(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
20 février 2020 (20.02.2020)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/035642 A1

(51) Classification internationale des brevets :
F02G 5/02 (2006.01) *H01L 35/30* (2006.01)
F02F 5/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2019/051722

(22) Date de dépôt international :
09 juillet 2019 (09.07.2019)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1857484 14 août 2018 (14.08.2018) FR

(71) Déposant : **PSA AUTOMOBILES SA** [FR/FR] ; 2-10 Boulevard de l'Europe, 78300 Poissy (FR).

(72) Inventeurs : **BOU NADER, Wissam** ; 24 ROUTE DE SACLAY, 91120 PALAISEAU (FR). **DUMAND, Clement** ; 5 RUE RENE-ROBERT CAVELIER DE LA SALLE, 91300 MASSY (FR).

(74) Mandataire : **BONNIN, Patrick** ; PSA AUTOMOBILES SA, VEIP-VV1400, ROUTE DE GIZY, 78140 VELIZY-VILLACOUBLAY (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,

(54) **Title:** THERMOELECTRIC MACHINE IN PARTICULAR FOR HYBRID ELECTRIC VEHICLES WITH EXTENDED DRIVING RANGE

(54) **Titre :** MACHINE THERMOÉLECTRIQUE NOTAMMENT POUR DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES HYBRIDES À AUTONOMIE ÉTENDUE

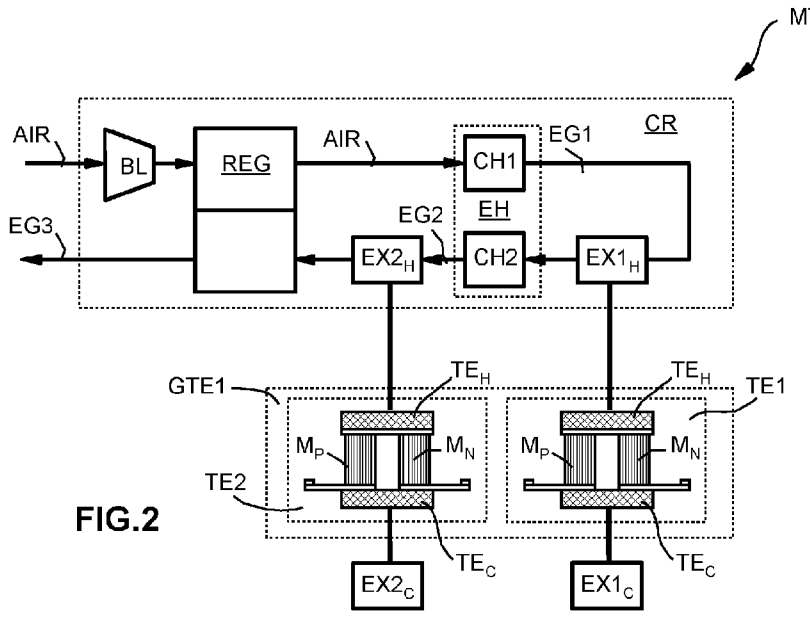


FIG.2

(57) **Abstract:** The thermoelectric machine (MTE1) includes a thermoelectric generator (GTE1) comprising first and second thermoelectric modules (TE1, TE2) arranged in a series inside the generator, first and second hot exchangers ($EX1_H$, $EX2_H$) connected in a series and connected to the thermoelectric modules so as to heat same, first and second cold exchangers ($EX1_C$, $EX2_C$) connected to the thermoelectric modules so as to cool same, and a first combustion chamber (CH1) providing a first combustion and producing combustion gases (EG1) circulating in a combustion gas circulation circuit. According to the invention, the machine also includes a second combustion chamber (CH2) inserted between the hot exchangers in the combustion gas circulation circuit, the second combustion chamber providing a reheating post combustion of combustion gases (EG1, EG2).

[Suite sur la page suivante]

WO 2020/035642 A1

SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Publiée:

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

(57) Abrégé : La machine thermoélectrique (MTE1) comprend un générateur thermoélectrique (GTE1) comportant des premier et deuxième modules thermoélectriques (TE1, TE2) agencés en série à l'intérieur du générateur, des premier et deuxième échangeurs chauds ($EX1_H$, $EX2_H$) raccordés en série et raccordés aux modules thermoélectriques de façon à chauffer ceux- ci, des premier et deuxième échangeurs froids ($EX1_C$, $EX2_C$) raccordés aux modules thermoélectriques de façon à refroidir ceux-ci, et une première chambre de combustion (CH1) assurant une première combustion et produisant des gaz de combustion (EG1) circulant dans un circuit de circulation de gaz de combustion. Conformément à l'invention, la machine comprend également une deuxième chambre de combustion (CH2) insérée entre les échangeurs chauds dans le circuit de circulation de gaz de combustion, la deuxième chambre de combustion assurant une post combustion de réchauffage des gaz de combustion (EG1, EG2).

MACHINE THERMOÉLECTRIQUE NOTAMMENT POUR DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES HYBRIDES À AUTONOMIE ÉTENDUE

[001] L'invention concerne de manière générale la génération d'électricité à partir de la chaleur par l'application de l'effet thermoélectrique dit effet Seebeck. Plus particulièrement, l'invention se rapporte à une machine thermoélectrique de conversion primaire d'énergie notamment pour des applications dans des véhicules et, en particulier, les véhicules électriques hybrides à autonomie étendue. L'invention concerne aussi un véhicule comprenant une machine thermoélectrique notamment dans sa chaîne de traction.

[002] La génération thermoélectrique basée sur l'effet Seebeck met à profit la différence de potentiel apparaissant entre deux matériaux conducteurs de natures différentes, soumis à un gradient de température, pour produire de l'électricité à partir de la chaleur. Une conversion thermoélectrique inverse est obtenue avec l'effet Peltier qui produit un gradient de température dans deux matériaux conducteurs de natures différentes entre lesquels est appliquée une différence de potentiel.

[003] Dans les véhicules, il est connu d'utiliser des générateurs thermoélectriques en tant que convertisseur secondaire d'énergie pour produire de l'électricité par récupération d'une partie de la chaleur perdue des moteurs à combustion interne. Ainsi, il a été proposé un générateur thermoélectrique convertissant en électricité la chaleur contenue dans les gaz d'échappement du moteur à combustion interne. Par WO2008095582A1, il est connu de récupérer la chaleur directement sur le bloc-moteur du moteur à combustion interne et de la convertir en électricité à l'aide d'un générateur thermoélectrique. De manière générale, le générateur thermoélectrique offre l'avantage d'une conversion d'énergie statique, sans aucune usure mécanique due à des organes en mouvement comme dans un alternateur électrique. Par contre, le rendement des générateurs thermoélectriques connus reste faible et dépend notamment du facteur de mérite ZT des matériaux conducteurs utilisés. Des matériaux semiconducteurs de type P et N sont utilisés dans les générateurs thermoélectriques actuels. Des recherches prometteuses sont en cours afin de mettre au point des matériaux nanostructurés ayant un haut facteur de mérite ZT.

[004] La Fig.1 montre de manière schématique une architecture connue d'une machine thermoélectrique MTE à combustion externe qui est conçue pour une conversion primaire d'énergie. La machine thermoélectrique MTE fournit de l'énergie électrique à partir de la chaleur produite par la combustion externe d'un carburant. La machine thermoélectrique

MTE comprend un générateur thermoélectrique GTE et un dispositif de combustion CO. Le générateur GTE comporte ici un seul module thermoélectrique TE.

[005] Le module thermoélectrique TE comprend un premier matériau thermoélectrique M_N, typiquement un semiconducteur de type N, et un deuxième matériau thermoélectrique M_P, typiquement un semiconducteur de type P. Des premières extrémités des matériaux thermoélectriques M_N, M_P, sont interconnectées et reliées thermiquement à une tête chaude TE_H. Des deuxièmes extrémités des matériaux thermoélectriques M_N, M_P, sont reliées thermiquement à une tête froide TE_C et connectées respectivement à des bornes électriques positive B+ et négative B-. Les têtes chaude et froide TE_H, TE_C, sont ici chauffée et refroidie par des liquides caloporteurs chaud et froid provenant d'échangeurs thermiques chaud EX_H et froid EX_C qui forment des sources froide et chaude, respectivement. C'est le gradient de température GT imposé par les têtes chaude TE_H et froide TE_C dans les matériaux thermoélectriques M_N, M_P, qui produit par effet Siebeck une différence de potentiel V entre les bornes électriques B+ et B-.

[006] Dans d'autres réalisations, la chaleur pourra être amenée à la tête chaude TE_H par des caloducs utilisant des fluides diphasiques ou bien par un contact direct entre des gaz de combustion chauds. La tête froide TE_C pourra être refroidie par l'air ambient ou un circuit de liquide caloporteur.

[007] Le dispositif de combustion CO comprend un souffleur d'air BL, une chambre de combustion CH et l'échangeur thermique chaud EX_H. Le souffleur d'air BL est chargé de pulser l'air entrant AIR vers la chambre de combustion CH. Un carburant est injecté dans la chambre de combustion CH pour y être brulé et produire de la chaleur. Des gaz de combustion EG sortant de la chambre de combustion CH traversent l'échangeur thermique chaud EX_H et y cèdent des calories avant d'être évacués à l'extérieur.

[008] De manière générale, les machines thermoélectriques à combustion externe, telles que la machine MTE décrite ci-dessus, possèdent un rendement thermodynamique de cycle, c'est-à-dire, un travail net généré par rapport à la quantité de chaleur fournie au cycle, qui dépend du facteur de mérite ZT. Si on considère le rendement global de la machine, c'est-à-dire, le travail net généré par rapport à l'énergie consommée dans la chambre de combustion, celui-ci est faible car une grande part de l'énergie apportée par la combustion du carburant part vers l'extérieur avec les gaz de combustion et du fait que le facteur de mérite ZT a une valeur qui est souvent limitée.

[009] Il est connu d'utiliser un régénérateur thermique ou récupérateur de chaleur pour récupérer des calories dans les gaz de combustion avant l'évacuation de ceux-ci vers l'extérieur. Les calories récupérées par le régénérateur sont transférées vers l'entrée d'air de la chambre de combustion afin d'accroître la température de l'air entrant et réduire ainsi la quantité de carburant injectée dans la chambre de combustion. Il est connu également d'intégrer plusieurs modules thermoélectriques en série dans la machine thermoélectrique.

[0010] Les solutions de la technique antérieure mentionnées ci-dessus apportent une amélioration du rendement global de la machine thermoélectrique, mais celui-ci reste cependant insuffisant, notamment pour des applications dans la traction d'un véhicule automobile. De plus, la densité de puissance que peuvent offrir les machines thermoélectriques de la technique antérieure reste faible.

[0011] Il existe donc un besoin pour une machine thermoélectrique ayant une architecture perfectionnée capable d'offrir un meilleur rendement énergétique.

[0012] Selon un premier aspect, l'invention concerne une machine thermoélectrique comprenant un générateur thermoélectrique comportant des premier et deuxième modules thermoélectriques agencés en série à l'intérieur du générateur thermoélectrique, des premier et deuxième échangeurs chauds raccordés en série dans un circuit de circulation de gaz de combustion et raccordés respectivement aux premier et deuxième modules thermoélectriques de façon à chauffer ceux-ci, des premier et deuxième échangeurs froids raccordés respectivement aux premier et deuxième modules thermoélectriques de façon à refroidir ceux-ci, et une première chambre de combustion alimentée en air et en carburant et assurant une première combustion produisant des gaz de combustion circulant dans le circuit de circulation de gaz de combustion. Conformément à l'invention, la machine thermoélectrique comprend également une deuxième chambre de combustion insérée entre les premier et deuxième échangeurs chauds dans le circuit de circulation de gaz de combustion, la deuxième chambre de combustion étant alimentée en carburant et assurant une post combustion de réchauffage des gaz de combustion.

[0013] Selon une caractéristique particulière, la combustion dans la première chambre de combustion est réglée pour être non stœchiométrique et produire un excès d'air dans les gaz de combustion. La combustion non stœchiométrique limite la température maximale à une valeur compatible avec les limites métallurgiques des matériaux de la chambre de combustion.

[0014] Selon une autre caractéristique particulière, le générateur thermoélectrique comporte un troisième module thermoélectrique agencé en série avec le deuxième module thermoélectrique à l'intérieur du générateur thermoélectrique, et la machine thermoélectrique comprend un troisième échangeur chaud raccordé dans le circuit de circulation de gaz de combustion, en aval du deuxième échangeur chaud, et raccordé au troisième module thermoélectrique, un troisième échangeur froid raccordé au troisième module thermoélectrique, et une troisième chambre de combustion insérée entre les deuxième et troisième échangeurs chauds dans le circuit de circulation de gaz de combustion, la troisième chambre de combustion étant alimentée en carburant et assurant une post combustion de réchauffage des gaz de combustion.

[0015] Selon encore une autre caractéristique particulière, la combustion dans la deuxième chambre de combustion est réglée pour être non stœchiométrique et produire un excès d'air dans les gaz de combustion.

[0016] Selon encore une autre caractéristique particulière, la machine thermoélectrique comprend également un régénérateur thermique assurant un préchauffage de l'air entrant avec des calories récupérées dans les gaz de combustion avant l'évacuation de ceux-ci vers l'extérieur.

[0017] Selon encore une autre caractéristique particulière, la machine thermoélectrique comprend également un souffleur d'air produisant un air entrant pulsé.

[0018] Selon un autre aspect, l'invention concerne aussi un système de cogénération d'énergie comprenant une machine thermoélectrique telle que décrite brièvement ci-dessus.

[0019] Selon encore un autre aspect, l'invention concerne aussi un prolongateur d'autonomie pour véhicule électrique ou électrique hybride comprenant une machine thermoélectrique telle que décrite brièvement ci-dessus.

[0020] Selon encore un autre aspect, l'invention concerne un véhicule comprenant une machine thermoélectrique telle que décrite brièvement ci-dessus.

[0021] D'autres avantages et caractéristiques de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée ci-dessous de plusieurs formes de réalisation particulières de l'invention en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la Fig.1 est un bloc-diagramme d'une machine thermoélectrique de la technique antérieure ;

- la Fig.2 est un bloc-diagramme d'une première forme de réalisation de la machine thermoélectrique selon l'invention, comprenant deux modules thermoélectriques ;

- la Fig.3 est un bloc-diagramme d'une deuxième forme de réalisation de la machine thermoélectrique selon l'invention, comprenant trois modules thermoélectriques ; et

- la Fig.4 est un graphique comparatif montrant des diagrammes de Pareto de performances, pour des machines thermoélectriques selon la présente invention et des machines thermoélectriques de la technique antérieure.

[0022] En référence à Fig.2, il est maintenant décrit ci-dessous une forme de réalisation particulière MTE1 d'une machine thermoélectrique selon l'invention. La machine thermoélectrique MTE1 est ici un convertisseur primaire d'énergie qui fournit de l'énergie électrique et de la chaleur à partir de la combustion externe d'un carburant.

[0023] Comme visible à la Fig.2, la machine thermoélectrique MTE1 comprend notamment un générateur thermoélectrique GTE1, un dispositif de combustion-régénération CR, des premier et deuxième échangeurs $EX1_H$, $EX2_H$, dits « chauds » et des premier et deuxième échangeurs $EX1_C$, $EX2_C$, dits « froids ». Le générateur thermoélectrique GTE1 et les échangeurs $EX1_C$, $EX2_C$, fournissent de l'énergie électrique et de la chaleur, en cogénération.

[0024] Le générateur GTE1 comporte ici deux modules thermoélectriques TE1 et TE2. Les premier et deuxième modules thermoélectriques TE1 et TE2 sont raccordés respectivement aux premiers échangeurs chaud $EX1_H$ et froid $EX1_C$ et aux deuxièmes échangeurs chaud $EX2_H$ et froid $EX2_C$. Chaque module thermoélectrique TE1, TE2, comporte les matériaux thermoélectriques M_N, M_P, avec des têtes chaude TE_H et froide TE_C à leurs extrémités.

[0025] Le dispositif de combustion-régénération CR comprend ici essentiellement un souffleur d'air BL, un régénérateur thermique REG, un ensemble de combustion EH et les premier et deuxième échangeurs chauds $EX1_H$ et $EX2_H$.

[0026] Le régénérateur thermique REG est un récupérateur de chaleur qui participe à l'amélioration du rendement global de la machine en permettant un préchauffage de l'air entrant AIR. Le régénérateur REG récupère des calories dans des gaz de combustion EG2 avant l'évacuation de ceux-ci vers l'extérieur sous la forme de gaz d'échappement EG3. Les calories récupérées sont utilisées pour chauffer l'air entrant AIR qui est pulsé par le souffleur d'air BL.

[0027] Contrairement aux machines thermoélectriques connues dans lesquelles la combustion est réalisée dans une seule chambre de combustion, la présente invention fait appel à plusieurs chambres de combustion pour la production de la chaleur. Ainsi, dans cette forme de réalisation particulière, l'ensemble de combustion EH comprend deux chambres de combustion, à savoir, une première chambre CH1 et une deuxième chambre CH2.

[0028] La première chambre de combustion CH1 est située directement en aval du régénérateur REG. La première chambre de combustion CH1 reçoit en entrée l'air pulsé AIR qui a été chauffé par le régénérateur REG. Du carburant est injecté dans la première chambre de combustion CH1 et la combustion de celui-ci produit des gaz de première combustion EG1. Le premier échangeur chaud $EX1_H$, disposé directement en aval de la première chambre de combustion CH1, est traversé par les gaz EG1 qui y cèdent des calories.

[0029] La deuxième chambre de combustion CH2 est située directement en aval du premier échangeur chaud $EX1_H$ et assure une post combustion. La deuxième chambre de combustion CH2 reçoit en entrée les gaz de première combustion EG1 qui ont été refroidis en traversant le premier échangeur chaud $EX1_H$. Du carburant est injecté dans la deuxième chambre de combustion CH2 et la combustion de celui-ci produit des gaz de post combustion EG2. Le deuxième échangeur chaud $EX2_H$, disposé directement en aval de la deuxième chambre de combustion CH2, est traversé par les gaz EG2 qui y cèdent des calories. Les gaz EG2, refroidis par la traversée du deuxième échangeur chaud $EX2_H$, traversent ensuite le régénérateur REG avant d'être évacués vers l'extérieur sous la forme des gaz d'échappement EG3.

[0030] Dans la présente invention, la deuxième chambre de combustion CH2 permet de réaliser une réchauffe intermédiaire des gaz de combustion entre les première et deuxième échangeurs chauds $EX1_H$ et $EX2_H$. Cette réchauffe des gaz de combustion permet de réduire la différence de température entre les premier et deuxième modules

thermoélectriques TE1 et TE2. Avantageusement, la réchauffe des gaz de combustion est déterminée de façon à ce que les deux modules thermoélectriques TE1 et TE2 opèrent au même niveau de température. Les modules thermoélectriques TE1 et TE2 ont alors un fonctionnement identique et la complexité de la machine est réduite.

[0031] Dans cette forme de réalisation particulière, la combustion dans la première chambre de combustion CH1 est réglée de façon à avoir un excès d'air dans les gaz de combustion EG1 sortants (combustion non stœchiométrique), ce qui réduit la température de combustion dans chambre et permet de respecter la limite métallurgique de tenue en température des matériaux de celle-ci. L'excès d'air présent dans les gaz de combustion EG1 permet la post combustion de réchauffage dans la deuxième chambre de combustion CH2. La combustion non stœchiométrique dans la première chambre de combustion CH1 offre l'avantage d'une température de combustion plus basse par rapport à une combustion non stœchiométrique, ce qui réduit les contraintes sur les matériaux de la chambre CH1. On notera cependant que des variantes de réalisation sont possibles tout en restant le cadre de l'invention. Ainsi, par exemple, dans certaines applications, la combustion dans la première chambre de combustion CH1 sera stœchiométrique et l'homme du métier prévoira un apport d'air dans la deuxième chambre de combustion CH2 pour y obtenir une combustion satisfaisante, et une production de chaleur suffisante pour le réchauffage.

[0032] Le préchauffage de l'air entrant AIR assuré par le régénérateur REG en amont de la première chambre de combustion CH1 n'est pas indispensable à la mise en œuvre de l'invention. Cependant, outre son effet positif sur l'amélioration du rendement global de la machine, le préchauffage par le régénérateur REG conduit à une moindre quantité de carburant injectée dans la chambre, ce qui favorise une quantité d'oxygène accrue dans les gaz de combustion EG1 pour la post combustion de réchauffage.

[0033] Comparativement à une machine thermoélectrique de la technique antérieure, le générateur thermoélectrique selon l'invention permet une réduction des oxydes d'azote (NOx) à la source. En effet, l'abaissement de la température dans la première chambre CH1 par une combustion non stœchiométrique et la post combustion de réchauffage assurée dans la deuxième chambre CH2 limitent la production des NOx avec des carburants tels que l'essence, le gasoil ou le fioul. La température basse dans la première chambre CH1 favorise une moindre production de NOx et la post combustion assurée dans la deuxième chambre CH2 brûle ceux-ci, de manière analogue à ce qui se produit dans un moteur thermique équipé d'une vanne EGR de recirculation des gaz d'échappement.

[0034] L'invention ne se limite pas à une machine thermoélectrique ayant deux modules thermoélectriques et est aussi applicable dans des machines ayant trois modules thermoélectriques et plus. La machine thermoélectrique selon l'invention pourra ainsi comprendre deux chambres de combustion ou plus pour des réchauffages intermédiaires des gaz de combustion qui alimentent en chaleur les modules thermoélectriques.

[0035] Un exemple d'architecture d'une machine thermoélectrique MTE2 selon l'invention à trois modules thermoélectriques est montré à la Fig.3. Comme visible à la Fig.3, par rapport à la machine MTE1 de la Fig.2, la machine MTE2 comporte un générateur GTE2 ayant un module thermoélectrique supplémentaire TE3 auquel est associée une chambre de combustion supplémentaire CH3 et des échangeurs chaud $EX3_H$ et froid $EX3_C$. La chambre de combustion CH3 assure le réchauffage des gaz de combustion entre les échangeurs chauds $EX2_H$ et $EX3_H$, de manière analogue à la chambre de combustion CH2 entre les échangeurs chauds $EX1_H$ et $EX2_H$, comme déjà décrit en référence à la Fig.2. Dans cette forme de réalisation particulière, la post combustion dans la deuxième chambre CH2 est faite avec excès d'air de manière à conserver de l'oxygène pour la post combustion dans la troisième chambre CH3.

[0036] Par rapport à la technique antérieure, la présente invention offre un accroissement de l'ordre dix à quinze points en pourcentage sur le rendement global du générateur thermoélectrique et une densité de puissance multipliée par un facteur compris entre deux et trois.

[0037] Une comparaison de performances, entre des machines thermoélectriques de la technique antérieure et des machines thermoélectriques selon la présente invention, est apportée par le graphique de la Fig.4 qui représente, pour une température de combustion de 1250°C, des diagrammes de Pareto du travail net spécifique ou densité de puissance (noté TNS) en kilojoule/kilogramme par rapport au rendement énergétique (noté RM) de la machine. Cette comparaison est réalisée pour des machines thermoélectriques avec des matériaux thermoélectriques ayant des facteurs de mérite ZT_1=1 et ZT_4=4.

[0038] Les machines thermoélectriques TE de la technique antérieure considérées dans le graphique de la Fig.4 sont les suivantes : $TE(n1)_1$ à $TE(n3)_1$ et $TE(R/n1)_1$ à $TE(R/n3)_1$ qui ont des matériaux thermoélectriques avec le facteur de mérite ZT_1=1, et $TE(n1)_4$ à $TE(n3)_4$ et $TE(R/n1)_4$ à $TE(R/n3)_4$ qui ont des matériaux thermoélectriques avec le facteur de mérite ZT_4=4. Les machines $TE(n1)_1$ à $TE(n3)_1$, $TE(n1)_4$ à $TE(n3)_4$, sont des machines sans régénérateur ayant respectivement 1 à 3 modules thermoélectriques. Les machines

$TE(R/n1)_1$ à $TE(R/n3)_1$, $TE(R/n1)_4$ à $TE(R/n3)_4$, sont des machines avec régénérateur ayant respectivement 1 à 3 modules thermoélectriques.

[0039] Les machines thermoélectriques TE-Re selon la présente invention considérées dans le graphiques de la Fig.4 sont les suivantes : $TE\text{-}Re(n2)_1$, $TE\text{-}Re(n3)_1$, $TE\text{-}Re(R/n2)_1$ et $TE\text{-}Re(R/n3)_1$ qui ont des matériaux thermoélectriques avec le facteur de mérite $ZT_1=1$, et $TE\text{-}Re(n2)_4$, $TE\text{-}Re(n3)_4$, $TE\text{-}Re(R/n2)_4$, et $TE\text{-}Re(R/n3)_4$ qui ont des matériaux thermoélectriques avec le facteur de mérite $ZT_4=4$. Les machines thermoélectriques TE-Re comprennent toutes des chambres de combustion de réchauffage (Re) entre les modules thermoélectriques, comme décrit ci-dessus en référence aux Figs.2 et 3. Les machines $TE\text{-}Re(n2)_1$ et $TE\text{-}Re(n3)_1$, $TE\text{-}Re(n2)_4$ et $TE\text{-}Re(n3)_4$, sont des machines sans régénérateur ayant respectivement 2 et 3 modules thermoélectriques. Les machines $TE\text{-}Re(R/n2)_1$ et $TE\text{-}Re(R/n3)_1$, $TE\text{-}Re(R/n2)_4$ et $TE\text{-}Re(R/n3)_4$, sont des machines avec régénérateur ayant respectivement 2 et 3 modules thermoélectriques, comme celles montrées aux Figs.2 et 3.

[0040] Le graphique de la Fig.4 montre bien les accroissements significatifs de rendement et de densité de puissance apportés par les machines thermoélectriques TE-Re selon l'invention par rapport aux machines thermoélectriques TA de la technique antérieure.

[0041] Les machines thermoélectriques selon l'invention sont envisageables pour des applications dans les chaînes de traction des véhicules de transport notamment dans les véhicules électriques hybrides de type hybride série, hybride parallèle et hybride série – parallèle, en particulier dans un contexte de zéro émission de CO_2 et de durcissement des normes environnementales. On notera que les machines thermoélectriques selon l'invention sont applicables aussi en tant que prolongateur d'autonomie pour les véhicules électriques et électriques hybrides.

[0042] Les machines thermoélectriques étant du type à combustion externe, elles sont compatibles avec tous les types de carburant qui comprennent l'essence, le gasoil, le fioul et autres, mais aussi l'hydrogène, le méthane, des combustibles solides tels que le bois, l'aluminium, le fer, le magnésium et autres.

[0043] De manière générale, les machines thermoélectriques selon l'invention trouveront aussi des applications dans des systèmes de cogénération d'énergie, notamment dans les véhicules hybrides, les poids lourds, le domaine spatial et autres.

[0044] L'invention ne se limite pas aux formes de réalisation particulières qui ont été décrites ici à titre d'exemple. L'homme du métier, selon les applications de l'invention, pourra apporter différentes modifications et variantes entrant dans le champ de protection de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Machine thermoélectrique (MTE1) comprenant un générateur thermoélectrique (GTE1) comportant des premier et deuxième modules thermoélectriques (TE1, TE2) agencés en série à l'intérieur dudit générateur thermoélectrique (GTE1), des premier et deuxième échangeurs chauds ($EX1_H$, $EX2_H$) raccordés en série dans un circuit de circulation de gaz de combustion et raccordés respectivement auxdits premier et deuxième modules thermoélectriques (TE1, TE2) de façon à chauffer ceux-ci, des premier et deuxième échangeurs froids ($EX1_C$, $EX2_C$) raccordés respectivement auxdits premier et deuxième modules thermoélectriques (TE1, TE2) de façon à refroidir ceux-ci, et une première chambre de combustion (CH1) alimentée en air (AIR) et en carburant et assurant une première combustion produisant des gaz de combustion (EG1) circulant dans ledit circuit de circulation de gaz de combustion, caractérisée en ce qu'elle comprend également une deuxième chambre de combustion (CH2) insérée entre lesdits premier et deuxième échangeurs chauds ($EX1_H$, $EX2_H$) dans ledit circuit de circulation de gaz de combustion, ladite deuxième chambre de combustion (CH2) étant alimentée en carburant et assurant une post combustion de réchauffage desdits gaz de combustion (EG1, EG2).

2. Machine thermoélectrique (MTE1) selon la revendication 1, caractérisée en ce que la combustion dans ladite première chambre de combustion (CH1) est réglée pour être non stœchiométrique et produire un excès d'air dans lesdits gaz de combustion.

3. Machine thermoélectrique (MTE2) selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit générateur thermoélectrique (GTE2) comporte un troisième module thermoélectrique (TE3) agencé en série avec ledit deuxième module thermoélectrique (TE2) à l'intérieur dudit générateur thermoélectrique (GTE2), et comprenant un troisième échangeur chaud ($EX3_H$) raccordé dans ledit circuit de circulation de gaz de combustion, en aval dudit deuxième échangeur chaud ($EX2_H$), et raccordé audit troisième module thermoélectrique (TE3), un troisième échangeur froid ($EX2_C$) raccordé audit troisième module thermoélectrique (TE3), et une troisième chambre de combustion (CH3) insérée entre lesdits deuxième et troisième échangeurs chauds ($EX2_H$, $EX3_H$) dans ledit circuit de circulation de gaz de combustion, ladite troisième chambre de combustion (CH3) étant alimentée en carburant et assurant une post combustion de réchauffage desdits gaz de combustion.

4. Machine thermoélectrique (MTE2) selon la revendication 3, caractérisée en ce que la combustion dans ladite deuxième chambre de combustion (CH2) est réglée pour être non stœchiométrique et produire un excès d'air dans lesdits gaz de combustion.

5. Machine thermoélectrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisée en ce qu'elle comprend également un régénérateur thermique (REG) assurant un préchauffage de l'air entrant (AIR) avec des calories récupérées dans lesdits gaz de combustion avant l'évacuation de ceux-ci vers l'extérieur.

6. Machine thermoélectrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisée en ce qu'elle comprend également un souffleur d'air (BL) produisant un air entrant pulsé (AIR).

7. Système de cogénération d'énergie comprenant une machine thermoélectrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

8. Prolongateur d'autonomie pour véhicule électrique ou électrique hybride comprenant une machine thermoélectrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6.

9. Véhicule comprenant une machine thermoélectrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 dans sa chaîne de traction.

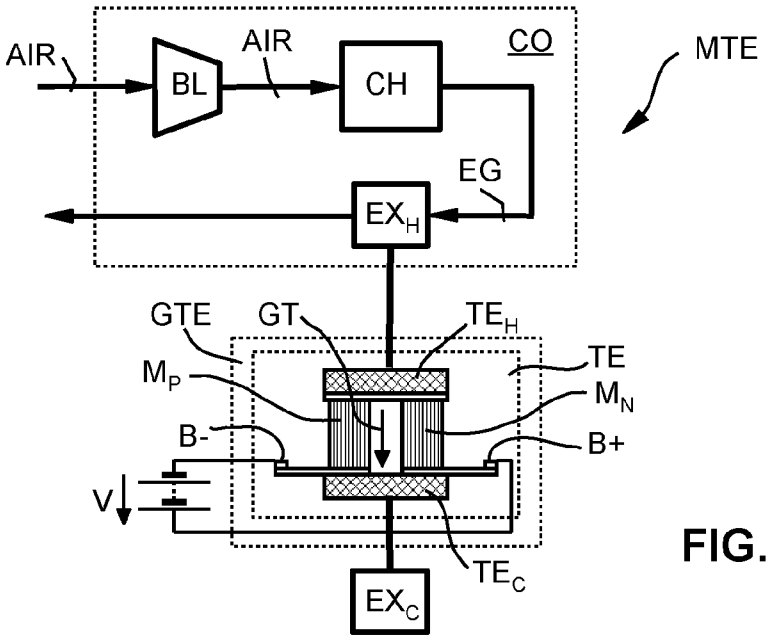

AIR
BL
AIR
CH
CO
MTE
EG
EX_H
GTE
GT
TE_H
TE
M_P
M_N
B-
B+
V
TE_C
EX_C

FIG.1

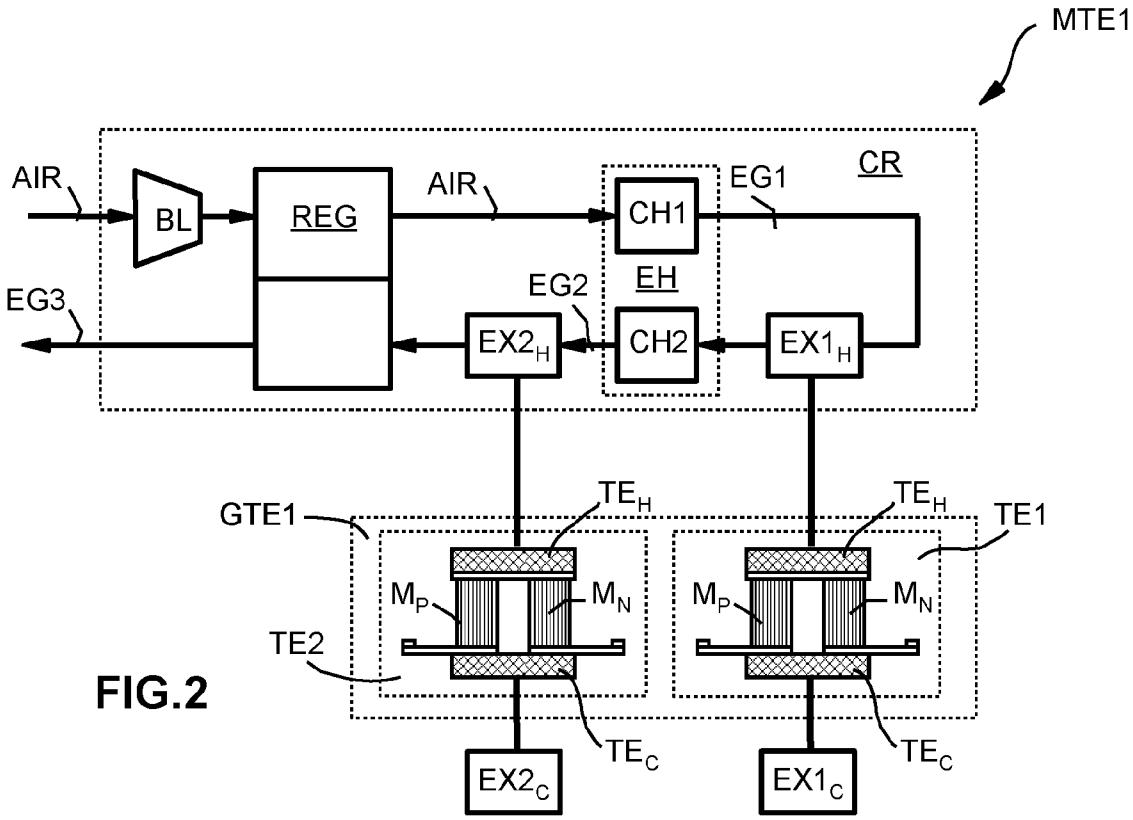

MTE1
AIR
BL
REG
AIR
CH1
EG1
CR
EG3
EG2
EH
EX2_H
CH2
EX1_H
GTE1
TE_H
TE_H
TE1
M_P
M_N
M_P
M_N
TE2
TE_C
TE_C
EX2_C
EX1_C

FIG.2

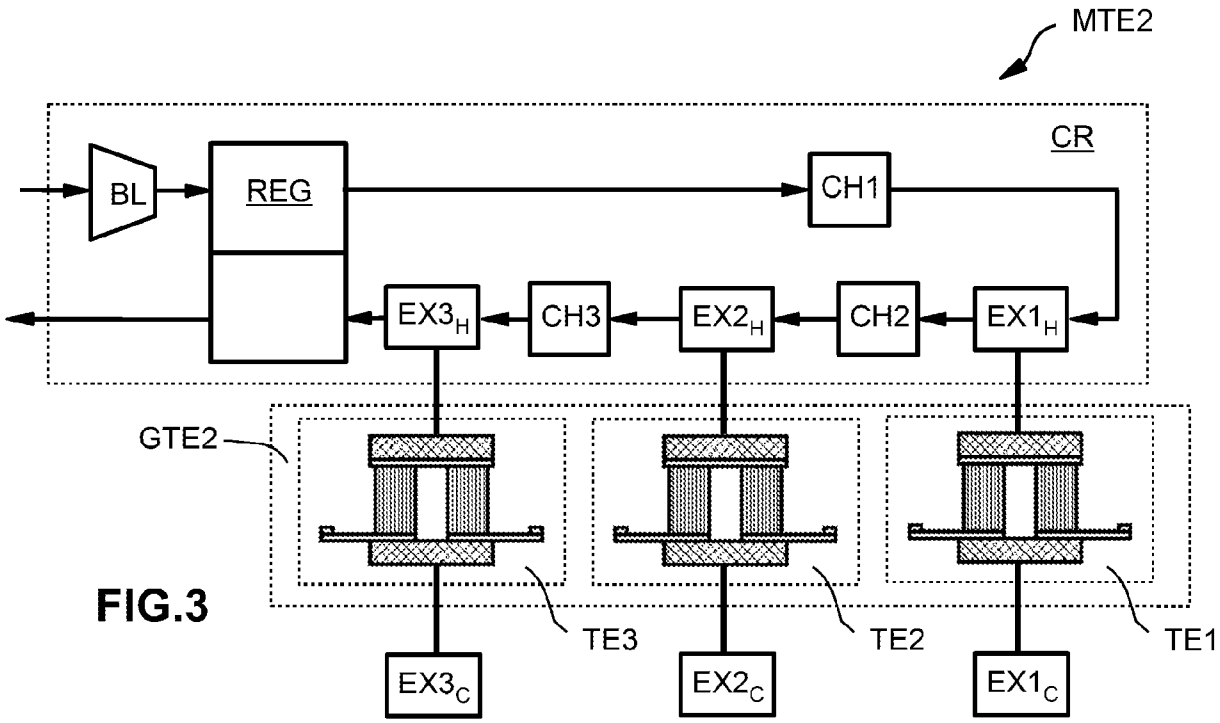

MTE2
CR
BL
REG
CH1
EX3H
CH3
EX2H
CH2
EX1H
GTE2
TE3
TE2
TE1
EX3C
EX2C
EX1C

FIG.3

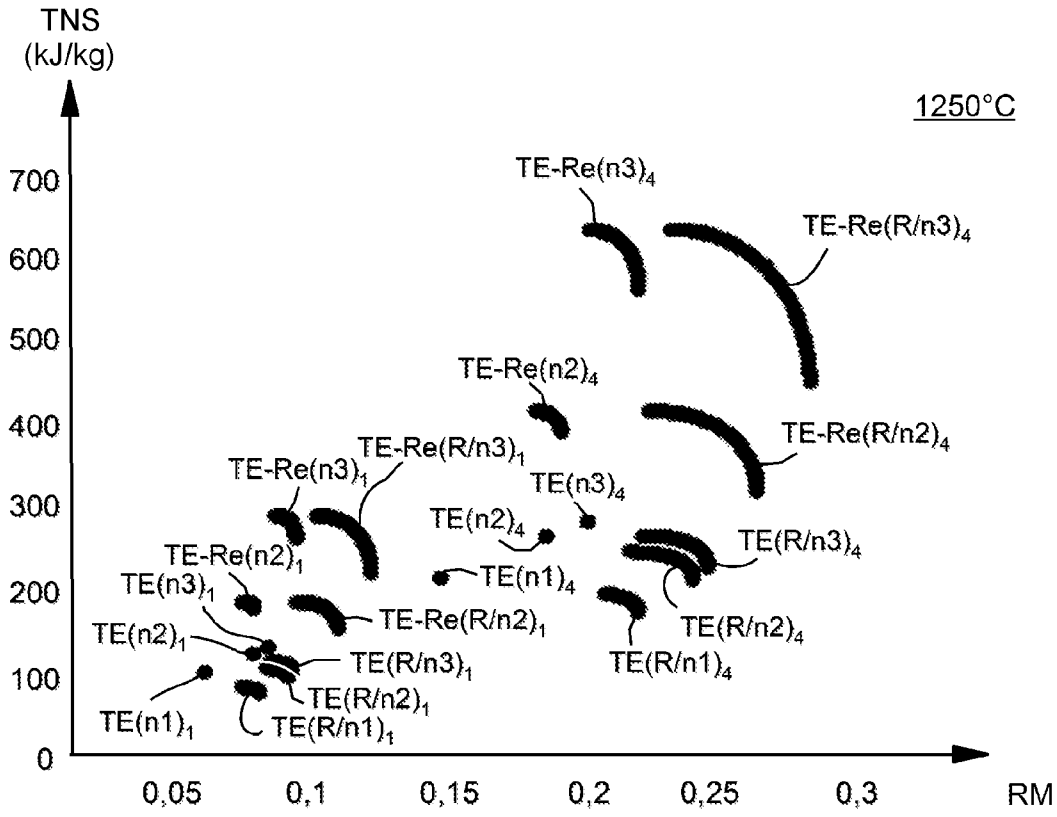

TNS
(kJ/kg)
1250°C
700
600
500
400
300
200
100
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
0,3
RM
TE-Re(n3)4
TE-Re(R/n3)4
TE-Re(n2)4
TE-Re(R/n2)4
TE-Re(R/n3)1
TE-Re(n3)1
TE(n3)4
TE(n2)4
TE(R/n3)4
TE-Re(n2)1
TE(n1)4
TE(n3)1
TE-Re(R/n2)1
TE(R/n2)4
TE(n2)1
TE(R/n3)1
TE(R/n1)4
TE(R/n2)1
TE(n1)1
TE(R/n1)1

FIG.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/FR2019/051722

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F02G 5/02(2006.01)i; ***F02F 5/00***(2006.01)i; ***H01L 35/30***(2006.01)i

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)

F02G; F02C; F01N; H01L; F02F

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2005098225 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; TAGUCHI TOMONARI [JP]) 20 October 2005 (2005-10-20) abstract figures	1-9
Y	DE 102004016349 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 25 November 2004 (2004-11-25) paragraphs [0023] - [0027] figures	1-9
Y	US 2014096685 A1 (BACKHAUS-RICOULT MONIKA [US] ET AL) 10 April 2014 (2014-04-10) figures	5,6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
25 September 2019	**17 October 2019**
Name and mailing address of the ISA/EP **European Patent Office** **p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk** **Netherlands** Telephone No. **(+31-70)340-2040** Facsimile No. **(+31-70)340-3016**	Authorized officer **Matray, J** Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/FR2019/051722

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
WO	2005098225	A1	20 October 2005	CN	1946927	A	11 April 2007
				EP	1740818	A1	10 January 2007
				JP	2005299417	A	27 October 2005
				KR	20060133093	A	22 December 2006
				US	2007193617	A1	23 August 2007
				WO	2005098225	A1	20 October 2005
DE	102004016349	A1	25 November 2004	NONE			
US	2014096685	A1	10 April 2014	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/FR2019/051722

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. F02G5/02 F02F5/00 H01L35/30
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)
F02G F02C F01N H01L F02F

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2005/098225 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; TAGUCHI TOMONARI [JP]) 20 octobre 2005 (2005-10-20) abrégé figures	1-9
Y	DE 10 2004 016349 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 25 novembre 2004 (2004-11-25) alinéas [0023] - [0027] figures	1-9
Y	US 2014/096685 A1 (BACKHAUS-RICOULT MONIKA [US] ET AL) 10 avril 2014 (2014-04-10) figures	5,6

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

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
25 septembre 2019	17/10/2019

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	Matray, J

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/FR2019/051722

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2005098225 A1	20-10-2005	CN 1946927 A	11-04-2007
		EP 1740818 A1	10-01-2007
		JP 2005299417 A	27-10-2005
		KR 20060133093 A	22-12-2006
		US 2007193617 A1	23-08-2007
		WO 2005098225 A1	20-10-2005
DE 102004016349 A1	25-11-2004	AUCUN	
US 2014096685 A1	10-04-2014	AUCUN	