

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 075 258

②1 N° d'enregistrement national : 17 62242

⑤1 Int Cl⁸ : F 01 K 15/00 (2018.01), F 02 C 6/00

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 15.12.17.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.06.19 Bulletin 19/25.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES Etablissement public — FR et ENOGIA Société par actions simplifiée — FR.

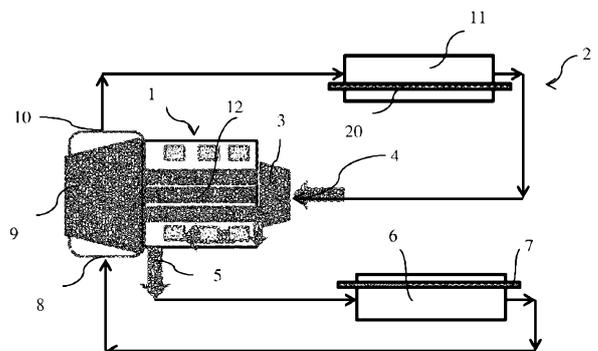
⑦② Inventeur(s) : SMAGUE PASCAL, PAGNIER PHILIPPE, LEDUC PIERRE, HENRY GABRIEL et LEROUX ARTHUR.

⑦③ Titulaire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES Etablissement public, ENOGIA Société par actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES.

⑤④ ENSEMBLE DE TURBOPOMPE ELECTRIFIEE POUR UN CIRCUIT FERME, EN PARTICULIER DE TYPE A CYCLE DE RANKINE, COMPORTANT UN REFROIDISSEMENT INTEGRE.

⑤⑦ La présente invention concerne un ensemble de turbopompe cinétique (1) pour la circulation d'un fluide de travail dans un circuit fermé, en particulier de type à cycle de Rankine, associé à une machine électrique tournante (12) comportant un rotor et un stator, ledit rotor étant mécaniquement lié en rotation à l'arbre de la pompe (3) et à l'arbre de la turbine (9) de ladite turbopompe. La machine électrique de l'ensemble comporte une zone de refroidissement dans laquelle circule le fluide de travail sous pression.



FR 3 075 258 - A1



La présente invention se rapporte à un ensemble de turbopompe cinétique pour un circuit fermé, en particulier de type à cycle de Rankine, associé à un moteur à combustion interne, notamment pour véhicule automobile ou pour un véhicule poids lourd. Plus précisément, la turbopompe est mécaniquement liée à
5 un rotor d'une machine électrique.

Par turbopompe cinétique il est entendu, un ensemble formé par une pompe centrifuge et une turbine rotodynamique.

La pompe a la particularité selon laquelle son rotor porte une multiplicité d'ailettes radiales pour former un impulseur dont l'effet est la mise en rotation et
10 l'accélération du fluide en condition liquide. Par l'effet de la rotation de l'impulseur de la pompe, le fluide est aspiré axialement, puis accéléré radialement et refoulé par la volute, ou par un diffuseur, que comporte habituellement une turbopompe. La turbine peut être une turbine cinétique, en particulier une turbine axiale à action. Dans ce cas, la turbine, qui est raccordée à la pompe sur le même arbre,
15 peut être constituée d'une partie statorique disposant d'un aubage fixe appelé injecteur visant à convertir la pression du fluide en condition vapeur en énergie cinétique. Cette énergie cinétique est alors convertie en énergie mécanique au travers d'un aubage mobile de la partie rotorique de la turbine. Les aubages de la turbine sont constitués d'ailettes permettant la détente du fluide qui est évacué
20 par la volute de sortie de la turbine.

Les aubages de la turbine peuvent être à profil radial ou axial. De préférence, les aubages de la turbine sont à profil radial.

Comme cela est largement connu, un cycle de Rankine est un cycle
25 thermodynamique par lequel de la chaleur provenant d'une source de chaleur externe est transmise à un circuit fermé qui contient un fluide de travail. Au cours du cycle, le fluide de travail subit des changements de phase (liquide/vapeur).

Ce type de cycle se décompose généralement en une étape durant laquelle
30 le fluide de travail utilisé sous forme liquide, est comprimé de manière isentropique, suivie d'une étape où ce fluide liquide comprimé est chauffé et vaporisé au contact d'une source de chaleur.

Cette vapeur est ensuite détendue, au cours d'une autre étape, dans une machine de détente, puis, dans une dernière étape, cette vapeur détendue est refroidie et condensée au contact d'une source froide.

5 Pour réaliser ces différentes étapes, le circuit comprend au moins une pompe pour faire circuler et comprimer le fluide sous forme liquide, un échangeur-évaporateur qui est balayé par un fluide chaud pour réaliser la vaporisation au moins partielle du fluide comprimé, une machine de détente pour détendre la vapeur, telle qu'une turbine, qui transforme l'énergie de cette vapeur en une autre
10 énergie, comme une énergie mécanique ou électrique, et un échangeur-condenseur grâce auquel la chaleur contenue dans la vapeur est cédée à une source froide, généralement de l'air extérieur, ou encore un circuit d'eau de refroidissement, qui balaye ce condenseur, pour transformer cette vapeur en un fluide sous forme liquide.

15

Dans ce type de circuit, le fluide utilisé est généralement de l'eau mais d'autres types de fluides, par exemple des fluides organiques ou des mélanges de fluides organiques, peuvent également être utilisés. Le cycle est alors appelé Cycle de Rankine Organique ou ORC (Organic Rankine Cycle).

20

A titre d'exemple, les fluides de travail peuvent être du butane, de l'éthanol, des hydrofluorocarbures, de l'ammoniac, du dioxyde de carbone...

Comme cela est bien connu, le fluide chaud pour réaliser la vaporisation du
25 fluide comprimé peut provenir de sources chaudes variées, telles qu'un liquide de refroidissement (d'un moteur à combustion, d'un processus industriel, d'un four, etc.), des gaz chauds résultant d'une combustion (fumées d'un processus industriel, d'une chaudière, gaz d'échappement d'un moteur à combustion ou d'une turbine, etc.), d'un flux de chaleur issu de capteurs solaires thermiques, etc.

30

Généralement et comme mieux décrit dans le document WO 2013/046885, la pompe et la turbine peuvent être combinées en une seule pièce pour former une turbopompe de faible encombrement.

L'arbre de cette turbopompe, qui est commun à la pompe et à la turbine, est souvent couplé à une motorisation, soit le moteur thermique, soit une machine électrique adaptée à fournir ou à convertir de l'énergie.

5 La présente invention se propose de perfectionner une turbopompe électriée de façon à optimiser l'utilisation d'un circuit fermé à cycle de Rankine.

A cet effet, la présente invention concerne un ensemble de turbopompe rotodynamique pour la circulation d'un fluide de travail dans un circuit fermé, en particulier de type à cycle de Rankine, associé à une machine électrique tournante
10 comportant un rotor et un stator, ledit rotor étant mécaniquement lié en rotation à l'arbre de la pompe et à l'arbre de la turbine de ladite turbopompe. Selon l'invention, ladite machine électrique comporte une zone de refroidissement dans laquelle circule ledit fluide de travail sous pression.

15 Le rotor, la pompe et la turbine peuvent être sur le même arbre.

Le rotor, la pompe et la turbine sont sur des arbres distincts reliés mécaniquement avec un rapport de réduction.

La totalité du fluide de travail en sortie de la pompe peut circuler dans ladite zone de refroidissement.

20 Ladite zone de refroidissement peut être située circonférentiellement autour du stator.

Ladite zone de refroidissement peut comporter des conduits en serpentins autour du stator.

Ladite zone de refroidissement peut comporter au moins un plot de
25 turbulence.

Ladite zone de refroidissement peut comporter au moins un canal fin.

Ladite pompe peut comporter une roue de mise en pression, un diffuseur et un collecteur pour mettre en circulation le fluide de travail dans la zone de refroidissement tout en minimisant les pertes de charge associées à son passage.

30

Les autres caractéristiques et avantages de l'invention vont apparaître à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre uniquement illustratif et non limitatif, et à laquelle sont annexées :

- la figure 1 qui montre schématiquement un circuit hydraulique d'un cycle Rankine dans lequel est intégré une turbopompe électrifiée selon l'invention et,
- la figure 2 qui est une vue en coupe plus précise de la pompe et de la circulation du fluide de refroidissement à l'intérieur de la zone de refroidissement.

Pour l'application transport routier (véhicule léger et poids lourd), afin de limiter les coûts de la solution ORC, une possibilité consiste pour les solutions de récupération par cycle de Rankine à proposer une turbopompe électrifiée intégrée disposant ainsi, en un même composant et sur le même arbre, d'une pompe, d'une machine de détente, et d'une machine électrique.

Généralement le refroidissement d'une machine électrique, nécessaire à l'évacuation des calories produites par les pertes Joule dans celle-ci, est réalisé via un refroidissement externe avec un fluide caloporteur (eau, huile, fluide de travail...).

Selon la présente invention, pour réduire encore davantage les coûts et améliorer l'intégration du composant turbopompe, il est proposé de dériver le fluide de travail sous pression sortant de la pompe vers le carter de la machine électrique afin de réaliser son refroidissement.

La figure 1 montre une turbopompe électrifiée 1 qui fait partie du circuit fermé à cycle de Rankine 2 qui est avantageusement de type ORC (Organic Rankine Cycle) et qui utilise un fluide de travail organique ou des mélanges de fluides organiques, comme du butane, de l'éthanol, des hydrofluorocarbures.

Il est bien entendu que le circuit fermé peut également fonctionner avec un fluide comme de l'ammoniac, de l'eau, du dioxyde de carbone...

La section de la turbopompe 1 comprend une pompe 3 munie d'une entrée 4 du fluide de travail sous forme liquide et d'une sortie 5 de ce fluide de travail également sous forme liquide mais comprimé sous une pression élevée.

La sortie 5 de la pompe est reliée à un échangeur de chaleur 6, dénommé évaporateur, traversé par le fluide de travail comprimé et grâce auquel le fluide de travail ressort de cet évaporateur sous forme de vapeur comprimée.

Cet évaporateur 6 est également parcouru par une source chaude 7, sous forme liquide ou gazeuse de manière à pouvoir céder sa chaleur au fluide de travail. Cette source chaude peut par exemple provenir des gaz d'échappement ou d'une autre source de chaleur d'un moteur à combustion interne.

5 La sortie de l'évaporateur est connectée à l'entrée 8 de la section de la turbopompe comprenant la turbine 9 pour y faire admettre le fluide de travail sous forme de vapeur comprimée à haute pression, ce fluide ressortant par la sortie 10 de cette turbine sous forme de vapeur détendue à basse pression.

10 La sortie 10 de la turbine 9 est raccordée à un échangeur de refroidissement 11, ou condenseur, qui permet de transformer la vapeur basse pression détendue qu'il reçoit en un fluide liquide basse pression. Ce condenseur est balayé par une source froide 20, généralement un flux d'air ambiant ou d'eau de refroidissement, de manière à refroidir la vapeur détendue pour qu'elle se condense et se transforme en un liquide.

15 Dans ce mode de réalisation, la pompe et la turbine sont sur le même arbre. Selon d'autres modes, ils peuvent être sur des arbres distincts reliés mécaniquement avec un rapport de réduction et raccordés à l'arbre du rotor de la machine électrique 12. La machine électrique 12 est, soit motrice pour démarrer le cycle, soit génératrice d'électricité lorsque le cycle est moteur.

20 Bien entendu, les différents éléments du circuit sont reliés entre eux par des conduites de circulation de fluide.

25 Pour réduire encore davantage les coûts et améliorer l'intégration du composant turbopompe électrifiée, il est proposé de dériver le fluide comprimé sortant de la pompe vers le carter de la machine électrique afin de réaliser son refroidissement. Traditionnellement le refroidissement d'une machine électrique, nécessaire à l'évacuation des calories produites par les pertes Joule de celle-ci, est réalisé via un refroidissement externe avec un fluide caloporteur (air, eau, huile). Cette configuration nécessite un piquage d'entrée et de sortie sur le corps
30 de la turbopompe en partie centrale proche de la machine électrique ainsi qu'un dispositif externe de mise en circulation du fluide de refroidissement comprenant une pompe, un réservoir, et des conduits.

Dans la présente invention, le refroidissement est réalisé par une circulation interne à la turbopompe du fluide pressurisé par la pompe. Le fluide comprimé en sortant de la pompe est orienté vers la partie centrale de la turbopompe, où se situe le stator de la machine électrique, au moyen d'un diffuseur localisé sur la pompe. Un espace libre entourant la partie statorique de la machine électrique joue le rôle d'un échangeur de chaleur et permet de refroidir celle-ci. Après circulation, le fluide ressort de la turbopompe (sortie 5) pour être dirigé par un conduit vers l'évaporateur 6 du cycle de Rankine.

D'un point de vue architecture, cette solution permet de supprimer les éléments externes dédiés à la fonction de refroidissement et de simplifier le système Rankine. Ainsi, l'intégralité du fluide de travail comprimé sortant de la pompe est mis en circulation au sein de la zone de refroidissement centrale de la machine électrique.

L'intérêt d'une telle configuration est multiple :

- Simplification des interfaces de la turbogénératrice électrique avec son environnement extérieur ;
- Réduction du coût de la fonction turbogénératrice par la suppression de composants externes dédiés au refroidissement de celle-ci ;
- Gain de place pour le système ORC compte tenu de l'internalisation de la fonction refroidissement dans la turbopompe ;
- Simplification du contrôle du système Rankine grâce à l'utilisation d'un système de refroidissement passif et sans nécessiter de contrôle.

La figure 2 montre schématiquement et partiellement la pompe et la machine électrique. Le fluide de travail pénètre dans la roue 13 de la pompe cinétique par le centre pour être comprimé par la vitesse de rotation et être envoyé radialement dans un diffuseur 14.

La roue 13 est mécaniquement liée à l'arbre 15 du rotor 16 de la machine électrique.

Un collecteur 17 conduit le fluide sous pression dans une zone de refroidissement 18 à l'extérieur du stator 19 de la machine électrique.

La zone de refroidissement peut comporter des conduits en serpents entourant circonférentiellement le stator. La construction de la zone de circulation

fait l'objet d'une optimisation afin de limiter les pertes de charge dues au fluide, tout en assurant un refroidissement efficace de la machine électrique. De plus, cette configuration permet d'homogénéiser les débits de fluide qui refroidissent le stator.

5 De plus la zone de refroidissement 18 peut comporter au moins un plot de turbulence (non représenté), afin d'homogénéiser les débits de fluide qui refroidissent le stator.

En outre, la zone de refroidissement 18 peut comporter au moins un canal fin (non représenté), c'est-à-dire de section moins importante que le reste des
10 conduits.

Dans la phase de démarrage du circuit fermé, la machine électrique est motrice pour réaliser l'amorçage de la pompe 3 de la turbopompe 1. Pour ce faire, la machine électrique est alimentée en énergie électrique.

Dans une des phases de fonctionnement du circuit, la turbine produit de
15 l'énergie qu'elle transmet à la machine électrique qui fonctionne alors en génératrice, lorsque cette turbine produit davantage de puissance que la consommation de la pompe.

Dès que la puissance transmise devient insuffisante, c'est-à-dire que la turbine produit moins de puissance que la pompe n'en consomme, la turbopompe
20 est rendue inopérante électriquement.

La présente invention n'est pas limitée à l'exemple décrit ci-dessus mais englobe toute variante.

REVENDEICATIONS

1) Ensemble de turbopompe cinétique (1) pour la circulation d'un fluide de travail dans un circuit fermé, en particulier de type à cycle de Rankine, associé à
5 une machine électrique tournante (12) comportant un rotor (16) et un stator (19), ledit rotor (16) étant mécaniquement lié en rotation à l'arbre de la pompe et à l'arbre de la turbine (9) de ladite turbopompe, caractérisé en ce que ladite machine électrique (12) comporte une zone de refroidissement (18) dans laquelle circule ledit fluide de travail sous pression.

10

2) Ensemble selon la revendication 1, dans lequel le rotor (16), la pompe (3) et la turbine (9) sont sur le même arbre.

3) Ensemble selon la revendication 1, dans lequel le rotor (16), la pompe (3)
15 et la turbine (9) sont sur des arbres distincts reliés mécaniquement avec un rapport de réduction.

4) Ensemble selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la totalité du fluide de travail en sortie de la pompe circule dans ladite zone de refroidissement
20 (18).

5) Ensemble selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite zone de refroidissement (18) est située circonférentiellement autour du stator (19).

25 6) Ensemble selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite zone de refroidissement (18) comporte des conduits en serpentins autour du stator (19).

7) Ensemble selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite
30 zone de refroidissement (18) comporte au moins un plot de turbulence.

8) Ensemble selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite zone de refroidissement (18) comporte au moins un canal fin.

9) Ensemble selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite pompe (3) comporte une roue (13) de mise en pression, un diffuseur (14) et un collecteur (17) pour mettre en circulation le fluide de travail dans la zone de refroidissement (18).

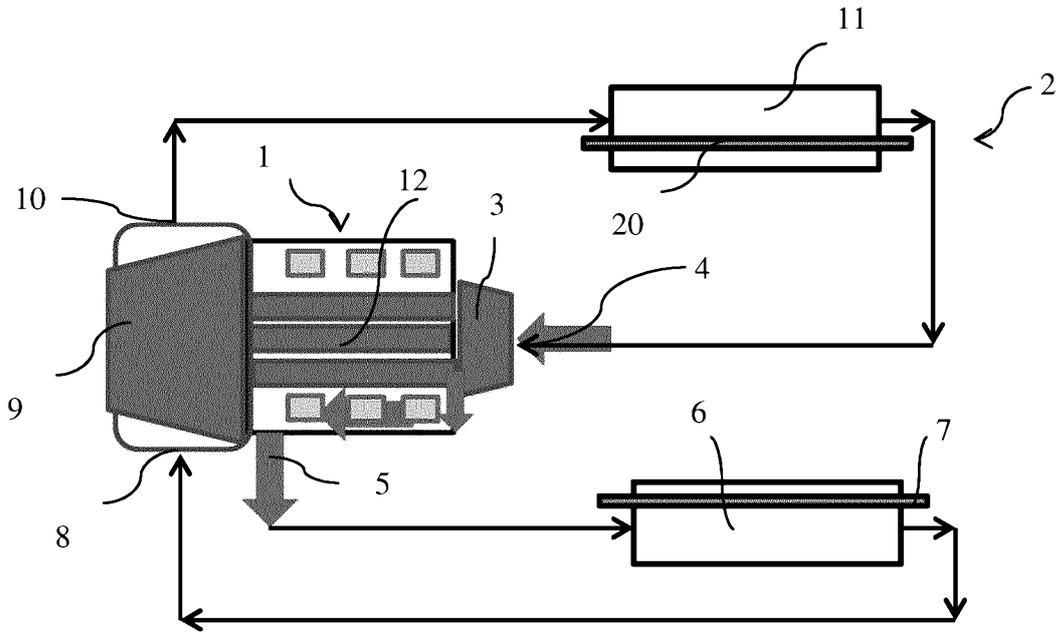


Figure 1

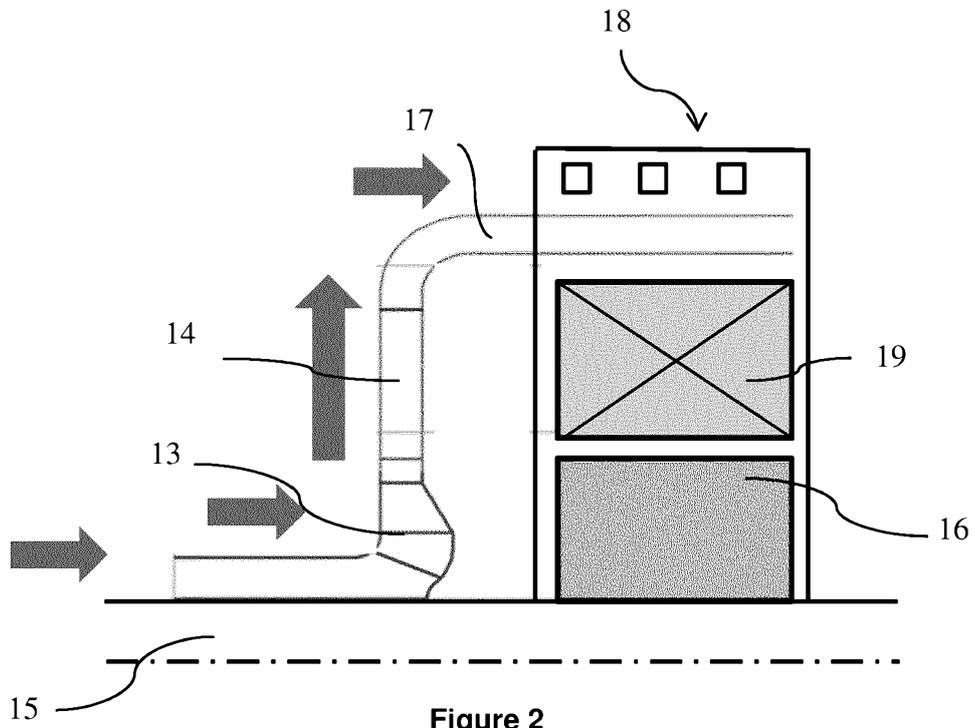


Figure 2

**RAPPORT DE RECHERCHE
 PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications
 déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
 national

FA 846631
 FR 1762242

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2015/052374 A1 (VISORC OY [FI]) 16 avril 2015 (2015-04-16) * page 6, ligne 27 - page 9, ligne 17; figure 2 *	1	F01K15/00 F02C6/00
X	----- US 2011/271677 A1 (TENG HO [US] ET AL) 10 novembre 2011 (2011-11-10) * alinéas [0012] - [0018]; figure 1 *	1,2,9	
X	----- US 2015/318763 A1 (KUBOTA YUTAKA [JP] ET AL) 5 novembre 2015 (2015-11-05) * alinéas [0053] - [0067]; figure 3 *	1-4,6-9	
X	----- US 4 362 020 A (MEACHER JOHN S ET AL) 7 décembre 1982 (1982-12-07) * colonne 3, ligne 30 - colonne 6, ligne 20; figures 2,3 *	1,2,5-8	
X	----- US 3 219 831 A (EDWARD RAY ET AL) 23 novembre 1965 (1965-11-23) * figure 1 *	1,2,4,8, 9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			F01K
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
31 août 2018		Röberg, Andreas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1762242 FA 846631**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **31-08-2018**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2015052374 A1	16-04-2015	EP 3058186 A1	24-08-2016
		FI 125613 B	15-12-2015
		WO 2015052374 A1	16-04-2015

US 2011271677 A1	10-11-2011	US 2011271677 A1	10-11-2011
		WO 2010083198 A1	22-07-2010

US 2015318763 A1	05-11-2015	CN 104870759 A	26-08-2015
		EP 2940255 A1	04-11-2015
		JP 6086726 B2	01-03-2017
		JP 2014129799 A	10-07-2014
		US 2015318763 A1	05-11-2015
		WO 2014104294 A1	03-07-2014

US 4362020 A	07-12-1982	CA 1185439 A	16-04-1985
		EP 0071638 A1	16-02-1983
		JP S58500448 A	24-03-1983
		US 4362020 A	07-12-1982
		WO 8202741 A1	19-08-1982

US 3219831 A	23-11-1965	AUCUN	
