le second est négatif. A surface des deux membranes égales, l'importance relative de ces deux flux détermine l'importance relative de l'unité de dessalement et de la machine osmotique. Si ces deux flux sont opposés l'un à l'autre, le rôle de l'invention pour le dessalement est aussi
20 important que celui de production de l'énergie par la machine osmotique ; si le flux osmotique de l'unité (400) est supérieur à celui de l'unité (300), le rôle de la machine osmotique est plus prépondérant avantageant la production de l'énergie sur celle de l'eau dessalée, et vice-versa.

La valeur de chacun de ces deux flux dépend, pour une membrane donnée, de la
25 différence du gradient de pression osmotique et du gradient de pression hydraulique entre les deux faces de la membrane. Cette différence est fonction de deux paramètres essentiels : la nature du soluté de drainage et sa concentration dans la solution de drainage ; la pression PRO de la machine osmotique.

En fait la comparaison des rôles de l'unité de dessalement et de la machine
30 osmotique dépend des débits osmotiques de l'eau et pas seulement des flux qui leur correspondent. La surface des membranes est donc essentielle elle aussi pour cette comparaison.

Ainsi, la salinité est une variable de design du système industriel intégré défini par la figure 1. Elle est influencée par les différentes composantes de ce système :

- elle est fonction de la production de la centrale thermique solaire à concentration (100) et de son rendement thermique dont dépend la puissance de refroidissement requise par le cycle de Rankine de cette centrale ;
- elle dépend de la capacité de dessalement de l'unité de dessalement du système conçue pour répondre aux besoins de refroidissement de la centrale thermique solaire à concentration (100) tout en contribuant à l'alimentation en eau des populations de la zone aride concernée;
- elle est aussi fonction de l'énergie mécanique et électrique requise par l'unité de dessalement (pompage de l'eau saumâtre de la nappe phréatique et l'écoulement des solutions à travers l'unité de dessalement) et par la machine osmotique (puissance de la pompe (600) et besoins énergétiques pour l'écoulement des solutions à travers le circuit de la machine osmotique).

Selon le mode principal de réalisation de la présente invention, une hiérarchie entre ces trois effets est respectée.

La puissance thermique de refroidissement de la centrale thermique solaire à concentration est déterminée au préalable. Celle-ci permet d'évaluer la capacité de dessalement de l'eau saumâtre qui doit prendre en compte une exploitation pérenne de la nappe phréatique utilisée. Au cas où cette contrainte n'est pas satisfaite, il est alors procédé à une révision à la baisse de la capacité de production de la centrale thermique solaire à concentration (100) où changer de site du complexe en le déplaçant vers une zone géographique dotée d'une nappe phréatique appropriée. La capacité de production de l'unité de production de l'unité de dessalement est maximisée en tenant compte de la contrainte relative à l'exploitation de la nappe phréatique et en assurant son intégration énergétique par la technique du Pinch comme expliqué plus haut.

Le dimensionnement et le choix du point de fonctionnement de la machine osmotique est effectué en dernier lieu selon le mode principal de réalisation de la présente invention. Il considère comme contrainte la capacité de production de l'unité de dessalement. La capacité de production de la machine osmotique est donc fonction de trois paramètres de design : la surface de la membrane semi-perméable (403) de l'unité de séparation membranaire (400) ; la pression PRO de la machine osmotique appliquée par la pompe (600) à la solution plus concentrée et le taux de recyclage de la solution saline résiduelle (12) définissant le débit de la solution (2) qui sera mélangée à l'eau saumâtre (1) pour former la solution d'alimentation (14) de l'unité de séparation membranaire (400) de la machine osmotique. Le taux de

recyclage est maximisé en tenant compte de toutes les contraintes de design sus-indiquées limitant ainsi l'impact sur l'environnement de la solution saline (14) sortant du système.

- 5 Les membranes semi-perméables ainsi que les solutions de drainage, connues de l'homme du métier peuvent être utilisées pour la réalisation de la présente invention. Selon le mode principal de réalisation de la présente invention, une solution de carbonate d'ammonium est préférée. Celle-ci a l'avantage d'avoir une pression osmotique très élevée (200 atm pour une concentration de 10 M environ) de même
- 10 que sa séparation plus aisée par distillation à des températures pouvant descendre jusqu'à 40°C.

15

Système de refroidissement de centrale thermique solaire par couplage à un procédé de dessalement d'eaux saumâtres à osmose directe

Revendications

1. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration située
5 dans une zone aride et dont le processus de transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique comporte un cycle de Rankine, caractérisé en ce qu'il utilise toute la chaleur de condensation du cycle de Rankine de ladite centrale pour les besoins calorifiques du dessalement d'eau saumâtre, d'une nappe phréatique de la zone géographique où cette centrale est située, en
10 employant un procédé de dessalement par osmose directe dont les besoins en énergie électrique sont satisfaits par une machine osmotique faisant partie du système, produisant de l'énergie par un procédé membranaire à osmose directe.
2. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon
15 la revendication 1, caractérisé en ce que le couplage de ladite centrale au procédé de dessalement ne fait pas chuter la production en énergie électrique de cette centrale.
3. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon
20 les revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la capacité de production du procédé de dessalement est maximisée en minimisant ses besoins en énergie calorifique par l'intégration thermique de ce procédé, tout en respectant la durabilité de la nappe phréatique concernée.
- 25 4. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'intégration thermique du procédé de dessalement est effectuée en utilisant la méthode du point de pincement « Pinch Technology ».
- 30 5. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la machine osmotique utilise comme solution concentrée la saumure du procédé de dessalement et comme solution moins concentrée un mélange d'eau saumâtre à dessaler et du recyclage d'une partie de la saumure sortant du système.

- 5 6. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la capacité de production en énergie électrique de la machine osmotique est déterminée en minimisant le débit de saumure sortant du système.
- 10 7. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon la revendication 1, caractérisé en ce que la disponibilité d'une nappe phréatique a eaux saumâtres est une condition nécessaire au choix du site de la centrale thermique solaire dans une zone aride.
- 15 8. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 et 7, caractérisé en ce que ses besoins en utilités froides, eau et air, sont nuls.
- 20 9. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les coûts de production simultanée de l'énergie électrique et de l'eau dessalée sont nettement réduits par rapport aux coûts de productions séparées de ces deux produits.
- 25 10. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les émissions des gaz à effet de serre de la production simultanée de l'énergie électrique et de l'eau dessalée sont nulles.
- 30 11. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la production en énergie électrique est supérieure à celle que peut produire cette centrale sans le système de refroidissement de la présente invention et ce principalement, grâce à la machine osmotique du système.
- 35 12. Système de refroidissement de centrale thermique solaire à concentration selon les revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il privilégie l'installation des centrales thermiques solaires dans des zones arides plutôt que dans des zones côtières où le prix du foncier est beaucoup plus coûteux .

FIGURE 1

