(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
28 août 2014 (28.08.2014)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2014/128393 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F01K 23/14 (2006.01) *F01K 23/10* (2006.01)
F01K 23/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2014/050322

(22) Date de dépôt international :
17 février 2014 (17.02.2014)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1351433 20 février 2013 (20.02.2013) FR

(71) Déposant : **RENAULT S.A.S.** [FR/FR]; 13-15 quai Le Gallo, F-92100 Boulogne-Billancourt (FR).

(72) Inventeurs : **DONG, Yuxiang**; 7 impasse du Rouet, F-75014 Paris (FR). **EL-BAKKALI, Amin**; 20 rue Joachim du Bellay, F-78280 Guyancourt (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, LT, 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, 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).

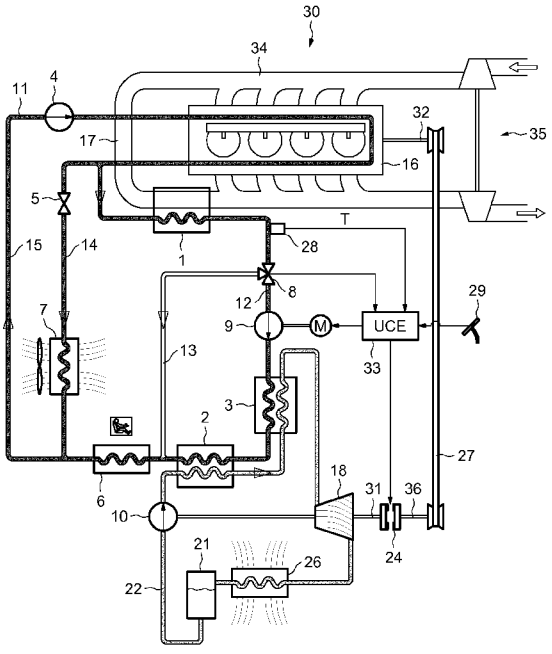
Publiée :

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

(54) **Title** : SYSTEM FOR RECUPERATING HEAT FROM THE EXHAUST GASES IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) **Titre** : SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT DANS UN MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

FIG.1



(57) **Abstract** : In a method for managing the amount of energy used by an internal combustion engine (16), use is made of a liquid coolant circuit (11) of the engine (16) in order also to recover heat energy from the exhaust gases of the vehicle and transmit at least some of the recovered heat energy to a state change fluid circuit positioned in such a way as to be able to supply mechanical energy to an output shaft (32) of the internal combustion engine (16). A mechanical coupling between an expansion machine (18) of the fluid circuit (22) and the internal combustion engine (16) is disengaged if the temperature (T) of the liquid coolant upstream of the state change fluid circuit (22) is below a threshold value or if an acceleration setpoint of the engine (16) is negative.

(57) **Abrégé** : Système de récupération de chaleur des gaz d'échappement dans un moteur à combustion interne Dans un procédé de gestion de l'énergie mise en œuvre par un moteur à combustion interne (16), on utilise un circuit de liquide de refroidissement (11) du moteur (16) pour prélever

[Suite sur la page suivante]

WO 2014/128393 A1

également des calories des gaz d'échappement du véhicule, et pour transmettre au moins une partie des calories prélevées à un circuit de fluide à changement d'état placé de manière à pouvoir fournir de l'énergie mécanique à un arbre de sortie (32) du moteur (16) à combustion interne. On débraye une liaison mécanique entre une machine de détente (18) du circuit de fluide (22) et le moteur (16) à combustion interne si la température (T) du liquide de refroidissement en amont du circuit de fluide (22) à changement d'état est inférieure à un seuil, ou si une consigne d'accélération du moteur (16) est négative.

Système de récupération de chaleur des gaz d'échappement dans un moteur à combustion interne

L'invention concerne un dispositif de récupération d'énergie thermique d'un moteur à combustion interne. Les véhicules équipés de moteurs à combustion interne produisent une quantité importante d'énergie thermique, qui est parfois utilisée pour le chauffage de l'habitacle du véhicule, et est généralement dissipée par l'intermédiaire d'un circuit de refroidissement comportant un radiateur par l'air extérieur au véhicule. Cette énergie est donc perdue pour le véhicule et n'est pas valorisée.

Des systèmes de récupération d'énergie basés sur des circuits de fluide à changement d'état soumis à un cycle thermodynamique correspondant à un cycle de Rankine, ou à un cycle voisin, par exemple un cycle de type Rankine-Hirn, ont été proposés pour récupérer une partie de l'énergie thermique dégagée par un moteur de véhicule. Une partie de l'énergie thermique peut ainsi être convertie en énergie mécanique.

Cette énergie mécanique récupérée peut être directement utilisée pour générer un couple additionnel améliorant ainsi le rendement du moteur à combustion interne, et réduisant la consommation globale en carburant du moteur.

Ainsi, la demande de brevet FR2884556 décrit un système de récupération d'énergie par cycle Rankine, comprenant un échangeur couplant directement la ligne des gaz d'échappement et le circuit de Rankine. Une telle architecture de récupération d'énergie directement au niveau de la ligne d'échappement pose des problèmes d'encombrement physique. En outre les échangeurs entrant en jeu doivent supporter des gradients thermiques très important, donc sont coûteux à réaliser.

L'invention a pour but de proposer un système de récupération d'énergie qui est moins coûteux à réaliser que les systèmes disposés sur la ligne d'échappement, qui est plus compatible que ceux-ci avec

l'encombrement des organes sous le capot moteur, et qui permet en outre, lors des démarrages à froid du véhicule, d'assurer un réchauffement rapide de l'habitacle du véhicule si les occupants du véhicule en éprouvent le besoin.

L'invention propose un système de récupération d'énergie pour un véhicule automobile équipé d'un moteur à combustion interne, équipé d'un premier circuit de liquide de refroidissement comprenant un premier échangeur monté de façon à prélever des calories des gaz d'échappement sur le circuit de recirculation, et d'un second circuit dans lequel circule un fluide à changement d'état et comprenant une machine de détente.

Le premier circuit comprend au moins un second échangeur servant de source chaude pour le second circuit pour faire passer à l'état gazeux le fluide du second circuit. La machine de détente est configurée pour pouvoir au moins par moments être solidarisée en rotation avec un arbre de sortie du moteur à combustion interne.

De manière préférentielle, le second circuit est configuré pour que le fluide à changement d'état puisse entraîner mécaniquement en rotation, lorsque le fluide se détend dans la machine de détente, un arbre de sortie de la machine de détente lié par une courroie à l'arbre du moteur.

Avantageusement, le moteur est un moteur de type diesel. Selon un mode de réalisation préféré, la liaison entre la machine de détente et l'arbre de sortie du moteur à combustion interne peut être débrayable. Avantageusement, le second circuit comprend un condenseur à air faisant office de source froide pour le second circuit, situé en aval de la machine de détente et permettant de ramener à l'état liquide le fluide du second circuit en évacuant des calories du second circuit vers l'atmosphère. Le condenseur peut être un échangeur traversé d'une part par le second circuit, et traversé également par un circuit de climatisation du véhicule. On réduit ainsi l'encombrement global des circuits de fluides à changement d'état présents sur le véhicule.

Avantageusement, le système comprend un circuit de recirculation partielle des gaz d'échappement du moteur, le premier échangeur étant placé de manière à prélever les calories des gaz d'échappement au niveau du circuit de recirculation. Le circuit de recirculation partielle peut comprendre une tubulure de recirculation de type EGR HP, ramenant une partie des gaz d'échappement de l'aval des cylindres du moteur vers un collecteur d'admission du moteur ou vers l'entrée des cylindres du moteur, sans passer par un turbocompresseur du moteur. Selon d'autres variantes de réalisation, le circuit de recirculation peut comprendre une tubulure de type EGR BP, ramenant les gaz d'échappement vers l'entrée d'un turbocompresseur. Le premier circuit est muni d'une pompe apte à imposer un sens constant de circulation du liquide de refroidissement au travers du premier échangeur et du second échangeur. On considère qu'un premier élément du premier circuit est en aval par rapport à un second élément de ce circuit, si le premier élément se situe en aval du second élément par rapport au sens de circulation de liquide de refroidissement imposé dans le premier circuit par la pompe.

De manière avantageuse, le premier circuit comprend une branche de récupération en aval du premier échangeur, la branche de récupération traversant successivement vers l'aval, le second échangeur et un aérotherme placé de manière à permettre de chauffer un habitacle du véhicule. Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, le second échangeur, dans lequel le fluide du second circuit passe à l'état de gaz, est monté en série sur la branche de récupération avec un troisième échangeur destiné à apporter des calories supplémentaires au fluide gazeux du second circuit sortant du second échangeur. Le second et le troisième échangeur peuvent éventuellement ne former qu'une seule pièce, assurant les deux fonctions d'évaporateur et de surchauffeur. Selon une autre variante de réalisation, le second échangeur faisant office d'évaporateur pour le second circuit, est monté en parallèle sur le premier circuit, avec un troisième évaporateur faisant office de surchauffeur pour le second circuit. Le surchauffeur se trouve alors en

sortie de l'évaporateur sur le second circuit, mais est disposé sur une branche du premier circuit qui est branchée en parallèle à la portion de la branche de récupération portant l'évaporateur.

Le système peut comprendre sur le premier circuit, un aérotherme pour le chauffage d'un habitacle du véhicule, et une branche de dérivation du premier circuit permettant de faire transiter le liquide du premier échangeur vers l'aérotherme, sans passer par le second échangeur.

Avantageusement, le système comprend un capteur de température de liquide de refroidissement en sortie du premier échangeur, et un système d'au moins une vanne commandable en fonction de la température mesurée pour modifier les débits de liquide de refroidissement envoyés respectivement dans la branche de dérivation et au travers du second échangeur. Selon un mode de réalisation préféré, la branche de dérivation du premier circuit est montée en parallèle d'une branche de récupération du premier circuit sur laquelle se trouve le premier échangeur, et le circuit comprend une vanne trois voies à l'embranchement amont entre la branche de dérivation et la branche de récupération. La vanne trois voies est commandée en fonction de la température mesurée par le capteur, par exemple à l'aide d'une unité de commande électronique recevant un signal du capteur de température. De manière préférentielle, la vanne ou l'unité de commande électronique associée est configurée pour faire transiter le liquide de refroidissement dans la branche de récupération quand la température de liquide de refroidissement en sortie du premier échangeur est supérieure à une première température seuil, et pour faire transiter le liquide de refroidissement dans la branche de dérivation dans le cas contraire. Selon une autre variante de réalisation, la vanne peut être commandée de manière à augmenter le débit dans la vanne de dérivation quand la température mesurée est inférieure à une température seuil, sans interrompre le débit dans la branche de récupération. Selon un mode de réalisation préféré, la vanne peut être commandée par une unité de commande électronique pour empêcher la circulation de liquide de refroidissement dans la

branche de récupération quand on souhaite obtenir un chauffage rapide de l'habitacle, lors d'un démarrage à froid par exemple. L'unité de commande électronique peut par exemple interdire la circulation de fluide dans le second échangeur quand une demande de chauffage de l'habitacle est activée et quand une température de liquide inférieure à une première température seuil est détectée par le capteur de température.

Avantageusement, le système peut comprendre un système d'embrayage ou de roue libre entre la machine de détente et un arbre de sortie du moteur à combustion interne. De manière préférentielle, l'arbre de sortie du moteur à combustion interne peut entraîner en rotation, par exemple à l'aide d'un engrenage, ou d'un système de poulies, un arbre secondaire relié par l'embrayage ou par la roue libre à un arbre de sortie de la machine de détente. L'embrayage peut par exemple être commandé par une unité de commande électronique, configurée pour fermer l'embrayage quand une consigne d'accélération du moteur est positive, et quand simultanément la température mesurée par le capteur est supérieure à une seconde température seuil. La seconde température seuil peut être égale à la première température seuil.

De manière préférentielle, le premier circuit traverse le moteur à combustion interne en amont du premier échangeur, et comprend un radiateur configuré pour évacuer vers l'atmosphère des calories du premier circuit, le radiateur étant connecté en parallèle du premier échangeur.

Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, le premier circuit traverse le moteur à combustion interne en amont du premier échangeur, et comprend une branche de refroidissement en aval du moteur à combustion interne, connectée en parallèle par rapport à une branche comprenant la branche de récupération et le premier échangeur. La branche de refroidissement traverse le radiateur. Le premier circuit est muni d'une pompe apte à imposer un sens constant de circulation au travers du premier échangeur, du second échangeur, et du radiateur.

Le système peut comprendre un thermostat, configuré pour limiter ou interrompre le débit de liquide dans le radiateur quand la température de liquide traversant le thermostat est inférieure à une troisième température seuil. Cette troisième température seuil peut être différente de la première et de la seconde température seuil.

Selon un premier mode de réalisation, le système peut comprendre une première pompe à débit commandable placée sur le premier circuit de manière à imposer le débit de liquide de refroidissement traversant le second échangeur. Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, le système comprend une unité de commande électronique configurée pour faire varier le débit de la première pompe en fonction de paramètres incluant le point de fonctionnement du moteur à combustion interne.

Avantageusement, le second circuit comprend alors une pompe mécanique dont un arbre est solidaire en rotation d'un arbre de sortie de la machine de détente. Avantageusement, la pompe mécanique est dimensionnée pour pouvoir assurer à elle seule la circulation de fluide dans le second circuit.

Selon un second mode de réalisation, le système comprend une seconde pompe à débit commandable, placée sur le second circuit de manière à imposer dans le second circuit, le débit de fluide traversant le second échangeur. Selon un mode de réalisation préféré, le système comprend une unité de commande électronique configurée pour faire varier le débit de la seconde pompe en fonction de paramètres incluant le point de fonctionnement du moteur à combustion interne et la vitesse du véhicule. Le premier mode et le second mode de réalisation ne se cumulent généralement pas, le système étant équipé soit de la première pompe à débit commandable et non de la seconde, soit de la seconde pompe à débit commandable et non de la première.

Dans le second mode de réalisation, le système peut comprendre un détendeur monté, en parallèle de la machine de détente, sur le second circuit, et une vanne en amont du détendeur et de la machine de détente, apte à envoyer sélectivement le fluide du second circuit soit au travers de la machine de détente, soit au travers du

détendeur. Selon un mode de réalisation avantageux, le détendeur peut être commandé de manière à envoyer le fluide au travers du détendeur quand on souhaite utiliser le second circuit pour évacuer des calories du premier circuit, sans récupérer d'énergie mécanique sur la machine de détente, par exemple quand le moteur à combustion interne tourne au ralenti.

L'invention propose également un procédé de gestion de l'énergie mise en œuvre par un moteur à combustion interne, dans lequel on utilise un circuit de liquide de refroidissement du moteur pour prélever également des calories des gaz d'échappement du véhicule, et pour transmettre au moins une partie des calories prélevées à un circuit de fluide à changement d'état placé de manière à pouvoir fournir de l'énergie mécanique à un arbre de sortie du moteur à combustion interne. On débraye la liaison mécanique entre une machine de détente du circuit de fluide et le moteur à combustion interne si la température du liquide de refroidissement en amont du circuit de fluide à changement d'état est inférieure à un seuil, ou si une consigne d'accélération du moteur est négative.

On peut réguler, à l'aide d'une pompe à débit variable, les échanges thermiques entre le circuit de liquide de refroidissement et le circuit de fluide à changement d'état, en fonction de paramètres incluant un point de fonctionnement du moteur et la vitesse du véhicule.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique montrant un moteur de véhicule automobile équipé d'un système de récupération d'énergie selon l'invention, et
- la figure 2 est une vue schématique montrant un moteur de véhicule automobile équipé d'un autre système de récupération d'énergie selon l'invention.

Tel qu'illustré sur la figure 1, un système 30 de récupération d'énergie thermique d'un moteur 16 à combustion interne comporte un circuit de refroidissement 11 capable de faire circuler un liquide de refroidissement. Le circuit de refroidissement 11 traverse des canalisations de refroidissement du moteur 16, suivant une direction d'écoulement imposée par une pompe mécanique 4, couplée avec le moteur.

En aval du moteur 16, le circuit de refroidissement 11 comporte une branche de récupération 12, une branche de refroidissement 14 connectées en parallèle l'une par rapport à l'autre et qui déversent toutes deux le liquide qui les traverse dans une branche de retour 15 à partir de laquelle le liquide de refroidissement est ensuite réinjecté à l'aide de la pompe 4 vers l'amont des canalisations de refroidissement du moteur 16.

Sur la branche de refroidissement 14, est placé un radiateur principal 7 du véhicule qui permet de refroidir le liquide traversant la branche de refroidissement 14 par échange thermique avec de l'air extérieur au véhicule. Un thermostat 5, placé sur la branche de refroidissement 14, par exemple en amont du radiateur 7, est réglé de manière à diminuer ou à interrompre le flux de liquide traversant la branche 14 quand la température détectée par le thermostat 5 devient inférieure à une température seuil du thermostat.

Le moteur 16 comprend une tubulure 17 de recirculation des gaz d'échappement, qui permet ici de renvoyer des gaz chauds sortant du cylindre du moteur 16 vers un collecteur d'admission 34 du moteur 16.

On dit ici que la recirculation est de type EGR ("Exhaust Gas recirculation") HP ("Haute Pression") car les gaz brûlés sont récupérés avant d'avoir franchi la turbine d'un turbocompresseur 35 du moteur 16.

L'invention pourrait, également, s'appliquer à une tubulure de gaz recyclant des gaz à basse pression, typiquement en prélevant ces gaz en aval d'une turbine du turbocompresseur 35 et les réinjectant en amont du turbocompresseur 35.

Un premier échangeur ou refroidisseur EGR référencé 1 permet de récupérer des calories des gaz d'échappement traversant la tubulure 7. Dans l'échangeur 1, les calories des gaz d'échappement servent à réchauffer le liquide traversant l'échangeur 1. La branche de récupération 12 du premier circuit traverse le refroidisseur 1, une vanne trois voies 8, une pompe électrique à débit modulable 9 également appelée pompe à débit variable,, un second échangeur 2, un troisième échangeur 3 et un aérotherme 6. La branche de récupération 12 traverse les éléments cités dans l'ordre suivant : le refroidisseur 1, la vanne trois voies 8, la pompe électrique à débit modulable 9, le troisième échangeur 3, le second échangeur 2, et l'aérotherme 6. En aval du refroidisseur 1, la branche de récupération 12 est équipée d'un capteur de température 28 permettant de mesurer la température T du liquide sortant du refroidisseur 1.

Le capteur de température 28 est connecté à une unité de commande électronique 33, également appelée UCE 33. La vanne trois voies 8 permet d'envoyer sélectivement le liquide de la branche de récupération 12 soit au travers de la pompe 9 et des deux échangeurs 2 et 3, soit dans une branche de dérivation 13 qui envoie le liquide arrivant du refroidisseur 1 vers l'entrée de l'aérotherme 6.

L'aérotherme 6 permet d'utiliser les calories du liquide de la branche de récupération 12 pour chauffer l'habitacle du véhicule. Typiquement, l'unité de commande électronique 33 est configurée pour envoyer le liquide arrivant du refroidisseur 1 directement vers l'aérotherme 6 lors d'un démarrage à froid du véhicule.

Lors d'un tel démarrage à froid, le thermostat 5 est également fermé si bien que toutes les calories récupérées par le liquide du circuit 11, récupérées pour une petite partie sur le moteur 16 et pour une partie plus importante sur le refroidisseur EGR 1, sont ainsi disponibles pour chauffer rapidement l'habitacle du véhicule.

L'unité de commande électronique 33 commande le débit imposé à la pompe 9 et peut ainsi réguler l'intensité des échanges caloriques possibles au niveau des échangeurs 2 et 3.

Les échangeurs 2 et 3 permettent de céder des calories de la branche de récupération du premier circuit 11 à un fluide circulant dans un second circuit 22 que l'on peut éventuellement désigner par « circuit de Rankine », car le cycle du fluide circulant dans ce circuit se rapproche d'un cycle thermodynamique connu sous le nom de cycle de Rankine.

Le circuit de Rankine comprend au moins le second échangeur 2, dans lequel le fluide du second circuit 22 entre à l'état liquide sous l'effet d'une force motrice d'une pompe 10 située en amont de l'échangeur 2, une machine de détente 18, et un condenseur 26 qui est ici un condenseur à air permettant de ramener à l'état liquide le fluide du second circuit 22. Dans l'échangeur 2, le fluide passe à l'état gazeux grâce aux calories apportées par le liquide du circuit de refroidissement 11. Dans la machine de détente 18, le gaz du second circuit 22 se détend en cédant de l'énergie mécanique à un arbre 31. Le second circuit 22 comprend au moins une pompe 10, ici la pompe 10 entraînée de manière mécanique à partir d'un arbre de sortie 22 du moteur thermique 16.

Le fluide ayant traversé le condenseur 26 peut transiter par une bouteille 21 à partir du fond de laquelle le fluide est réinjecté dans le circuit 22 à l'aide de la pompe 10. La bouteille 21 permet d'éviter que des bulles de fluide à l'état gazeux transitent dans le circuit dans la portion comprise entre la bouteille et le second échangeur 2.

Selon les variantes de réalisation, le circuit de Rankine peut comprendre un troisième échangeur 3, permettant à l'aide des calories apportées par le circuit de refroidissement 11, d'augmenter la pression du fluide à l'état gazeux issu du second échangeur 2.

Ce troisième échangeur ou surchauffeur se trouve sur le circuit de Rankine 22 en sortie du second échangeur 2 ou évaporateur du circuit de Rankine. De manière préférentielle, le positionnement des échangeurs 2 et 3 est également un positionnement en série sur la branche de récupération 12 du premier circuit, le liquide de refroidissement dans le premier circuit et le fluide du circuit de Rankine circulant à contre courant l'un de l'autre.

Dans l'exemple de réalisation illustrée en figure 1, la pompe 10, assurant la circulation de fluide dans le circuit de Rankine 22, est entraînée par un arbre solidaire en rotation de l'arbre de sortie 31 de la machine de détente 18. Cet arbre de sortie 31 peut être solidarisé à l'aide d'un embrayage 24 commandé par l'unité de commande électronique 33, avec un arbre secondaire 36 lui-même relié par un système de poulies avec un arbre de sortie 32 du moteur thermique 16 par exemple à l'aide d'une courroie 27.

L'électrovanne trois voies 8 permet de court-circuiter les deux échangeurs de chaleur, surchauffeur 3 et évaporateur 2, lorsque le liquide de refroidissement en sortie de l'échangeur EGR n'est pas assez chaud (par exemple de température inférieure à 85°C) et lorsque le moteur 16 est au ralenti. Par ailleurs, lors d'un démarrage à froid du véhicule, cet agencement particulier permet d'obtenir une montée en température rapide de l'habitacle. La pompe électrique 9 permet de contrôler le débit du liquide de refroidissement dans les échangeurs thermiques surchauffeur 3 et évaporateur 2 quand le cycle de Rankine est en marche. Le pilotage de cette pompe électrique 9 permet de contrôler le débit, donc la quantité, de liquide de refroidissement impliqué dans les transferts thermiques afin d'optimiser la puissance délivrée par le cycle de Rankine. On parle ici de cycle de Rankine au sens large. On considère en effet un cycle avec un fluide à transformation de phase. Le fluide est mû par une pompe dans un circuit. Successivement, le fluide :

-reçoit des calories permettant de vaporiser le fluide,

-cède un travail mécanique en se détendant dans une machine de détente,

- est ensuite refroidi pour être condensé et pouvoir être réinjecté par la pompe dans le circuit.

Les phases de compression ou de détente du fluide peuvent s'écarter de phases de compression strictement isothermes ou adiabatiques préconisées par le cycle de Rankine idéal.

La pompe mécanique 10 du circuit de Rankine comprime le fluide de travail. Le fluide de travail se réchauffe et se vaporise

ensuite dans l'évaporateur 2 lors d'un échange thermique avec le liquide de refroidissement du premier circuit 11. Le fluide de travail est ensuite surchauffé dans le second échangeur surchauffeur 3, toujours par échange thermique avec le liquide de refroidissement du premier circuit 11. Le fluide de travail à l'état de vapeur subit ensuite une détente dans la machine de détente 18 (par ex : machine de type "scroll") fournissant ainsi un travail récupérable sur un arbre rotatif 31. L'arbre 31 de la machine de détente peut être accouplé au moteur thermique via la courroie 27 et l'embrayage 24. Le fluide de travail est ensuite ramené à son état liquide dans un condenseur à air 26 qui le refroidit. La bouteille 21 assure que le fluide de travail revient vers la pompe 10 à l'état de liquide saturé. En d'autres termes, on évite de réinjecter des bulles dans la pompe 10. Dans la configuration de la figure 1, la pompe 10 et la machine de détente 18 sont couplées mécaniquement.

Lors d'un démarrage à froid, on peut ouvrir la vanne de dérivation 8 et ainsi court-circuiter les échangeurs à haute pression (évaporateur 2 et surchauffeur 3) de la boucle de Rankine 11. Ainsi, les calories reçues des gaz d'échappement sont transférées essentiellement vers l'aérotherme 6, ce qui permet d'élever rapidement la température de l'habitacle.

Lorsque la température mesurée par le capteur 28 atteint un seuil prédéfini, la vanne de dérivation 8 est fermée et le circuit à cycle de Rankine permet d'exploiter les calories reçues de la source chaude et de les transformer en énergie mécanique grâce à la machine de détente 18. L'embrayage 24 est engagé lorsque la consigne de pédale d'accélération 29 du véhicule est positive et que la température du liquide de refroidissement en sortie de l'échangeur EGR atteint un seuil prédéfini. La pompe électrique 10 est pilotée à partir du point de fonctionnement du moteur et de la vitesse du véhicule de manière à maximiser la puissance récupérée sur le circuit de Rankine 22.

Quand la température du liquide de refroidissement en sortie du moteur 16 atteint un seuil de température (par exemple 85°C), le thermostat 5 s'ouvre. Le radiateur externe 7 refroidit le liquide de

refroidissement moteur par une circulation de l'air extérieur au véhicule.

Quand le moteur 16 tourne au ralenti, l'unité de commande électronique 33 ouvre l'embrayage 24 et place la vanne 8 de manière à court-circuiter les échangeurs de chaleur surchauffeur 3 et évaporateur 2.

Dans un deuxième mode de réalisation, illustré sur la figure 2, l'optimisation du point de fonctionnement du cycle de Rankine n'est plus effectuée par le pilotage, à l'aide de la pompe 9, du débit de liquide de refroidissement impliqué dans les transferts thermiques avec le cycle de Rankine, mais par le pilotage de la vitesse de rotation d'un pompe électrique 20 à vitesse régulable, et remplaçant la pompe tournant avec l'arbre secondaire 36. On retrouve sur la figure 2 des éléments communs à la figure 1, les mêmes éléments étant alors désignés par les mêmes références.

Sur la figure 2, la pompe 20 n'est pas couplée mécaniquement avec la machine de détente 18. Une vanne trois voies 25 est disposée en amont de la machine de détente 18, permettant de court-circuiter la machine de détente. Un détenteur 19 est monté dans la branche de dérivation permettant de contourner la machine de détente 18.

Le pilotage de l'embrayage 24 reste identique par rapport au mode de réalisation de la figure 1.

Quand le circuit de Rankine 22 est actif (moteur chaud et consigne de pédale d'accélération positive, vanne trois voies 8 envoyant le fluide de refroidissement vers les échangeurs 2 et 3), la vanne 25 ferme la portion de dérivation comprenant le détendeur 19. La pompe 20 est pilotée à partir du point de fonctionnement du moteur 16 (par exemple couple et vitesse de rotation du moteur 16) et de la vitesse du véhicule afin de maximiser la puissance récupérée sur l'arbre 31 de la machine de détente 18.

Lorsque le moteur 16 est chaud et tourne au ralenti, l'unité de commande électronique 33 ouvre l'embrayage 24 et place la vanne 25 de manière à court-circuiter la machine de détente 18. Le fluide de travail du circuit 22 est ainsi détendu en passant par le détendeur 19.

La pompe 20 tourne à une vitesse faible proche d'une vitesse minimale permettant la circulation du fluide de travail dans le circuit de Rankine 22. Le circuit de Rankine 22 contribue alors à évacuer les calories du premier circuit 11, en limitant la consommation énergétique de la pompe 20.

Ainsi, lorsque le moteur 16 tourne au ralenti, le circuit de Rankine 22 permet d'évacuer des calories du circuit de refroidissement 11 afin de soulager le radiateur principal 7. Le radiateur 7 peut être donc de dimensions plus réduites que dans le mode de réalisation de la figure 1. En revanche, le rendement global du circuit de Rankine 22 est meilleur dans le mode de réalisation de la figure 1, car on économise l'énergie nécessaire à faire tourner la pompe 20.

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation décrits, et peut se décliner en de nombreuses variantes. Le circuit de refroidissement peut comporter des branches et des organes supplémentaires non décrits sur les figures 1 et 2, par exemple des portions dédiées au refroidissement de réservoirs d'huile, ou un réservoir de liquide permettant d'ajuster la pression globale dans le circuit de refroidissement. Les pompes 4 et 9 du circuit de refroidissement 11 pourraient être montées en des points du circuit 11 différents de ceux illustrés, à condition d'assurer les mêmes sens de circulation du liquide de refroidissement que ceux indiqués sur les figures.

Selon une variante de réalisation, le premier échangeur pourrait être monté en un point du circuit des gaz d'échappement du moteur distinct du circuit de recirculation des gaz.

Le système de récupération d'énergie selon l'invention permet de réduire la consommation d'énergie globale du véhicule, tout en optimisant le confort thermique de l'habitacle du véhicule. Dans la seconde variante de réalisation, le système de récupération peut fonctionner avec une dimension réduite de radiateur du système de liquide de refroidissement du moteur.

REVENDICATIONS

1. Système (30) de récupération d'énergie pour un véhicule automobile équipé d'un moteur (16) à combustion interne, d'un premier circuit (11) de liquide de refroidissement comprenant un premier échangeur (1) monté de façon à prélever des calories des gaz d'échappement, et d'un second circuit (22) dans lequel circule un fluide à changement d'état et comprenant une machine de détente (18),

caractérisé en ce que le premier circuit (11) comprend au moins un second échangeur (2) servant de source chaude pour le second circuit (22) pour faire passer à l'état gazeux le fluide du second circuit (22), et en ce que la machine de détente (18) est configurée pour pouvoir au moins par moments être solidarisée en rotation avec un arbre (32) de sortie du moteur (16) à combustion interne.

2. Système selon la revendication 1, comprenant un circuit (17) de recirculation partielle des gaz d'échappement du moteur (16), le premier échangeur (1) étant placé de manière à prélever les calories des gaz d'échappement au niveau du circuit de recirculation (17).

3. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant sur le premier circuit (11) un aérotherme (6) pour le chauffage d'un habitacle du véhicule, et une branche de dérivation (13) du premier circuit (11) permettant de faire transiter le liquide du premier échangeur (1) vers l'aérotherme (6), sans passer par le second échangeur (2).

4. Système selon la revendication 3, comprenant un capteur (28) de température de liquide de refroidissement en sortie du premier échangeur (1), et un système d'au moins une vanne commandable (8) en fonction de la température mesurée (T), pour modifier les débits de liquide de refroidissement envoyés respectivement dans la branche de dérivation (13) et au travers du second échangeur (2).

5. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant un système d'embrayage (24) ou de roue libre entre la machine de détente (18) et l'arbre de sortie (32) du moteur (16) à combustion interne.

6. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant une pompe (9) à débit commandable placée sur le premier circuit (11) de manière à imposer le débit de liquide de refroidissement traversant le second échangeur (2) et dans lequel le second circuit (22) comprend une pompe mécanique (10) dont un arbre est solidaire en rotation d'un arbre de sortie (31) de la machine de détente (18).

7. Système selon les revendications 1 à 5, comprenant une pompe (20) à débit commandable, placée sur le second circuit (22) de manière à imposer dans le second circuit (22), le débit de fluide traversant le second échangeur (2).

8. Système selon la revendication 7, comprenant un détendeur (19) monté, en parallèle de la machine de détente (18), sur le second circuit (22), et une vanne (25) en amont du détendeur (19) et de la machine de détente (18), apte à envoyer sélectivement le fluide du second circuit (22) soit au travers de la machine de détente (18), soit au travers du détendeur (19).

9. Procédé de gestion de l'énergie mise en œuvre par un moteur à combustion interne (16), dans lequel on utilise un circuit de liquide de refroidissement (11) du moteur (16) pour prélever également des calories des gaz d'échappement du véhicule, et pour transmettre au moins une partie des calories prélevées à un circuit de fluide à changement d'état placé de manière à pouvoir fournir de l'énergie mécanique à un arbre de sortie (32) du moteur (16) à combustion interne, caractérisé en ce que l'on débraye une liaison mécanique entre une machine de détente (18) du circuit de fluide (22) et le moteur (16) à combustion interne si la température (T) du liquide de refroidissement en amont du circuit de fluide (22) à changement d'état est inférieure à un seuil, ou si une consigne d'accélération du moteur (16) est négative.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel on régule, à l'aide d'une pompe à débit variable (9,10), les échanges thermiques entre le circuit (11) de liquide de refroidissement et le circuit (22) de

fluide à changement d'état, en fonction de paramètres incluant un point de fonctionnement du moteur (16) et la vitesse du véhicule.

FIG.1

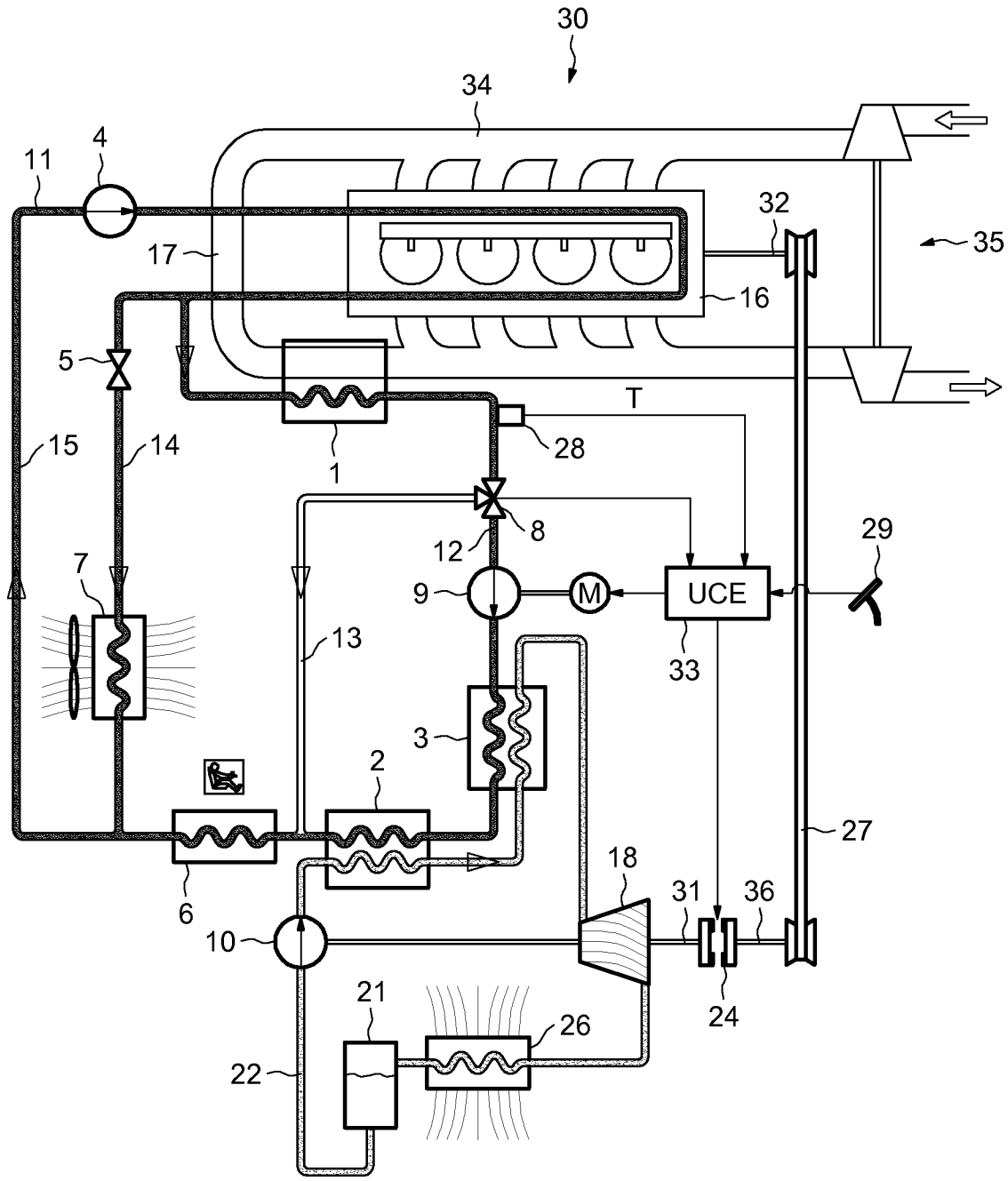
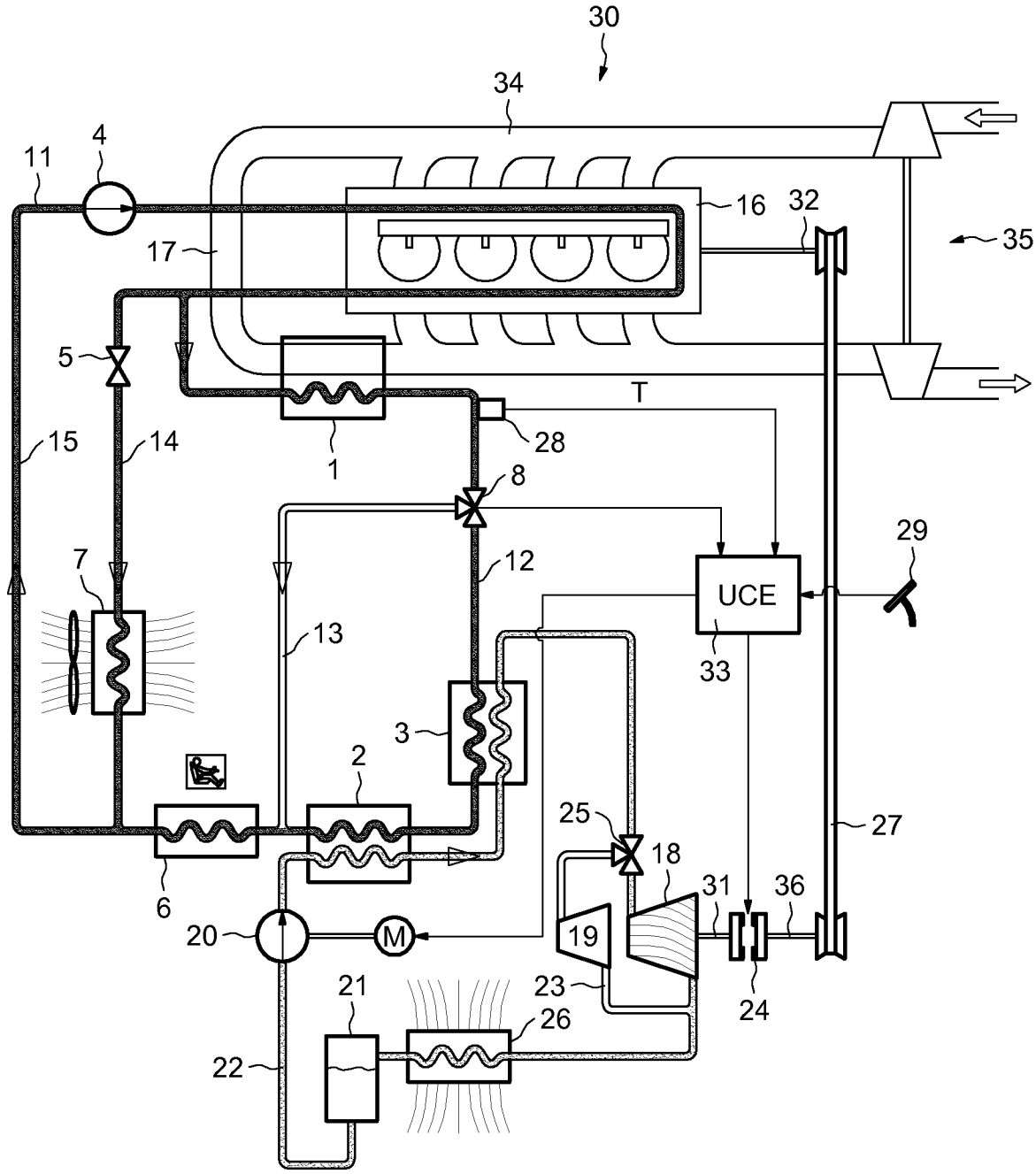

30
34
4
11
32
35
17
16
5
T
28
15
14
1
8
12
29
7
9
M
UCE
13
33
3
2
27
18
31
36
6
10
21
26
24
22

FIG.2


30
34
4
11
16
32
35
17
5
T
15
14
28
1
8
29
7
12
UCE
13
33
3
2
25
27
18
31
36
6
20
M
19
21
23
24
26
22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2014/050322

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01K23/14 F01K23/06 F01K23/10
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)
F01K

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, PAJ, 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 2011/122294 A1 (TOYOTA JIDOSHOKKI KK [JP]; ENOKIJIMA FUMINOBU [JP]; MORI HIDEFUMI [JP]) 6 October 2011 (2011-10-06)	1-7,9,10
A	abstract; figure 4	8

X	WO 2012/124768 A1 (SANDEN CORP [JP]; IMAI TOMONORI [JP]; MAKINO HAJIME [JP]; WADA HIROFUM) 20 September 2012 (2012-09-20)	1-7,9,10
A	abstract; figures	8

X	EP 2 336 537 A1 (SANDEN CORP [JP]) 22 June 2011 (2011-06-22)	1-7,9,10
A	paragraph [0053] - paragraph [0095]; claims; figures abstract	8

	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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	Date of mailing of the international search report
22 May 2014	30/05/2014

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Zerf, Georges

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2014/050322

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 2012/025775 A1 (RENAULT TRUCKS [FR]; LOMBARD BENOIT [FR]) 1 March 2012 (2012-03-01)	1-7,9,10
A	page 5, line 22 - page 8, line 29; claims; figures 1,2 abstract	8

A	WO 2011/158926 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]; ICHIKI YOSHIHIRO [JP]; SHIRAISHI KEIICH) 22 December 2011 (2011-12-22) abstract; figure	1-10

A	DE 10 2011 017762 A1 (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN [DE]) 31 October 2012 (2012-10-31) paragraph [0036] - paragraph [0050]; claims; figures abstract	1-10

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/FR2014/050322

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2011122294 A1	06-10-2011	JP 5333659 B2	06-11-2013
		WO 2011122294 A1	06-10-2011
WO 2012124768 A1	20-09-2012	JP 2012193690 A	11-10-2012
		WO 2012124768 A1	20-09-2012
EP 2336537 A1	22-06-2011	EP 2336537 A1	22-06-2011
		JP 5001928 B2	15-08-2012
		JP 2010096147 A	30-04-2010
		US 2011192163 A1	11-08-2011
		WO 2010047410 A1	29-04-2010
WO 2012025775 A1	01-03-2012	CN 103003532 A	27-03-2013
		EP 2609302 A1	03-07-2013
		US 2013139783 A1	06-06-2013
		WO 2012025775 A1	01-03-2012
WO 2011158926 A1	22-12-2011	JP 2012002185 A	05-01-2012
		KR 20130016354 A	14-02-2013
		WO 2011158926 A1	22-12-2011
DE 102011017762 A1	31-10-2012	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2014/050322

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F01K23/14 F01K23/06 F01K23/10
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)
F01K

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, PAJ, 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 2011/122294 A1 (TOYOTA JIDOSHOKKI KK [JP]; ENOKIJIMA FUMINOBU [JP]; MORI HIDEFUMI [JP]) 6 octobre 2011 (2011-10-06)	1-7,9,10
A	abrégé; figure 4	8

X	WO 2012/124768 A1 (SANDEN CORP [JP]; IMAI TOMONORI [JP]; MAKINO HAJIME [JP]; WADA HIROFUM) 20 septembre 2012 (2012-09-20)	1-7,9,10
A	abrégé; figures	8

X	EP 2 336 537 A1 (SANDEN CORP [JP]) 22 juin 2011 (2011-06-22)	1-7,9,10
A	alinéa [0053] - alinéa [0095]; revendications; figures abrégé	8

	-/--	

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

[X] 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
22 mai 2014	30/05/2014

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Zerf, Georges

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2014/050322

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 2012/025775 A1 (RENAULT TRUCKS [FR]; LOMBARD BENOIT [FR]) 1 mars 2012 (2012-03-01)	1-7,9,10
A	page 5, ligne 22 - page 8, ligne 29; revendications; figures 1,2 abrégé	8

A	WO 2011/158926 A1 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]; ICHIKI YOSHIHIRO [JP]; SHIRAISHI KEIICH) 22 décembre 2011 (2011-12-22) abrégé; figure	1-10

A	DE 10 2011 017762 A1 (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN [DE]) 31 octobre 2012 (2012-10-31) alinéa [0036] - alinéa [0050]; revendications; figures abrégé	1-10

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2014/050322

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2011122294 A1	06-10-2011	JP 5333659 B2	06-11-2013
		WO 2011122294 A1	06-10-2011
WO 2012124768 A1	20-09-2012	JP 2012193690 A	11-10-2012
		WO 2012124768 A1	20-09-2012
EP 2336537 A1	22-06-2011	EP 2336537 A1	22-06-2011
		JP 5001928 B2	15-08-2012
		JP 2010096147 A	30-04-2010
		US 2011192163 A1	11-08-2011
		WO 2010047410 A1	29-04-2010
WO 2012025775 A1	01-03-2012	CN 103003532 A	27-03-2013
		EP 2609302 A1	03-07-2013
		US 2013139783 A1	06-06-2013
		WO 2012025775 A1	01-03-2012
WO 2011158926 A1	22-12-2011	JP 2012002185 A	05-01-2012
		KR 20130016354 A	14-02-2013
		WO 2011158926 A1	22-12-2011
DE 102011017762 A1	31-10-2012	AUCUN	