



(43) Date de la publication internationale
27 octobre 2016 (27.10.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/169867 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F28D 20/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/058460

(22) Date de dépôt international :
15 avril 2016 (15.04.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR1553591 22 avril 2015 (22.04.2015) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
[FR/FR]; 25 rue Leblanc Bâtiment Le Ponant D, 75015 Pa-
ris (FR).

(72) Inventeurs : DUPASSIEUX, Nathalie; 791 route des
hôtes, 73100 Pugny-chatenod (FR). RODAT, Sylvain;
Grioudas, 12630 Gages (FR).

(74) Mandataires : CABINET NONY et al.; 3 rue de Pen-
thièvre, 75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

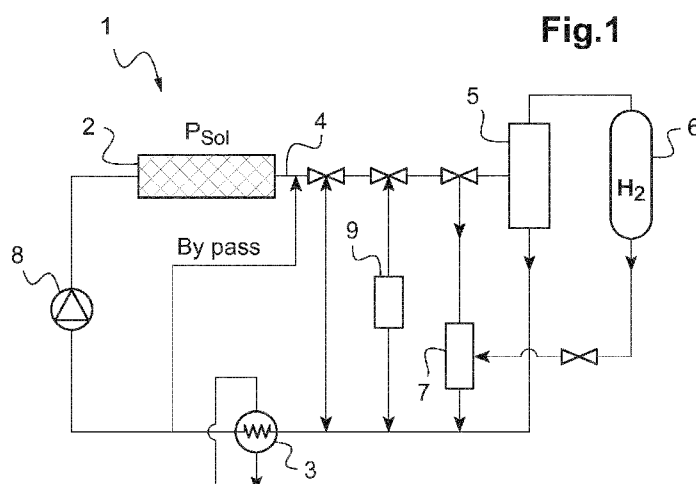
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : CONCENTRATING SOLAR POWER (CSP) PLANT WITH CHEMICAL STORAGE

(54) Titre : CENTRALE SOLAIRE A CONCENTRATION (CSP) A STOCKAGE PAR VOIE CHIMIQUE



(57) Abstract : The present invention relates to a concentrating solar power (CSP) plant (1), including: at least one solar absorber/receiver (2) suitable for receiving concentrated solar radiation, a thermal device (3) connected to the absorber by a heat-transfer fluid circuit (4), the thermal device being suitable for consuming or transforming at least one portion of the heat absorbed by the absorber and transmitted by the heat-transfer fluid; a first chemical reactor (5) suitable for implementing an endothermic reaction in which the required heat is at least one portion of the heat surplus absorbed by the absorber and not consumed or not transformed by the thermal device; and a vessel (6) for storing the product of the endothermic reaction, connected to the first chemical reactor.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



La présente invention concerne une centrale solaire à concentration (CSP) (1), comprenant : au moins un absorbeur/récepteur solaire (2) adapté pour recevoir des rayonnements solaires concentrés, un dispositif thermique (3) relié à l'absorbeur par un circuit de fluide caloporteur (4), le dispositif thermique étant adapté pour consommer ou transformer au moins une partie de la chaleur absorbée par l'absorbeur et transmise par le fluide caloporteur, un premier réacteur chimique (5), adapté pour mettre en œuvre une réaction endothermique dont la chaleur requise est au moins une partie du surplus de chaleur absorbée par l'absorbeur et non consommée ou non transformée par le dispositif thermique, un réservoir (6) de stockage de produit de la réaction endothermique, relié au premier réacteur chimique.

CENTRALE SOLAIRE A CONCENTRATION (CSP) A STOCKAGE PAR VOIE CHIMIQUE

Domaine technique

La présente invention concerne le stockage d'au moins une partie de l'énergie
5 thermique (chaleur) d'une centrale solaire à concentration.

La présente invention vise à proposer un autre mode de stockage de la chaleur que le stockage par chaleur sensible ou latente mis en œuvre à ce jour.

Etat de la technique

La technologie solaire thermique à concentration consiste à concentrer le
10 rayonnement solaire à l'aide de miroirs pour chauffer un fluide caloporteur servant de source chaude dans un cycle thermodynamique. La concentration permet d'atteindre des températures plus ou moins élevées et ainsi de bénéficier de rendements de conversion thermodynamiques plus ou moins importants.

Les technologies développées se distinguent par leur méthode de concentration
15 des rayons solaires, de transport (et éventuellement de stockage) de la chaleur (fluides caloporteurs) et de conversion thermodynamique (turbines à vapeur, turbines à gaz, moteurs Stirling).

On distingue typiquement quatre grandes familles de centrales solaires
20 thermiques à concentration (encore appelée centrales solaires thermodynamiques à concentration ou centrales héliothermodynamiques, d'acronyme anglais CSP pour « *Concentrating Solar Power Plant* ») : les systèmes à collecteurs de forme cylindro-parabolique à foyer linéaire, ceux à concentrateurs linéaires de Fresnel, les systèmes à tour à récepteur central et enfin, les systèmes à paraboles à foyer mobile.

Une centrale CSP est donc une centrale qui concentre les rayons du soleil à
25 l'aide de miroirs pour chauffer un matériau caloporteur. Ce matériau sert de source chaude à une turbine de détente qui entraîne un alternateur afin de produire de l'électricité.

Le matériau caloporteur est conventionnellement un liquide monophasique, organique ou inorganique, telle qu'une huile du type commercialisée sous la dénomination Therminol®66, Jaritherm DBT, ..., ou des sels fondus de nitrate de sodium (NaNO_3), qui
30 présentent une capacité calorifique importante et un point d'ébullition élevé.

Un autre fluide caloporteur conventionnel est l'eau sous pression mise en œuvre dans une plage de température et pression telle qu'elle se trouve sous forme liquide

et gazeuse avec des ratios vapeur/liquide variables aux différents points de l'absorbeur/récepteur solaire de la centrale.

D'autres matériaux caloporteurs ont été envisagés tels que les matériaux inorganiques mis sous la forme de solides divisés, aptes à être fluidisés selon la classification des poudres dite de Geldart, et qui sont transportés dans un circuit dans un flux de gaz inerte.

Dans les centrales solaires à concentration, ces matériaux caloporteurs transportent l'énergie absorbée au niveau de l'absorbeur/récepteur solaire sous forme de chaleur sensible ou de chaleur et de pression vers des dispositifs qui consomment cette chaleur ou la transforment en produits finaux valorisables, tels que des dispositifs thermoélectriques par exemple.

Le flux solaire arrivant à la centrale solaire à concentration est par nature intermittent et l'énergie absorbée au niveau de l'absorbeur/récepteur peut être également stockée afin d'être déstockée quand la ressource solaire vient à manquer (nuit ou passage nuageux).

Jusqu'à ce jour dans une centrale solaire à concentration CSP, ce stockage de chaleur emmagasinée au cours d'ensoleillement est réalisé exclusivement par chaleur latente, c'est-à-dire par changement de phase d'un matériau, généralement changement solide/liquide d'un matériau pour lequel la variation volumique est faible, ou par chaleur sensible, c'est-à-dire par changement de la température du matériau, la chaleur étant alors emmagasinée dans le matériau.

Les matériaux caloporteurs et leurs mises en œuvre pour l'absorption et transport de la chaleur solaire ainsi que les matériaux et leurs mises en œuvre pour le stockage de l'énergie solaire absorbée présentent des inconvénients. Parmi ces derniers on peut citer la régulation en température du fluide caloporteur qui peut s'avérer délicate et engendrer la dégradation plus ou moins rapide du fluide caloporteur. Pour les formes de stockage, on peut citer les volumes de stockage importants engendrés par la faible densité énergétique des dispositifs.

De plus les installations solaires à concentration sont configurées avec un couplage de dispositifs de conversion de chaleur (en électricité par exemple) et de dispositifs de stockage ne pouvant absorber toute l'énergie solaire incidente notamment lors des journées d'été les plus ensoleillées. En effet, le dimensionnement est réalisé sur

des bases d'une optimisation technico-économique conduisant à un dispositif qui ne valorisera pas toute l'énergie récupérable sur la surface de réflecteur installée. Pendant les pics d'ensoleillement estivaux, les miroirs d'une centrale solaire à concentration sont défocalisés quand le stockage est plein et que le dispositif de conversion de la chaleur en

5 électricité ou autre consommateur de chaleur est à son point maximal de consommation.

La demande de brevet WO2013/159884 A2 décrit la mise en œuvre de procédés de production d'alcènes par déhydrogénation catalytique, l'apport de chaleur nécessaire étant réalisé par la source solaire. Ce brevet n'aborde pas la question du stockage de l'énergie et prévoit uniquement la chauffe alternative de la charge d'alcanes

10 par la source solaire.

La demande de brevet EP 1471324 A2 décrit un appareil et une méthode de stockage thermique sous forme de réaction dans un matériau. Le matériau de stockage thermique prévu comprend de préférence une substance absorbant la chaleur par une réaction de déhydrogénation de liaisons O-H ou de liaisons C-H. Aucune application à une

15 centrale thermique à concentration n'est envisagée dans ce document.

Il existe ainsi un besoin d'améliorer le stockage thermique dans les centrales solaires thermiques à concentration, notamment afin de rendre la régulation en température plus aisée, de réduire les volumes de stockage requis, et de s'affranchir d'une dégradation non maîtrisée du fluide caloporteur.

20 Le but de l'invention est de répondre au moins en partie à ce besoin.

Exposé de l'invention

Pour ce faire, l'invention a pour objet une centrale solaire à concentration (CSP), comprenant :

- au moins un absorbeur/récepteur solaire adapté pour recevoir des rayonnements solaires concentrés,

25

- un dispositif thermique relié à l'absorbeur par un circuit de fluide caloporteur, le dispositif thermique étant adapté pour consommer ou transformer au moins une partie de la chaleur absorbée par l'absorbeur et transmise par le fluide caloporteur,

- un premier réacteur chimique, adapté pour mettre en œuvre une réaction endothermique dont la chaleur requise est au moins une partie du surplus de chaleur absorbée par l'absorbeur et non consommée ou non transformée par le dispositif thermique,

30

- un réservoir de stockage de produit de la réaction endothermique, relié au premier réacteur chimique.

Ainsi, selon l'invention, on réalise le stockage sous forme chimique d'une partie de l'énergie solaire absorbée par le(s) récepteur(s) solaire(s) d'une centrale CSP, et
5 qui est en surplus de celle consommée ou transformée par le dispositif thermique.

La réaction endothermique mise en œuvre peut être une réaction réversible.

Le fluide caloporteur peut être le fluide réactif.

L'invention permet d'absorber notamment les pics de rayonnement solaires non valorisables par une centrale CSP. L'absorption sous forme chimique de l'énergie
10 solaire directement dans le fluide caloporteur constitue une capacité supplémentaire de stockage. Ainsi, un avantage de l'invention est de réduire les volumes de stockage mis en œuvre dans un stockage par chaleur sensible ou latente comme selon l'état de l'art.

Selon une variante de mise en œuvre, la réaction endothermique peut être une réaction endothermique non réversible qui modifie la charge. Les produits de cette
15 conversion, tels que des gaz légers et charges dégradées peuvent être brûlés au fur à mesure des besoins de chaleur. Les produits de conversion peuvent également être des produits valorisables en carburants liquides tels que ceux issus des réactions de déhydrogénation des naphthènes ou de déhydrocyclisation des paraffines. Un des produits de conversion peut être l'hydrogène, ce dernier peut être envoyé à une pile à combustible
20 pour la production d'électricité. Lorsque le fluide caloporteur est également un fluide réactif de la réaction endothermique, alors il peut être ajouté au fur à mesure qu'il est soutiré.

Selon un mode de réalisation avantageux, la centrale comprend en outre un deuxième réacteur chimique, adapté pour mettre en œuvre une réaction exothermique qui
25 est la réaction inverse de la réaction endothermique mise en œuvre dans le premier réacteur chimique, le réservoir de stockage de produit de la réaction endothermique réversible, étant relié au premier et au deuxième réacteur chimique pour respectivement stocker depuis le premier réacteur ou envoyer dans le deuxième le produit de réaction. Ainsi, selon ce mode où la réaction endothermique est réversible, alors l'énergie stockée
30 peut être déstockée par mise en œuvre de la réaction exothermique inverse. Ce mode où la réaction endothermique est réversible est particulièrement avantageux, car il permet

d'assurer une production continue d'énergie uniquement par une centrale solaire à concentration.

Selon une variante de réalisation avantageuse, le récepteur solaire constitue le premier réacteur chimique dans lequel la réaction endothermique est mise en œuvre, et/ou le cas échéant le deuxième réacteur chimique.

Cette variante de réalisation permet de limiter les montées en température du fluide caloporteur de la centrale ou les augmentations de débits du fluide caloporteur nécessaires à l'absorption de flux solaires.

Cette variante de réalisation permet un stockage saisonnier. La charge réactive est à la fois un caloporteur et se décompose pour constituer un produit stockable. Il y a consommation de la charge ou caloporteur réactif. Le craquage peut intervenir lors des pics d'ensoleillement, la chaleur non utilisable par l'installation est ainsi stockée et réutilisable pour les périodes de faible ensoleillement. La réaction endothermique limite les montées en température, les pertes thermiques et les pertes d'énergie solaire non valorisables par une installation conventionnelle lors des pics d'ensoleillement saisonnier.

Autrement dit, comparativement à un stockage exclusivement par chaleur sensible selon l'état de l'art, le stockage chimique selon l'invention permet de réguler plus aisément la température au sein d'une centrale CSP.

Selon un premier mode de réalisation, le circuit de fluide caloporteur constitue également le circuit de fluide réactif à travers le premier réacteur chimique et le cas échéant le deuxième réacteur chimique. Ainsi, le fluide caloporteur peut également être le réactif de la réaction endothermique, et donc celle-ci a lieu au sein même du caloporteur dès que celui-ci a absorbé l'énergie nécessaire à la réaction. Selon ce premier mode, le fluide caloporteur peut être de composition homogène, c'est-à-dire une charge à mono-composé ou hétérogène, c'est-à-dire une charge comportant plusieurs espèces chimiques de réactivités différentes.

Alternativement, selon un deuxième mode de réalisation, la centrale peut comprendre en outre un échangeur de chaleur adapté pour transférer la chaleur du circuit de fluide caloporteur au circuit de fluide réactif à travers le premier réacteur chimique et le cas échéant le deuxième réacteur chimique, le circuit de fluide caloporteur étant distinct du circuit de fluide réactif. Ainsi, selon ce deuxième mode, la chaleur en excès dans le fluide caloporteur est apportée au circuit de fluide réactif par un échangeur.

Avantageusement, la centrale CSP peut comprendre en outre un réservoir de stockage thermique par chaleur sensible ou latente, en tant que moyen de stockage d'au moins une partie du surplus de chaleur absorbée par l'absorbeur et non consommée ou non transformée par le dispositif thermique. Autrement dit, on peut prévoir, en fonction des applications, un stockage supplémentaire par chaleur sensible ou latente comme selon l'état de l'art.

Selon une application avantageuse, le dispositif thermique peut être une machine thermique apte à faire subir à un fluide de travail un cycle thermodynamique dit de Rankine, la machine thermique comprenant une turbine de détente de vapeur du fluide de travail. De préférence, la machine thermique est une machine à cycle organique de Rankine (ORC). De manière plus générale, le dispositif thermique envisagé peut être prévu pour la production d'eau de mer dessalée, pour la production du froid, ou pour la production d'électricité ou directement de chaleur.

L'invention concerne également un procédé de fonctionnement de la centrale solaire à concentration qui vient d'être décrite, selon lequel on réalise les étapes suivantes :

i/ si la puissance absorbée par le récepteur solaire est inférieure à une valeur seuil prédéterminée permettant au moins le fonctionnement du dispositif thermique, absence de mise en œuvre de la réaction endothermique au sein du premier réacteur,

ii/ si la puissance absorbée par le récepteur solaire est supérieur ou égale à la valeur seuil prédéterminée, mise en œuvre de la réaction endothermique au sein du premier réacteur, avec au moins une partie du surplus de puissance absorbée.

Selon une variante avantageuse, on met en œuvre une réaction réversible de déhydrogénation/hydrogénation sur catalyseurs, l'hydrogène produit/consommé étant stocké temporairement dans le réservoir. Selon cette variante, le fluide caloporteur peut constituer la charge de la réaction réversible de déhydrogénation/hydrogénation.

La charge de la réaction endothermique est avantageusement un hydrocarbure, tel qu'une coupe légère du type diesel, une huile de paraffine ou une huile végétale.

Selon une autre variante avantageuse, on met en œuvre une réaction endothermique de craquage, les gaz ou coupes légères produits étant stockés dans le réservoir.

Description détaillée

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes parmi lesquelles :

- 5 - la figure 1 est une vue schématique générale d'une centrale solaire CSP selon un premier mode de réalisation de l'invention;
- la figure 2 est une vue schématique générale d'une centrale solaire CSP selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

10 Dans la description qui va suivre les termes « entrée », « sortie » « amont », « aval », sont utilisés par référence avec la direction de circulation des fluides au sein de la centrale selon l'invention.

 La centrale solaire thermodynamique (CSP) 1 selon l'invention comprend tout d'abord au moins un récepteur/absorbeur solaire 2 adapté pour recevoir des rayonnements solaires concentrés. La concentration solaire peut par exemple être réalisée à partir d'un ou
15 plusieurs groupes de pluralités de miroirs cylindro-paraboliques formant ce que l'on désigne usuellement des champs solaires.

 Le récepteur solaire 2 est relié à un dispositif thermique 3 par un circuit d'un fluide caloporteur 4 en boucle fermée, la circulation du fluide caloporteur étant assurée au moyen d'une pompe 8.

20 Nous ne décrivons pas ici en détail le dispositif thermique 3 de la centrale 1 dont le fonctionnement nécessite une puissance P_m fournie par le circuit du fluide caloporteur 4. Plus précisément, le dispositif thermique 3 peut être une machine thermique de conversion électrique fonctionnant selon un cycle thermodynamique dit Cycle Organique de Rankine (acronyme anglais ORC). De manière générale, le dispositif
25 thermique 3 peut servir à produire de l'eau de mer dessalée, produire du froid ou à produire de l'électricité ou de la chaleur valorisable dans un process.

 Selon l'invention, lorsque la puissance P_{sol} fournie par le récepteur solaire 2 est supérieure à la puissance P_m nécessaire au fonctionnement du dispositif thermique 3, alors on réalise un stockage par voie chimique du surplus de puissance ($P_{sol}-P_m$).

30 Pour ce faire, la centrale solaire à concentration 1 comprend un premier réacteur chimique 5, adapté pour mettre en œuvre une réaction endothermique dont la chaleur requise est au moins égale au surplus de puissance ($P_{sol}-P_m$), et un réservoir 6 de

stockage de produit de la réaction endothermique, relié à la sortie du premier réacteur chimique 5.

Ainsi, le procédé de fonctionnement de la centrale selon l'invention comporte les étapes suivantes :

5 i/ si la puissance absorbée par le récepteur solaire 2 est inférieure à une valeur seuil prédéterminée permettant au moins le fonctionnement du dispositif thermique, absence de mise en œuvre de la réaction endothermique au sein du premier réacteur 5,

 ii/ si la puissance absorbée par le récepteur solaire 2 est supérieure ou égale à la valeur seuil prédéterminée, mise en œuvre de la réaction endothermique au sein du
10 premier réacteur 5, avec au moins une partie du surplus de puissance absorbée.

Avantageusement, la réaction endothermique est réversible.

Ainsi, comme représenté en figures 1 et 2, on prévoit en outre un deuxième réacteur chimique 7 qui met en œuvre la réaction exothermique inverse. Ce deuxième réacteur 7 est relié à la sortie du réservoir 6.

15 Ainsi, dans cette configuration alors l'énergie stockée dans le réservoir 6 peut être déstockée par mise en œuvre de la réaction exothermique inverse au sein du deuxième réacteur 7. Cette configuration permet de réaliser une production continue d'énergie uniquement par une centrale solaire à concentration, plus exactement par son dispositif thermique 3 qui peut être alimenté en permanence soit par la puissance solaire P_{sol}
20 directement ou lorsque celle-ci est inférieure à la puissance P_m requise par le dispositif 3, en tout ou partie par la puissance dégagée de la réaction exothermique dans le deuxième réacteur 7.

On donne ci-après un exemple 1 de centrale solaire existante, et un exemple 2 de centrale dans laquelle l'invention pourrait être mise en œuvre avantageusement.

25 Exemple 1: Une centrale solaire « A » de type Fresnel de 94 000 m² de miroirs est couplé à un dispositif thermique. La centrale A fonctionne avec une huile thermique comme fluide caloporteur, elle ne met pas en œuvre la déhydrogénation catalytique. La centrale A est équipée d'un stockage de chaleur sensible de type lit de roche. Ce stockage de 2551m³ présente une densité de 241MJ/kg. Cette centrale A fonctionnant sous un
30 ensoleillement donné est en capacité de collecter 317GJ par an de chaleur. Le dispositif thermique consommateur de chaleur à une capacité nominale de 20MWth. Compte tenu des variations saisonnières de la ressource solaire, pendant la période estivale, l'intégralité

du potentiel de la centrale ne peut être exploitée. Pour une journée d'été la puissance thermique qui peut être collectée par la centrale A est de 60MW. Une puissance de 20MW est envoyée vers le dispositif thermique selon l'invention et le stockage par chaleur sensible est plein. Dans cette configuration, le pilotage de la centrale A implique que les 40MW restants doivent être, soit dissipés soit préférentiellement ne pas être collectés en défocalisant les miroirs. Ces 40MW de puissance restants ne sont pas valorisés par la centrale. a centrale A existante telle que configurée sous un ensoleillement donné perdra 26,5GJ par an de chaleur non collectée et non valorisée.

Exemple 2: Une centrale solaire B de type Fresnel de 94 000 m² de miroir est couplée à un dispositif thermique. La centrale B fonctionne avec une coupe pétrolière type paraffinique centrée sur l'héxadécane comme fluide caloporteur. Elle est équipée d'un dispositif mettant en œuvre la déhydrogénation catalytique. Le fluide caloporteur réactif est mis en œuvre de telle manière que la déhydrogénation catalytique soit légère, soit une déhydrogénation par molécule de paraffines. Dans cette configuration la densité de stockage d'énergie dans le fluide caloporteur réactif est de 492MJ/m³. Le volume total de caloporteur mis en œuvre est équivalent à celui mis en œuvre pour la centrale A. La centrale B est également équipée d'un stockage de chaleur sensible équivalent à celui de la centrale A. La centrale B fonctionnant sous un ensoleillement donné est en capacité de collecter de 317GJ par an de chaleur. Le dispositif thermique consommateur de chaleur à une capacité nominale de 20MWth. Compte tenu des variations saisonnières de la ressource solaire, pendant la période estivale, l'intégralité du potentiel de la centrale peut être exploitée. Pour une journée d'été la puissance thermique que la centrale B peut collecter est de 60MW, 20MW sont envoyés vers le dispositif thermique et le stockage est plein. Le passage du fluide caloporteur sur le dispositif catalytique de déhydrogénation permet de stoker l'énergie collectée par déhydrogénation catalytique endothermique. Les 40MW restants de puissance sont stockés par la centrale B sous forme chimique conformément à l'invention. Le caloporteur réactif est transformé en hydrogène et en oléfines. Pendant une heure sous cet ensoleillement, 1176 mol d'héxadécane sont déhydrogénées. La centrale B telle que configurée conformément à l'invention ne perdra pas de chaleur, l'intégralité de la ressource solaire sera stockée par déhydrogénation du fluide hexadécane caloporteur, 317GJ de chaleur par an sont collectées et valorisées par la centrale B conforme à l'invention.

Une réaction réversible qui peut être avantageuse à mettre en œuvre est la déhydrogénation/hydrogénation d'hydrocarbures sur catalyseurs, l'hydrogène produit/consommé étant stocké temporairement dans le réservoir 6.

Deux modes distincts illustrés respectivement en figure 1 et en figure 2 peuvent être envisagés pour une production en continu à partir de réactions réversibles.

En figure 1, le fluide caloporteur constitue le fluide réactif de la réaction endothermique. Le circuit de fluide 4 en boucle fermée est alors unique et intègre les réacteurs chimiques 5, 7 et le réservoir de stockage 6, tel qu'un réservoir de stockage d'hydrogène. Bien que non représenté, un compresseur est agencé en sortie du réacteur 5 pour compresser H_2 dans le réservoir 6, et une vanne est agencée en sortie du réservoir de stockage 6 pour libérer le flux d' H_2 quand nécessaire.

En figure 2, le fluide caloporteur est indépendant du fluide réactif de la réaction endothermique. Le circuit de fluide réactif 11 en boucle fermée, qui intègre les réacteurs chimiques 5, 7 et le réservoir de stockage 6, est alors distinct du circuit de fluide caloporteur 4.

L'échange de chaleur entre ces deux circuits 4, 11 est alors réalisé au moyen d'un échangeur 10. Pour assurer la circulation des fluides, une pompe non représentée est agencée en amont du réacteur 5, un compresseur en aval du réacteur 5, et une soupape en aval du réservoir de stockage 6.

A titre de variante avantageuse, on peut prévoir de conserver un stockage par chaleur sensible et/ou latente. Un réservoir de stockage par chaleur sensible 9 est alors implanté dans le circuit de fluide caloporteur 4.

Une autre variante consiste à insérer le catalyseur directement dans le réservoir de stockage sensible par lit de roche. Cette configuration présente l'intérêt de ne pas avoir à doubler les volumes de stockage sensible et les volumes de réacteur catalytique.

D'autres variantes et améliorations peuvent être prévues sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits ; on peut notamment combiner entre elles des caractéristiques des exemples illustrés au sein de variantes non illustrées.

REVENDICATIONS

1. Centrale solaire à concentration (CSP) (1), comprenant :

- au moins un absorbeur/récepteur solaire (2) adapté pour recevoir des rayonnements solaires concentrés,

5 - un dispositif thermique (3) relié à l'absorbeur par un circuit de fluide caloporteur (4), le dispositif thermique étant adapté pour consommer ou transformer au moins une partie de la chaleur absorbée par l'absorbeur et transmise par le fluide caloporteur,

10 - un premier réacteur chimique (5), adapté pour mettre en œuvre une réaction endothermique dont la chaleur requise est au moins une partie du surplus de chaleur absorbée par l'absorbeur et non consommée ou non transformée par le dispositif thermique, le premier réacteur chimique (7) étant relié à un circuit de fluide réactif.

- un réservoir (6) de stockage de produit de la réaction endothermique, relié au premier réacteur chimique,

15 2. Centrale dans laquelle le circuit de fluide caloporteur constituant également le circuit de fluide réactif à travers le premier réacteur chimique. Centrale solaire à concentration (CSP) selon la revendication 1, comprenant en outre un deuxième réacteur chimique (7), adapté pour mettre en œuvre une réaction exothermique qui est la réaction inverse de la réaction endothermique mise en œuvre dans le premier réacteur chimique, le
20 réservoir de stockage de produit de la réaction endothermique réversible, étant relié au premier et au deuxième réacteur chimique pour respectivement stocker depuis le premier réacteur ou envoyer dans le deuxième le produit de réaction.

25 3. Centrale solaire à concentration (CSP) selon la revendication 1 ou 2, le récepteur solaire constituant le premier réacteur chimique et/ou le cas échéant le deuxième réacteur chimique.

30 4. Centrale solaire à concentration (CSP) selon la revendication 2, le circuit de fluide caloporteur constituant également le circuit de fluide réactif à travers le deuxième réacteur chimique. Centrale solaire à concentration (CSP) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un réservoir de stockage thermique par chaleur sensible ou latente, en tant que moyen de stockage d'au moins une partie du surplus de chaleur absorbée par l'absorbeur et non consommée ou non transformée par le dispositif thermique.

5. Centrale solaire à concentration (CSP) selon l'une des revendications précédentes, le dispositif thermique étant une machine thermique (3) apte à faire subir à un fluide de travail un cycle thermodynamique dit de Rankine, la machine thermique comprenant une turbine (30) de détente de vapeur du fluide de travail.

5 6. Centrale solaire à concentration (CSP) selon la revendication 5, la machine thermique étant une machine à cycle organique de Rankine (ORC).

7. Procédé de fonctionnement de la centrale solaire à concentration (CSP) (1) selon l'une des revendications 1 à 6, selon lequel on réalise les étapes suivantes :

10 i/ si la puissance absorbée par le récepteur solaire (2) est inférieure à une valeur seuil prédéterminée permettant au moins le fonctionnement du dispositif thermique, absence de mise en œuvre de la réaction endothermique au sein du premier réacteur (5),

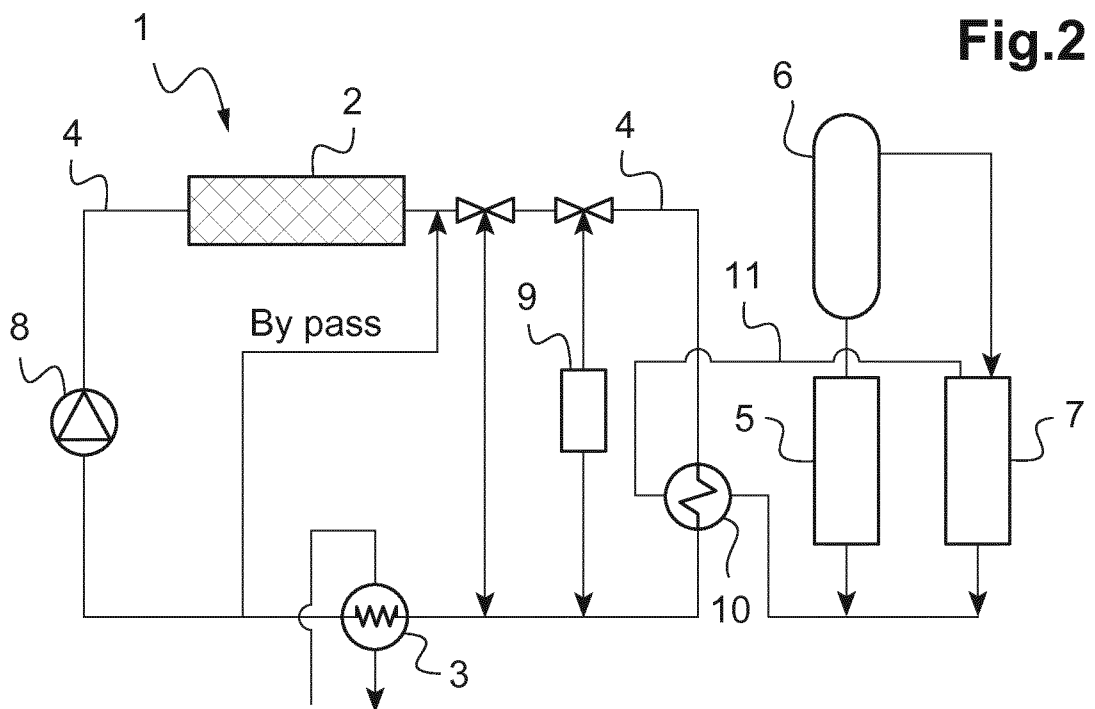
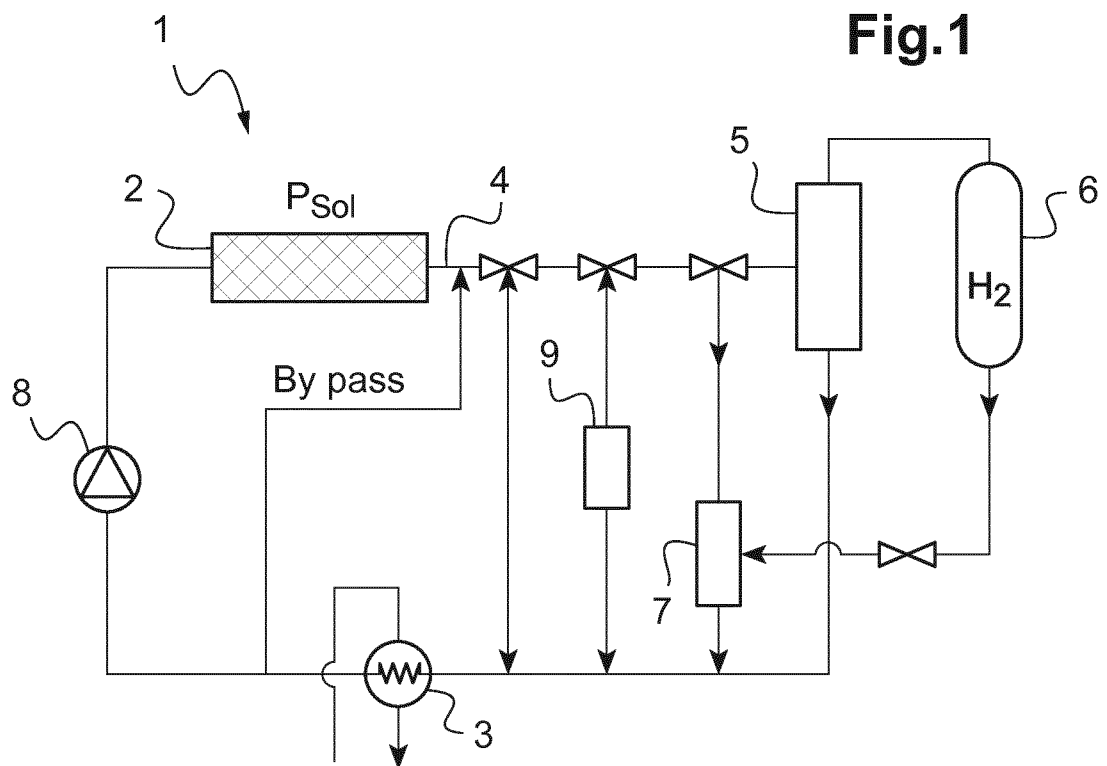
ii/ si la puissance absorbée par le récepteur solaire (2) est supérieure ou égale à la valeur seuil prédéterminée, mise en œuvre de la réaction endothermique au sein du premier réacteur (5), avec au moins une partie du surplus de puissance absorbée.

15 8. Procédé de fonctionnement selon la revendication 7, selon lequel on met en œuvre une réaction réversible de déhydrogénation/hydrogénation sur catalyseurs, l'hydrogène produit/consommé étant stocké temporairement dans le réservoir.

20 9. Procédé de fonctionnement selon la revendication 8, selon lequel le fluide caloporteur constitue la charge de la réaction réversible de déhydrogénation/hydrogénation.

10. Procédé de fonctionnement selon la revendication 9, selon lequel la charge est un hydrocarbure, tel qu'une coupe légère du type diesel, une huile de paraffine ou une huile végétale.

25 11. Procédé de fonctionnement selon la revendication 10, selon lequel on met en œuvre une réaction endothermique de craquage, les gaz ou coupes légères produits étant stockés dans le réservoir.



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2016/058460

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. F28D20/00
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 F28D F24J F03G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2014/062464 A1 (ABENGOA SOLAR INC [US]; ERICKSON LUKE [US]; MUREN RUSSELL [US]) 24 April 2014 (2014-04-24) figures 2, 4 paragraph [0027] - paragraph [0028] paragraph [0031] - paragraph [0032] paragraph [0046]	1
X	FR 3 004 245 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 10 October 2014 (2014-10-10) figure 1 page 11, line 7 - line 9 page 11, line 13 - line 16 page 13, line 10 - line 12 page 15, line 10 - line 15 ----- -/-	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May 2016

Date of mailing of the international search report

01/06/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fernandez Ambres, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/058460

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2010/120652 A1 (DALLA BETTA RALPH A [US]) 21 October 2010 (2010-10-21) figure 10 page 16, line 18 - line 19 -----	1-11
A	WO 2011/038144 A1 (EAGLE EYE INC [US]; REIF JOHN H [US]; REIF KATIE L [US]) 31 March 2011 (2011-03-31) the whole document -----	1-11
A	FR 3 004 246 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 10 October 2014 (2014-10-10) the whole document -----	1-11
A	US 4 386 501 A (JAEGER FREDERICK A) 7 June 1983 (1983-06-07) the whole document -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/058460

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014062464 A1	24-04-2014	CN 104884874 A EP 2909546 A1 ES 2544002 A2 US 2015253039 A1 WO 2014062464 A1	02-09-2015 26-08-2015 26-08-2015 10-09-2015 24-04-2014
FR 3004245 A1	10-10-2014	EP 2984435 A1 FR 3004245 A1 WO 2014166878 A1	17-02-2016 10-10-2014 16-10-2014
WO 2010120652 A1	21-10-2010	US 2010263832 A1 WO 2010120652 A1	21-10-2010 21-10-2010
WO 2011038144 A1	31-03-2011	AU 2010298244 A1 CN 102612627 A EP 2480837 A1 US 2011067688 A1 WO 2011038144 A1	12-04-2012 25-07-2012 01-08-2012 24-03-2011 31-03-2011
FR 3004246 A1	10-10-2014	EP 2984434 A1 FR 3004246 A1 WO 2014166882 A1	17-02-2016 10-10-2014 16-10-2014
US 4386501 A	07-06-1983	NONE	

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F28D20/00
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
F28D F24J F03G

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2014/062464 A1 (ABENGOA SOLAR INC [US]; ERICKSON LUKE [US]; MUREN RUSSELL [US]) 24 avril 2014 (2014-04-24) figures 2, 4 alinéa [0027] - alinéa [0028] alinéa [0031] - alinéa [0032] alinéa [0046] -----	1
X	FR 3 004 245 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 10 octobre 2014 (2014-10-10) figure 1 page 11, ligne 7 - ligne 9 page 11, ligne 13 - ligne 16 page 13, ligne 10 - ligne 12 page 15, ligne 10 - ligne 15 ----- -/-	1



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

19 mai 2016

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

01/06/2016

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Fernandez Ambres, A

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2010/120652 A1 (DALLA BETTA RALPH A [US]) 21 octobre 2010 (2010-10-21) figure 10 page 16, ligne 18 - ligne 19 -----	1-11
A	WO 2011/038144 A1 (EAGLE EYE INC [US]; REIF JOHN H [US]; REIF KATIE L [US]) 31 mars 2011 (2011-03-31) le document en entier -----	1-11
A	FR 3 004 246 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 10 octobre 2014 (2014-10-10) le document en entier -----	1-11
A	US 4 386 501 A (JAEGER FREDERICK A) 7 juin 1983 (1983-06-07) le document en entier -----	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/058460

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2014062464	A1	24-04-2014	CN 104884874 A	02-09-2015
			EP 2909546 A1	26-08-2015
			ES 2544002 A2	26-08-2015
			US 2015253039 A1	10-09-2015
			WO 2014062464 A1	24-04-2014

FR 3004245	A1	10-10-2014	EP 2984435 A1	17-02-2016
			FR 3004245 A1	10-10-2014
			WO 2014166878 A1	16-10-2014

WO 2010120652	A1	21-10-2010	US 2010263832 A1	21-10-2010
			WO 2010120652 A1	21-10-2010

WO 2011038144	A1	31-03-2011	AU 2010298244 A1	12-04-2012
			CN 102612627 A	25-07-2012
			EP 2480837 A1	01-08-2012
			US 2011067688 A1	24-03-2011
			WO 2011038144 A1	31-03-2011

FR 3004246	A1	10-10-2014	EP 2984434 A1	17-02-2016
			FR 3004246 A1	10-10-2014
			WO 2014166882 A1	16-10-2014

US 4386501	A	07-06-1983	AUCUN	
