

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 24.11.11.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 31.05.13 Bulletin 13/22.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : COOLTECH APPLICATIONS Société par actions simplifiée — FR.

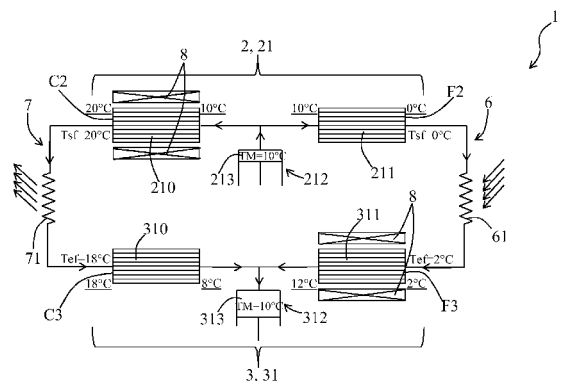
72 Inventeur(s) : MULLER CHRISTIAN.

73 Titulaire(s) : COOLTECH APPLICATIONS Société par actions simplifiée.

74 Mandataire(s) : CABINET NITHARDT ET ASSOCIES Société anonyme.

54 GENERATEUR THERMIQUE MAGNETOCALORIQUE.

57 L'invention concerne un générateur thermique magnétocalorique (1) comportant un assemblage de deux modules magnétocaloriques (2, 3) traversés par un fluide caloporteur, caractérisé en ce que les extrémités froides (F2, F3) desdits modules magnétocaloriques (2, 3) sont reliées fluidiquement par un circuit de transfert froid (6) et en ce que les extrémités chaudes (C2, C3) sont reliées fluidiquement par un circuit de transfert chaud (7). Chaque circuit de transfert (6, 7) est agencé pour modifier la température dudit fluide caloporteur de telle sorte que le fluide caloporteur sortant de l'extrémité correspondante (F2, F3) d'un des modules magnétocaloriques (2, 3) avec une température de sortie rentre dans l'extrémité correspondante (F3, F2) de l'autre module magnétocalorique (3, 2) avec une température d'entrée sensiblement égale à la température de cette extrémité, ceci pour augmenter le rendement d'un tel générateur.



GENERATEUR THERMIQUE MAGNETOCALORIQUE

Domaine technique :

- 5 La présente invention concerne un générateur thermique magnétocalorique comportant au moins un assemblage d'au moins deux modules magnétocaloriques traversés par un fluide caloporteur mis en circulation par des moyens d'entraînement.

Technique antérieure :

10

- La technologie du froid magnétique à température ambiante est connue depuis plus d'une vingtaine d'années et on connaît les avantages qu'elle apporte en termes d'écologie et de développement durable. On connaît également ses limites quant à sa puissance calorifique utile et à son rendement. Dès lors, les recherches menées dans ce
- 15 domaine tendent toutes à améliorer les performances d'un générateur thermique magnétocalorique en jouant sur les différents paramètres, tels que la puissance d'aimantation, les performances des matériaux magnétocaloriques, la surface d'échange entre le fluide caloporteur et les matériaux magnétocaloriques, la performance des échangeurs de chaleur, etc.

20

- Un générateur thermique magnétocalorique comporte des matériaux magnétocaloriques qui ont la capacité de s'échauffer sous l'action d'un champ magnétique et qui se refroidissent lorsque ce champ magnétique est retiré ou réduit. Cet effet dit effet magnétocalorique est exploité pour réaliser un gradient thermique
- 25 entre les deux extrémités dites extrémité chaude et extrémité froide d'un générateur thermique. Pour ce faire, l'on fait circuler un fluide caloporteur alternativement à travers les matériaux magnétocaloriques dans une première direction (vers l'extrémité chaude du générateur) lorsque le champ magnétique est appliqué ou augmenté, et

dans la direction opposée (vers l'extrémité froide) lorsque le champ magnétique est retiré ou diminué.

Or, le fait de réaliser un échange thermique avec une application extérieure sous la
5 forme d'un système de chauffage, de réfrigération, de climatisation, de tempérage,
etc. a pour effet de réduire et de limiter le gradient thermique au sein des matériaux
magnétocaloriques, ce qui entraîne des pertes d'énergie thermique au sein du
générateur. En effet, il est nécessaire d'utiliser une partie de l'énergie thermique
10 produite pour ré-établir un gradient thermique, ce qui réduira la puissance thermique
utile disponible. Cela est illustré en référence aux figures 1A et 1B représentant un
ensemble magnétocalorique comportant deux étages magnétocaloriques M1 et M2 et
dont l'extrémité froide est reliée thermiquement et fluidiquement à un échangeur
thermique dit échangeur froid EF et à un piston P2 et l'extrémité chaude est reliée à
un échangeur thermique dit échangeur chaud EC et à un piston P1. Un autre piston P3
15 est monté entre les deux étages. En considérant uniquement l'étage magnétocalorique
M1 situé du côté chaud, au cours d'un cycle magnétocalorique, à l'issue d'une phase
d'échauffement de l'étage magnétocalorique M1 due à l'application d'un champ
magnétique par les aimants A, le fluide sortant de l'étage magnétocalorique M1
présente une température de 20°C, traverse l'échangeur thermique EC et atteint le
20 piston P1 avec une température par exemple de 18°C suite à l'échange thermique
réalisé dans l'échangeur chaud EC (voir figure 1A). Le champ magnétique est ensuite
inversé, ainsi que le sens de déplacement du fluide, de sorte qu'à l'issue de la phase
suivante de refroidissement, le fluide traverse d'abord l'échangeur thermique EC et
arrive de ce fait dans l'étage magnétocalorique M1 à une température de 16°C due au
25 nouvel échange thermique dans l'échangeur EC (voir figure 1B). Or, la température
du fluide (16°C) étant inférieure à la température du matériau constituant l'extrémité
de l'étage magnétocalorique M1 (18°C), il y a un échange thermique qui est réalisé
lorsque le fluide arrive dans l'étage magnétocalorique M1. Cet échange fait chuter le
gradient thermique dans l'étage magnétocalorique M1 et engendre des pertes

thermiques, réduisant de ce fait l'énergie thermique utile du générateur thermique correspondant. La même démonstration s'applique pour le côté froid.

5 Un autre inconvénient à ce type de configuration concerne le nombre important de pistons ou moyens d'entraînement nécessaires pour déplacer le fluide caloporteur, ce qui engendre un volume d'encombrement important et qui nécessite une quantité importante d'énergie pour son actionnement.

10 Une solution connue pour réduire cet encombrement est représentée en figure 2. Elle consiste à rassembler les trois chambres des trois pistons des figures 1A et 1B et à réaliser un actionnement unique. Ainsi, lorsque les chambres chaude et froide de ce piston particulier P4 se remplissent, la chambre intermédiaire se vide, et inversement. Toutefois, dans cette solution, les chambres chaude, froide et intermédiaire sont positionnées à proximité les unes des autres et avec des ponts thermiques, ce qui peut
15 entraîner un échange thermique entre les différentes chambres, et a pour conséquence une dégradation de l'efficacité du générateur thermique magnéto-calorique.

Ainsi, il existe un besoin d'amélioration et d'optimisation de l'encombrement d'un générateur thermique magnéto-calorique et de ses échanges thermiques avec une ou
20 plusieurs applications extérieures.

En outre, un autre aspect susceptible d'être amélioré dans les générateurs thermiques magnéto-caloriques concerne l'énergie totale nécessaire au fonctionnement du générateur thermique magnéto-calorique, en vue d'améliorer le rendement dudit
25 générateur.

Enfin, en plus de devoir présenter une efficacité énergétique exploitable, un générateur thermique magnéto-calorique doit également présenter une taille ou un

volume d'encombrement faible permettant par exemple de l'intégrer dans un appareil domestique, un véhicule, etc.

Exposé de l'invention :

5

La présente invention a pour but répondre aux contraintes précitées et de proposer un générateur thermique magnétocalorique présentant une efficacité thermique augmentée.

10

Dans ce but, l'invention concerne un générateur thermique magnétocalorique selon le préambule, caractérisé en ce que les extrémités froides desdits modules magnétocaloriques sont reliées fluidiquement par un circuit de transfert froid emprunté par ledit fluide caloporteur et destiné à échanger thermiquement par l'intermédiaire d'un échangeur thermique avec un circuit externe, en ce que les

15

extrémités chaudes des modules magnétocaloriques sont reliées fluidiquement par un circuit de transfert chaud emprunté par ledit fluide caloporteur et destiné à échanger thermiquement par l'intermédiaire d'un échangeur thermique avec un circuit externe, en ce que ledit circuit de transfert froid est agencé pour modifier la température dudit

20

d'un des modules magnétocaloriques avec une température de sortie rentre dans l'extrémité froide de l'autre module magnétocalorique correspondant avec une température d'entrée sensiblement égale à la température de ladite extrémité froide et en ce que ledit circuit de transfert chaud est agencé pour modifier la température dudit

25

d'un desdits modules magnétocaloriques avec une température de sortie rentre dans l'extrémité chaude de l'autre module magnétocalorique correspondant avec une température d'entrée sensiblement égale à la température de ladite extrémité chaude.

Par l'expression sensiblement égale, on comprend que la température du fluide caloporteur est égale à la température de l'extrémité en question avec une différence maximale de température correspondant à quarante pourcent de l'effet magnétocalorique (dépendant lui-même du champ magnétique).

5

Selon l'invention, lesdits modules magnétocaloriques peuvent comporter au moins un sous-module magnétocalorique comprenant au moins deux étages magnétocaloriques et dans lesdits modules magnétocaloriques, lesdits sous-modules peuvent être montés en parallèle.

10

Les étages magnétocaloriques peuvent être constitués par des matériaux magnétocaloriques agencés pour que l'effet magnétocalorique est sensiblement le même dans tous les étages magnétocaloriques. Par effet magnétocalorique, on comprend le saut ou décalage en température d'un étage magnétocalorique lorsqu'il change de phase magnétique, c'est-à-dire qu'il subit une aimantation et s'échauffe ou subit une désaimantation et se refroidit.

15

En outre, lesdits moyens d'entraînement du fluide caloporteur peuvent être reliés fluidiquement auxdits étages magnétocaloriques d'au moins un sous-module magnétocalorique. De préférence, lesdits moyens d'entraînement peuvent être reliés entre les extrémités consécutives des étages magnétocaloriques qui ne sont pas situées au niveau des cotés froid et chaud des modules magnétocaloriques.

20

Dans une variante de réalisation, lesdits moyens d'entraînement peuvent être réalisés sous la forme de pistons à simple effet et la chambre de chaque piston peut être reliée fluidiquement aux étages magnétocaloriques de chaque sous-module magnétocalorique d'un module magnétocalorique.

25

Dans une autre variante, lesdits moyen d'entraînement peuvent être réalisés sous la forme d'un piston à double effet, chaque chambre dudit piston pouvant être reliée fluidiquement aux étages magnéto-caloriques de chaque sous-module magnéto-calorique d'un module magnéto-calorique.

5

Les échangeurs thermiques peuvent être agencés pour que la différence de la température d'entrée du fluide caloporteur dans un échangeur avec sa température de sortie est sensiblement égale à la variation de température du fluide caloporteur au contact d'un étage magnéto-calorique.

10

Par l'expression sensiblement égale, on comprend que les deux valeurs précitées sont égales avec une différence maximale correspondant à quarante pourcent de l'effet magnéto-calorique.

15

Il en résulte qu'à tout instant du cycle magnéto-calorique, la température moyenne du fluide caloporteur rentrant dans la chambre d'un piston est égale à la température moyenne du fluide caloporteur sortant des autres chambres de piston.

20

Le générateur selon l'invention peut en outre comporter un système magnétique agencé pour soumettre les étages magnéto-caloriques à un champ magnétique variable pour que les étages magnéto-caloriques situés à l'extrémité froide et les étages magnéto-caloriques situés à l'extrémité chaude sont constamment dans une phase différente d'échauffement ou de refroidissement.

25

Description sommaire des dessins :

La présente invention et ses avantages apparaîtront mieux dans la description suivante de modes de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels:

- les figures 1A et 1B représentent schématiquement un ensemble magnéto-calorique selon l'art antérieur aux cours de deux phases successives d'un cycle magnéto-calorique,
- la figure 2 représente un autre ensemble magnéto-calorique selon l'art antérieur,
- 5 - la figure 3 est une vue schématique d'un ensemble magnéto-calorique selon l'invention, dans une première phase d'un cycle magnéto-calorique,
- la figure 4 représente l'ensemble magnéto-calorique de la figure 3 dans la phase suivante du cycle magnéto-calorique,
- la figure 5 est une vue schématique d'un ensemble magnéto-calorique selon une
10 variante de l'invention, et
- la figure 6 est une vue schématique d'un ensemble magnéto-calorique selon une autre variante de l'invention.

Illustrations de l'invention :

15

Dans les exemples de réalisation illustrés, les pièces ou parties identiques portent les mêmes références numériques.

20

La figure 3 représente un assemblage de deux modules magnéto-caloriques 2, 3 d'un générateur thermique 1 selon l'invention. Chaque module magnéto-calorique 2, 3 comporte deux étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311. Chaque étage magnéto-calorique 210, 211, 310, 311 comporte au moins un matériau magnéto-calorique ayant la capacité de se refroidir et de s'échauffer sous l'effet de variations d'un champ magnétique.

25

Dans l'exemple de réalisation décrit en référence à la figure 3, les modules magnéto-caloriques 2, 3 comportent un seul sous-module 21, 31 comportant à son tour les deux étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311. L'invention n'est toutefois pas liée à l'intégration de deux étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 dans

chaque sous-module magnétocalorique 21, 31. Il est envisageable d'intégrer un nombre supérieur de tels étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311. De la même manière, il est possible d'intégrer au moins deux sous-modules magnétocaloriques reliés en parallèle dans chaque module magnétocalorique. Une telle configuration est plus particulièrement représentée dans les figures 5 et 6.

Les étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311 sont reliés fluidiquement par un fluide caloporteur, de préférence un liquide. A cet effet, les étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311 sont perméables au fluide caloporteur et comportent des passages de fluide débouchants obtenus par un assemblage de plaques de matériau(x) magnétocalorique(s) espacées les unes des autres. Toute autre forme de réalisation permettant au fluide caloporteur de traverser lesdits étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311 peut, bien entendu, convenir. En outre, l'invention n'est pas limitée à l'utilisation d'étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311 dont la structure est rectiligne tel que cela est représenté dans les figures annexées 3 à 6, mais s'étend à toute autre structure telle que circulaire ou une structure combinée circulaire/rectiligne.

Selon l'invention, la configuration particulière décrite ci-après consistant à relier fluidiquement les deux modules magnétocaloriques 2, 3 par deux circuits de transfert 6 et 7 permet de réaliser des échanges thermiques avec deux circuits extérieurs sans dégrader le gradient de température établi dans chacun desdits étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311.

A cet effet, les étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311 de chaque sous-module magnétocalorique 21, 31 sont reliés entre eux par un circuit de fluide caloporteur pourvu d'un piston 212, 312 simple effet disposé entre les deux étages magnétocaloriques 210, 211, 310, 311 d'un sous-module magnétocalorique 21, 31 pour faire circuler le fluide caloporteur. En d'autres termes, la chambre 213, 313 de

chaque piston 212, 312 est reliée fluidiquement à tous les étages magnéto-caloriques 210, 212, respectivement 310, 311 d'un module magnéto-calorique 2, 3. Dans chaque sous-module magnéto-calorique 21, 31, les deux étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 sont constamment dans une phase magnétique différente, c'est-à-dire que lorsqu'un desdits étages magnéto-caloriques 210, 311 subit une élévation de température due à l'application d'un champ magnétique, l'autre étage magnéto-calorique 211, 310, subit une diminution de sa température due au retrait ou à la diminution du champ magnétique. Le fluide caloporteur circule à cet effet simultanément dans deux directions opposées dans les étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 correspondants de chaque sous-module magnéto-calorique 21, 31. Un tel fonctionnement est décrit plus précisément dans la demande de brevet FR 2 937 793 au nom de la demanderesse qui est incorporée par référence.

Ainsi, en comparaison avec les générateurs de l'art antérieur décrits ci-dessus et illustrés aux figures 1A et 1B, les moyens d'entraînement du fluide ou pistons 212, 312 sont montés uniquement entre les étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 des sous-modules 21, 31. Cela permet de réduire le nombre de pistons ou dispositifs aptes à déplacer le fluide caloporteur et donc de réduire le nombre de composants du générateur, ainsi que son encombrement et son coût. Un générateur thermique 1 selon l'invention, représenté aux figures 3 et 4, comporte deux pistons 212, 312 pour quatre étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311, tandis que dans certains des générateurs connus, six pistons sont utilisés pour déplacer le fluide caloporteur à travers quatre étages thermiques. De ce fait, dans cette configuration, l'énergie nécessaire au déplacement du fluide caloporteur est également réduite, permettant une amélioration du rendement du générateur. Enfin, un tel générateur thermique 1 permet, tout en étant compact et utilisant un nombre de composants limité, de supprimer les ponts thermiques entre les différentes chambres des pistons.

Les étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 comportent des matériaux magnéto-caloriques aptes à établir un gradient de température entre leurs deux extrémités d'entrée et de sortie du fluide caloporteur. Ce gradient est obtenu grâce à la succession de cycles magnéto-caloriques qui consistent à :

- 5 - appliquer un champ magnétique sur un étage magnéto-calorique, ce qui entraîne un échauffement de ce dernier puis à faire circuler le fluide caloporteur de l'extrémité dite "extrémité froide" vers l'extrémité dite "extrémité chaude" de l'étage magnéto-calorique (première phase du cycle), puis
- 10 - à retirer ou à diminuer (le champ magnétique, ce qui entraîne un refroidissement de l'étage magnéto-calorique, puis à faire circuler le fluide caloporteur de l'extrémité chaude vers l'extrémité froide de l'étage magnéto-calorique (deuxième phase du cycle).

15 Dans chaque sous-module magnéto-calorique 21, 31, les étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 présentent des matériaux magnéto-caloriques différents aptes à réaliser des gradients de température décalés et les étages thermiques 210, 211, 310, 311 sont montés dans les sous-modules 21, 31 de telle sorte que l'étage thermique 211, 311 comportant l'extrémité la plus froide F2, respectivement F3 est monté du

20 côté froid du générateur (côté situé à droite sur les figures 3 et 4) et est directement relié au circuit de transfert 6 froid et que l'étage thermique 210, 310 comportant l'extrémité la plus chaude C2, respectivement C3 est monté du côté chaud du

 générateur (côté situé à gauche sur les figures 3 et 4) et est directement relié au circuit de transfert 7 chaud.

25

Les étages magnéto-caloriques 211, 311 situés du côté froid du générateur thermique 1 ont sensiblement le même gradient thermique et le même effet magnéto-calorique, c'est-à-dire qu'en régime établi, d'une part, la différence de température entre les deux extrémités des étages 211, 311 est la même et que, d'autre part, le décalage de

température ou saut de température des matériaux constituant ces étages magnéto-caloriques 211, 311 est le même pour un même cycle magnétique . Il en est de même pour les étages magnéto-caloriques 210, 310 situés du côté chaud du générateur thermique 1. En outre, l'effet magnéto-calorique, à savoir le saut ou
5 décalage de température dû à la variation de champ magnétique est sensiblement le même pour tous les étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 de ce générateur thermique 1.

Les étages magnéto-caloriques 210, 211 et 310, 311 respectivement des extrémités
10 chaudes et froides sont reliés fluidiquement par un circuit de transfert 7, 6 comprenant un échangeur thermique 71, 61 respectivement chaud et froid. Les deux étages magnéto-caloriques 210, 310 et 211, 311 reliés par un circuit de transfert 7, 6 sont également constamment dans une phase magnétique différente, c'est-à-dire que lorsqu'un desdits étages magnéto-caloriques 210, 311 est soumis à un champ
15 magnétique (par exemple d'une intensité de 1,2 Teslas), l'autre étage magnéto-calorique 310, 211 auquel il est relié par le circuit de transfert 7, 6 n'est soumis à aucun champ magnétique, et inversement.

Le changement d'intensité du champ magnétique appliqué aux étages
20 magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 peut être réalisé par un système magnétique 8 comportant des aimants permanents associés ou non à des pièces polaires et en déplacement relatif par rapport auxdits étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311, ou par une bobine alimentée électriquement, ou par tout autre moyen équivalent.

Les échangeurs 61, 71 des circuits de transfert 6, 7, réalisent un échange thermique
25 contrôlé entre le côté froid du générateur et un premier circuit extérieur (non représenté) et entre le côté chaud du générateur et un second circuit extérieur (non représenté). En effet, et selon l'invention, les échangeurs thermiques 61, 71 sont paramétrés pour échanger avec les circuits extérieurs, en cours de fonctionnement,

une quantité d'énergie correspondant de préférence à la différence de température entre les deux extrémités correspondantes des étages magnéto-caloriques 210, 211 et 310, 311 reliés par le circuit de transfert 6, 7. Ce paramétrage est réalisé grâce aux surfaces d'échange dans l'échangeur 61, 71, au choix des fluides ou liquides caloporteurs en terme de capacité d'échange, au débit de ces fluides de telle sorte que l'énergie échangée dans l'échangeur 61, 71 avec fluide caloporteur circulant dans le générateur thermique 1 selon l'invention, correspond à une partie de la différence de la température de ce fluide caloporteur lorsqu'il entre dans un étage magnéto-calorique 210, 211, 310, 311 subissant l'effet magnéto-calorique et la température de ce fluide lorsqu'il en sort.

Une telle mesure permet de rapprocher au mieux la température du fluide caloporteur ayant traversé le circuit de transfert 6, 7 avec la température de l'extrémité de l'étage magnéto-calorique correspondant 210, 211, 310, 311. Il en résulte que, d'une part, le fluide caloporteur ne perturbera pas le gradient thermique dans l'étage magnéto-calorique 210, 211, 310, 311 concerné et, d'autre part, que l'énergie thermique échangée avec l'extérieur soit exploitée positivement et n'engendre pas une perte d'efficacité du générateur thermique 1.

Les figures 3 et 4 représentent à cet effet les deux phases du cycle magnéto-calorique des étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 et indiquent les températures obtenues lors du fonctionnement du générateur thermique 1 selon l'invention (les températures des matériaux magnéto-caloriques formant les extrémités des étages magnéto-caloriques sont soulignées). Les sous-modules 21 et 31 sont reliés fluidiquement et par l'intermédiaire des échangeurs thermiques 61, 71 et leurs étages magnéto-caloriques 210, 211, 310, 311 sont soumis à une sollicitation magnétique inverse.

En considérant la figure 3, l'on constate qu'en régime établi, à l'issue de l'échauffement de l'étage magnéto-calorique 210 dû à l'application d'un champ magnétique par le système magnétique 8, le fluide caloporteur sortant de l'étage magnéto-calorique 210 à la température T_{sf} de 20°C traverse l'échangeur thermique 71 du circuit de transfert chaud 7. Il rentre ensuite dans l'étage magnéto-calorique 310 à la température T_{ef} de 18°C , qui correspond, grâce à l'échange thermique contrôlé réalisé dans l'échangeur 71, à la température du matériau constituant l'extrémité correspondante de l'étage magnéto-calorique 310 qui a subi un refroidissement. Le fluide sort de l'étage magnéto-calorique 310 avec une température de 8°C puis est mené jusqu'à la chambre commune 313 du piston 312. Simultanément, le fluide sortant à la température T_{sf} de 0°C de l'étage magnéto-calorique 211 ayant subi un refroidissement, traverse l'échangeur thermique 61 du circuit de transfert 6 froid et intègre l'étage magnéto-calorique 311 à la température T_{ef} de 2°C , qui correspond à la température du matériau constituant l'extrémité correspondante de l'étage magnéto-calorique 311 qui a subi un échauffement. Le fluide caloporteur sort de l'étage magnéto-calorique 311 avec une température de 12°C puis est mené jusqu'à la chambre commune 313 du piston 312 et est mélangé avec le fluide issu de l'étage magnéto-calorique 311. La température moyenne T_M du fluide de cette chambre commune correspond de ce fait à 10°C .

20

Lors de la phase suivante représentée à la figure 4, à l'issue de l'échauffement de l'étage magnéto-calorique 310 dû à l'application d'un champ magnétique, le fluide entrant dans cet étage magnéto-calorique 310 est à la température de 10°C (correspondant à la température de la chambre commune 313 et à celle du matériau constituant l'extrémité correspondante de l'étage magnéto-calorique 310 ayant subi une élévation de température de 2°C due à l'effet magnéto-calorique). Le fluide sort de cet étage magnéto-calorique 310 à la température T_{sf} de 20°C , traverse l'échangeur thermique 71 et rentre dans l'étage magnéto-calorique 210 à la température T_{ef} de 18°C , qui correspond à la température du matériau constituant l'extrémité

25

correspondante de cet étage magnétocalorique 210 qui a subit un cycle de refroidissement. Le fluide sort de cet étage magnétocalorique 210 à la température de 8°C puis est mené jusqu'à la chambre commune 213 du piston 212. Simultanément, le fluide entrant dans l'étage magnétocalorique 311 est à la température de 10°C (correspondant à la température de la chambre 313 du piston 312 et à celle du matériau constituant l'extrémité correspondante de l'étage magnétocalorique 311 ayant subit une diminution de température de 2°C due à l'effet magnétocalorique). Le fluide sort de cet étage magnétocalorique 311 à la température T_{sf} de 0°C, traverse l'échangeur thermique 61 et rentre dans l'étage magnétocalorique 211 à la température T_{ef} de 2°C, qui correspond à la température du matériau constituant l'extrémité correspondante de l'étage magnétocalorique 211 qui a subit un échauffement. Le fluide sort de l'étage magnétocalorique 211 à la température de 12°C puis est mené jusqu'à la chambre commune 213 du piston 212. La température moyenne du fluide dans cette chambre commune 213 correspond de ce fait à 10°C.

15

L'on constate que grâce à l'invention, le passage du fluide caloporteur dans les échangeurs thermiques 61, 71 permet de mettre ce fluide à une température correspondant sensiblement à la température du matériau formant l'extrémité de l'étage magnétocalorique que va traverser le fluide. De ce fait, l'échange thermique avec les applications extérieures, aussi bien du côté chaud que du côté froid, n'a pas d'incidence sur le gradient thermique du générateur thermique 1 et n'engendre de ce fait aucune perte thermique, comme cela est le cas dans les générateurs similaires connus. Bien entendu, il est nécessaire d'isoler thermiquement le circuit fluide pour garantir ce résultat.

25

En outre, cette configuration avec deux modules magnétocaloriques 2 et 3 reliés au niveau de leurs extrémités par des circuits de transfert froid 6 et chaud 7, associée à une distribution de fluide réalisée uniquement entre les étages magnétocaloriques 210,

211, 310, 311, permet d'obtenir sensiblement la même température de fluide dans les chambres 213 et 313 des pistons 212 et 312.

5 Une variante de réalisation est représentée à la figure 5. Le générateur thermique 10 présente un assemblage de deux modules magnétocaloriques 4 et 5 comportant chacun trois sous-modules magnétocaloriques 41, 42, 43 et 51, 52, 53, reliés en parallèle entre eux dans les modules 4, 5 correspondants. Les deux modules magnétocaloriques 4 et 5 sont reliés par un circuit de transfert 6 froid à leurs extrémités froides F4 et F5 et par un circuit de transfert 7 chaud à leurs extrémités
10 chaudes C4 et C5. Deux pistons simple effet 412 et 512 mettent en circulation le fluide caloporteur à travers le générateur thermique 10. A cet effet, la chambre 413, respectivement 513, de chaque piston 412, respectivement 512, est reliée à tous les étages magnétocaloriques 410, 411, 420, 421, 430, 431 respectivement 510, 511, 520, 520, 530, 531 d'un module magnétocalorique 4, respectivement 5. Une telle
15 configuration, bien que comportant plus d'étages magnétocaloriques, reste compacte, ne nécessite pas plus de moyens d'entraînement du fluide caloporteur que le générateur thermique 1 des figures 3 et 4 et présente les mêmes avantages que ceux décrits en regard dudit générateur thermique 1.

20 Une autre variante de réalisation est représentée à la figure 6. Elle illustre un générateur thermique 100 se distinguant du générateur thermique 10 de la figure 5 par le moyen d'entraînement du fluide caloporteur. En effet, un seul piston 422 met en circulation le fluide caloporteur à travers ce générateur thermique 100. Ce piston 422 est à double effet et comporte deux chambres 423 et 523 dont chacune est reliée à
25 tous les étages magnétocaloriques 410, 411, 420, 421, 430, 431 respectivement 510, 511, 520, 520, 530, 531 d'un module magnétocalorique 4, respectivement 5. En d'autres termes, un unique moyen d'entraînement sous la forme d'un piston à double effet 422 dont chaque chambre 423, 523 communique avec tous les étages magnétocaloriques 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531 des

- deux modules magnéto-caloriques 4, 5 réalise l'entraînement du fluide caloporteur. Une telle configuration est possible car, comme cela a été indiqué plus haut, la température du fluide caloporteur est sensiblement la même dans les deux chambres 423 et 523 du piston 422, de sorte que les ponts thermiques existant entre les deux
- 5 chambres 423 et 523 adjacentes seront très limités (moins de $0,1^{\circ}\text{C}$) et n'auront pas d'effet négatif sur le rendement du générateur thermique 100. Bien entendu, ce générateur thermique 100 présente les mêmes avantages que ceux décrits en regard du générateur thermique 10 représenté à la figure 5.
- 10 Un générateur thermique 1, 10, 100 tel que décrit permet de ce fait d'optimiser à la fois ses échanges thermiques et son encombrement ce, tout en améliorant ses performances par rapport à l'art antérieur.

Possibilités d'application industrielle :

- 15 Il ressort clairement de cette description que l'invention permet d'atteindre les buts fixés, à savoir échanger de l'énergie thermique avec l'extérieur du générateur thermique magnéto-calorique sans dégrader l'énergie disponible ni le gradient de température dans les différents étages magnéto-caloriques afin d'améliorer le
- 20 rendement du générateur. Cela est rendu possible par la présence de la liaison fluide et de l'échange thermique contrôlé entre les deux modules magnéto-caloriques 2, 3 et 4, 5 travaillant en opposition et reliés à leurs extrémités chaudes C2, C3, C4, C5 et froides F2, F3, F4, F5 par un circuit de transfert chaud 7 et un circuit de transfert froid 6 permettant d'intervenir de manière appropriée sur la
- 25 température du fluide caloporteur.

En outre, le générateur thermique 1, 10, 100 selon l'invention présente un encombrement limité et nécessite moins de composants pour l'entraînement du fluide caloporteur que les générateurs connus de l'art antérieur, et donc moins d'énergie pour

actionner ces moyens d'entraînement. En outre, le générateur selon l'invention permet également d'optimiser son rendement en évitant les effets négatifs des ponts thermiques dans les moyens d'entraînement du fluide caloporteur.

- 5 La présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits mais s'étend à toute modification et variante évidentes pour un homme du métier tout en restant dans l'étendue de la protection définie dans les revendications annexées. En particulier, bien que les exemples de réalisation décrits comportent un unique assemblage de deux modules magnétocaloriques 3, 4, 5, 6, l'invention prévoit
- 10 également la possibilité d'augmenter le nombre d'assemblages dans un même générateur, pour augmenter la puissance thermique de ce dernier ou la différence de température entre ses extrémités chaude et froide.

Revendications

1. Générateur thermique magnétocalorique (1, 10, 100) comportant au moins un assemblage d'au moins deux modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5) traversés par un
5 fluide caloporteur mis en circulation par des moyens d'entraînement, caractérisé en ce que les extrémités froides (F2, F3, F4, F5) desdits modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5) sont reliées fluidiquement par un circuit de transfert froid (6) emprunté par ledit fluide caloporteur et destiné à échanger thermiquement par l'intermédiaire d'un échangeur thermique (61) avec un circuit externe, en ce que les extrémités chaudes
10 (C2, C3, C4, C5) desdits modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5) sont reliées fluidiquement par un circuit de transfert chaud (7) emprunté par ledit fluide caloporteur et destiné à échanger thermiquement par l'intermédiaire d'un échangeur thermique (71) avec un circuit externe, en ce que ledit circuit de transfert froid (6) est agencé pour modifier la température dudit fluide caloporteur de telle sorte que le
15 fluide caloporteur sortant de l'extrémité froide (F2, F3, F4, F5) d'un des modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5) avec une température de sortie rentre dans l'extrémité froide (F3, F2, F5, F4) de l'autre module magnétocalorique correspondant (3, 2, 5, 4) avec une température d'entrée sensiblement égale à la température de ladite extrémité froide (F3, F2, F5, F4), et en ce que ledit circuit de transfert chaud (7) est agencé
20 pour modifier la température dudit fluide caloporteur de telle sorte que le fluide caloporteur sortant de l'extrémité chaude (C2, C3, C4, C5) d'un des modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5) avec une température de sortie rentre dans l'extrémité chaude (C3, C2, C5, C4) de l'autre module magnétocalorique correspondant (3, 2, 5, 4) avec une température d'entrée sensiblement égale à la température de ladite
25 extrémité chaude (C3, C2, C5, C4).

2. Générateur, selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5) comportent au moins un sous-module magnétocalorique (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53) comprenant au moins deux étages

magnétocaloriques (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531) et en ce que, dans lesdits modules magnétocaloriques (2, 3, 4, 5), lesdits sous-modules magnétocaloriques (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53) sont montés en parallèle.

5

3. Générateur, selon la revendication 2, caractérisé en ce que les étages magnétocaloriques (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531) sont constitués par des matériaux magnétocaloriques agencés pour que l'effet magnétocalorique est sensiblement le même dans tous les étages magnétocaloriques (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531).

10

4. Générateur, selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens d'entraînement (212, 312, 412, 512, 422) du fluide caloporteur sont reliés fluidiquement auxdits étages magnétocaloriques (201, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 43, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531) d'au moins un sous-module magnétocalorique (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53).

15

5. Générateur (1, 10), selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits moyens d'entraînement (212, 312, 412, 512) sont réalisés sous la forme de pistons à simple effet et en ce que la chambre (213, 313, 413, 513) de chaque piston est reliée fluidiquement auxdits étages magnétocaloriques (201, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431 ; 510, 511, 520, 521, 530, 531) de chaque sous-module magnétocalorique (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53) d'un module magnétocalorique (2, 3, 4, 5).

20

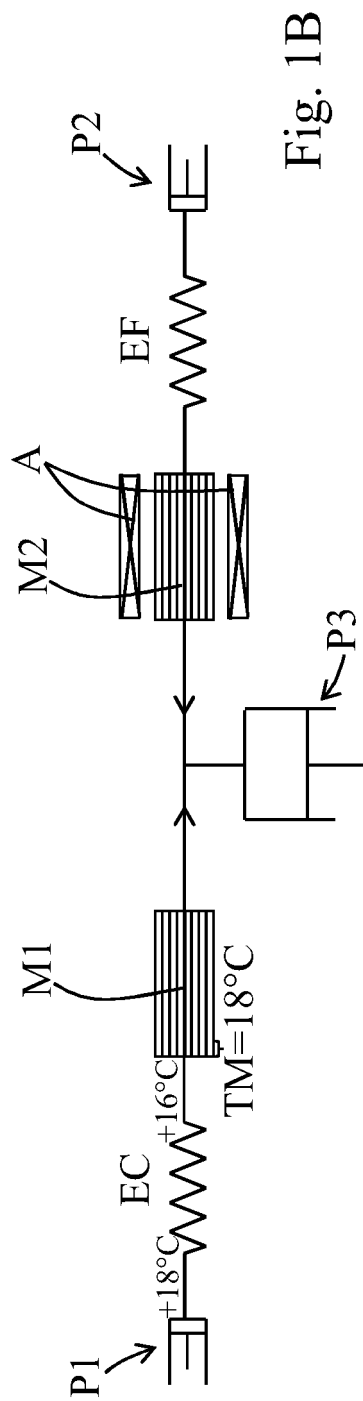
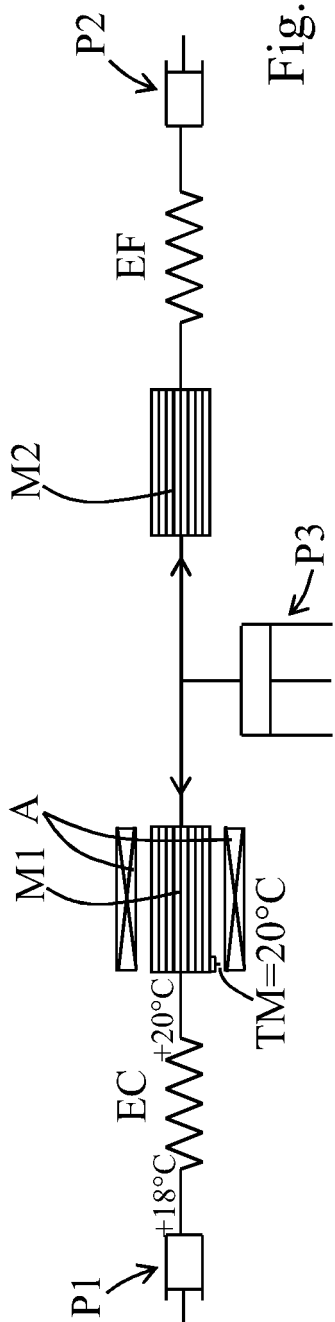
25

6. Générateur (100), selon la revendication 4, caractérisé en ce que lesdits moyens d'entraînement (422) sont réalisés sous la forme d'un piston à double effet, et en ce que chaque chambre (423, 523) dudit piston (422) est reliée fluidiquement auxdits

étages (410, 411, 420, 421, 430, 431 ; 510, 511, 520, 521, 530, 531) de chaque sous-module magnétocalorique (21, 31, 41, 42, 43, 51, 52, 53) d'un module magnétocalorique (4, 5).

5 7. Générateur, selon la revendication 3, caractérisé en ce que les échangeurs thermiques (61, 71) sont agencés pour que la différence de la température d'entrée du fluide caloporteur dans un échangeur (61, 71) avec sa température de sortie est sensiblement égale à la variation de température du fluide caloporteur au contact d'un
10 étage magnétocalorique (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520, 521, 530, 531).

8. Générateur, selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte un système magnétique agencé pour soumettre les étages magnétocaloriques (210, 211, 310, 311, 410, 411, 420, 421, 430, 431, 510, 511, 520,
15 521, 530, 531) à un champ magnétique variable pour que les étages magnétocaloriques (211, 311, 411, 421, 431, 511, 521, 531) situés à l'extrémité froide (F2, F3, F4, F5) et les étages magnétocaloriques (410, 420, 430, 510, 520, 530) situés à l'extrémité chaude (C2, C3, C4, C5) sont constamment dans une phase différente d'échauffement ou de refroidissement.



2/6

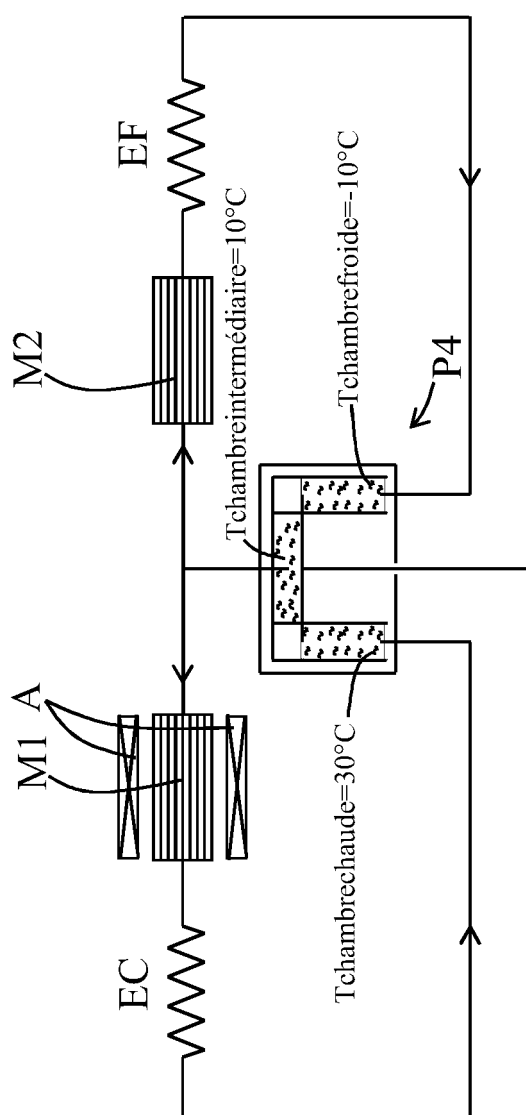


Fig. 2

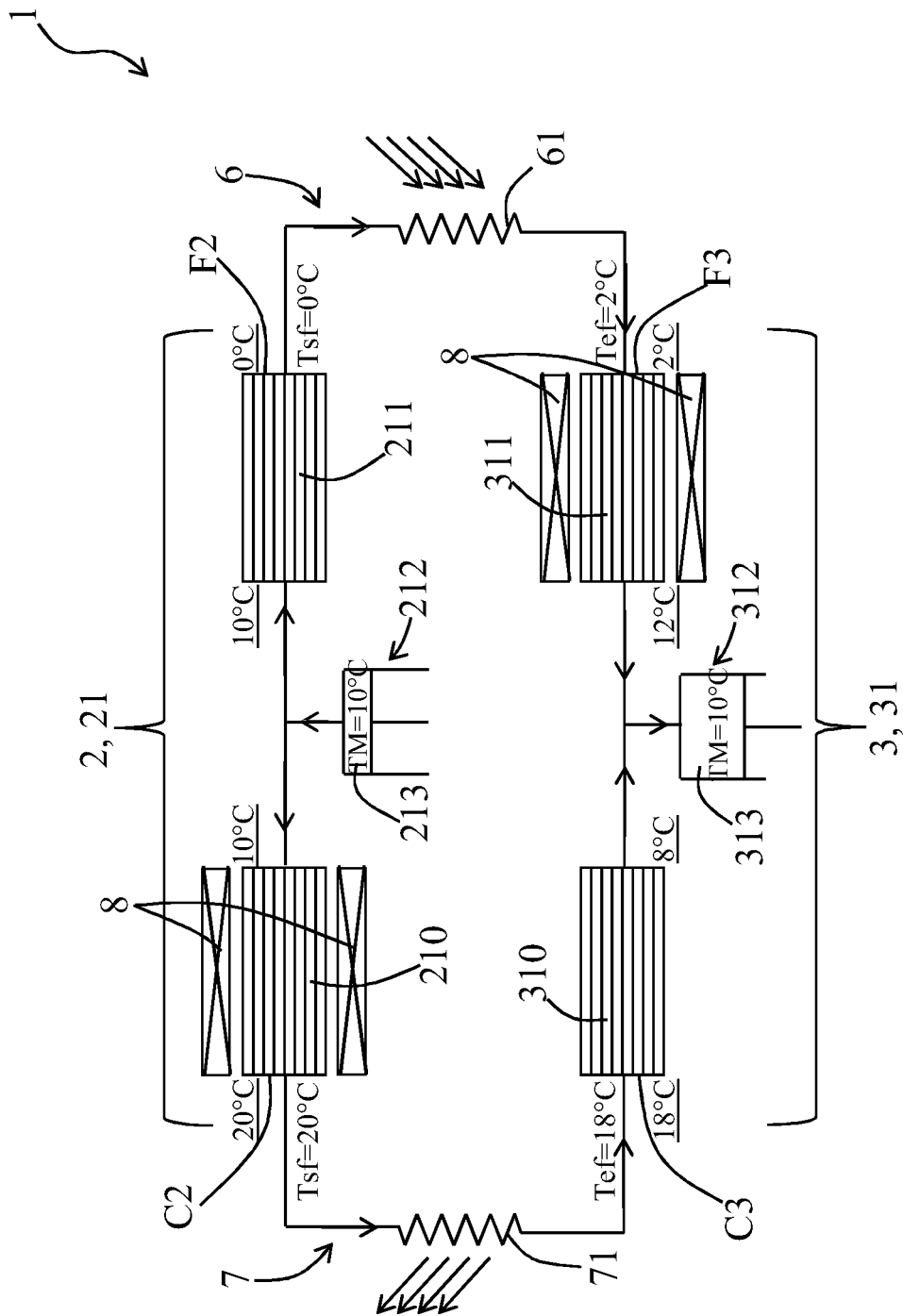


Fig. 3

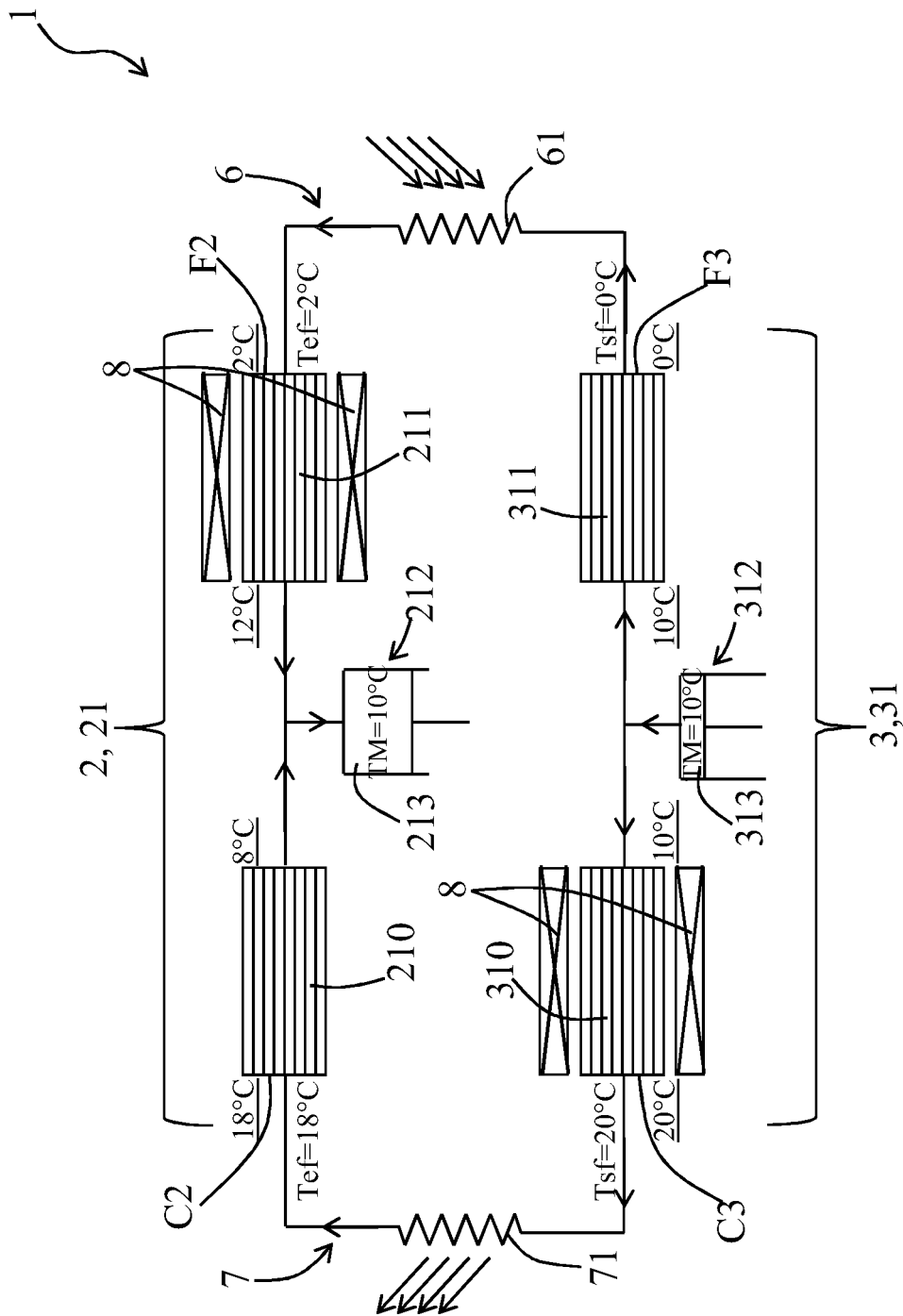


Fig. 4

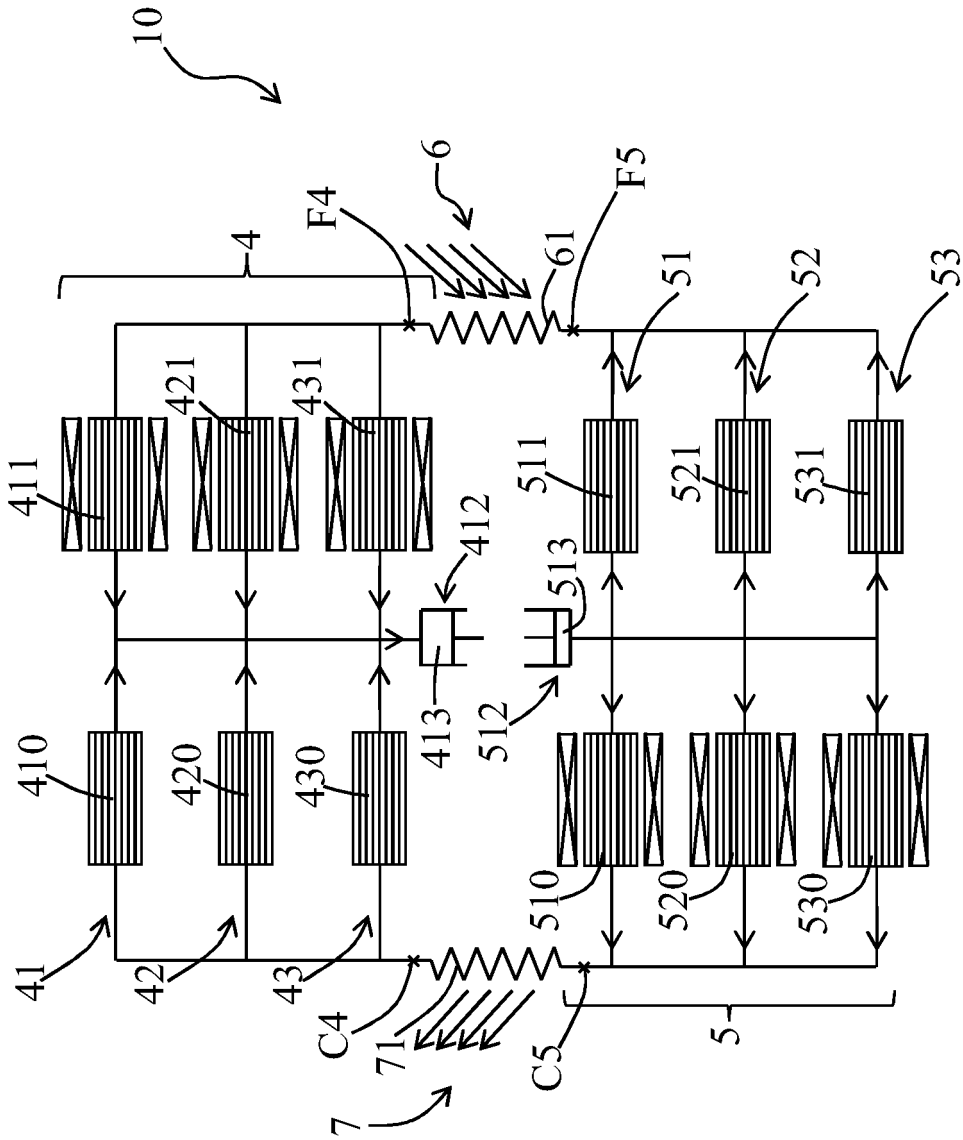


Fig. 5

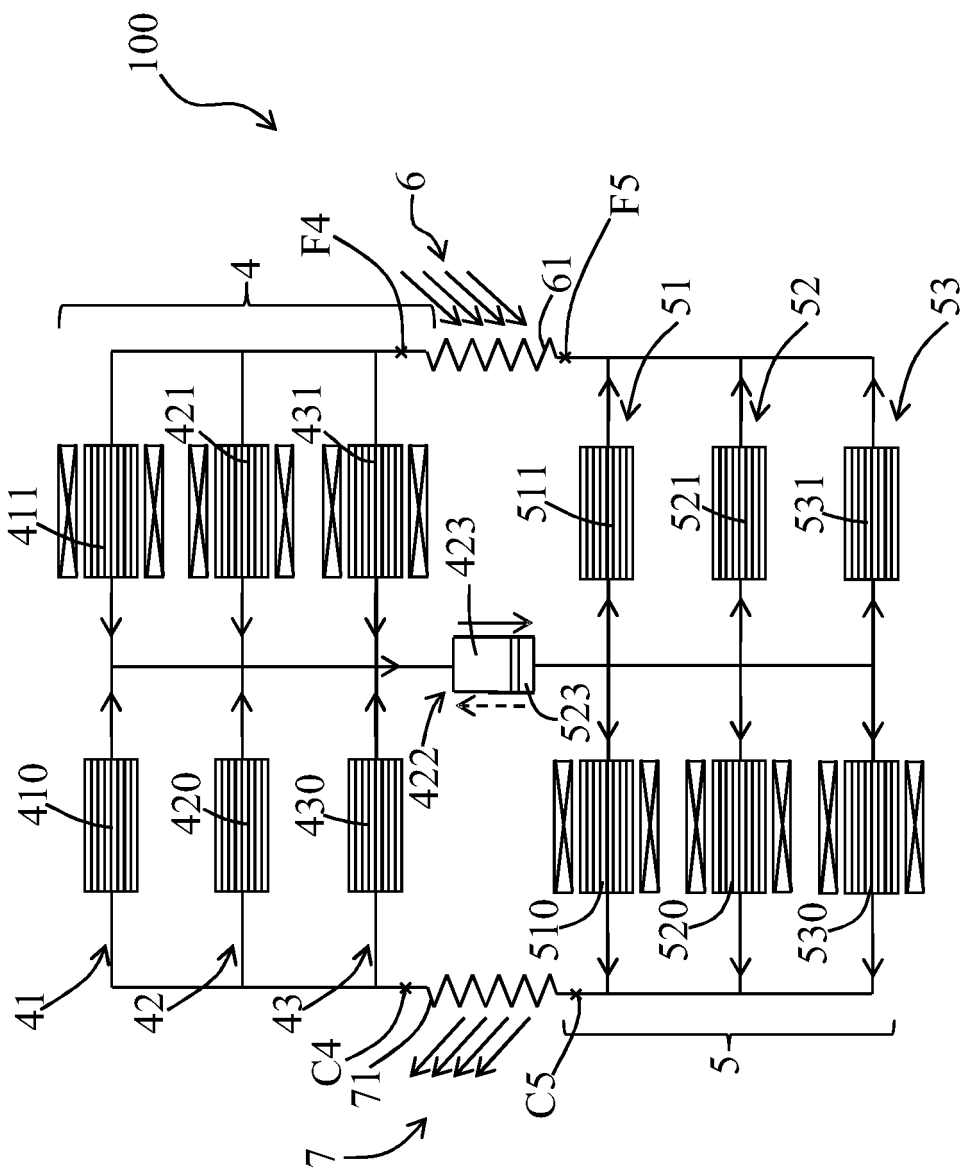


Fig. 6



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

N° d'enregistrement
national

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

FA 758364
FR 1160722

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	MULLER P: "REFRIGERATION MAGNETIQUE, UNE REVOLUTION POUR DEMAIN?", REVUE PRATIQUE DU FROID ET DU CONDITIONNEMENT D'AIR, PYC EDITION SA., PARIS, FR, no. 924, 1 avril 2004 (2004-04-01), pages 59-63, XP001190727, ISSN: 0370-6699 * figure 7 *	1-8	F25B21/00 H01L37/04
X	----- US 4 704 871 A (BARCLAY JOHN A [US] ET AL) 10 novembre 1987 (1987-11-10) * figure 4 *	1	
A	----- WO 2004/059222 A1 (ECOLE D INGENIEURS DU CANTON D [CH]; KITANOVSKI ANDREJ [CH]; EGOLF PET) 15 juillet 2004 (2004-07-15) * le document en entier *	1-8	
A	----- YAO G H ET AL: "Experimental study on the performance of a room temperature magnetic refrigerator using permanent magnets", INTERNATIONAL JOURNAL OF REFRIGERATION, ELSEVIER, PARIS, FR, vol. 29, no. 8, 1 décembre 2006 (2006-12-01), pages 1267-1273, XP027948434, ISSN: 0140-7007 [extrait le 2006-12-01] * le document en entier *	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F25B
----- -/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
18 juin 2012		Ritter, Christoph	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 758364
FR 1160722

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	DEGREGORIA A J ET AL: "TEST RESULTS OF AN ACTIVE MAGNETIC REGENERATIVE REFRIGERATOR", TECHNICAL REPORT - LEST FOUNDATION, OSLO, NO, vol. 37, no. PART B, 1 janvier 1992 (1992-01-01), pages 875-882, XP000974592, ISSN: 0800-7780 * le document en entier * -----	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		18 juin 2012	Ritter, Christoph
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1160722 FA 758364**

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **18-06-2012**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4704871	A	10-11-1987	AUCUN	

WO 2004059222	A1	15-07-2004	AU 2003286086 A1	22-07-2004
			CA 2511543 A1	15-07-2004
			CH 695837 A5	15-09-2006
			EP 1581775 A1	05-10-2005
			JP 2006512557 A	13-04-2006
			US 2006080979 A1	20-04-2006
			WO 2004059222 A1	15-07-2004
