

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 49271 B1** (51) Cl. internationale : **F24S 20/20**  
(43) Date de publication : **31.08.2021**

- 
- (21) N° Dépôt : **49271**  
(22) Date de Dépôt : **06.03.2018**  
(30) Données de Priorité : **29.03.2017 EP 20170163689**  
(86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT: **PCT/EP2018/055436 06.03.2018**  
(71) Demandeur(s) : **Cockerill Maintenance & Ingénierie S.A., Avenue Greiner, 1 4100 Seraing (BE)**  
(72) Inventeur(s) : **DETHIER, Alfred ; WINAND, Stéphane**  
(74) Mandataire : **SALMOUNI-ZERHOUNI M. MEHDI**  
(86) N° de dépôt auprès de l'organisme de validation: **EP18707734.2**

- 
- (54) Titre : **SYSTÈME ET PROCÉDÉ DE SURVEILLANCE THERMOMÉCANIQUES D'UN RÉCEPTEUR SOLAIRE.**  
(57) Abrégé : La présente invention concerne une centrale solaire concentrée (CSP pour Concentrated Solar Power) qui comprend une pluralité d'héliostats ou un champ d'héliostats, un récepteur d'énergie solaire sensiblement cylindrique (3), de préférence un récepteur solaire à sels fondus (MSSR pour Molten Salt Solar Receiver), situé au-dessus d'une tour centrale (1) et ayant une surface externe recouverte de panneaux récepteurs (30) et un écran thermique (2) adjacent au récepteur solaire (3), les héliostats réfléchissant l'énergie solaire vers ladite surface externe du récepteur (3), chaque panneau récepteur (30) comprenant une pluralité de tubes d'échangeur de chaleur (6) destinés à transporter un fluide de transfert de chaleur, qui sont partiellement exposés sur la surface externe du récepteur et comprenant un système de surveillance thermomécanique pour assurer l'intégrité des tubes de panneau de récepteur solaire en fonctionnement, ledit système de surveillance thermomécanique comprenant un système de traitement de données destiné à calculer et/ou à fournir respectivement la température maximale, le profil de température et/ou le profil d'énergie absorbée dans chaque tube d'échangeur de chaleur (6) et des contraintes mécaniques théoriques attribuées à chaque tube d'échangeur de chaleur (6)

en fonction de la température fournie par les dispositifs d'imagerie (7, 7A, 7B, etc.), afin de commander si le point de fonctionnement d'une zone située sur le récepteur solaire (3) se trouve dans une enveloppe d'exploitation (16) dans la contrainte théorique dans un espace bidimensionnel/Tmax définissant des seuils de température et de contrainte prédéfinis et afin d'émettre des alertes dans le cas d'un dépassement desdits seuils de température et de contrainte prédéfinis tout en étant à l'extérieur de ladite enveloppe (16) et en outre de nécessiter une défocalisation de rayonnement d'héliostat sur ladite zone.

## REVENDEICATIONS

1. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) comprenant une pluralité d'héliostats ou un champ d'héliostats, un récepteur d'énergie solaire (3) sensiblement cylindrique, de préférence un récepteur solaire à sels fondus (MSSR), situé au sommet d'une tour centrale (1) et présentant une surface externe recouverte de panneaux récepteurs (30) et un écran thermique (2) adjacent au récepteur solaire (3), les héliostats réfléchissant l'énergie solaire vers ladite surface externe du récepteur (3), chaque panneau récepteur (30) comprenant une pluralité de tubes d'échangeur de chaleur (6) pour transporter un fluide caloporteur, lesquels sont partiellement exposés sur la surface externe du récepteur, et comprenant un système de surveillance thermomécanique pour garantir l'intégrité des tubes de panneaux récepteurs solaires en fonctionnement, ledit système de surveillance thermomécanique comprenant au moins :

- une pluralité de dispositifs d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.) situés au sol et montés chacun sur un dispositif de fixation et d'orientation (8), pour mesurer un rayonnement infrarouge émis par la surface externe du récepteur (3) et fournir un signal dépendant d'une température de panneau dans une zone de ladite surface externe ;

- pour chaque dispositif d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.), une zone d'intérêt de référence, RAOI, (12) située sur l'écran thermique (2) agencé face à son dispositif d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.) et contenant un ou plusieurs capteurs de température (13) pour mesurer une température de référence correspondant à ladite zone RAOI (12) ;

- un ou plusieurs débitmètres (22) pour mesurer le débit de fluide caloporteur dans les tubes d'échangeur de chaleur (6) et des capteurs de température (23) agencés respectivement à l'entrée et à la sortie des tubes d'échangeur de chaleur (6), les mesures fournies par les débitmètres (22) et les capteurs de température (23) étant destinées à permettre de calculer le bilan énergétique absorbé par le fluide caloporteur dans le récepteur, ainsi que les déformations mécaniques subies par les tubes d'échangeur de chaleur (6) ;

un système de traitement de données pour calculer et/ou fournir respectivement la température maximale, un profil de température et/ou un profil de puissance absorbée dans chaque tube d'échangeur de chaleur (6), et des déformations mécaniques théoriques affectées à chaque tube d'échangeur de chaleur (6) en fonction de la température fournie par les dispositifs d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.), en tenant compte de la température de référence de la zone RAOI et de la température du fluide caloporteur à l'entrée et à la sortie desdits tubes (6), afin de contrôler si le point de fonctionnement d'une zone située sur le récepteur solaire (3) se situe dans une enveloppe de fonctionnement (16) dans la déformation théorique d'espace 2D /Tmax définissant des seuils de température et de déformation prédéfinis, et afin d'émettre des alertes en cas de dépassement desdits seuils de température et de déformation prédéfinis, tout en étant en dehors de ladite enveloppe (16), et en outre afin de demander une défocalisation de rayonnement d'héliostats sur ladite zone, le système de traitement de données comprenant un premier moyen de commande (41) pour commander des caméras infrarouge, IR, un second moyen de commande (42) pour commander une intégrité de tubes de panneaux en fonctionnement, et un système de commande répartie, DCS, (40) connecté aux premier et second moyens de commande (41, 42), à des débitmètres (22), à des capteurs de température de tubes (23) et à des capteurs de température de référence de zone RAOI (13), ledit système DCS (40) étant en mesure de communiquer la température de référence mesurée (13) de la zone RAOI (12) au premier moyen de commande (41), et le débit mesuré et les températures d'entrée/sortie du fluide caloporteur au premier moyen de commande (41) et/ou au second moyen de commande (42), et ledit système DCS étant en mesure de recevoir, en provenance du second moyen de commande (42), des informations de défocalisation de panneaux locales pour défocaliser un rayonnement d'héliostats sur un ou plusieurs panneaux (30) ;

dans lequel le second moyen de commande (42) pour commander une intégrité de tubes de panneaux en fonctionnement est un moyen en mesure de communiquer avec le premier moyen (41) et pour :

- calculer une température maximale corrigée, sur chaque tube d'échangeur (6), en introduisant une correction mathématique basée sur des températures mesu-

rées par la caméra IR, des températures de sels fondus de panneaux d'entrée et de sortie et un flux de sels fondus dans le panneau pris en compte ;

- avec un modèle mathématique dédié de type « fluage-fatigue », calculer un niveau de déformation théorique dans les tubes (6) ;

5 - comparer le positionnement de points définis par ladite température maximale corrigée calculée et ledit niveau de déformation calculé dans une enveloppe de fonctionnement de récepteur solaire autorisée ; et

- générer une alarme et, selon le niveau d'erreur réel, demander une défocalisation et/ou un arrêt d'héliostats, lorsque le positionnement de ladite température maximale corrigée calculée et/ou dudit niveau de déformation calculé est en dehors de ladite enveloppe de fonctionnement.

10

2. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 1, dans laquelle le fluide caloporteur est un sel fondu.

3. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 1, dans laquelle les dispositifs d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.) sont des caméras IR dotées d'un objectif dédié, qui sont au moins au nombre de quatre, et situées au sol à une distance définie du socle de tour de centrale CSP, et avec un espacement angulaire régulier les unes par rapport aux autres autour de la tour de centrale CSP, l'angle entre la zone à surveiller sur le récepteur solaire (3) et l'axe de l'objectif de caméra étant de préférence compris entre 45° et 90°.

15

20

4. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 3, dans laquelle, à des fins de redondance, chaque panneau (30) se situe dans le champ de vision de deux caméras (7, 7A, 7B, etc.), chaque caméra (7, 7A, 7B, etc.) étant en mesure de surveiller quatre panneaux (30), de préférence des panneaux adjacents (31, 31') et, en cas de défaillance d'une caméra la plus proche, des panneaux se situant immédiatement à l'extérieur des panneaux adjacents (32, 32').

25

5. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 1, dans laquelle le dispositif de fixation et d'orientation (8) des dispositifs d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.) est composé d'un boîtier de dispositif d'imagerie thermique (70), d'un mât (9), d'un système de réglage de position (10), d'une armoire éloignée (11) et de moyens de refroidissement/chauffage pour maintenir les dispositifs d'imagerie thermique (7, 7A, 7B, etc.) dans une plage de température prédéfinie.

6. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 1, dans laquelle le premier moyen de commande (41) pour commander des caméras IR est un moyen pour :

- détecter des points chauds et déclencher des alarmes automatiques ;
  - enregistrer, analyser et stocker des mesures de température ;
  - fournir, à un opérateur, un affichage de température de surface, et notamment transformer une image cylindrique en une image rectangulaire plane ; et
- 15 - comparer de mesures de caméras IR à une température de référence donnée par les capteurs d'une zone RAOI, et, sur la base de la tendance donnée par la température de référence, calibrer des caméras IR en ajustant des paramètres de transmissivité et/ou d'émissivité.

7. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 1, dans laquelle le premier moyen de commande (41) pour commander des caméras IR et le second moyen de commande (42) pour commander une intégrité de panneaux en fonctionnement sont sous la forme d'instructions lisibles stockées dans une mémoire d'un ordinateur personnel, PC, maître (43), ledit premier moyen de commande (41) et ledit second moyen de commande (42) communiquant par l'intermédiaire d'une bibliothèque de liens dynamiques, DLL, (45) également stockée dans le PC maître (43), et dans laquelle le premier moyen de commande (41) pour commander des caméras IR est également sous la forme d'instructions lisibles stockées dans la mémoire d'un PC esclave (44).

8. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 7, dans laquelle des données de caméras IR brutes sont post-traitées sur le PC maître (43) et sur le PC esclave (44), et dans laquelle les données post-traitées sont échangées entre les deux PC par le premier moyen de commande  
5 (41), ledit second moyen de commande (42) traitant les données des caméras IR provenant du premier moyen de commande (41) par l'intermédiaire de la bibliothèque DLL.

9. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon la revendication 1, dans laquelle la température de paroi externe maximale  $T_0, \max$  d'un  
10 tube (6) situé sur  $(x, y)$  est donnée par l'équation ci-dessous :

où A et B sont obtenus par un ajustement des moindres carrés linéaires sur les données  $T_{\text{salt}}$ ,  $T_0, \max$  et  $T_{\text{camera}}$ , une cellule comprenant  $i \times j$  pixels ( $i, j$  entiers  $> 0$ ).

10. Centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP) selon l'une  
15 quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre des moyens de commande en boucle fermée pour optimiser le fonctionnement du système composé d'un récepteur solaire, de caméras IR et d'un champ d'héliostats.

11. Utilisation de la centrale solaire à concentration (CSP) selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour optimiser l'énergie solaire reçue par  
20 le récepteur solaire (3) et/ou la surface de récepteur solaire utilisée (3).

12. Procédé de surveillance thermomécanique d'un récepteur d'énergie solaire (3) d'une centrale solaire thermodynamique à concentration (CSP), selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, afin de garantir l'intégrité des tubes de panneaux de récepteur solaire (6) et/ou d'optimiser une charge de puissance  
25 du récepteur solaire (3), comprenant au moins les étapes ci-dessous consistant à :

- acquérir des données brutes à partir de dispositifs d'imagerie thermique ;

- corriger lesdites données brutes par des températures de référence de zone RAOI situées sur l'écran thermique, en vue d'obtenir des températures corrigées à un niveau de pixel ;

- acquérir des données de débit massique de sels fondus et des températures de sels fondus à l'entrée et à la sortie de chaque panneau de récepteur ;

- estimer une puissance absorbée ;

- discrétiser un récepteur solaire dans des cellules  $(x, y)$  ;

- 5 - à un niveau des cellules, calculer la température externe maximale sur la crête de tubes des tubes d'échangeur, à savoir pour une direction de ligne de vue à angle de  $90^\circ$ , selon l'équation ci-dessous :

$$T_{o,max}(x,y) = A \cdot T_{camera, cellule}(x,y) + B \cdot T_{sel}(x,y)$$

où les coefficients A et B sont déterminés par la méthode des moindres carrés ;

- 10 - calculer la température interne maximale des cellules dans chaque tube d'échangeur ;

- calculer la puissance absorbée des cellules, et une température externe et interne maximale de chaque tube d'échangeur à un quelconque angle de ligne de vue ;

- 15 - calculer un niveau de déformation théorique dans le tube en faisant appel à un modèle mathématique dédié de type « fluage-fatigue » ;

- comparer la charge thermomécanique de tube réelle à l'enveloppe température/déformation de fonctionnement ; et

- 20 - si ledit positionnement est en dehors de ladite enveloppe de fonctionnement, selon des critères prédéfinis, donner un signal d'alerte, et éventuellement, calculer un taux de diminution de puissance et demander une défocalisation de rayonnement d'héliostats.
-