

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

(11) Nº de publication : **3 042 857**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)
(21) Nº d'enregistrement national : **15 60169**
(51) Int Cl⁸ : **F 25 B 1/10 (2016.01), F 25 B 1/02**

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(54) CHAUDIERE THERMODYNAMIQUE A COMPRESSEUR THERMIQUE.

(22) Date de dépôt : 23.10.15.

(30) Priorité :

(43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 28.04.17 Bulletin 17/17.

(45) Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 28.06.19 Bulletin 19/26.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

(71) Demandeur(s) : BOOSTHEAT Société anonyme — FR.

(72) Inventeur(s) : JOFFROY JEAN-MARC.

(73) Titulaire(s) : BOOSTHEAT Société par actions simplifiée.

(74) Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.



Chaudière thermodynamique à compresseur thermique

La présente invention est relative aux systèmes de chauffage qui incluent des dispositifs appelés chaudières. On s'intéresse en particulier aux chaudières thermodynamiques tirant parti d'un dispositif dit de pompe à chaleur (dit 'PAC' en abrégé).

Contexte et Art Antérieur

Plusieurs solutions techniques existent déjà pour mettre en œuvre un dispositif de pompe à chaleur dans le contexte d'une chaudière.

Tout d'abord, on connaît l'utilisation de compresseurs électriques pour compresser et faire circuler un fluide de travail caloporteur. On parle aussi de 'PAC électrique'. Toutefois, l'efficacité de ces systèmes diminue fortement avec la diminution de température extérieure ce qui conduit à avoir recours dans la plupart des cas à un brûleur auxiliaire d'appoint à combustible classique.

On connaît aussi des pompes à chaleur à moteur au gaz ('PAC à moteur gaz'). Ce système implique l'utilisation d'un moteur à combustion interne qui s'avère bruyant et qui requiert une maintenance régulière.

On connaît aussi des pompes à chaleur à gaz à désorption/adsorption, comme par exemple celles utilisant un couple eau/ammoniac ou eau/zéolite, par exemple du document US5729988-Tcherne. Mais ces dispositifs sont complexes et couteux ; de plus ils utilisent des matériaux potentiellement polluants ou nocifs.

En outre, d'une façon générale, il est préférable que ce type de chaudière soit être adaptable en puissance et soit aussi prévue pour pouvoir fournir l'eau chaude sanitaire (dit 'ECS').

De plus, d'une façon générale, la plupart des systèmes décrits ci-dessus peuvent fonctionner de façon réversible, en mode climatisation.

Compte tenu des inconvénients précités, il subsiste

donc un besoin de proposer des solutions améliorées pour les systèmes de chaudière thermodynamique à effet de pompe à chaleur.

A cet effet, il est proposé une chaudière 5 thermodynamique pour échanger des calories avec au moins un circuit de chauffage, comprenant un compresseur thermique, le compresseur thermique agissant sur une fluide compressible et comprenant au moins un étage de compression avec un piston à déplacement alternatif séparant une 10 première chambre et une deuxième chambre et un premier brûleur de combustible formant source chaude couplée à la première chambre, et utilisant le circuit de chauffage comme source froide couplée à la deuxième chambre, le compresseur thermique formant la fonction compression d'une 15 boucle de type pompe à chaleur réversible.

Grâce à ces dispositions, on met à profit un transfert direct de chaleur entre le brûleur et le fluide de travail à compresser, le compresseur est simple et compact, la boucle de type pompe à chaleur réversible peut être 20 utilisée soit pour apporter des calories au circuit de chauffage en mode de chauffage (mode 'hiver'), soit dans certains cas pour prélever des calories sur le circuit de chauffage en mode climatisation (mode 'été').

De plus, une telle chaudière requiert très peu 25 d'entretien et les opérations de maintenance peuvent être substantiellement espacées.

Nota 1 : À propos du vocabulaire employé dans le présent document, il faut noter que ce qui est appelé ici circuit de chauffage doit être interprété largement comme 30 un circuit d'échange principal de calories avec une entité d'intérêt, le plus souvent un local, l'objectif étant de réchauffer ou de refroidir l'entité d'intérêt.

Nota 2 : dans la boucle de type pompe à chaleur susmentionnée, on utilise un fluide caloporteur diphasique 35 compressible, et on met à profit un phénomène d'évaporation

sur un échangeur et un phénomène de condensation sur un autre échangeur.

Selon une configuration, dite de chauffage, la chaudière thermodynamique fournit des calories au circuit de chauffage (mode 'chauffage' ou 'hiver'), et la boucle de type pompe à chaleur réversible prélève des calories dans une unité extérieure.

Dans ces conditions, du point de vue efficacité thermique, toute l'énergie dépensée au brûleur est soit utilisée directement pour la compression soit diffusée dans le circuit de chauffage. De plus, la compression et le circuit de fluide associé induit un prélèvement de calories 'gratuites' à l'extérieur. Par conséquent, on obtient un coefficient de performance très satisfaisant dans ces conditions.

Dans divers modes de réalisation de l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes.

Selon un aspect de l'invention, la chaudière thermodynamique peut comprendre un dispositif d'appoint, le dispositif d'appoint comprenant un brûleur auxiliaire, distinct du premier brûleur et un échangeur d'appoint agencé sur le circuit de chauffage. On peut ainsi assurer d'une part un fonctionnement en conditions de température extérieure très froide, ou si le circuit PAC est indisponible et d'autre part le passage de pointe(s) de besoin, notamment pour l'eau chaude sanitaire cumulée avec le besoin de chauffage.

Selon un aspect de l'invention, le combustible est avantageusement du gaz. Avantageusement, on utilise soit du gaz d'origine fossile soit du bio gaz.

Selon un aspect de l'invention, le fluide compressible caloporteur est du CO₂ ; il s'agit d'un fluide disponible, non polluant et sans danger.

Selon un aspect, il est avantageusement prévu une

unité de modulation et un moteur (actionneur électromagnétique lié au mouvement du piston) pour réguler (augmenter et/ou diminuer) la vitesse de rotation du compresseur. Une telle modulation en puissance permet 5 d'obtenir un compromis idéal confort/performance saisonnière, et permet de maximiser le taux d'utilisation de la PAC.

Selon un aspect, la boucle de type pompe à chaleur comprend deux circuits disposés en cascade, à savoir un 10 circuit de travail de gaz compressible (31,1,5,7,6) et un circuit d'eau glycolée (34,4,6) ; ce qui permet d'avoir un circuit de travail de gaz compressible confiné dans un ensemble chaudière, scellé directement en usine, ce qui évite au plombier ou à l'installateur de se préoccuper de 15 l'étanchéité de ce circuit ; à l'inverse le circuit d'eau glycolée qui est plus facile à mettre en œuvre peut être installé par le plombier.

Selon un aspect, le compresseur peut comprendre au moins deux étages de compression en série, à savoir au 20 moins un deuxième étage de compression U2, en sus du premier U1. Moyennant quoi on peut utiliser un fluide de type CO₂ (R744) avec une grande excursion en pressions et des températures de fluide CO₂ adaptées en fonction des températures des circuits d'eau à chauffer. On obtient donc 25 une bonne efficacité thermodynamique globale.

Selon un aspect, le compresseur peut comprendre 3 étages ; moyennant quoi on optimise l'étagement des montées en pression et l'adéquation des températures de fluide CO₂ adaptées en fonction des températures des circuits d'eau à 30 chauffer et de la puissance thermique à délivrer.

Les étages sont avantageusement indépendants. Ceci facilite le dimensionnement et on augmente les possibilités de modulation de chaque étage.

La chaudière thermodynamique comprend un préchauffeur 35 d'air à l'entrée du premier brûleur ; on récupère des

calories dans les fumées de combustion et on les injecte dans l'air à destination du brûleur ; ce qui améliore le coefficient de performance global.

La chaudière thermodynamique comprend un échangeur principal (5) formant l'interface thermique essentiel entre le circuit de fluide compressible (31) et le circuit de chauffage (30), et le compresseur est refroidi par le retour du circuit de chauffage qui passe d'abord dans au moins un échangeur principal 5, puis dans la section froide du compresseur thermique ; ce qui s'avère le choix le plus judicieux pour le bon rendement et l'efficacité du système.

De plus, le retour du circuit de chauffage passe, après avoir refroidi le compresseur, dans l'échangeur d'appoint. On maximise ainsi les calories fournies au circuit de chauffage.

L'échangeur principal comprend un échangeur haute température 'HT' et un échangeur basse température 'BT' ; on peut ainsi procurer une fourniture de calories à deux circuits de chauffage différents, l'un ayant une température moyenne élevée (couplé au HT) et l'autre ayant une température moyenne élevée modérée (couplé au BT) ;

La chaudière thermodynamique comprend un circuit d'eau chaude sanitaire ; elle peut remplir ainsi toutes les fonctions d'une chaudière domestique.

L'eau chaude sanitaire est réchauffée au moyen de l'échangeur haute température (50) qui est agencé sur le circuit de fluide compressible directement en sortie du compresseur thermique ; cela contribue à la priorité donnée pour l'eau chaude sanitaire.

Selon une configuration, dite de climatisation, la chaudière thermodynamique prélève des calories dans le circuit de chauffage 30, et délivre ces calories soit dans le circuit d'eau chaude sanitaire ECS soit dans l'unité extérieure 4 (mode été) ; ainsi la chaudière peut fournir une fonction climatisation, et en outre de l'eau chaude

sanitaire gratuite énergétiquement.

D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation de l'invention, donné à titre d'exemple 5 non limitatif. L'invention sera également mieux comprise en regard des dessins joints sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un système de chauffage comprenant une chaudière selon l'invention,
- la figure 2 représente un système analogue à la 10 figure 1, la chaudière étant hybride et incluant un brûleur d'appoint,
- la figure 3 représente un système analogue à la figure 1, dans lequel on prévoit un échangeur de préchauffage d'air et le compresseur de la chaudière 15 comprend deux étages de compression,
- la figure 4 représente un système analogue à la figure 3, dans lequel en outre la fourniture d'eau chaude sanitaire est assurée,
- la figure 5 représente un système analogue à la 20 figure 4, le compresseur de la chaudière comprenant trois étages de compression,
- la figure 6 représente un étage plus en détail, c'est-à-dire une unité de compression utilisé dans le compresseur thermique,
- la figure 7 représente le cycle thermodynamique dans 25 un étage,
- la figure 8 représente les parties centrales d'un compresseur dans la configuration à trois étages,
- la figure 9 représente un schéma très général de 30 l'utilisation d'un compresseur thermique selon l'invention dans d'une boucle de type pompe à chaleur réversible, utilisable en mode de chauffage ou en mode climatisation.

Sur les différentes figures, les mêmes références 35 désignent des éléments identiques ou similaires.

La figure 1 montre une vue d'ensemble d'un système de chauffage typiquement prévu pour chauffer un local industriel, une habitation individuelle ou collective. Le système de chauffage comporte une chaudière **10** qui sera 5 décrite dans la suite.

Le système comprend un circuit de chauffage repéré **30** ; comme annoncé au début, le terme « *circuit de chauffage* » n'exclut pas que ce circuit préleve des calories, toutefois dans le premier exemple tel qu'illustré, le circuit de 10 chauffage comprend des entités réceptrices de calories **3** sous forme des radiateurs/convectionns **3** et/ou d'un plancher chauffant, situés dans les pièces du local à chauffer.

Il peut y avoir plusieurs entités réceptrices de calories, par exemple une à basse température (plancher 15 chauffant) et une autre à plus haute température (convectionns, eau chaude sanitaire). Un circulateur **M3** fait circuler de l'eau dans le circuit de chauffage **30**.

Le cas où une entité réceptrice de calories est une piscine ou une serre peut être aussi traité. De même le 20 système de chauffage peut être utilisé dans un contexte industriel avec l'entité réceptrice de calories sous forme d'un équipement de procédé industriel.

La chaudière **10** comprend un compresseur thermique **1** qui constitue le composant moteur d'un circuit de pompe à 25 chaleur. Dans l'exemple illustré, seule l'unité extérieure repérée **4** est agencée à l'extérieur du local (bâtiment, habitation, etc.) le reste des composants principaux est agencé à l'intérieur du local, voire même dans l'enveloppe de la chaudière **10**.

30 On note qu'aux figures, les tuyauteries sont représentées de façon symbolique.

Le dispositif de pompe à chaleur comprend d'une part un circuit d'eau glycolée **34** qui circule dans l'unité extérieure **4**, et un circuit **31** de fluide de travail lequel 35 passe au travers du compresseur **1**. Dans l'exemple illustré,

le fluide de travail est du R744 autrement dit du CO₂, mais un autre fluide aux propriétés similaires pourrait être choisi. Afin de le distinguer des autres fluides, on appellera dans la suite le fluide de travail du circuit **31** 5 le fluide « compressible », aussi appelé fluide 'frigorigène' dans l'art. Ceci par opposition au fluide qui circule vers l'extérieur dans l'unité extérieure (circuit **34**) qui est principalement à base d'eau (eau glycolée), et aussi par opposition au fluide qui circule dans le circuit 10 de chauffage **30** déjà mentionné qui est également principalement à base d'eau, donc non compressible.

Les différents fluides utilisés dans les circuits **30,31,34** sont des fluides caloporeurs, qu'ils soient compressibles ou non, ils permettent de transférer des 15 calories principalement depuis l'unité extérieure **4** vers les entités réceptrices **3**, mais aussi depuis le brûleur **11** du compresseur vers les entités réceptrices **3**.

Le mode de climatisation, aussi possible, sera décrit plus loin.

Il faut noter que l'unité extérieure **4** peut être une unité aérothermique ou géothermique.

On remarque que le captage des calories extérieures par l'effet de pompe à chaleur fait appel à deux circuits de fluide en série qui sont interfacés par l'échangeur **6** 25 appelé échangeur d'interface **6**, échangeur de préférence à flux croisés. Le circuit d'eau glycolée **34** comprend un circulateur **M4**, récupère des calories sur l'unité extérieure **4** et délivre ces calories sur l'échangeur d'interface **6**. On remarque que l'ensemble du circuit de 30 fluide compressible **31**, à savoir celui du CO₂, se trouve confiné à l'intérieur de la chaudière **10** ce qui est préparé en usine de fabrication ; seul le circuit d'eau glycolée **34** doit être mis en œuvre par un professionnel sur l'installation cible.

En outre, le dispositif de pompe à chaleur comprend un

détendeur 7, connu en soi, qui joue le rôle inverse du compresseur pour la pression, et un échangeur principal 5 qui couple thermiquement le circuit du fluide compressible en sortie de compresseur avec le circuit de chauffage 30.

5 L'échangeur principal 5 est configuré de préférence comme un échangeur à flux croisés. Au lieu d'un seul échangeur 51 comme représenté, l'échangeur principal peut être constitué de plusieurs échangeurs, soit en parallèle, soit en série comme il sera vu plus loin.

10 Le circuit de fluide compressible 31 contient du fluide sous forme diphasique qui récupère des calories sur l'échangeur d'interface 6 (côté dit 'évaporateur' où le fluide diphasique passe de l'état liquide à l'état vapeur) et délivre ces calories sur l'échangeur principal 5 (côté dit 'condenseur' où le fluide diphasique passe de l'état vapeur à l'état liquide).

15

On remarque que le retour du circuit de chauffage 30 passe d'abord au travers de cet échangeur principal 5 puis est dirigé vers la zone froide du compresseur à l'endroit 20 duquel le fluide du circuit de chauffage refroidit le compresseur 1.

On remarque que le circuit de sortie des gaz brûlés (noté 32) du brûleur 11 passe à l'intérieur d'un échangeur 21 couplé avec le circuit de chauffage, à l'endroit duquel 25 les fumées cèdent leurs calories au fluide du circuit principal de chauffage 30; on verra plus loin que cet échangeur 21 peut aussi être appelé dans certains cas « échangeur d'appoint » 21.

La quantité de gaz introduite et brûler par le brûleur 30 11 est commandée par une unité de régulation (non représentée) de la chaudière.

Le brûleur 11 est typiquement dimensionné pour pouvoir délivrer jusqu'à 6 kW ; en pratique lorsque le compresseur est en fonction, la régulation ajuste la puissance entre 2 35 kW et que 6 kW.

Plus précisément s'agissant du compresseur 1, en référence à la figure 6, il s'agit d'un compresseur thermique dit 'régénératif' avec une zone d'apport de calories (zone chaude) une zone de refroidissement (zone froide), une enceinte fermée **8** qui communique avec l'extérieur grâce à 2 clapets anti-retour, à savoir un clapet d'entrée **41** (admission) et un clapet de sortie **42** (refoulement).

Dans l'exemple de la figure 1, il n'y a qu'un seul étage de compression notée **U1**.

Dans l'enceinte fermée **8**, le fluide compressible occupe un volume quasi constant, et un piston déplaceur **71** y est configuré pour se déplacer alternativement, de haut en bas dans l'exemple illustré, afin de déplacer l'essentiel du volume de fluide compressible vers la zone chaude ou vers la zone froide. Le piston est relié à un système d'emballage et de vilebrequin d'entraînement dans un système d'auto entraînement qui sera vu plus loin.

Comme représenté à la figure 6, le compresseur est architecturé autour d'une direction axiale **X**, qui est de préférence disposée verticalement, mais une autre disposition n'est pas exclue. Selon cet axe peut se déplacer le piston **71** monté mobile dans une chemise cylindrique **90**. Ledit piston sépare la première chambre **81** et la deuxième chambre **82**, ces deux chambres étant incluses dans l'enceinte de travail **8** avec la somme de leurs volumes **V1+V2** sensiblement constante. Le piston **71** présente une portion supérieure en forme de dôme, par exemple hémisphérique.

L'enceinte de travail **8** est contenue structurellement dans un assemblage formé d'un carter chaud **96** et d'une culasse froide **95**, avec interposition d'un anneau isolateur thermique **97**.

La première chambre **81**, dite aussi 'chambre chaude', est agencée au dessus du piston et couplée thermiquement à

une source chaude **11** (un brûleur **11** de combustible) qui apporte des calories directement au fluide gazeux dans la première chambre **81**. La première chambre est de révolution avec une portion cylindrique de diamètre correspondant au **D₁** diamètre **D₁** du piston et une portion hémisphérique en partie supérieure, qui comprend une ouverture centrale **83** pour l'entrée et la sortie du fluide compressible. La source chaude **11** forme une calotte agencée tout autour de la chambre chaude **81**, avec un injecteur **11a** de brûleur.

La deuxième chambre **82**, dite aussi 'chambre froide', est agencée au dessous du piston et couplée thermiquement à une source froide (ici le retour du circuit de chauffage **91**) pour ainsi transférer des calories du fluide compressible vers le circuit de chauffage. La deuxième chambre est cylindrique, de diamètre **D₁**, et comprend plusieurs ouvertures **84** disposées en cercle autour de l'axe, sous le piston, pour l'entrée et la sortie du fluide compressible.

Autour de la paroi de la chemise cylindrique **90** est agencé un échangeur régénérateur **19**, du type de ceux utilisés classiquement dans les machines thermodynamiques de type machine Stirling. Cet échangeur **19** (qu'on appellera aussi simplement 'régénérateur' dans la suite) comprend des canaux fluides de faible section et des éléments de stockage d'énergie thermique et/ou un réseau serré de fils métalliques. Ce régénérateur **19** est agencé à une hauteur intermédiaire entre l'extrémité supérieure et l'extrémité inférieure de l'enceinte et présente un côté chaud **19a** vers le haut et un côté froid **19b** vers le bas.

À l'intérieur du régénérateur, on constate entre le côté chaud et le côté froid, un gradient de température important, le côté chaud ayant une température voisine de la température de la calotte du brûleur à savoir 700°C, le côté froid ayant une température voisine de la température du circuit de chauffage à savoir une température comprise

entre 30°C et 70°C selon la ou les entité(s) présente(s) sur le circuit de chauffage.

Un interstice annulaire de circulation **24** agencé contre la surface interne du carter chaud **96** relie l'ouverture **83** de la première chambre jusqu'au côté chaud **19a** du régénérateur.

Des canaux **25** dans la culasse **95** relient les ouvertures **84** de la deuxième chambre jusque au côté froid **19b** du régénérateur.

Ainsi, lorsque le piston monte, le gaz compressible est chassé de la première chambre **81** par l'interstice de circulation **24**, le régénérateur **19** et les canaux **25** en direction de la deuxième chambre froide **82**. À l'inverse, lorsque le piston redescend, le gaz compressible est chassé de la deuxième chambre froide **82** par les canaux **25**, le régénérateur **19** et l'interstice de circulation **24**, en direction de la première chambre **81**.

Le fonctionnement du compresseur est assuré par le mouvement alternatif du piston **71** entre le point mort bas **PMB** et le point de haut **PMH**, ainsi que par l'action d'un clapet d'aspiration **41** sur l'entrée, d'un clapet anti-retour **42** de refoulement sur la sortie. Les différentes étapes A, B, C, D, décrites ci-après sont représentées sur les figures 6 et 7.

Etape A.

Le piston, initialement en haut, se déplace vers le bas et le volume de la première chambre **81** augmente alors que volume de la deuxième chambre **82** diminue. De par le fait, le fluide est poussé au travers du régénérateur **19** du bas vers le haut, et se réchauffe au passage. La pression **Pw** augmente de façon concomitante.

Etape B.

Lorsque la pression **Pw** dépasse une certaine valeur, le clapet de sortie **42** s'ouvre et la pression **Pw** s'établit à la pression **P2** de sortie du fluide compressé et du fluide

est expulsé vers la sortie (le clapet d'entrée **41** reste bien sûr fermé pendant ce temps). Ceci se poursuit jusqu'au point mort bas du piston.

Etape C.

5 Le piston, se déplace maintenant du bas vers le haut et le volume de la deuxième chambre augmente alors que première volume de la chambre diminue. De par le fait, le fluide est poussé au travers du régénérateur **19** du haut vers le bas, et se refroidit au passage. La pression **Pw** 10 diminue de façon concomitante. Le clapet de sortie **42** se ferme en début de montée.

Etape D.

Lorsque la pression **Pw** passe en dessous d'une certaine valeur, le clapet d'entrée **41** s'ouvre et la pression **Pw** 15 s'établit à la pression **P1** d'entrée de fluide et du fluide est aspiré par l'entrée (le clapet de sortie **42** reste bien sûr fermé pendant ce temps). Ceci se poursuit jusqu'au point mort haut du piston. Le clapet d'entrée **41** se fermera dès le début de la descente du piston.

20 Les mouvements de la tige **18** sont commandés un dispositif d'auto-entraînement **14** agissant sur une extrémité de la tige. Ce dispositif d'auto-entraînement comprend un volant inertiel **142**, une bielle **141** reliée audit volant par une liaison pivot, par exemple un palier à 25 roulement **143**. La bielle **141** est reliée à la tige par une autre liaison pivot, par exemple un palier à roulement **144**.

La chambre auxiliaire **88** remplit du fluide gazeux de travail à une pression notée **Pa**. Lorsque le dispositif est en fonctionnement, la pression **Pa** dans la chambre 30 auxiliaire **88** converge vers une pression moyenne sensiblement égale à la demi-somme des pressions mini **P1** et maxi **P2**. En effet, en raison du jeu fonctionnel réduit entre la bague **118** et la tige **18**, en régime dynamique, cette très petite fuite ne nuit pas au fonctionnement et 35 reste négligeable.

Lorsque le volant tourne d'un tour, le piston balaye un volume correspondant à la distance entre le point mort et point mort bas, multipliée par le diamètre **D1**.

Le cycle thermodynamique, tel que représenté à la 5 figure 7 fournit un travail positif au dispositif d'auto-entraînement.

Toutefois d'une part pour le démarrage initial et pour des besoins de régulation de vitesse de rotation, on prévoit un moteur **17** couplé au volant inertiel **142**.

10 Ce moteur peut être logé avantageusement dans la chambre auxiliaire **88** ou à l'extérieur avec un couplage magnétique à la paroi.

15 Le moteur **17** est piloté par une unité de régulation, non représentée aux figures ; la commande du moteur permet d'accélérer ou de ralentir la vitesse de rotation du volant inertiel, les flux thermiques échangés étant en relation quasi proportionnelle avec la vitesse de rotation du volant inertiel. Grâce au moteur **17**, l'unité de régulation peut 20 ajuster la vitesse de rotation entre typiquement 100 trs/m et 500 trs/m, préférentiellement dans la gamme [200 - 300 trs/m].

On note également que le moteur **17** sert à faire démarrer le dispositif d'auto entraînement **14**.

25 On remarque que le piston **71** n'est pas un piston récepteur de puissance (à l'inverse d'un moteur à combustion interne ou d'un moteur Stirling classique) mais simplement un piston déplaceur ; la puissance est fournie sous forme d'augmentation de pression de gaz de travail.

30 On note que **V1 + V2 + Vcanal = Vtotal** si on fait abstraction des variations du volume de la tige **18**, **V1** étant le volume de la première chambre, **V2** étant le volume de la deuxième chambre et **Vcanal** étant le volume des canalisations **24,25**. De préférence on s'arrange pour avoir un volume mort de plus faible possible avec des 35 canalisations de petite section, par exemple on obtiendra

Vcanal < 10% de V1+V2.

Comme illustré à la figure 2, la chaudière peut être avantageusement hybride, c'est-à-dire contenir un **brûleur auxiliaire 20**, distinct du premier brûleur **11** et un **échangeur d'appoint 21**. Ce brûleur auxiliaire **20** sera utilisé principalement en cas de fonctionnement en température extérieure très froide, et pour passer les besoins en pointe de l'installation de chauffage (ceci cumulé avec l'eau chaude sanitaire quand elle est présente, voir plus loin).

On dimensionne généralement le brûleur auxiliaire **20** de l'échangeur d'appoint pour une puissance calorifique autour de 20 kW, typiquement pour une maison individuelle, ce qui est très supérieur à la puissance thermique nécessaire pour la fonction compression du compresseur comme vu ci avant.

Plus précisément, l'unité de régulation mesure la température extérieure, et diverses températures des fluides des circuits mis en jeu (30, 31, 32, 34), pour déterminer le besoin de faire fonctionner le brûleur d'appoint **20**.

Comme déjà dit, le circuit de sortie des gaz brûlés **32** du premier brûleur passe à l'intérieur de l'échangeur d'appoint **21**, à l'endroit duquel il cède ses calories au fluide du circuit principal de chauffage **30**.

On remarque que le fluide du circuit de chauffage **30** reçoit des calories en provenance de l'échangeur principal **5,51**, et en provenance de la partie froide du compresseur (zone **91**) et finalement en provenance des gaz de combustion brûlée dans l'échangeur d'appoint **21**. Si le brûleur auxiliaire **20** est en fonctionnement, il y a de plus un apport de calories directement en provenance du brûleur auxiliaire **20**.

On illustre à la figure 3 deux caractéristiques complémentaires qui peuvent être présentes dans la chaudière de l'invention.

D'une part, on installe **deux étages** de compression, autrement dit deux unités de compression **U1**, **U2** en série l'un **U2** à la suite de l'autre **U1**, chacun ayant son propre brûleur 11,12.

5 Le deuxième étage **U2** est similaire ou analogue en tout point au premier étage **U1**; il comprend un brûleur **12** à l'endroit duquel la combustion de gaz mélangé à l'air admis se produit, et un piston déplaceur **72** analogues à celui du premier étage et dont le mouvement et la vitesse de 10 rotation sont indépendants du premier. La somme de la puissance des deux brûleurs 11,12 peut être dimensionnée autour de 10kW.

En pratique, la sortie du clapet anti retour **42** du premier étage est injectée dans le clapet anti-retour **43** 15 d'entrée du deuxième étage. Dans une version intégrée où les parties froides sont mises en commun, les clapets **42,43** sont confondus. La sortie du second étage U2, c'est-à-dire le clapet **44** forme la sortie de compresseur 1.

D'autre part, on peut prévoir un échangeur de 20 préchauffage d'admission d'air, repéré **9**, par lequel on met à profit des calories présentes dans la sortie des gaz sortant des brûleurs 11,12 pour préchauffer l'air frais **35** admis vers la flamme de ces brûleurs. L'échangeur de préchauffage **9** est ici un échangeur air/air, connu en soi, 25 utilisé à flux croisés dans l'exemple illustré.

L'air qui arrive dans l'injecteur 11a du brûleur 11 se trouve ainsi à une température comprise entre 100 °C et 300 °C.

On illustre à la figure 4 d'une part un échangeur 30 principal **5** formé par deux échangeurs en série (caractéristique qui sera détaillée plus bas) et une autre caractéristique complémentaire, à savoir la fourniture d'eau chaude sanitaire (en abrégé 'ECS'). Il est prévu un ballon de réserve **16** d'eau chaude sanitaire comme connu en 35 soi donc non décrit en détail ici. L'eau de ce ballon de

réserve est chauffée par une circulation du fluide **36** lors de son passage dans un échangeur ECS **15**.

Dans cet échangeur ECS **15** circule une branche de dérivation **33** du circuit de chauffage **30**. Cette branche de dérivation prélève des calories dans un échangeur principal haute température (HT) repéré **50** et les transmet à l'eau chaude sanitaire dans l'échangeur ECS **15**.

Le débit de fluide qui circule dans la branche de dérivation **33** peut être commandé par une vanne de régulation **78** connue en soi. Ce débit est déterminé en proportion des besoins du système de régulation du ballon de réserve d'eau chaude sanitaire.

L'échangeur principal **5** comprend ici deux échangeurs agencés en série sur le circuit **31** de CO₂ : l'échangeur 'haute' température **50** dans lequel circule la dérivation **33** configurée pour réchauffer l'eau chaude sanitaire, et l'échangeur dit 'basse' température **51** qui forme le couplage principal du circuit de CO₂ **31** avec le circuit de chauffage **30**. On note qu'on peut aussi avoir la combinaison des deux échangeurs (haute et basse) même sans circuit d'eau chaude sanitaire, par exemple si on a 2 circuits de chauffage récepteurs, un à basse température et en haute température.

Typiquement, la température moyenne du fluide compressible dans l'échangeur haute température **50** sera très supérieure à 100 °C, tandis que la température moyenne du fluide compressible dans l'échangeur basse température **51** sera substantiellement inférieure à la température de sortie de l'échangeur haute température, le plus souvent inférieur à 150° voire préférentiellement inférieurs à 100°.

On illustre à la figure 5 une caractéristique complémentaire, à savoir une configuration à trois étages de compression autrement dit trois unités de compression **U1, U2, U3**.

On prévoit d'avoir un brûleur **11** sur le premier étage et un brûleur **12** sur le second étage et un troisième brûleur **13** sur le troisième étage **U3**. Chaque étage est similaire à ce qui est écrit au sujet de la figure 6. La somme de la puissance des trois brûleurs **11, 12, 13** peut être dimensionnée autour de 13kW voire 15kW.

Avantageusement, les étages fonctionnent de manière indépendante, la vitesse de rotation peut être différente d'un étage à l'autre ; Les deuxième et troisième étage ont respectivement des pistons notés **72, 73**.

On remarque que le circuit de chauffage refroidit les trois zones froides des compresseurs, par les canaux successifs **93, 92 et 91**.

La sortie du premier étage c'est-à-dire le clapet **42** est reliée à l'entrée du deuxième étage c'est-à-dire le clapet **43**, La sortie du deuxième étage c'est-à-dire le clapet **44** est reliée à l'entrée du troisième étage c'est-à-dire le clapet **45**. La sortie du clapet **46** forme la sortie générale du compresseur 1.

L'étagement des pressions peut être typiquement le suivant, la pression d'admission du premier étage **U1** est de l'ordre de 30 bars, la pression de refoulement du premier étage (admission deuxième étage) est de l'ordre de 45 bars ; la pression de refoulement du deuxième étage **U2** (admission troisième étage) est de l'ordre de 60 à 65 bars ; la sortie du troisième étage **U3** peut être de l'ordre de 90 bars.

On peut prévoir que les trois zones froides des trois étages **U1 U2 U3** forment une seule pièce appelée culasse froide comme celle figurée en traits pointillés **95'** (Fig. 5).

Une autre caractéristique optionnelle de la chaudière est illustrée à la figure 5 ; un échange dit de dégivrage repéré **75** permet de coupler directement le circuit d'eau glycolée **34** avec le circuit de chauffage **30**, sans faire

intervenir le circuit du gaz compressible 31.

Un circuit auxiliaire 76 peut être activé par une vanne 74 (manuelle ou commandée) ce qui active cet échangeur de dégivrage.

5 Comme son nom l'indique, cet échangeur de dégivrage 75 est utilisé pour dégivrer l'unité extérieure 4 par le transfert de calories à partir du circuit de chauffage.

On remarque que cet échangeur peut être aussi utilisé dans certains cas pour faire du rafraîchissement dit 10 passif, selon le même principe du transfert de calories à partir du circuit de chauffage vers l'échangeur extérieur.

D'une façon générale, on remarque que le combustible utilisé dans le brûleur peut être du gaz naturel, ou du bio gaz d'origine végétale ou animale, ou des composés 15 hydrocarbures légers déchets de processus industriels pétroliers.

Comme illustré à la figure 9, le compresseur thermique 1 décrit ci-dessus peut être utilisé dans le contexte des schémas des figures 1 à 5, bien sûr dans un mode de 20 chauffage, mais aussi moyennant sa réversibilité dans un dit de climatisation.

En l'occurrence, dans ce mode climatisation, on va prélever des calories sur le circuit de chauffage 30 (par exemple au niveau d'un plancher chauffant) et les calories 25 prélevées vont être dirigées soit vers le circuit d'eau chaude sanitaire 15,16, soit vers l'unité extérieure 4.

Ce résultat peut être obtenu en inversant le rôle des échangeurs 5',6' d'évaporation et de condensation sur la boucle du gaz compressible 31.

30 Pour des raisons de clarté la vanne 77 à quatre voies qui permet d'inverser le sens de circulation du fluide n'a pas été représentée sur les figures 1 à 5, mais le principe est représenté à la figure 9 où la vanne 77 à quatre voies présente une position normale dite de mode de chauffage et 35 une position spéciale (inversée) dite de mode de

climatisation.

Lorsque la vanne 77 à quatre voies est en position normale l'échangeur repéré 6' fonctionne en mode condenseur et l'échangeur repéré 5' fonctionne en mode évaporateur.

5 Inversement lorsque la vanne 77 est en position inversée c'est l'échangeur 5' qui fonctionne en mode condenseur et c'est l'échangeur 6' qui fonctionne en mode évaporateur.

Dans le système de la chaudière, pour des raisons de 10 clarté, certains composants n'ont pas été représentés bien qu'ils puissent être également présents. Il s'agit notamment de :

- les vases d'expansion sur des circuits d'eau 34 30
- les robinets de remplissage et de purge du circuit de 15 chauffage
- les robinets de remplissage et de purge du circuit CO2
- divers manomètres et capteurs de température nécessaires au pilotage du système par l'unité de 20 régulation

Récapitulatif des circuits

- 30 : circuit de chauffage
- 31 : fluide compressible CO2
- 25 32 : fumées de combustion
- 33 : dérivation pour ECS
- 34 : eau glycolée (échange avec l'extérieur)
- 35 : air admis réchauffé
- 36 : circuit spécifique ECS
- 30 76 : dérivation pour dégivrage

REVENDICATIONS

1. Chaudière thermodynamique pour échanger des calories avec au moins un circuit de chauffage (30), la chaudière comprenant un compresseur thermique (1), le compresseur thermique agissant sur un fluide compressible et comprenant au moins un étage de compression avec un piston (71) à déplacement alternatif séparant une première chambre (81) et une deuxième chambre (82), et un premier brûleur (11) de combustible formant source chaude couplée à la première chambre, et utilisant le circuit de chauffage comme source froide couplée à la deuxième chambre, le compresseur thermique formant la fonction compression d'une boucle de type pompe à chaleur réversible (31,34),
- les première et deuxième chambres (81,82) étant reliées fluidiquement entre elles au travers d'un régénérateur (19) avec un mouvement de va-et-vient.
2. Chaudière thermodynamique selon la revendication 1, dans laquelle la chaudière thermodynamique fournit des calories au circuit de chauffage, la boucle de type pompe à chaleur réversible prélève des calories dans une unité extérieure (4).
3. Chaudière thermodynamique selon la revendication 2, comprenant en outre un dispositif d'appoint (2), le dispositif d'appoint comprenant un brûleur auxiliaire (20), distinct du premier brûleur et un échangeur d'appoint (21) agencé sur le circuit de chauffage (30).
4. Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 1 à 3, dans laquelle le fluide compressible est du R744.
5. Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications

1 à 4, dans lequel il est prévu une **unité de modulation et un moteur** (17) pour réguler, à savoir augmenter et/ou diminuer la vitesse de rotation du compresseur.

5. **6.** Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la boucle de type pompe à chaleur comprend **deux circuits disposés en cascade**, à savoir un circuit de travail de gaz compressible (31,1,5,7,6) et un circuit d'eau glycolée (34,4,6).

10 **7.** Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le compresseur comprend au moins **deux étages de compression** en série, à savoir un deuxième étage de compression (U2).

15 **8.** Chaudière thermodynamique selon la revendication 7, avec **trois étages** (U1,U2,U3).

20 **9.** Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 7 ou 8, dans lequel les **étages** sont **indépendants**.

10. Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant un **préchauffeur d'air** (9) à l'entrée au moins du premier brûleur.

25 **11.** Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 1 à 10, comprenant un **échangeur principal** (5) formant l'interface thermique essentiel entre le circuit de fluide compressible (31) et le circuit de chauffage (30), et le compresseur est refroidi par le retour du circuit de chauffage qui passe d'abord dans au moins l'échangeur principal (5), puis dans la section froide du compresseur thermique.

35 **12.** Chaudière thermodynamique selon l'une des

revendications 1 à 11, dans lequel le retour du circuit de chauffage passe, après avoir refroidi le compresseur, dans l'échangeur d'appoint (21).

5 **13.** Chaudière thermodynamique selon la revendication 11, dans lequel l'échangeur principal (5) comprend un échangeur **haute température** (50) et un échangeur **basse température** (51).

10 **14.** Chaudière thermodynamique selon l'une des revendications 1 à 13, comprenant un **circuit d'eau chaude sanitaire** (15,16).

15 **15.** Chaudière thermodynamique la revendication 13 et la revendication 14, dans laquelle l'eau chaude sanitaire (33) est réchauffée au moyen de l'échangeur haute température (50) qui est agencé sur le circuit de fluide compressible directement en sortie du compresseur thermique (1).

20 **16.** Chaudière thermodynamique la revendication 14, dans laquelle la chaudière thermodynamique **prélève des calories** dans le circuit de chauffage (30), et délivre ces calories soit dans le circuit d'eau chaude sanitaire ECS soit dans l'unité extérieure (4), pour fournir une fonction
25 climatisation.

FIG. 1

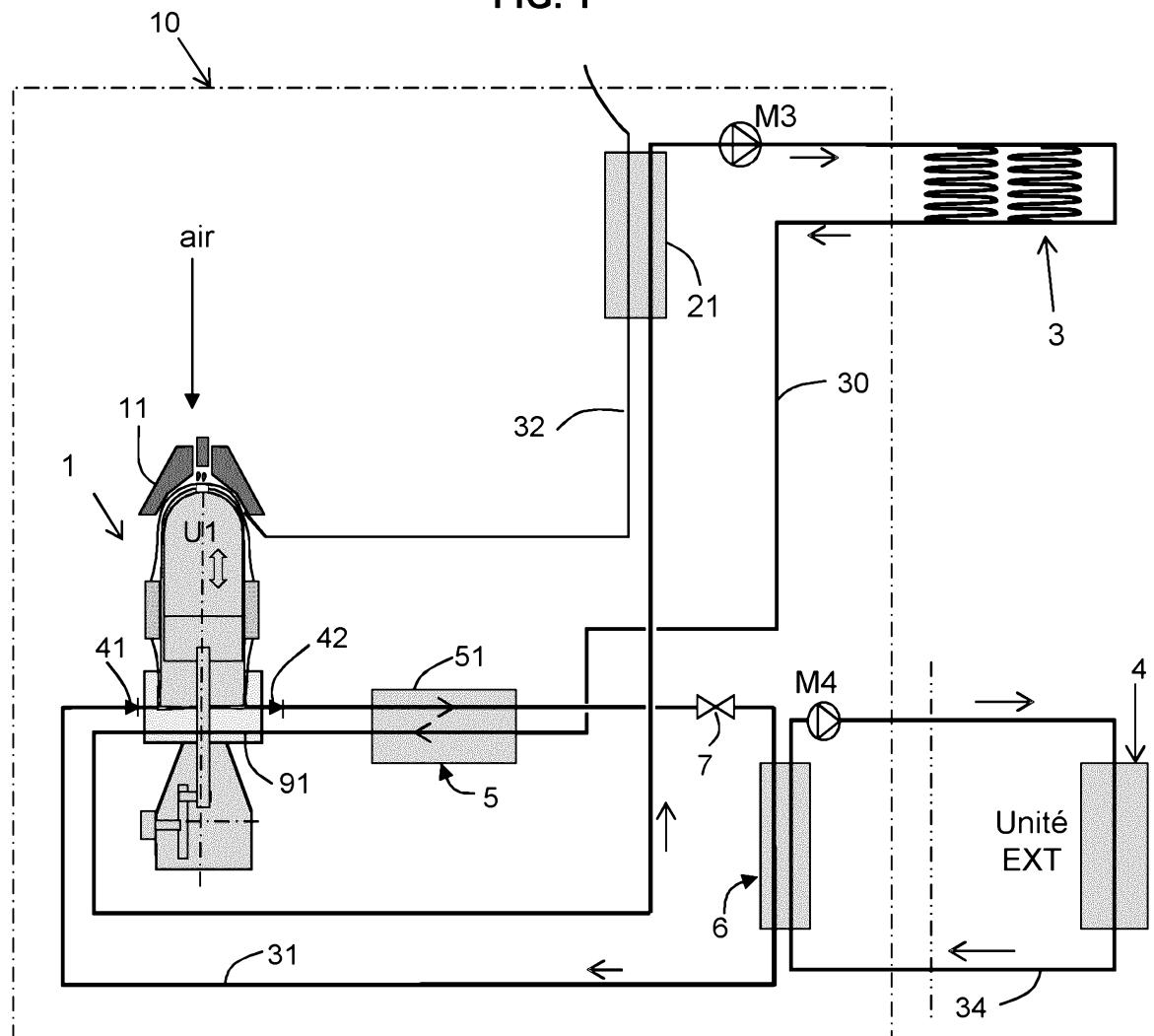


FIG. 2

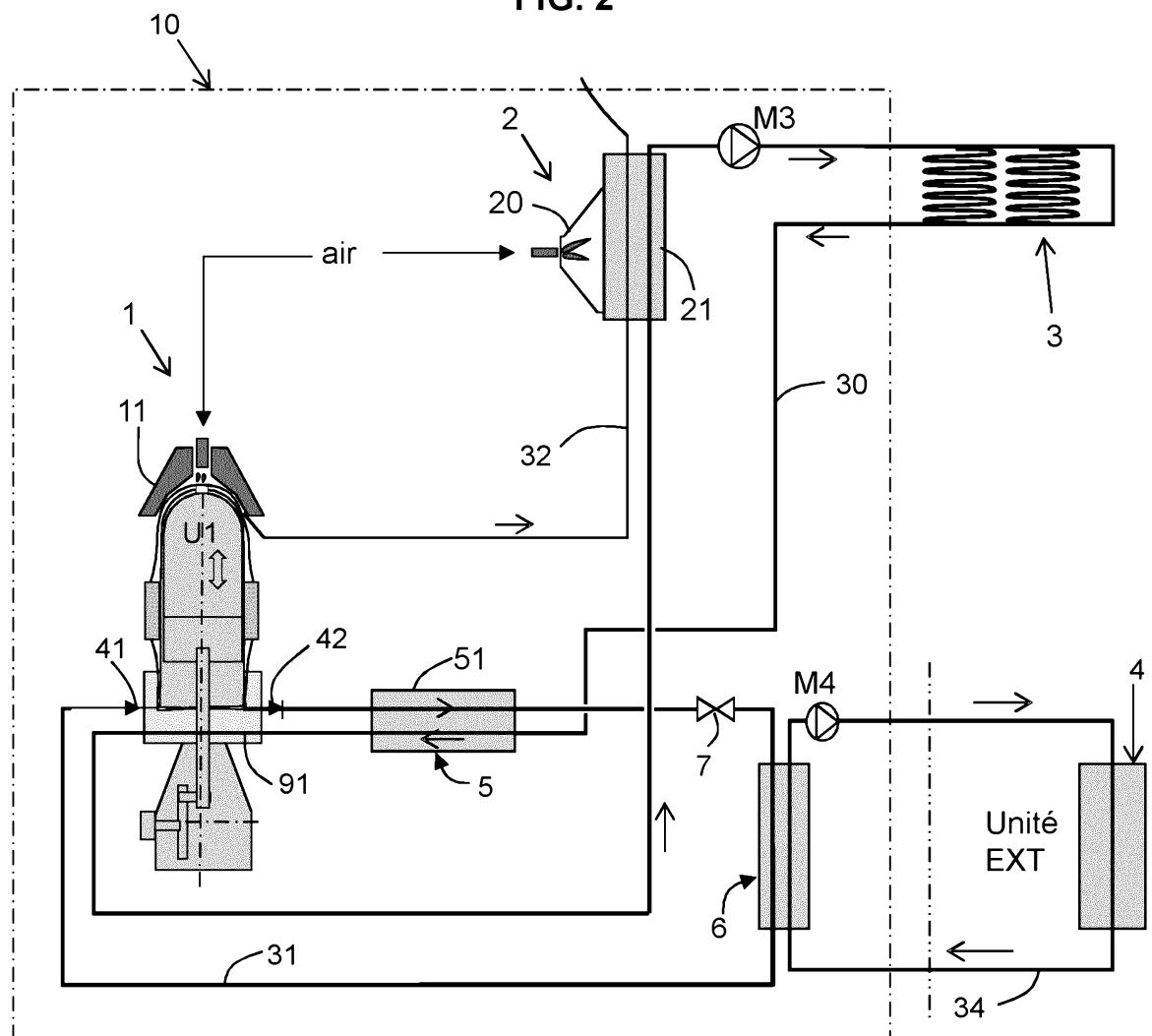


FIG. 3

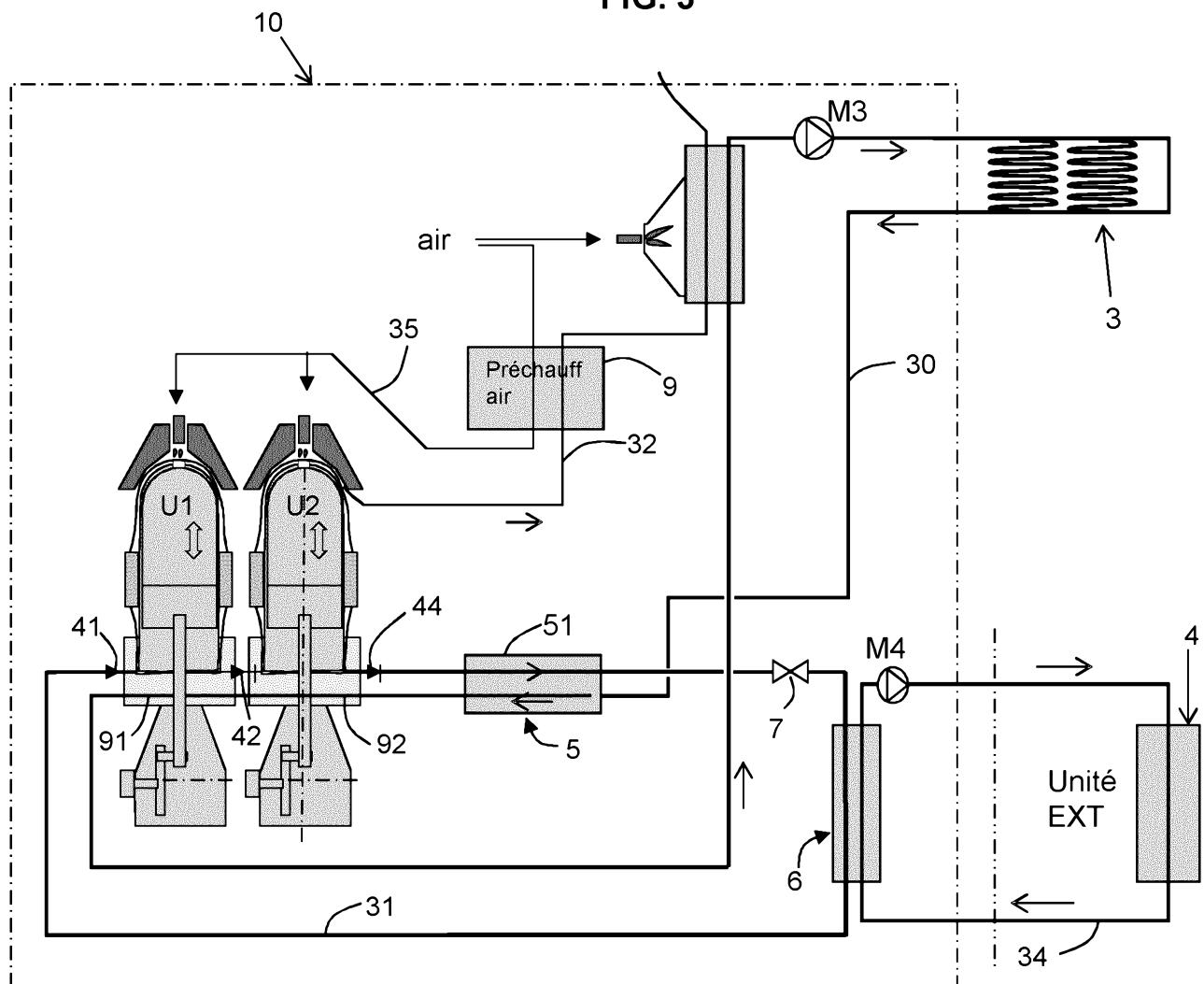


FIG. 4

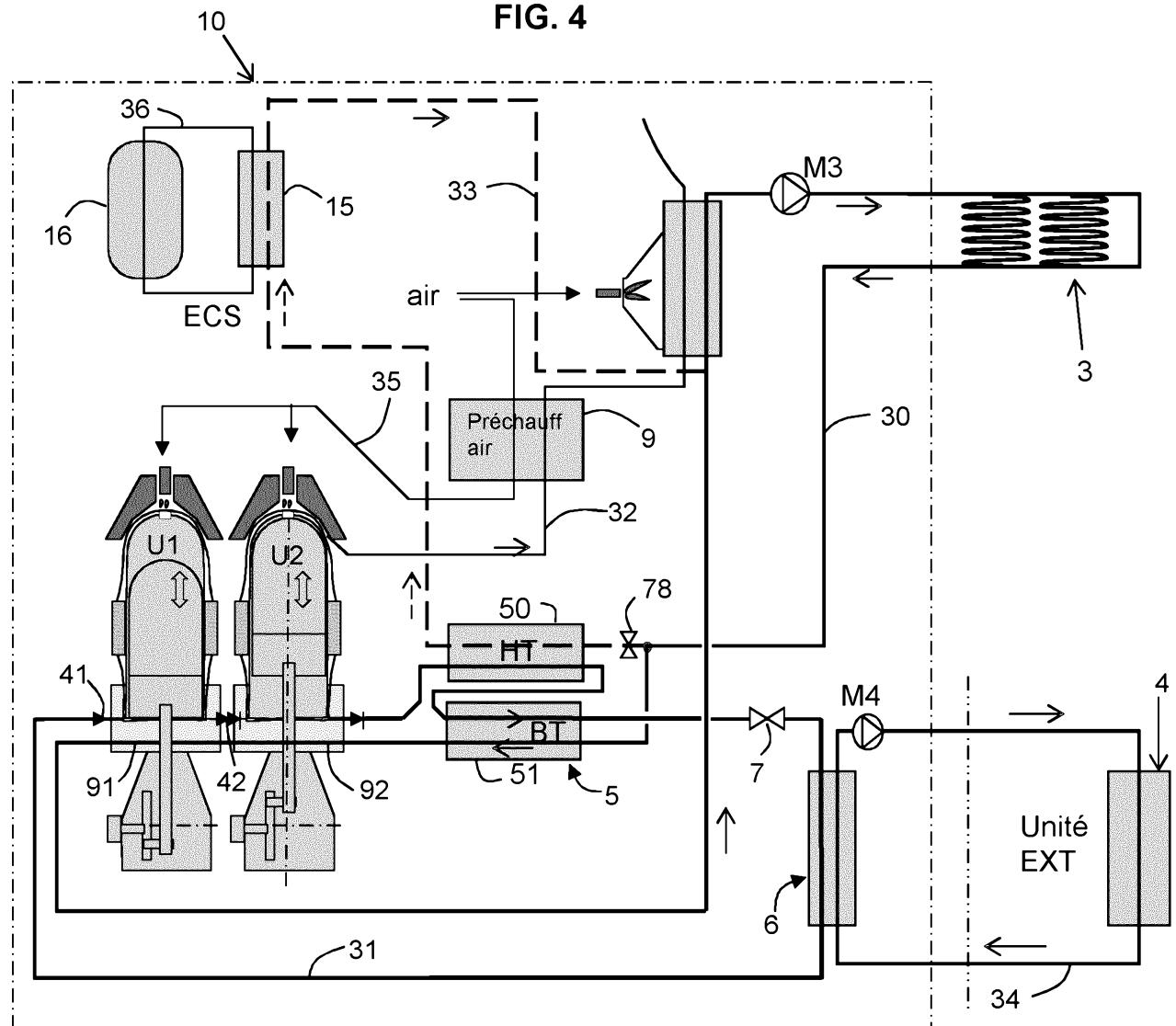


FIG. 5

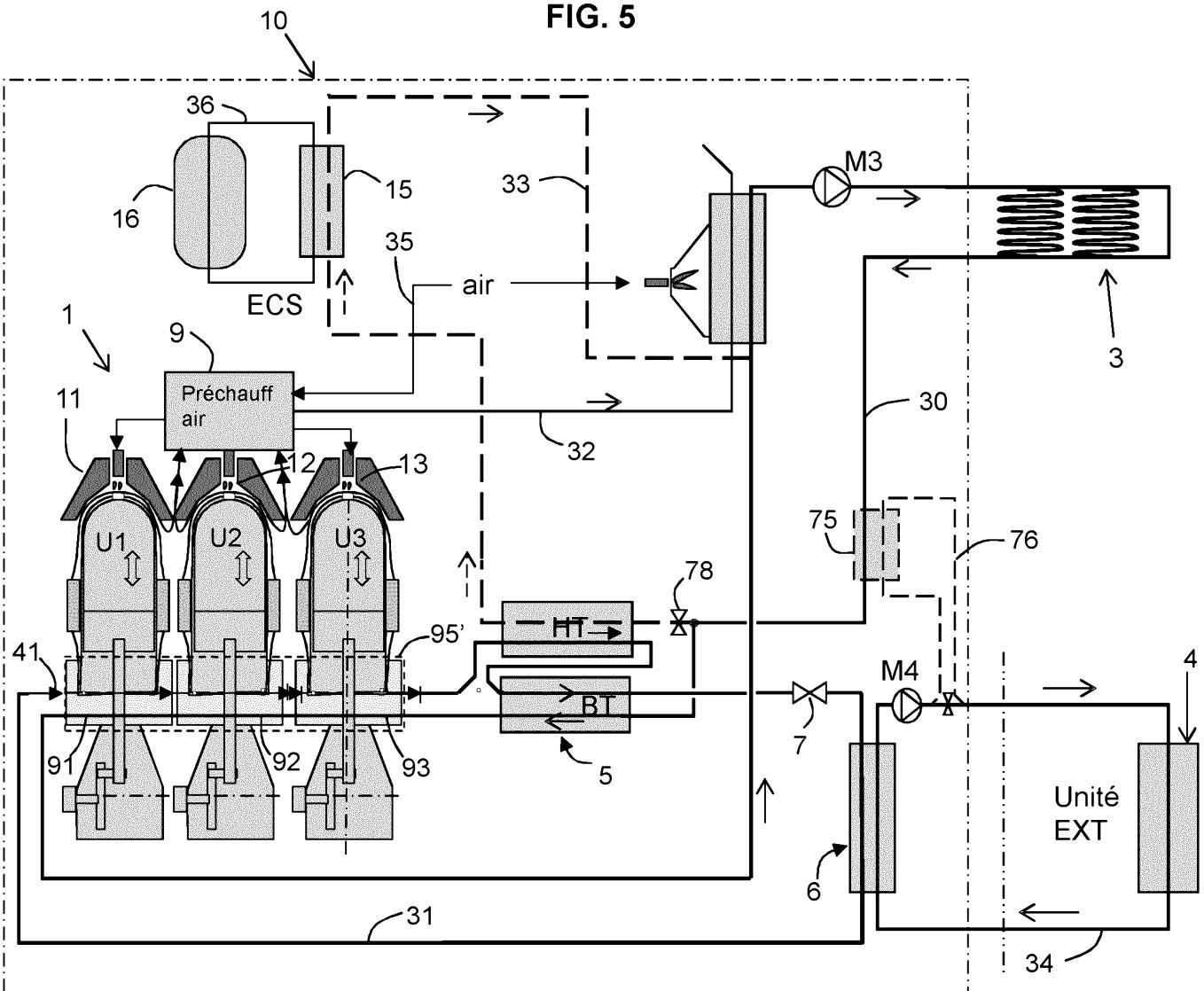


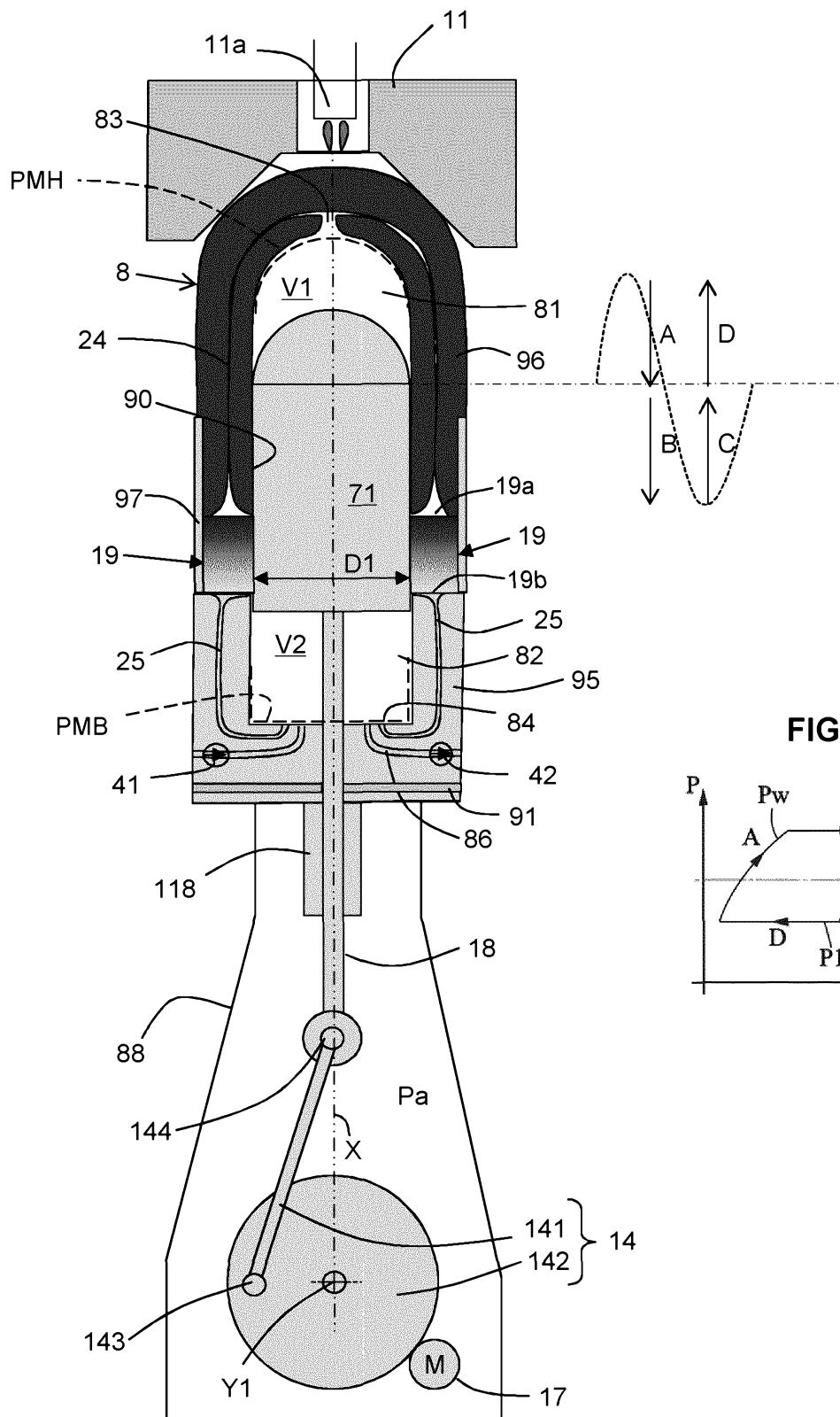
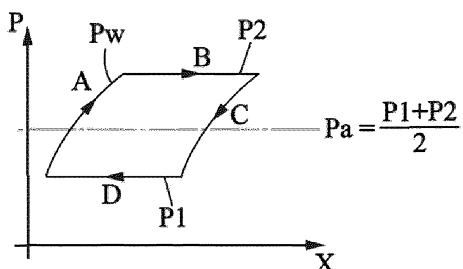
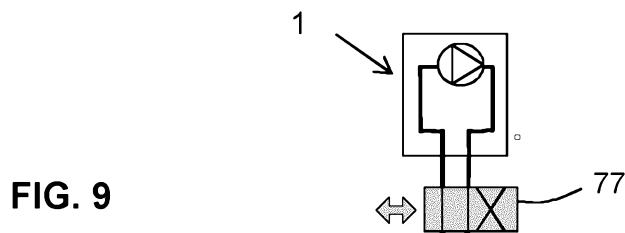
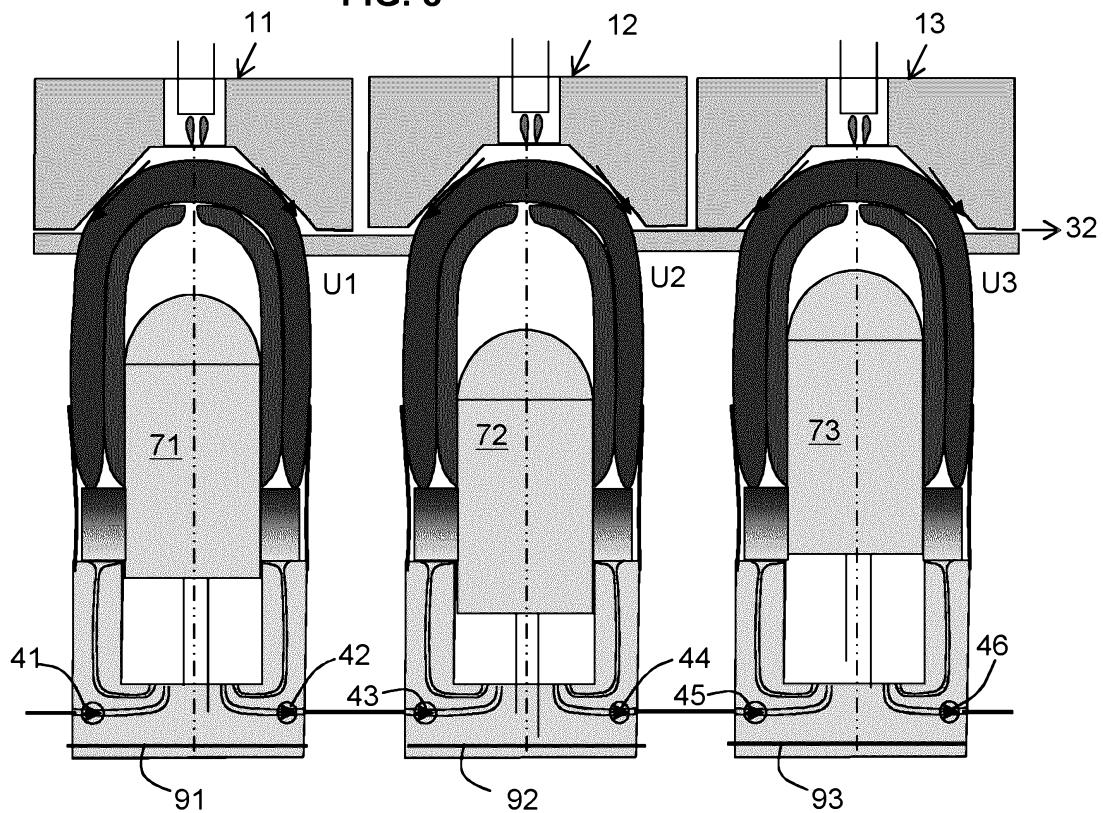
FIG. 6**FIG. 7**

FIG. 8**FIG. 9**

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveauté) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

[x] Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

□ Le demandeur a maintenu les revendications.

[x] Le demandeur a modifié les revendications.

□ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

□ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

□ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

[x] Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

□ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

□ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

□ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

DE 10 2011 118042 A1 (BLZ GEOTECHNIK GMBH [DE]) 16 mai 2013 (2013-05-16)

US 2 157 229 A (VANNEVAR BUSH) 9 mai 1939 (1939-05-09)

WO 2014/174199 A1 (BOOSTHEAT [FR]) 30 octobre 2014 (2014-10-30)

EP 2 273 203 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 12 janvier 2011 (2011-01-12)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT