



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
27.11.2013 Bulletin 2013/48

(51) Int Cl.:
F01K 1/20 (2006.01) **F01K 3/12** (2006.01)
F01K 7/22 (2006.01) **F22B 1/00** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12169483.0**

(22) Date de dépôt: **25.05.2012**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

(72) Inventeur: **Dethier, Alfred**
4140 Sprimont (BE)

(74) Mandataire: **Pronovem**
Office Van Malderen
Parc d'affaires Zénobe Gramme- bâtiment K
Square des Conduites d'eau 1-2
4020 Liège (BE)

(71) Demandeur: **Cockerill Maintenance & Ingenierie S.A.**
4100 Seraing (BE)

(54) **Couplage de turbopompe pour sels fondus**

(57) Dispositif comprenant au moins une pompe verticale (3) et au moins une turbine associée (4), pour le transport, sur une différence de niveau, d'un fluide caloporteur porté à haute température, la pompe (3) assurant un mouvement ascendant dudit fluide dans une première section d'un conduit (17) à partir d'un premier réservoir dit froid (2) et la turbine (4) étant actionnée par ledit fluide

lors du mouvement de retour descendant dudit fluide dans une seconde section du conduit (17) vers un second réservoir dit chaud (5), caractérisé en ce que le dispositif comprend en outre un dispositif de couplage de la turbine (4) avec la pompe (3) configuré pour que l'énergie mécanique produite par la turbine (4) soit réutilisée pour l'actionnement de la pompe (3).

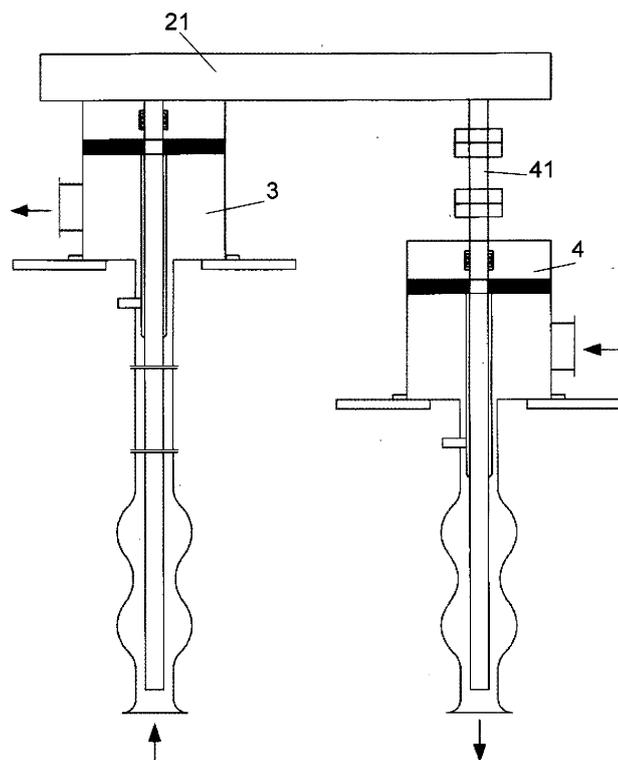


FIG. 2

Description**Objet de l'invention**

5 **[0001]** La présente invention se rapporte au domaine des centrales solaires thermiques à cycle combiné. En particulier, l'objet de la présente demande se rapporte aux installations de production d'énergie à concentration solaire CSP (pour *Concentrated Solar Power plant*), du type à récepteurs solaires en tour, utilisant comme fluide caloporteur des sels fondus et dans lesquelles sont utilisées des pompes verticales pour la circulation et le transfert des sels fondus portés à haute température.

Etat de la technique

10 **[0002]** Dans les CSP du type à tour centrale, un grand nombre d'héliostats (sous forme de miroirs plans) reflètent la lumière solaire vers un ou plusieurs récepteurs solaires, situés au sommet de la tour, les héliostats étant disposés de manière telle que les ombres créées par les miroirs n'interfèrent pas avec les miroirs voisins.

15 **[0003]** Le récepteur solaire, chauffé par les rayons solaires incidents concentrés va générer un fluide chaud qui sera ensuite utilisé au niveau du sol pour produire de la vapeur à haute pression capable d'entraîner une turbine et de produire de l'électricité.

20 **[0004]** Le fluide chauffé au sommet de la tour peut être directement de la vapeur, ou de l'air, ou une huile thermique. Mais il peut aussi être un sel fondu consistant en un mélange de deux ou trois sels spécifiques, ou plus, utilisé comme fluide de transfert thermique.

25 **[0005]** Par exemple, un mélange de nitrate de sodium (NaNO_3) et de nitrate de potassium (KNO_3) est souvent utilisé, par exemple selon un rapport 60%/40%, formant un eutectique à pression atmosphérique ayant une température de fusion réduite à 220°C et offrant une bonne stabilité chimique et thermique entre la température de fusion et 600°C. En utilisant un mélange ternaire de sels, comprenant, outre les deux sels précités, du nitrate de lithium (LiNO_3), on peut même obtenir un eutectique ayant une température de fusion aussi basse que 120°C.

30 **[0006]** Un grand avantage de ce mélange de sels est sa possibilité de stockage en grande quantité à haute température sous pression atmosphérique, à un coût réduit. Le stockage permet le découplage entre la captation de l'énergie du soleil et la production d'électricité, indépendamment de l'ensoleillement et de l'heure solaire, en ce compris pendant la nuit.

35 **[0007]** Le principe de fonctionnement d'une centrale CSP à cycle combiné est connu et décrit par exemple dans le document WO 2011/077248. La figure 1 montre schématiquement le principe d'une centrale solaire à concentration du type tour 1. Le sel est maintenu liquide dans un premier réservoir de stockage froid isolé 2, à une température qui n'est pas inférieure à 260°C. Des pompes 3 sont nécessaires pour amener le sel fondu au sommet de la tour 1 et vu les grands débits requis ainsi que la haute densité du sel, la puissance absorbée par les pompes est assez élevée, d'une amplitude de 4 MW pour une centrale de grande puissance (typiquement 150 MW). Au sommet de la tour, le sel est chauffé à 550°C par la chaleur solaire concentrée comme précisé ci-dessus via un ou plusieurs échangeurs 20, répartis par exemple selon quatre cavités, constitués de tubes en acier à paroi mince. De là, le sel chauffé est renvoyé vers un second réservoir de stockage chaud isolé 5. La capacité de ce réservoir dépend de la durée d'alimentation requise pour la turbine produisant l'électricité. Lorsque la production d'électricité par la centrale est requise, le sel chaud est envoyé par une pompe 6 vers un système conventionnel de génération de vapeur 7 pour produire de la vapeur surchauffée pour un générateur d'électricité 9 à turbine 8. La figure 1 montre en outre un exemple détaillé, et non limitatif pour la présente invention, de générateur de vapeur 7 selon l'état de la technique.

40 **[0008]** Le circuit de sel fondu est référencé 17 et le circuit d'eau/vapeur est référencé 18 sur la figure 1.

45 **[0009]** Des performances typiques pour une installation de 150 MW sont données dans le tableau 1.

50 **[0010]** Il est également connu que l'on pourrait utiliser dans ce type d'installation des turbines de récupération de puissance hydraulique 4 (HRPT pour *Hydraulic Power Recovery Turbine*). Celles-ci peuvent être installées dans la ligne de retour du sel chauffé au réservoir de stockage, afin de récupérer l'énergie mécanique (gravifique) du sel descendant du sommet de la tour jusqu'au sol, la puissance récupérable ayant une amplitude typique de 3 MW pour la centrale précitée.

55 **[0011]** A côté d'un certain nombre d'avantages tels qu'une grande capacité de stockage de l'énergie sous pression atmosphérique, un faible coût du sel compatible avec le respect de l'environnement, une absence totale de risque au feu, une grande simplicité et des coûts réduits pour le récepteur solaire et des équipements associés en sommet de tour, les centrales CSP à tour présentent quelques désavantages dont la nécessité d'utiliser des pompes très spécifiques, la conception d'échangeurs sels fondus/eau-vapeur et la nécessité de surveiller les températures relativement élevées des sels fondus.

Buts de l'invention

[0012] La présente invention vise à s'affranchir des inconvénients de l'état de la technique.

[0013] En particulier, l'invention a pour but de réduire l'absorption de puissance des pompes d'acheminement du fluide caloporteur au sommet de la tour centrale ou de compenser celle-ci par une récupération de puissance à un autre endroit.

Principaux éléments caractéristiques de l'invention

[0014] Un premier objet de la présente invention se rapporte à un dispositif comprenant au moins une pompe verticale et au moins une turbine associée, pour le transport, sur une différence de niveau, d'un fluide caloporteur porté à haute température, la pompe assurant un mouvement ascendant dudit fluide dans une première section d'un conduit à partir d'un premier réservoir dit froid et la turbine étant actionnée par ledit fluide lors du mouvement de retour descendant dudit fluide dans une seconde section du conduit vers un second réservoir dit chaud, caractérisé en ce que le dispositif comprend en outre un dispositif de couplage de la turbine avec la pompe configuré pour que l'énergie mécanique produite par la turbine soit réutilisée pour l'actionnement de la pompe.

[0015] Selon des modes d'exécution préférés de l'invention, le dispositif comprend en outre une ou une combinaison adéquate des caractéristiques suivantes :

- la turbine est du même type que la pompe mais utilisée en sens inverse ;
- le dispositif de couplage est un dispositif mécanique ;
- le dispositif de couplage est un dispositif électrique ;
- le dispositif de couplage mécanique comprend une boîte à engrenages avec un accouplement à cardan situé côté turbine ;
- le dispositif de couplage électrique comprend un moteur asynchrone accouplé à la turbine et faisant office de génératrice, la pompe étant également actionnée par un moteur asynchrone ;
- la pompe ou la turbine est du type à axe vertical, mono- ou multi-étagée (multi)cellulaire avec roues à aubes radiales fermées ou semi-ouvertes ;
- la pompe ou la turbine est située au-dessus du réservoir ou est à corps immergé ;
- la pompe et la turbine sont conçues pour fonctionner avec un mélange de sels fondus dont la température est comprise entre 100 et 600°C.

[0016] Un second objet de la présente invention se rapporte à une installation de production d'énergie à concentration solaire comprenant :

- une pluralité d'héliostats disposés au sol autour d'une tour centrale de concentration, ladite tour comprenant en son sommet au moins un échangeur thermo-solaire ;
- un premier circuit de transport de sels fondus à partir d'un premier réservoir de stockage dit froid vers ledit échangeur et retour vers un second réservoir de stockage dit chaud pour les sels fondus portés à haute température, ledit échangeur se trouvant au sommet de la tour, c'est-à-dire à une hauteur supérieure à celle des réservoirs ;
- un second circuit de génération de vapeur par échange thermique avec le premier circuit en sels fondus et de production d'électricité via un système turbine/générateur ;

caractérisée en ce que l'installation comprend en outre le dispositif comprenant au moins une pompe verticale et au moins une turbine associée comme décrit ci-dessus.

[0017] Avantageusement, la différence de niveau entre les réservoirs de stockage en sels fondus et les échangeurs au sommet de la tour est d'au moins 150 m.

[0018] Avantageusement encore, les pressions en sels fondus peuvent aller jusqu'à 60 bar.

[0019] De préférence, les sels fondus comprennent le nitrate de sodium, de potassium et/ou de lithium.

Brève description des figures

[0020] Des exemples de réalisation suivant l'état de la technique et l'invention sont décrits par la suite avec plus de détails à l'aide des figures annexées.

[0021] La figure 1, déjà mentionnée, montre schématiquement une centrale à concentration solaire CSP du type à tour centrale, avec circulation de sel fondu et couplage à un système conventionnel de production d'électricité.

[0022] La figure 2 montre une vue schématique du système de couplage mécanique, selon l'invention, entre la pompe d'acheminement du fluide caloporteur vers la tour centrale et la turbine de récupération de puissance au retour du fluide caloporteur vers le réservoir de stockage.

Description de formes d'exécution préférées de l'invention

5 [0023] Selon une première forme d'exécution préférée de la présente invention, les pompes 3 et les turbines de récupération de puissance 4 sont mécaniquement couplées ensemble afin de récupérer de l'énergie avec le meilleur rendement possible.

[0024] Le type de pompe nécessaire pour l'application en sel fondu selon l'invention est spécifique. On trouvera par exemple les caractéristiques suivantes pour de telles pompes :

- 10 - axe vertical ;
- construction mono- ou multi-étagée (multi)cellulaire avec roues fermées (ou semi-ouvertes) ;
- installation au-dessus du réservoir de sel, de préférence à corps immergé, afin de simplifier le drainage ;
- construction avec arbre en porte-à-faux possible si la profondeur d'immersion de la pompe, c'est-à-dire la distance entre la taque d'assise et la tubulure d'aspiration est suffisamment faible ; à défaut, nécessité de paliers intermédiaires sur la ligne d'arbre ;
- 15 - étanchéité d'arbre avec la plaque d'assise réalisée par un labyrinthe, avec retour par gravité des fuites vers le réservoir ;
- moteur électrique à fréquence variable ;
- utilisation de matériaux et d'une construction adéquats pour supporter les hautes températures des sels fondus, etc. Les matériaux utilisés seront par exemple résistants à la corrosion et à l'abrasion.

20 [0025] De telles pompes ont déjà été utilisées dans le domaine solaire à collecteurs paraboliques au sol mais avec des pressions de fluide relativement faibles.

[0026] La pompe doit être dimensionnée en tenant compte des trois paramètres suivants : sa longueur (environ 15 m par exemple), sa vitesse variable et la forte puissance requise.

25 [0027] Avantagusement, selon l'invention, les turbines de récupération de puissance seront de la même conception, avec éventuellement des roues à aubes spécifiques. Il suffit en principe de faire fonctionner les pompes centrifuges en sens inverse pour se trouver en mode turbine. Le couplage mécanique pompe-turbine est assuré par une boîte à engrenages 21, avec accouplement à cardan 41 côté turbine afin de permettre les dilatations différentielles entre la pompe 3 et la turbine 4.

30 [0028] Dans l'état de l'art, on connaît uniquement des systèmes de couplage en ligne entre pompe horizontale et turbine, avec embrayage.

[0029] Bien sûr, les turbines 4 ne peuvent pas récupérer la totalité de la puissance consommée par les pompes, vu les rendements des pompes et des turbines, jouant en sens opposé.

35 [0030] Toujours selon l'invention, la compensation de la différence de puissance sera assurée par des pompes électriques de même type (non représentées), d'ailleurs nécessaires pour vaincre les pertes de charge et aussi pour démarrer le système.

[0031] Selon une seconde forme d'exécution préférée de la présente invention, les pompes 3 et les turbines de récupération 4 seront couplées électriquement. Les pompes 3 sont actionnées par un moteur asynchrone et les turbines sont accouplées à un moteur asynchrone également faisant office de génératrice, le moteur de turbine étant plus rapide.

40 **Liste des repères**

[0032]

- 45 1 Tour à concentration solaire
- 2 Réservoir de sel froid
- 3 Pompe d'alimentation vers la tour
- 50 4 Turbine de récupération
- 5 Réservoir de sel chaud
- 55 6 Pompe de circulation vers le générateur de vapeur
- 7 Générateur de vapeur

EP 2 666 976 A1

- 8 Turbine(s)
- 9 Générateur d'électricité
- 5 10 Condenseur
- 11 Déaérateur
- 12 Economiseur
- 10 13 Chaudière bouilloire
- 14 Surchauffeur
- 15 15 Resurchauffeur
- 16 Pompe de mélange
- 17 Circuit de sel fondu
- 20 18 Circuit eau/vapeur
- 20 Récepteurs solaires et échangeurs
- 25 21 Boîte à engrenages
- 41 Arbre à cardans

Tableau 1

30

		TOUR		CYCLE DE TURBINE	
					Nominal
35	Durée	heures	6	24	17,9
	Stockage	MWh therm	2553	MWh élec	894
	Puissance absorbée	MW	425	Turbine	37,3
	Débit de sel	kg/s	970	Vers les échangeurs	242
40	Temp. du réservoir froid	°C	260	Condenseur T	°C
	Temp. du réservoir chaud	°C	550	Condenseur P	bar
	Poids de sel	tonnes	20952	Déaérateur T	°C
45	Volume	m ³	12040		
	Diamètre	m	31		
	Hauteur	m	16		
	Débit de vapeur	kg/s		30,8	41,2
50	Pression de vapeur	bar		120	120
	Temp. de vapeur	°C		530	530
	Pression de réchauffage	bar		20	20
55	Temp. de réchauffage	°C		530	530

Revendications

- 5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
1. Dispositif comprenant au moins une pompe verticale (3) et au moins une turbine associée (4), pour le transport, sur une différence de niveau, d'un fluide caloporteur porté à haute température, la pompe (3) assurant un mouvement ascendant dudit fluide dans une première section d'un conduit (17) à partir d'un premier réservoir dit froid (2) et la turbine (4) étant actionnée par ledit fluide lors du mouvement de retour descendant dudit fluide dans une seconde section du conduit (17) vers un second réservoir dit chaud (5), **caractérisé en ce que** le dispositif comprend en outre un dispositif de couplage de la turbine (4) avec la pompe (3) configuré pour que l'énergie mécanique produite par la turbine (4) soit réutilisée pour l'actionnement de la pompe (3).
 2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la turbine (4) est du même type que la pompe (3) mais utilisée en sens inverse.
 3. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le dispositif de couplage est un dispositif mécanique (21, 41).
 4. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le dispositif de couplage est un dispositif électrique.
 5. Dispositif selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** le dispositif de couplage mécanique comprend une boîte à engrenages (21) avec un accouplement à cardans (41) situé côté turbine (4).
 6. Dispositif selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** le dispositif de couplage électrique comprend un moteur asynchrone accouplé à la turbine (4) et faisant office de génératrice, la pompe (3) étant également actionnée par un moteur asynchrone.
 7. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** la pompe (3) ou la turbine (4) est du type à axe vertical, mono- ou multi-étagée (multi)cellulaire avec roues à aubes radiales fermées ou semi-ouvertes.
 8. Dispositif selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** la pompe (3) ou la turbine (4) est située au-dessus du réservoir ou est à corps immergé.
 9. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la pompe (3) et la turbine (4) sont conçues pour fonctionner avec un mélange de sels fondus dont la température est comprise entre 100 et 600°C.
 10. Installation de production d'énergie à concentration solaire comprenant :
 - une pluralité d'héliostats disposés au sol autour d'une tour centrale (1) de concentration, ladite tour comprenant en son sommet au moins un échangeur thermo-solaire (20) ;
 - un premier circuit (17) de transport de sels fondus à partir d'un premier réservoir de stockage dit froid (2) vers ledit échangeur (20) et retour vers un second réservoir de stockage dit chaud (5) pour les sels fondus portés à haute température, ledit échangeur (20) se trouvant au sommet de la tour (1), c'est-à-dire à une hauteur supérieure à celle des réservoirs (2, 5) ;
 - un second circuit (18) de génération de vapeur par échange thermique avec le premier circuit (17) en sels fondus et de production d'électricité via un système turbine/générateur (7, 8, 9) ;

caractérisée en ce que l'installation comprend en outre le dispositif comprenant au moins une pompe verticale (3) et au moins une turbine associée (4) selon l'une quelconque des revendications précédentes.
 11. Installation selon la revendication 10, **caractérisée en ce que** la différence de niveau entre les réservoirs de stockage en sels fondus (2, 5) et les échangeurs (20) au sommet de la tour est d'au moins 150 m.
 12. Installation selon la revendication 10, **caractérisée en ce que** les pressions en sels fondus peuvent aller jusqu'à 60 bar.
 13. Installation selon la revendication 10, **caractérisée en ce que** les sels fondus comprennent le nitrate de sodium, de potassium et/ou de lithium.

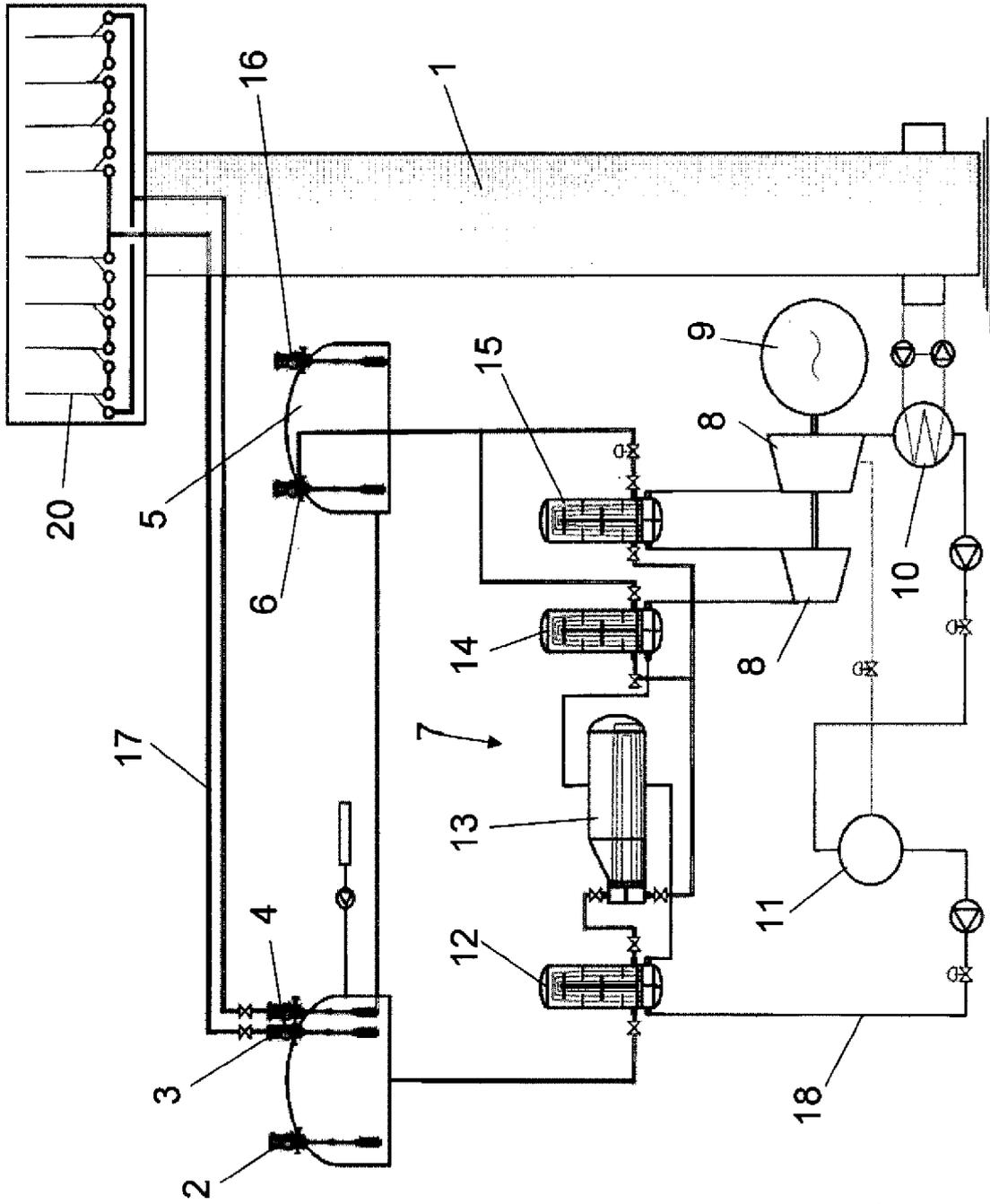


FIG. 1

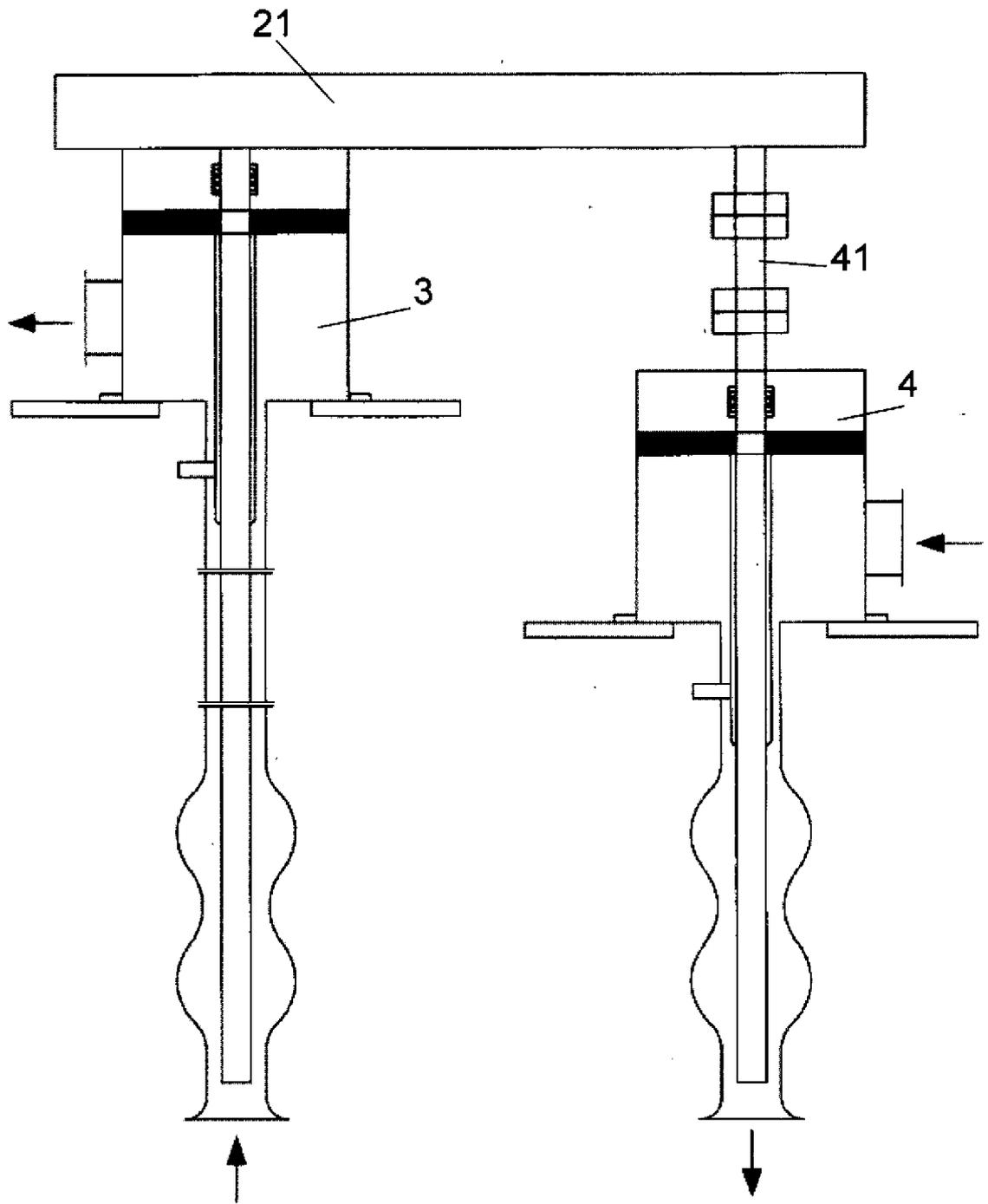


FIG. 2



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 12 16 9483

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	WO 2011/077248 A2 (GOEBEL OLAF [AE]; ALI YOUSIF [AE]) 30 juin 2011 (2011-06-30) * page 15, ligne 26 - page 16, ligne 27; figures 5,6 *	1-4,8, 10-13	INV. F01K1/20 F01K3/12 F01K7/22 F22B1/00
Y	WO 2011/018814 A2 (TURBODEN SRL [IT]; GAIA MARIO [IT]; BINI ROBERTO [IT]) 17 février 2011 (2011-02-17) * page 9, ligne 17 - page 10, ligne 3 * * page 10, ligne 14 - ligne 22 * * page 11, ligne 12 - ligne 23 * * figures 4,5,7 *	1-4,8, 10-13	
Y	GB 2 449 181 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 12 novembre 2008 (2008-11-12) * page 4, ligne 15 - ligne 29; figure 1b *	10-13	
A	WO 2011/121852 A1 (TOKYO INST TECH [JP]; KYUSHU INST OF TECHNOLOGY [JP]; JGC CORP [JP]; S) 6 octobre 2011 (2011-10-06) * figures 3,8 *	10-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F01K
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 6 novembre 2012	Examineur Coquau, Stéphane
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 12 16 9483

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

06-11-2012

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2011077248 A2	30-06-2011	AUCUN	
WO 2011018814 A2	17-02-2011	AUCUN	
GB 2449181 A	12-11-2008	AUCUN	
WO 2011121852 A1	06-10-2011	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2011077248 A [0007]