

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 971 114

②1 N° d'enregistrement national : 11 50663

⑤1 Int Cl⁸ : H 05 K 7/20 (2012.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 28.01.11.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 03.08.12 Bulletin 12/31.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA Société anonyme — FR et CNRS (CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE) — FR.

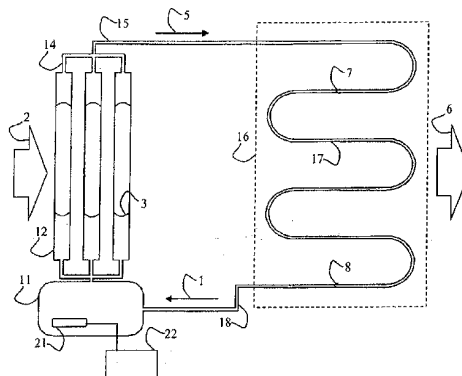
⑦2 Inventeur(s) : JALJAL NAWAL, LACHASSAGNE
LAURENT, ROMESTANT CYRIL et BERTIN YVES.

⑦3 Titulaire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA
Société anonyme, CNRS (CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE).

⑦4 Mandataire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA.

⑤4 DISPOSITIF DE REFROIDISSEMENT POUR SYSTEME ELECTRONIQUE DE PUISSANCE DANS UN
VEHICULE.

⑤7 Pour refroidir un composant de système électronique
de puissance dans un véhicule, le dispositif comprend:
- un réservoir (11) contenant un fluide à l'état d'équilibre
sous ses deux phases liquide et vapeur;
- un évaporateur (12) agencé pour pomper le fluide en
phase liquide provenant du réservoir (11) par capillarité et
pour amener le fluide en phase vapeur en absorbant une
charge thermique (2) générée par le composant (20);
- un condenseur (16) connecté en sortie de l'évaporateur
(12) pour recevoir le fluide en phase vapeur, à une
source froide pour amener le fluide de la phase vapeur à la
phase liquide et en entrée du réservoir (11) pour y faire
retourner le fluide en phase liquide.



FR 2 971 114 - A1



« Dispositif de refroidissement pour système électronique de puissance dans un véhicule »

5 L'invention concerne un dispositif de refroidissement pour système électronique de puissance dans un véhicule, notamment dans un véhicule automobile.

Un système électronique de puissance est particulièrement utile dans un véhicule hybride ou tout électrique pour assurer l'alimentation et la récupération
10 en énergie électrique utilisée pour entraîner et ralentir le véhicule. Un tel système comprend généralement de nombreux composants parmi lesquels on peut citer à titre purement illustratif et non exhaustif, une batterie, des super condensateurs, des thyristors ou transistors de
15 puissance.

Les dispositifs de refroidissement connus ne sont pas satisfaisants.

Les panneaux ou radiateurs à ailettes sont mal adaptés aux nouveaux composants dont la puissance
20 dissipée entraîne un encombrement considérable qui résulte de la surface d'échange nécessaire.

Les refroidisseurs monophasiques de type cylindrique ou plaques à eau, posent un problème d'intégration pour des grandes puissances à dissiper.

25 Le refroidissement diphasique immergé des composants est basé sur un phénomène d'ébullition qui implique des contraintes de mise en œuvre et de maintenance trop élevées pour son application dans l'industrie automobile.

30 Les dispositifs diphasiques gravitaires, tels que par exemple les thermosiphons, ne peuvent fonctionner qu'à la verticale, source de difficultés d'intégration. Leurs capacités de transfert restent limitées au regard d'autres technologies diphasiques.

35 Les dispositifs de refroidissement connus (ailettes, boucle d'air, boucle de fluide...) présentent un autre inconvénient, celui de ne pas absorber des pics de

puissances en sollicitations sévères avec pour
conséquence de rendre difficile la régulation thermique
de l'électronique de puissance. Or une élévation brutale
de la température peut provoquer des dommages
5 irréversibles des composants électriques. Pour éviter
cela, les dispositifs classiques de refroidissement sont
généralement surdimensionnés, ce qui implique des
contraintes supplémentaires d'encombrement et de poids.

Pour remédier aux problèmes posés par l'état
10 antérieur de la technique, l'invention a pour objet un
dispositif de refroidissement d'au moins un composant de
système électronique de puissance dans un véhicule
comprenant :

- un réservoir contenant un fluide à l'état
15 d'équilibre sous ses deux phases liquide et vapeur ;

- un évaporateur agencé pour pomper le fluide en
phase liquide provenant du réservoir par capillarité et
pour amener le fluide en phase vapeur en absorbant une
charge thermique générée par le composant ;

20 - un condenseur connecté en sortie de l'évaporateur
pour recevoir le fluide en phase vapeur, à une source
froide pour amener le fluide de la phase vapeur à la
phase liquide et en entrée du réservoir pour y faire
retourner le fluide en phase liquide.

25 Particulièrement, l'évaporateur comprend un milieu
poreux de façon à pomper le fluide par capillarité.

Avantageusement, le réservoir comprend un élément
chauffant pour amener la température du fluide à
l'équilibre liquide-vapeur.

30 De préférence, le dispositif comprend un module de
régulation pour agir sur l'élément chauffant de façon à
homogénéiser une température de l'évaporateur à une
température de saturation qui correspond à une pression
de référence pour le dispositif.

35 Cela revient à fixer la pression de référence dans
le dispositif à la pression de saturation à l'équilibre
liquide-vapeur.

La pression, donc la température de saturation, dans les autres éléments du dispositif, en particulier l'évaporateur, est ainsi fixée moyennant les différentes pertes de charge dans le circuit.

5 L'invention a aussi pour objet un véhicule automobile comprenant au moins un composant d'électronique de puissance, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif selon l'invention.

La description explicative qui va suivre fait 10 référence aux dessins schématiques annexés donnés uniquement à titre d'exemple, illustrant plusieurs modes de réalisation de l'invention et dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma de principe de fonctionnement du dispositif ;

15 - la figure 2 représente plus en détail un évaporateur du dispositif.

En référence à la figure 1, le dispositif selon l'invention utilise une boucle fluide diphasique à pompage thermo capillaire (BFDPT) accolée aux boîtiers 20 d'électronique de puissance présents en grande quantité sur les véhicules hybrides et électriques.

Parmi les éléments principaux du dispositif, on distingue un ou plusieurs évaporateur(s) 12 pour absorber une charge thermique 2 générée par des composants 25 électroniques de puissance (non représentés), un condenseur 16 pour évacuer la charge thermique sous forme d'un flux de chaleur 6 vers une source froide et un réservoir 11 alimenté par un fluide sous forme d'un liquide 1.

30 L'évaporateur 12 est agencé pour pomper naturellement par capillarité le fluide sous forme liquide à partir du réservoir 11 au moyen de tubes capillaires ou de préférence d'un milieu poreux tel que celui expliqué ci-après en référence à la figure 2.

35 Sous l'effet de la charge thermique 2 appliquée sur le milieu poreux compris dans l'évaporateur 12, le

liquide 1 se vaporise et la vapeur 5 s'échappe dans un collecteur 14.

La frontière 3 représente schématiquement, sous forme de ménisque, la limite à laquelle le fluide pompé par capillarité dans l'évaporateur 12 en phase liquide 1, atteint la température de saturation (état d'équilibre liquide-vapeur) T_s à partir de laquelle il s'évapore. Considérant un débit massique M_F de liquide 1 de capacité thermique massique C_{pl} qui pénètre dans l'évaporateur 12 à une température T_{11} en sortie du réservoir 11, le flux thermique absorbé par chaleur sensible Φ_{1-3} est donné par une formule du type :

$$i) \quad \Phi_{1-3} = M_F \times C_{pl} (T_s - T_{11})$$

Considérant le débit massique M_F de fluide d'enthalpie massique d'évaporation H_{lv} qui s'évapore dans l'évaporateur 12 à la température T_s , le flux thermique absorbé par chaleur latente Φ_3 est donné par une formule du type :

$$ii) \quad \Phi_{3-4} = M_F \times H_{lv}$$

Considérant que la charge thermique 2 génère un flux thermique Φ_2 vers l'évaporateur 12, le dispositif est dimensionné de façon à obtenir un débit massique M_F de fluide optimal qui satisfait la relation :

$$iii) \quad \Phi_2 = \Phi_{1-3} + \Phi_{3-4} = M_F \times [C_{pl}(T_s - T_{11}) + H_{lv}]$$

La capillarité et l'évaporation permettent de mettre le fluide en mouvement de manière complètement passive, de sorte que le débit massique M_F est obtenu sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir aucune pompe mécanique pour assurer la circulation du fluide. Il en résulte un gain de maintenance considérable par rapport aux circuits de refroidissement classiques.

Le collecteur 14 de l'évaporateur est relié au condenseur 16 par une conduite 15 dans laquelle circule le fluide en phase vapeur 5 à une température de vapeur T_5 proche de la température de saturation T_s .

La conduite 15 se prolonge sous forme de tube coudé 17 dans le condenseur jusqu'à déboucher dans une seconde conduite 18 qui relie le condenseur 16 au réservoir 11.

Le condenseur 16 est en contact avec une source 5 froide 6 à une température T_6 inférieure à la température de saturation T_s de sorte que la vapeur 5 se condense dans le tube 17 entre deux points 7 et 8 de température T_s . Considérant le débit massique M_F de fluide diphasique d'enthalpie massique de condensation H_{vl} qui se liquéfie 10 dans le condenseur 16 à la température T_s , le flux thermique exhumé Φ_{7-8} est donné par une formule du type :

$$iv) \quad \Phi_{7-8} = M_F \times H_{vl}$$

Le fluide liquéfié continue à se refroidir au-delà du point 8 jusqu'à la sortie du tube 17 de sorte qu'on 15 obtient le liquide 1 en sortie du condenseur 16 à une température de sous refroidissement T_1 comprise entre la température de saturation T_s et la température de source froide T_6 . Considérant le débit massique M_F de liquide 1 de capacité thermique massique C_{pl} qui pénètre en régime 20 établi dans le réservoir 11 à la température T_1 en sortie du condenseur 16, le flux thermique exhumé Φ_{8-11} est donné par une formule du type :

$$v) \quad \Phi_{8-11} = M_F \times C_{pl} (T_s - T_1)$$

Finalement, la source froide 6 résorbe un flux 25 thermique Φ_6 du condenseur 16, selon la relation :

$$vi) \quad \Phi_6 = \Phi_{7-8} + \Phi_{8-11} = M_F \times [H_{vl} + C_{pl} (T_s - T_1)]$$

On constate que le flux thermique Φ_6 est évacué au niveau de la source froide, indépendamment de la 30 température T_2 de la charge thermique 2 qui se stabilise à une valeur proche de la température de saturation T_s et de la température T_6 de la source froide 6. L'expression du flux thermique Φ_6 en fonction de la différence de température $(T_2 - T_6)$ et d'une conductance thermique K_{th} , est de la forme :

$$35 \quad vii) \quad \Phi_6 = K_{th} (T_6 - T_2)$$

Ce constat revient à considérer la conductance thermique K_{th} comme une conductance variable qui s'adapte

naturellement à la différence de température pour véhiculer le flux thermique. Ce phénomène s'explique par la longueur de condensation entre les points 7 et 8 qui augmente naturellement lorsque la température T_2 ou le flux thermique Φ_6 augmente et réciproquement.

En résumé, la vapeur générée dans l'évaporateur 12 par la charge thermique 2, circule ensuite jusqu'au condenseur 16 où la puissance de la charge thermique est dissipée. Le liquide sous-refroidi sort ensuite du condenseur 16 pour revenir vers l'évaporateur 12 et assurer le cycle. L'adaptation de la longueur de condensation permet au dispositif de présenter une conductance variable de sorte que la température de source froide a peu d'influence sur le maintien du niveau de température à l'évaporateur au contact des composants électroniques de puissance, pour autant bien entendu que la température de source froide est inférieure à la température de saturation.

L'évaporateur 12 est représenté de manière plus détaillée sur la figure 2 où on distingue un corps 19 de l'évaporateur en contact avec un composant électronique de puissance 20. L'évaporateur contient un milieu poreux qui aspire le liquide 1 par capillarité.

La face supérieure du milieu poreux 13 de l'évaporateur 12 est en contact soit d'une partie pleine du corps 19 qui transmet la charge thermique 2 générée par le composant électronique de puissance 20 au milieu poreux par conduction thermique, soit d'une ouverture dans le corps 19 agencée pour constituer le collecteur 14 qui évacue la vapeur 5 vers la sortie de l'évaporateur 12.

Le réservoir 11 est positionné au dessus de l'évaporateur.

Dans le réservoir 11, un élément chauffant 21 tel qu'une résistance électrique, un thermo élément ou autre, est connecté à une unité électronique 22 qui régule la température de fonctionnement du dispositif de manière à

maintenir homogène la température T_2 à une valeur optimale au niveau de l'interface du boîtier électronique. Par ailleurs, la conductance naturellement variable K_{th} du dispositif permet de maintenir cette température quelle que soit la puissance dissipée, bien entendu dans la mesure où le dispositif est suffisamment dimensionné.

La régulation est paramétrée pour fournir une puissance donnée par la relation viii) de manière à obtenir la température de saturation T_s voulue dans le réservoir :

$$\text{viii) } P_{21} = M_F \times C_{pl} (T_s - T_1)$$

Le tableau ci-après permet de comparer l'enthalpie de vaporisation H_{1v} et la capacité thermique massique C_{pl} à l'état liquide de différents fluides sélectionnés lors d'essais de mise au point du dispositif :

fluide	formule	Enthalpie de vaporisation en kJ/kg	Capacité thermique en kJ/kg/°K
Ammoniac	NH ₃	1357	4,601
Ethanol	C ₂ H ₆ O	855	2,840
Méthanol	CH ₄ O	1100	2,510
Acétone	C ₃ H ₆ O	532	2,150
Hexane	C ₆ H ₁₄	337	2,259
Pentane	C ₅ H ₁₂	356	2,177

On remarque que la quantité de chaleur absorbée par l'enthalpie de vaporisation est de 150 pour l'hexane à 250 pour l'ammoniac fois plus élevée que la quantité de chaleur absorbée par capacité thermique pour élever la température du liquide de 1 Kelvin.

Plusieurs variantes de réalisation du dispositif sont possibles.

Dans une architecture de type CPL (« Capillary Pumped Loop »), le réservoir 11 est découplé de la conduite 18 alors que dans une architecture de type LHP (« Loop Heat Pipe »), le réservoir est accolé à

l'évaporateur. La régulation du réservoir doit donc être adaptée en conséquence.

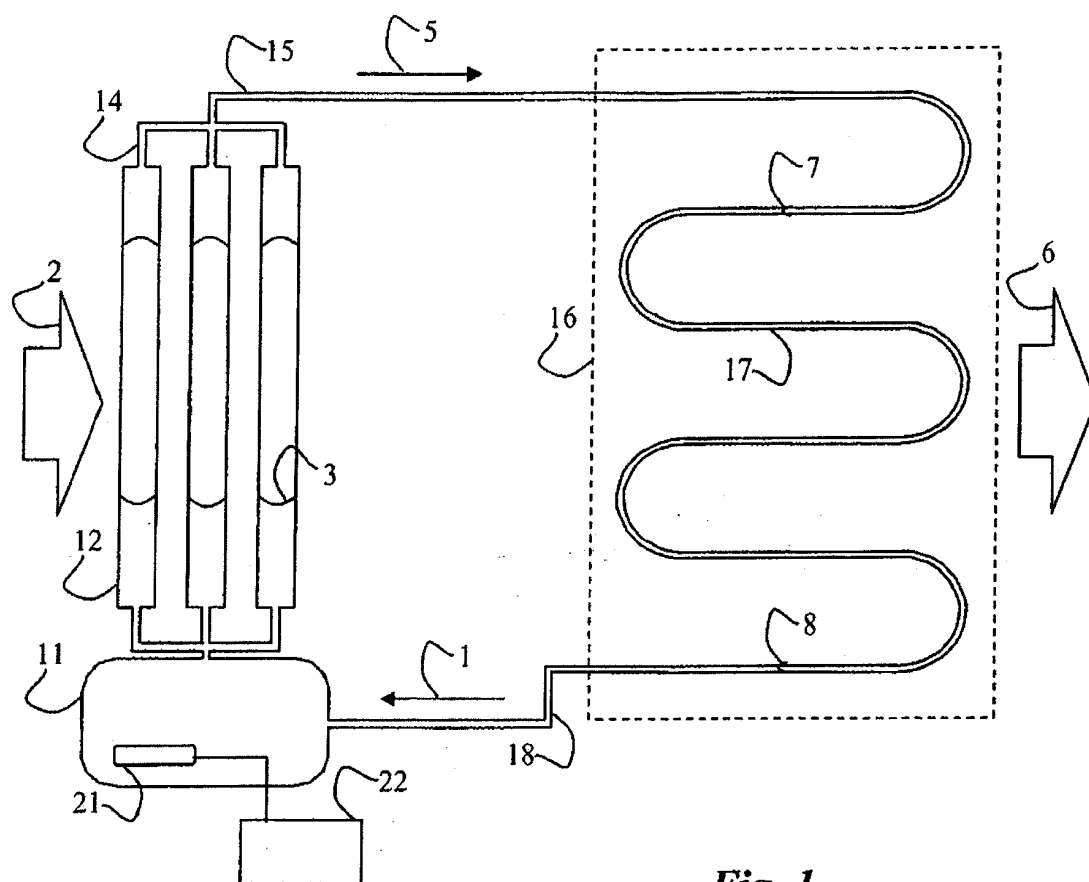
La conception du réservoir 11 peut elle aussi varier en termes de formes et de volumes. Différentes
5 conceptions de l'évaporateur sont envisageables. D'autres fluides que ceux mentionnés ci-dessus peuvent aussi être utilisés dans le dispositif, notamment en fonction de la température de fonctionnement que l'on veut atteindre.

Parmi les nombreux avantages de l'utilisation d'un
10 dispositif à boucle fluide diphasique à pompage thermo-capillaire, notamment avec régulation thermique du réservoir pour le refroidissement de l'électronique de puissance, on peut citer un gain de maintenance lié à l'absence de pompe mécanique, une capacité de transfert
15 élevée (jusqu'à 10kW pour 1m de conduite) liée à la chaleur latente du fluide utilisé, un maintien et une régulation de la température de l'électronique pour différentes puissances à dissiper notamment grâce à la conductance variable, une possibilité de régulation de la
20 température de l'électronique de puissance par l'intermédiaire du réservoir et une facilité d'intégration résultant d'une absence de contrainte sur la position de la source froide par rapport à la zone de dissipation.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de refroidissement d'au moins un
composant (20) de système électronique de puissance dans
5 un véhicule comprenant :
- un réservoir (11) contenant un fluide à l'état
d'équilibre sous ses deux phases liquide et vapeur ;
 - un évaporateur (12) agencé pour pomper le fluide
en phase liquide provenant du réservoir (11) par
10 capillarité et pour amener le fluide en phase vapeur en
absorbant une charge thermique (2) générée par le
composant (20) ;
 - un condenseur (16) connecté en sortie de
l'évaporateur (12) pour recevoir le fluide en phase
15 vapeur, à une source froide pour amener le fluide de la
phase vapeur à la phase liquide et en entrée du réservoir
(11) pour y faire retourner le fluide en phase liquide.
2. Dispositif selon la revendication 1,
20 caractérisé l'évaporateur (12) comprend un milieu poreux
de façon à pomper le fluide par capillarité.
3. Dispositif selon l'une des revendications
précédentes, caractérisé en ce que le réservoir (11)
25 comprend un élément chauffant (21) pour amener la
température du fluide à l'état d'équilibre liquide-
vapeur.
4. Dispositif selon la revendication 3,
30 caractérisé en ce qu'il comprend un module de régulation
(22) pour agir sur l'élément chauffant (21) de façon à
homogénéiser une température de l'évaporateur (12) à une
température de saturation qui correspond à une pression
de référence pour le dispositif.
- 35
5. Véhicule automobile comprenant au moins un
composant (20) d'électronique de puissance, caractérisé

en ce qu'il comprend un dispositif selon l'une des revendications 1 à 4 pour refroidir ledit composant (20).

*Fig. 1*

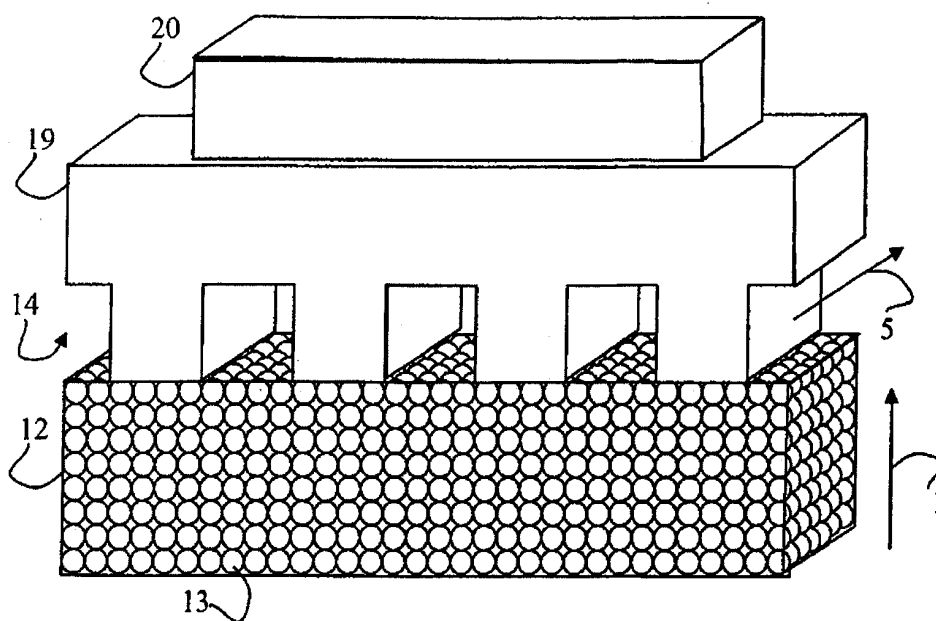


Fig. 2



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
 établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 747986
 FR 1150663

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		
E	WO 2011/023900 A1 (PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES SA [FR]; CNRS CT NAT DE LA RECH SCIENT [FR] 3 mars 2011 (2011-03-03) * le document en entier *	1-5	H05K7/20
E	EP 2 291 067 A1 (ALSTOM TRANSPORT SA [FR]) 2 mars 2011 (2011-03-02) * le document en entier *	1-5	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H05K
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		14 juillet 2011	Galary, Grzegorz
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 à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
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 1150663 FA 747986**

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 **14-07-2011**

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 2011023900	A1	03-03-2011	FR	2949406 A1	04-03-2011

EP 2291067	A1	02-03-2011	CN	102006763 A	06-04-2011
			FR	2949642 A1	04-03-2011
