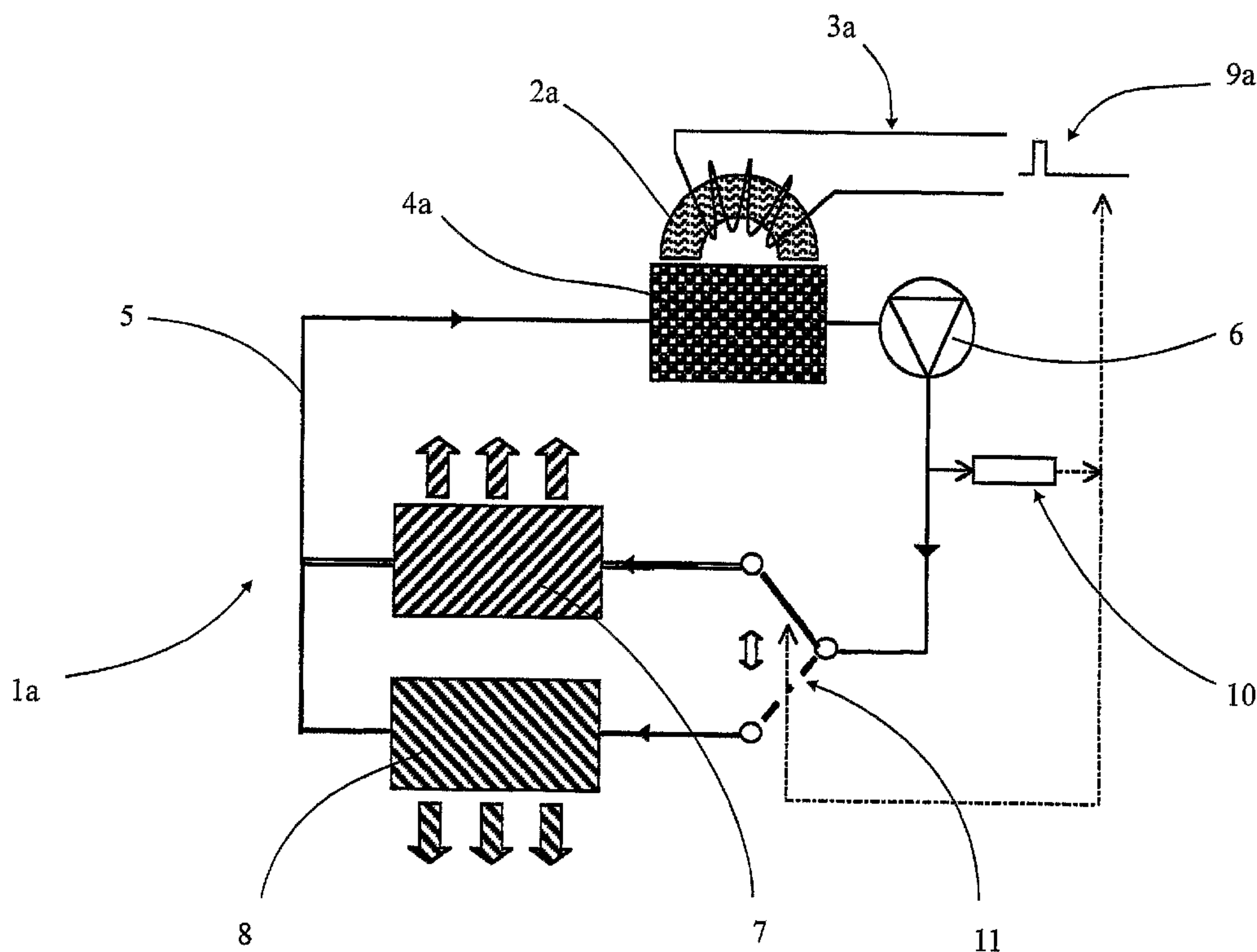




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2005/04/21
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2005/11/03
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2013/06/25
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2006/10/05
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: IB 2005/001059
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2005/103585
 (30) Priorité/Priority: 2004/04/23 (FR04/04306)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F25B 21/00* (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
 MULLER, CHRISTIAN, FR;
 DUPIN, JEAN-LOUIS, FR;
 HEITZLER, JEAN-CLAUDE, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
 COOLTECH APPLICATIONS, FR
 (74) Agent: LESPERANCE & MARTINEAU S.E.N.C.

(54) Titre : DISPOSITIF ET PROCEDE DE GENERATION DE THERMIES A MATERIAU MAGNETO-CALORIQUE
 (54) Title: DEVICE AND METHOD FOR GENERATING THERMAL UNITS WITH MAGNETOCALORIC MATERIAL



(57) Abrégé/Abstract:

Le dispositif (1a) de génération de thermies à matériau magnéto-calorique comporte en tant qu'élément magnétique (2a) un électro-aimant (2a-c) couplé à au moins une alimentation électrique (3a-c) asservie par au moins une unité de commande (20) agencée pour générer des impulsions électriques (9a-c) de manière à créer un champ magnétique impulsionnel, ces impulsions électriques (9a-c) d'intensité I, de durée t et de fréquence T étant déclenchées en fonction d'au moins un paramètre d'impulsion prédéterminé, ledit dispositif comportant au moins un capteur thermique (10) agencé pour déterminer la température dudit fluide caloporteur, cette température de fluide définissant au moins un paramètre d'impulsion.



Abrégé**Dispositif et procédé de génération de thermies à matériau magnéto-calorique**

5

Le dispositif (1a) de génération de thermies à matériau magnéto-calorique comporte en tant qu'élément magnétique (2a) un électro-aimant (2a-c) couplé à au moins une alimentation électrique (3a-c) asservie par au moins une unité de commande (20) agencée pour générer des impulsions électriques (9a-c) de manière à créer un champ magnétique impulsionnel, ces impulsions électriques (9a-c) d'intensité I, de durée t et de fréquence T étant déclenchées en fonction d'au moins un paramètre d'impulsion prédéterminé, ledit dispositif comportant au moins un capteur thermique (10) agencé pour déterminer la température dudit fluide caloporteur, cette température de fluide définissant au moins un paramètre d'impulsion.

15 Figure 1.

**DISPOSITIF ET PROCEDE DE GENERATION DE THERMIES A
MATERIAU MAGNETO-CALORIQUE**

Domaine technique :

5

La présente invention concerne un dispositif de génération de thermies à matériau magnéto-calorique comportant au moins un élément magnétique destiné à générer un champ magnétique, au moins un élément magnéto-calorique destiné à être soumis de manière alternée audit champ magnétique pour générer des calories et des frigories, au moins un circuit de fluide caloporteur dont au moins une portion est disposée dans l'environnement immédiat de l'élément magnéto calorique de manière à récupérer au moins une partie des calories et/ou frigories qu'il émet, ledit circuit étant couplé à des moyens de circulation du fluide caloporteur et à au moins un échangeur thermique agencé pour transférer au moins une partie des calories et/ou frigories récupérées par ledit fluide caloporteur. L'invention concerne également un procédé de génération de thermies utilisant ledit dispositif.

10

15

Technique antérieure :

20

25

De manière connue, les générateurs thermiques à matériau magnéto-calorique comportent des moyens magnétiques fixes et des éléments magnéto-caloriques mobiles couplés à des moyens de déplacement, ou inversement. Ainsi, les éléments magnéto-caloriques sont alternativement soumis à la présence et à l'absence de champ magnétique et génèrent alternativement des calories et des frigories. Ces thermies sont récupérées par des fluides caloporteurs traversant les éléments magnéto-caloriques et raccordés à des circuits "chaud" et "froid" comportant des échangeurs thermiques pour chauffer et/ou refroidir et/ou tempérer et/ou climatiser par exemple un milieu ambiant, une enceinte, un local, l'intérieur d'un contenant.

Dans le cas où les éléments magnéto-caloriques sont mobiles par rapport aux moyens magnétiques, il est très difficile de garantir une bonne étanchéité entre les tronçons traversant les éléments magnéto-caloriques et les circuits "chaud" et "froid" et les fuites sont fréquentes.

5

Les moyens magnétiques comportent généralement un assemblage magnétique, un aimant permanent, un électro-aimant, un aimant supraconducteur, un électro-aimant supra-conducteur, un supra-conducteur. Les aimants permanents ne permettent pas d'obtenir des résultats satisfaisants en terme de puissance magnétique. Par rapport à ce critère, les meilleurs résultats sont obtenus par les électro-aimants et électro-aimants supra-conducteurs. Malheureusement, les électro-aimants sont de très grands consommateurs d'énergie électrique ce qui les rend onéreux à utiliser. De plus, ils s'échauffent rapidement et l'évacuation de leurs calories complique la construction des générateurs thermiques. De plus, la technique des électro-aimants supraconducteurs est très coûteuse.

D'autre part, l'utilisation d'électro-aimants permet de faire varier leur champ magnétique en les alimentant par un courant électrique variable. Cette solution présente l'avantage de supprimer tout mouvement relatif entre les éléments magnéto-caloriques et les moyens magnétiques. Les publications FR-A-2 574 913, EP-A-0 104 713 et US-B-6,595,004 décrivent des exemples d'alimentation électrique à courant variable, certains étant limités à des électro-aimants supraconducteurs non compatibles avec la présente invention. De même, l'alimentation électrique par courant variable ne permet pas d'obtenir des résultats satisfaisants en terme de consommation d'énergie et de coût.

Les solutions existantes ne sont donc pas satisfaisantes.

Exposé de l'invention :

La présente invention vise à pallier ces inconvénients en proposant un dispositif de
génération de thermies à matériau magnéto-calorique faible consommateur d'énergie,
évolutif, de conception simple, de fonctionnement fiable, permettant la génération de
5 thermies de manière économiquement rentable tout en supprimant les risques de fuite
de liquide thermique et en limitant le nombre de pièces mécaniques.

Dans ce but, l'invention concerne un dispositif de génération de thermies du genre
indiqué en préambule, caractérisé en ce que l'élément magnétique est un électro-
10 aimant couplé à au moins une alimentation électrique asservie par au moins une unité
de commande agencée pour générer des impulsions électriques de manière à créer un
champ magnétique impulsionnel, ces impulsions électriques d'intensité I , de durée t
et de fréquence T étant déclenchées en fonction d'au moins un paramètre d'impulsion
prédéterminé, ledit dispositif comportant au moins un capteur thermique agencé pour
15 déterminer la température dudit fluide caloporteur, cette température de fluide
définissant au moins un paramètre d'impulsion.

Les moyens de récupération comportent de préférence au moins deux échangeurs
thermiques reliés au circuit en série, en parallèle ou selon une combinaison
20 série/parallèle.

De manière préférentielle, les moyens de récupération comportent au moins un
échangeur thermique de calories agencé pour transférer les calories et au moins un
échangeur thermique de frigories agencé pour transférer les frigories, les échangeurs
25 thermiques étant couplés à des moyens de commutation asservis par une unité de
commande agencée pour raccorder successivement chaque échangeur thermique à
l'élément magnéto-calorique en fonction d'au moins un paramètre de commutation
prédéterminé.

L'unité de commande peut être agencée pour que la fréquence T soit comprise entre 60 secondes et $1/150^{\text{ème}}$ secondes et de préférence inférieure à 2 secondes.

5 L'unité de commande peut également être agencée pour que le rapport T/t soit compris entre 10 et 100 000, et de préférence supérieur à 1 000.

L'unité de commande peut enfin être agencée pour que l'intensité I génère dans l'élément magnétique un champ magnétique compris entre 0,05 Tesla et 10 Teslas, et de préférence supérieure à 2 Teslas.

10

Selon une forme de réalisation préférée, l'unité de commande comporte des moyens de réglage de l'un au moins des paramètres de l'impulsion électrique choisi dans le groupe comprenant la durée t , la fréquence T , l'intensité I .

15 Selon une forme de réalisation préférée, l'unité de commande comporte des moyens de temporisation agencés pour déterminer l'intervalle de temps écoulé depuis la commutation et/ou l'impulsion électrique précédente, cet intervalle de temps définissant au moins un paramètre de commutation et/ou d'impulsion.

20 A cet effet, l'unité de commande peut comporter des moyens de réglage du paramètre de commutation et/ou d'impulsion prédéterminé.

25 Les moyens de récupération comportent avantageusement au moins un échangeur "mixte" agencé pour transférer les calories et les frigories par exemple dans le milieu ambiant.

Le dispositif comporte de préférence au moins deux éléments magnéto-caloriques raccordés entre eux en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle,

les éléments magnéto-caloriques pouvant avoir des caractéristiques magnéto-caloriques différentes.

De manière avantageuse, le dispositif comporte au moins deux électro-aimants, chacun associé à un élément magnéto-calorique et au moins deux alimentations électriques agencées pour alimenter électriquement les électro-aimants de manière dissociée.

De manière préférentielle, le noyau dudit électro-aimant est réalisé dans un matériau magnétique à forte rémanence.

L'élément magnétique et l'élément magnéto-calorique sont de préférence fixes l'un par rapport à l'autre.

L'invention concerne également un procédé de génération de thermies au cours duquel on utilise le dispositif précédent.

Lors de ce procédé, on peut utiliser au moins deux éléments magnéto-caloriques, chacun associé à un électro-aimant, et au moins deux alimentations électriques, et, dans des phases successives, utiliser un premier élément magnéto-calorique seul puis un premier et un second éléments magnéto-caloriques simultanément et enfin le second élément magnéto-calorique seul de manière à combiner les propriétés magnéto-caloriques des premier et second éléments magnéto-caloriques.

Description sommaire des dessins :

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

- la figure 1 est une vue schématique du dispositif selon l'invention,
- les figures 2A et 2B sont des courbes illustrant le fonctionnement du dispositif
5 de la figure 1 respectivement selon les modes de refroidissement et de chauffage,
- la figure 3 est une vue schématique d'une première variante de réalisation du
dispositif selon l'invention,
- 10 - la figure 4 est une courbe illustrant un mode de fonctionnement du dispositif de
la figure 3,
- la figure 5 est une vue schématique d'une seconde variante de réalisation du
dispositif selon l'invention,
- 15 - les figures 6A et 6B sont des courbes illustrant le fonctionnement du dispositif
de la figure 5 respectivement selon les modes refroidissement et chauffage, et
- la figure 7 est un schéma de l'unité de commande du dispositif selon l'invention.

20

Illustrations de l'invention :

Par souci de simplification on utilisera les termes "dispositif" et "procédé" pour
remplacer les termes "dispositif de génération de thermies à matériau magnéto-
25 calorique" et "procédé de génération de thermies à matériau magnéto-calorique".

Par ailleurs, on entend par le terme "échangeur thermique" tout moyen permettant le
transfert et/ou la diffusion de calories et/ou de frigories.

En référence à la figure 1, le dispositif 1a comporte un élément magnétique 2a couplé à une alimentation électrique 3a, un élément magnéto-calorique 4a, un circuit de fluide caloporteur 5 dans lequel un ou plusieurs fluides caloporteurs sont mis en circulation par des moyens de circulation 6, et deux échangeurs thermiques 7, 8.

5

L'élément magnéto-calorique 4a contient un matériau magnéto-calorique tel que par exemple du gadolinium (Gd), un alliage de gadolinium comportant du silicium (Si), du germanium (Ge), du fer (Fe), du magnésium (Mg), du phosphore (P), de l'arsenic (As) ou tout autre matériau équivalent. Ce matériau magnéto-calorique se présente par exemple sous la forme d'un bloc, de pastilles, de poudre, d'agglomérat, de morceaux.

10

Les caractéristiques magnéto-caloriques de l'élément magnéto-calorique 4a sont telles que :

15

- lorsqu'il est soumis à la présence d'un champ magnétique, l'élément magnéto-calorique 4a s'échauffe sous l'effet magnéto-calorique chauffant, et que,
- lorsque le champ magnétique disparaît ou diminue, l'élément magnéto-calorique 4a continue de s'échauffer sous l'effet de l'inertie magnéto-calorique, et que,
- après épuisement de cette inertie magnéto-calorique, l'élément magnéto-calorique 4a se refroidit à une température inférieure à sa température initiale sous l'effet magnéto-calorique refroidissant.

20

Le principe de fonctionnement du dispositif 1a consiste donc à soumettre l'élément magnéto-calorique 4a à une variation de champ magnétique pour générer des calories et des frigories utilisées pour chauffer, refroidir, climatiser, tempérer, une enceinte, un milieu ambiant, etc.

25

Pour ce faire, on utilise comme élément magnétique un électro-aimant 2a que l'on dispose dans l'environnement proche à l'élément magnéto-calorique 4a pour qu'il soit soumis au champ magnétique. On alimente électriquement l'électro-aimant 2a au

moyen d'une alimentation électrique 3a générant un courant électrique impulsionnel de manière à obtenir une modification du champ magnétique. L'élément magnéto-calorique 4a ainsi soumis à un champ magnétique impulsionnel génère des calories et des frigories. On choisira de préférence mais non exclusivement un électro-aimant 2a
5 dont le noyau magnétique est réalisé dans un matériau magnétique à forte rémanence, comme par exemple les alliages fer cobalt, les terres rares, les ferrites, les alliages de fer et de silicium, le fer, le nickel.

Ces calories et frigories sont récupérées par le fluide caloporteur circulant dans la
10 portion du circuit 5 de fluide caloporteur disposée dans l'environnement immédiat de l'élément magnéto-calorique 4a. L'élément magnéto-calorique 4a est par exemple traversé par cette portion. Le circuit 5 est réalisé par exemple de manière traditionnelle par assemblage de tuyaux ou par tout autre moyen adapté. Le circuit 5 comporte des moyens de circulation 6 du fluide caloporteur tels que par exemple une
15 pompe ou tout autre moyen équivalent.

Dans cet exemple, l'alimentation électrique 3a est asservie par une unité de commande 20 (cf. fig. 7) générant des impulsions électriques 9a successives d'intensité I, de durée t, à une fréquence T, ces caractéristiques pouvant être
20 réglables.

Ces impulsions électriques 9a sont générées en fonction d'un ou de plusieurs paramètres d'impulsion prédéterminés, par exemple en fonction de la température du fluide caloporteur et/ou de l'intervalle de temps écoulé depuis l'impulsion électrique
25 9a précédente. A cet effet, le dispositif 1a comporte un capteur thermique 10 et/ou des moyens de temporisation (non représentés).

Le capteur thermique 10 permet de déterminer la température du fluide caloporteur, par exemple à la sortie de l'élément magnéto-calorique 4a. Cette détermination est

réalisée de manière absolue par exemple par mesure en degrés, par détection d'un seuil de température ou, de manière relative par comparaison, par exemple en degrés, par rapport à une autre température. La température déterminée est comparée à une consigne de température prédéterminée. Lorsque la consigne de température est atteinte, l'impulsion électrique 9a est générée.

Les moyens de temporisation permettent de déterminer l'intervalle de temps écoulé par exemple depuis l'impulsion électrique 9a précédente et de le comparer à une consigne de temps prédéterminée. Lorsque la consigne de temps est atteinte, l'impulsion électrique 9a est générée. Les moyens de temporisation sont par exemple des circuits électroniques, des circuits pneumatiques, une combinaison de circuits électroniques et pneumatiques ou tout autre moyen connu.

Dans cet exemple, le dispositif 1a comporte un échangeur de calories 7 pour transférer les calories et un échangeur de frigories 8 pour transférer les frigories. Ces échangeurs thermiques 7, 8 sont reliés en parallèle au circuit 5 de fluide caloporteur par des moyens de commutation 11 asservis par une unité de commande, qui peut être la même que celle qui asservit l'alimentation électrique 3a, et permettant de raccorder successivement chaque échangeur thermique 7, 8 à l'élément magnéto-calorique 4a.

Cette commutation est effectuée en fonction d'un ou de plusieurs paramètres de commutation prédéterminés, par exemple en fonction de l'intervalle de temps écoulé depuis l'impulsion électrique 9a et/ou depuis la commutation précédente et/ou en fonction de la température du fluide caloporteur. A cet effet, l'unité de commande comporte des moyens de temporisation et/ou un capteur thermique 10.

Les moyens de temporisation et/ou le capteur thermique 10 peuvent être les mêmes que les précédents. Lorsque la consigne de temps et/ou la consigne de température

est atteinte, les moyens de commutation 11 mettent en communication l'élément magnéto-calorique 4a avec un échangeur thermique 7 puis avec l'autre 8. Ces moyens de commutation 11 comportent par exemple une vanne, un tiroir à commande électrique, pneumatique, hydraulique, un interrupteur ou tout autre moyen adapté.

5

Il est bien évident que l'unité de commande 20 peut comporter plusieurs capteurs thermiques 10 et/ou plusieurs moyens de temporisation et/ou utiliser un autre paramètre d'impulsion et/ou de commutation.

10 L'unité de commande 20 schématisée à la figure 7 est donnée à titre d'exemple non limitatif. Elle comporte un étage de puissance alimenté par le secteur en 220 ou 380 V au travers d'un transformateur suivi d'un redresseur, d'une alimentation à découpage et de protections contre les court-circuits, les surcharges et les inversions de phases. Elle comporte également une unité de calcul commandée par au moins

15 trois données : la température du fluide caloporteur mesurée par le capteur de température 10, une consigne de température T_c et le mode de fonctionnement soit en mode chauffage, soit en mode réfrigération. Cette unité de calcul génère trois données : la durée t des impulsions électriques et leur fréquence T ainsi que leur intensité I . L'intensité I alimente l'étage de puissance tandis que la durée t et la

20 fréquence T alimentent une base de temps couplée à un générateur d'impulsions électriques par exemple du type à transistors, à triacs, à thyristors, à lampe, à induction, à décharge, à blocage de courant et de manière préférentielle un générateur d'impulsions électriques de puissance à transistors. Les impulsions électriques 9a générées sont transmises à l'étage de puissance au travers d'un module de mise en

25 forme, avant d'alimenter l'électro-aimant 2a au travers d'une interface de sortie. Les différents modules entrant dans cette unité de commande 20 ne sont pas détaillés étant donné qu'ils font partie des connaissances normales d'un électronicien.

Le procédé utilisant ce dispositif 1a est décrit en référence aux courbes d'impulsion "Courbe I" et de température "Courbe θ " du fluide caloporteur illustrées par les figures 2A et 2B, respectivement selon des modes "refroidissement" et "chauffage".

- 5 En mode "refroidissement" illustré par les courbes de la figure 2A, le procédé se décompose en plusieurs cycles successifs comprenant chacun plusieurs étapes successives.

Cycle 1 (démarrage) :

10 Préparation : On positionne les moyens de commutation 11 de sorte que l'élément magnéto-calorique 4a soit raccordé à l'échangeur de calories 7.

Démarrage :

15 On alimente l'électro-aimant 2a par une impulsion électrique 9a d'intensité I qui génère dans l'électro-aimant 2a un champ magnétique compris entre 0,05 Tesla et 10 Teslas, et de préférence supérieure à 2 Teslas, de durée t comprise entre 10^{-9} seconde et 60 secondes et de préférence inférieure à 10^{-2} seconde.

Etape 1 – cycle 1 :

Pendant l'impulsion électrique 9a, l'électro-aimant 2a génère un champ magnétique.

20 L'élément magnéto-calorique 4a soumis à ce champ magnétique subit l'effet magnéto-calorique chauffant et s'échauffe.

Le fluide caloporteur traversant l'élément magnéto-calorique 4a est soumis à cet échauffement et est ainsi chauffé jusqu'à une température θ_{11} (température étape 1 cycle 1) supérieure à la température θ_{01} de départ.

25 Le fluide caloporteur est transporté vers l'échangeur de calories 7 qui transfère les calories dans le milieu ambiant.

Etape 2 – cycle 1 :

Après l'impulsion électrique 9a, l'électro-aimant 2a n'est plus alimenté électriquement et ne génère plus de champ magnétique.

L'élément magnéto-calorique 4a continue à s'échauffer, soumis à l'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant.

5 Le fluide caloporteur traversant l'élément magnéto-calorique 4a continue ainsi à être chauffé jusqu'à une température θ_{21} (température étape 2 cycle 1) supérieure à la température θ_{11} et correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors de ce cycle 1.

Le fluide caloporteur est transporté vers l'échangeur de calories 7 qui transfère les calories vers le milieu ambiant.

Etape 3 – cycle 1 :

10 L'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant cesse.

L'élément magnéto-calorique 4a, soumis à l'absence de champ magnétique, subit l'effet magnéto-calorique refroidissant et se refroidit.

15 Le fluide caloporteur traversant l'élément magnéto-calorique 4a est soumis à son refroidissement et est ainsi refroidi jusqu'à une température θ_{31} (température étape 3 cycle 1) inférieure à la température θ_{21} .

Le fluide caloporteur est transporté vers l'échangeur de calories 7 qui transfère les calories vers le milieu ambiant.

Lorsque :

- 20
- les moyens de temporisation détectent que l'intervalle de temps écoulé depuis l'impulsion électrique 9a précédente, ou
 - le capteur thermique 10 détecte que l'écart entre les températures θ_{31} et θ_{21} ou θ_{11} ou θ_{01} du fluide caloporteur,

25 est égal ou inférieur à la consigne de commutation C1, les moyens de commutation 11 basculent et raccordent l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de frigories 8.

Etape 4 – cycle 1 :

L'élément magnéto-calorique 4a continue à se refroidir.

Le fluide caloporteur traversant l'élément magnéto-calorique 4a continue à être refroidi jusqu'à une température θ_{41} (température étape 4 cycle 1) inférieure à la

température θ_{01} correspondant à la température de départ du fluide caloporteur lors de ce cycle 1.

Le fluide caloporteur est transporté vers l'échangeur de frigories 8 qui transfère les frigories vers le milieu ambiant.

5 Lorsque:

- les moyens de temporisation détectent que le temps écoulé depuis l'impulsion électrique 9a précédente, ou
- le capteur thermique 10 détecte que l'écart entre les températures θ_{41} et θ_{31} ou θ_{01} ou θ_{11} ou θ_{21} du fluide caloporteur,

10 est égal ou supérieur à la consigne d'impulsion I1, l'unité de commande génère une nouvelle impulsion électrique 9a qui alimente l'électro-aimant 2a, cette impulsion électrique 9a pouvant être sensiblement similaire à l'impulsion électrique 9a initiale ou différente selon les besoins.

15 De manière simultanée dans cet exemple, les moyens de commutation 11 raccordent à nouveau l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de calories 7. Il est bien entendu que cette commutation peut être légèrement décalée dans le temps, réalisée dans une étape 5, de manière à ne raccorder l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de calories 7 que lorsque le fluide caloporteur, sous l'effet de la nouvelle impulsion électrique 9a et du champ magnétique, atteint
20 une certaine température.

On règle les consignes d'impulsion In de sorte que le rapport T/t de la fréquence T entre deux impulsions électriques 9a sur la durée t de l'impulsion électrique 9a considérée, soit compris entre 10 et 100 000, et de préférence supérieur à 1 000.

25 On passe ensuite au cycle 2.

Les cycles de fonctionnement suivants sont sensiblement similaires au premier cycle et se déroulent comme suit pour le fluide caloporteur :

Etape 1 – cycle n :

Pendant l'impulsion électrique 9a, chauffage du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours), supérieure à la température θ_{4n-1} (température étape 4 cycle précédent) mais inférieure à la température θ_{1n-1} (température étape 1 cycle précédent). Transfert des calories par l'échangeur de calories 7.

Etape 2 – cycle n :

Après l'impulsion électrique 9a, sous de l'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant, chauffage du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{2n} (température étape 2 cycle en cours) supérieure à la température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors de ce cycle, mais inférieure à la température θ_{2n-1} (température étape 2 cycle précédent) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors du cycle précédent. Transfert des calories par l'échangeur de calories 7.

Etape 3 – cycle n :

A la fin de l'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant, effet magnéto-calorique refroidissant. Refroidissement du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{3n} (température étape 3 cycle en cours) inférieure à la température θ_{2n} et inférieure à la température θ_{2n-1} (température étape 2 cycle précédent). Transfert des calories par l'échangeur de calories 7. Détection de la consigne de commutation C_n et commutation pour raccorder l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de frigories 8.

Etape 4 – cycle n :

Effet magnéto-calorique refroidissant, refroidissement du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{4n} (température étape 4 cycle en cours) inférieure à la température θ_{0n} et correspondant à la température de départ du fluide caloporteur de ce cycle n. Transfert des frigories par l'échangeur de frigories 8. Détection de la consigne d'impulsion I_n et alimentation de l'électro-aimant 2a par une nouvelle impulsion électrique 9a.

Simultanément ou non, commutation pour raccorder l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de calories 7.

5 En mode "refroidissement", les températures maximales "T supérieure" correspondant à θ_{2n} et minimales "T minimale" correspondant à θ_{4n} , du fluide caloporteur, sont de plus en plus basses. De ce fait, la température moyenne "T moyenne" du fluide caloporteur est également de plus en plus basse, d'où un pouvoir réfrigérant et une efficacité du dispositif 1a et du procédé croissants au fur et à mesure des cycles de fonctionnement jusqu'à atteindre la température de
10 refroidissement minimale "T Basse" de l'élément magnéto-calorique 4a à laquelle la température du fluide caloporteur se stabilisera.

En mode "chauffage" illustré par les courbes de la figure 2B, le procédé se décompose en plusieurs cycles successifs sensiblement similaires aux précédents. Ce
15 procédé se différencie du précédent par le fait que les valeurs des consignes de commutation C_n et d'impulsion I_n sont différentes des précédentes et choisies de manière à obtenir les étapes successives suivantes :

Cycle 1 (démarrage) :

20 Préparation : On positionne les moyens de commutation 11 de sorte que l'élément magnéto-calorique 4a soit raccordé à l'échangeur de calories 7.

Démarrage :

On alimente l'électro-aimant 2a par une impulsion électrique 9a d'une intensité I qui génère dans l'élément magnétique un champ magnétique compris entre 0,05 Tesla et 10 Teslas, et de préférence supérieur à 2 Teslas, de durée t comprise
25 entre 10^{-9} seconde et 60 secondes et de préférence inférieure à 10^{-2} seconde.

Cycle n :

Etape 1 – cycle n :

Pendant l'impulsion électrique 9a, chauffage du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours), supérieure à la

température θ_0 de départ ou à la température θ_{4n-1} (température étape 4 cycle précédent) mais supérieure à la température θ_{1n-1} (température étape 1 cycle précédent). Transfert des calories par l'échangeur de calories 7.

Etape 2 – cycle n :

5 Après l'impulsion électrique 9a, chauffage du fluide caloporteur sous l'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant, jusqu'à une température θ_{2n} (température étape 2 cycle en cours) supérieure à la température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors de ce cycle n, mais inférieure à la température θ_{2n+1} (température étape 2
10 cycle suivant) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors du cycle suivant. Transfert des calories par l'échangeur de calories 7.

Etape 3 – cycle n :

A la fin de l'inertie de l'effet de l'inertie magnéto-calorique chauffant, effet magnéto-calorique refroidissant. Refroidissement du fluide caloporteur jusqu'à
15 une température θ_{3n} (température étape 3 cycle en cours) inférieure à la température θ_{2n} et inférieure à la température θ_{2n+1} (température étape 2 cycle suivant). Transfert des calories par l'échangeur de calories 7.

Détection de la consigne de commutation C_n et commutation pour raccorder l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de frigories 8.

20 Etape 4 – cycle n :

Effet magnéto-calorique refroidissant, refroidissement du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{4n} (température étape 4 cycle en cours) supérieure à la température θ_{0n} et correspondant à la température de départ du fluide caloporteur de ce cycle n. Transfert des frigories par l'échangeur de frigories 8.

25 Détection de la consigne d'impulsion I_n et alimentation de l'électro-aimant 2a par une nouvelle impulsion électrique 9a. Simultanément ou non, commutation pour raccorder l'élément magnéto-calorique 4a à l'échangeur de calories 7.

En mode "chauffage" les températures maximales "T supérieure" correspondant à θ_{2n} et minimales "T minimale" correspondant à θ_{4n} , du fluide caloporteur, sont de plus en plus élevées. De ce fait, la température moyenne "T moyenne" du fluide caloporteur est également de plus en plus élevée, d'où un pouvoir chauffant et une efficacité du dispositif 1a croissants au fur et à mesure des cycles de fonctionnement jusqu'à atteindre la température de chauffage maximale "T Haute" de l'élément magnéto-caloriques 4a à laquelle la température du fluide caloporteur se stabilisera.

Meilleure manière de réaliser l'invention :

10

Le dispositif 1b de la figure 3 est sensiblement similaire au précédent. Il s'en différencie par le fait qu'il comporte deux éléments magnéto-caloriques 4b, 4c, raccordés entre eux par le circuit 5 de fluide caloporteur en série, ces éléments magnéto-caloriques 4b, 4c pouvant avoir des caractéristiques magnéto-caloriques sensiblement similaires ou différentes. Les éléments magnéto-caloriques 4b, 4c peuvent également être raccordés entre eux en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle. Il est également possible de prévoir des groupes d'éléments magnéto-caloriques, ces groupes étant raccordés entre eux en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle. Le dispositif 1b et le procédé sont ainsi facilement évolutifs.

20

Chaque élément magnéto-calorique 4b, 4c est sollicité par un électro-aimant 2b, 2c relié à une alimentation électrique 3b, 3c dissociée, ces alimentations électriques 3b, 3c étant commandées par une ou plusieurs unités de commande (non représentées). Il est ainsi possible de générer de manière dissociée, pour chaque électro-aimant 2b, 2c, des impulsions électriques 9b, 9c, simultanément ou successivement, avec ou sans période de chevauchement de ces impulsions électriques 9b, 9c.

25

Cette configuration permet de combiner les propriétés magnéto-caloriques de plusieurs éléments magnéto-caloriques 4b, 4c, ce qui est particulièrement avantageux lorsqu'elles sont différentes. Le fonctionnement d'un tel dispositif 1b est décrit en référence au graphe de la figure 4 qui illustre sous forme de surfaces hachurées les plages de température P1, P2, P3 accessibles en utilisant successivement :

- un premier élément magnéto-calorique 4b seul pour obtenir la plage de température P1 située entre θ_{1Max} et θ_{1min} ,
- un premier élément magnéto-calorique 4b et un second élément magnéto-calorique 4c simultanément pour obtenir la plage de température P2 située entre θ_{2Max} et θ_{2min} ,
- le second élément magnéto-calorique 4c seul pour obtenir la plage de température P3 située entre θ_{3Max} et θ_{3min} .

Ainsi, en combinant les propriétés magnéto-caloriques différentes des premier et second éléments magnéto-caloriques, on peut couvrir une plage totale de températures P très importante située entre θ_{1Max} et θ_{3min} .

Le dispositif 1c de la figure 5 est sensiblement similaire au dispositif de la figure 1. Il s'en différencie par le fait qu'il ne comporte qu'un échangeur thermique "mixte" 78 pour transférer successivement les calories et les frigories.

Le procédé utilisant ce dispositif 1c est décrit en référence aux courbes d'impulsion "Courbe I" et de température "Courbe θ " du fluide caloporteur des figures 6A et 6B, respectivement selon des modes "refroidissement" et "chauffage". Ce procédé est sensiblement similaire à celui du dispositif 1a de la figure 1 illustré par les figures 2A et 2B.

Le fonctionnement en mode "refroidissement" illustré par la figure 6A se différencie principalement de celui de la figure 2A par le fait que, comme il n'y a qu'un échangeur thermique 78, il n'y a pas de commutation et l'échangeur thermique 78

reste en permanence relié à l'élément magnéto-calorique 4a pour successivement transférer les calories puis les frigories. Le fonctionnement ne présente donc que les trois étapes suivantes pour chaque cycle n :

Etape 1 – cycle n :

5 Impulsion électrique 9a, chauffage du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours), supérieure à la température θ_{0n} de départ ou à la température θ_{4n-1} (température étape 3 cycle précédent) et à la température θ_{1n-1} (température étape 1 cycle précédent). Transfert des calories par l'échangeur thermique 78.

10 Etape 2 – cycle n :

Après l'impulsion électrique 9a, chauffage du fluide caloporteur sous l'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant, jusqu'à une température θ_{2n} (température étape 2 cycle en cours) supérieure à la température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur
15 lors de ce cycle n, et supérieure à la température θ_{2n+1} (température étape 2 cycle suivant) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors du cycle suivant. Transfert des calories par l'échangeur thermique 78.

Etape 3 – cycle n :

Effet magnéto-calorique refroidissant à la fin de l'inertie de l'effet de l'inertie
20 magnéto-calorique chauffant, effet magnéto-calorique refroidissant. Refroidissement du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{3n} (température étape 3 cycle en cours) inférieure à la température θ_{0n} et correspondant à la température de départ du fluide caloporteur de ce cycle n. Transfert des calories puis des frigories par l'échangeur thermique 78. Détection de la consigne
25 d'impulsion I_n et alimentation de l'électro-aimant 2a par une nouvelle impulsion électrique 9a.

Le fonctionnement en mode "chauffant" illustré par la figure 6B se différencie de celui de la figure 2B par le fait que l'effet magnéto-calorique refroidissant n'est pas

utilisé. En effet, le paramètre d'impulsion I_n est réglé de sorte que l'impulsion électrique $9a$ soit générée avant que la température θ_{3n} ne soit inférieure à la température θ_{0n} . Le fonctionnement ne présente donc que les trois étapes suivantes pour chaque cycle n :

5 Etape 1 – cycle n :

Impulsion électrique $9a$, chauffage du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours), supérieure à la température θ_{0n} de départ ou à la température θ_{3n-1} (température étape 3 cycle précédent) mais inférieure à la température θ_{1n-1} (température étape 1 cycle précédent).

10 Transfert des calories par l'échangeur thermique 78.

Etape 2 – cycle n :

Après l'impulsion électrique $9a$, chauffage du fluide caloporteur sous l'inertie de l'effet magnéto-calorique chauffant, jusqu'à une température θ_{2n} (température étape 2 cycle en cours) supérieure à la température θ_{1n} (température étape 1 cycle en cours) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors de ce cycle n , mais inférieure à la température θ_{2n+1} (température étape 2 cycle suivant) correspondant à la température maximale du fluide caloporteur lors du cycle suivant. Transfert des calories par l'échangeur thermique 78.

Etape 3 – cycle n :

20 Effet magnéto-calorique refroidissant à la fin de l'inertie de l'effet de l'inertie magnéto-calorique chauffant, effet magnéto-calorique refroidissant. Refroidissement du fluide caloporteur jusqu'à une température θ_{3n} (température étape 3 cycle en cours) supérieure à la température θ_{0n} et correspondant à la température de départ du fluide caloporteur de ce cycle n . Transfert des calories
25 puis des frigories par l'échangeur thermique 78. Détection de la consigne d'impulsion I_n et alimentation de l'électro-aimant $2a$ par une nouvelle impulsion électrique $9a$.

De manière générale, dans ces exemples, l'élément magnétique 2a-c et l'élément magnéto-calorique 4a-c sont fixes l'un par rapport à l'autre. Il est néanmoins possible de les prévoir mobiles. Il est également possible d'utiliser un nombre supérieur d'éléments magnéto-caloriques 4a-c et/ou d'électro-aimants 2a-c et/ou d'échangeurs thermiques 7, 8, 78.

Selon d'autres variantes de réalisation non représentées, il est possible d'utiliser plusieurs échangeurs thermiques 7, 8, 78 ou groupes d'échangeurs thermiques reliés au circuit de fluide caloporteur en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle. Le dispositif 1a-c et le procédé sont ainsi facilement évolutifs.

Possibilités d'application industrielle :

Ce dispositif 1a-c et ce procédé peuvent être utilisés pour toute application industrielle ou domestique de refroidissement, de chauffage, de climatisation, de tempérage.

Cette description met bien en évidence que le dispositif 1a-c et le procédé selon l'invention permettent de répondre aux buts fixés. Ils permettent notamment de s'affranchir de tout problème d'étanchéité inhérent aux dispositifs comportant des éléments magnéto-caloriques et/ou des électro-aimants ou autres moyens magnétiques mobiles les uns par rapport aux autres.

De plus, ils sont de conception très simple et ne nécessitent aucun moyen de mise en mouvement pour déplacer les éléments magnéto-caloriques 4a-c et/ou les électro-aimants 2a-c. Ils sont de ce fait faibles consommateurs d'énergie et nécessitent un nombre limité de pièces et d'organes mécaniques d'où une maintenance réduite et des risques de pannes limités.

Revendications

1. Dispositif (1a-c) de génération de thermies à matériau magnéto-calorique comportant au moins un élément magnétique (2a-c) destiné à générer un champ magnétique, au moins un élément magnéto-calorique (4a-c) destiné à être soumis de manière alternée audit champ magnétique pour générer des calories et des frigories, au moins un circuit (5) de fluide caloporteur dont au moins une portion est disposée dans l'environnement immédiat dudit élément magnéto-calorique (4a-c) de manière à récupérer au moins une partie desdites calories et/ou frigories qu'il émet, ledit circuit (5) étant couplé à des moyens de circulation (6) et à au moins un échangeur thermique (7, 8, 78) agencé pour transférer au moins une partie desdites calories et/ou frigories récupérées par ledit fluide caloporteur, caractérisé en ce que ledit élément magnétique est un électro-aimant (2a-c) couplé à au moins une alimentation électrique (3a-c) asservie par au moins une unité de commande (20) agencée pour générer des impulsions électriques (9a-c) de manière à créer un champ magnétique impulsionnel, ces impulsions électriques (9a-c) d'intensité I, de durée t et de fréquence T étant déclenchées en fonction d'au moins un paramètre d'impulsion prédéterminé, ledit dispositif comportant au moins un capteur thermique (10) agencé pour déterminer la température dudit fluide caloporteur, cette température de fluide définissant au moins un paramètre d'impulsion.

2. Dispositif (1a, 1b) selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de récupération comportent au moins deux échangeurs thermiques (7, 8) reliés audit circuit (5) en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle.

3. Dispositif (1a, 1b) selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de récupération comportent au moins un échangeur thermique de calories (7) agencé pour transférer les calories et au moins un échangeur thermique de frigories (8) agencé pour transférer les frigories, lesdits échangeurs thermiques (7, 8) étant couplés à des moyens de commutation (11) asservis par une unité de commande

agencée pour raccorder successivement chaque échangeur thermique (7, 8) audit élément magnéto-calorique (4a-c) en fonction d'au moins un paramètre de commutation prédéterminé.

- 5 4. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite unité de commande est agencée pour que ladite fréquence T soit comprise 60 entre secondes et $1/150^{\text{ème}}$ de seconde.
- 10 5. Dispositif (1a-c) selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite unité de commande est agencée pour que ladite fréquence T soit inférieure à 2 secondes.
6. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite unité de commande est agencée pour que le rapport T/t soit compris entre 10 et 100 000.
- 15 7. Dispositif (1a-c) selon la revendication 6, caractérisé en ce que ladite unité de commande est agencée pour que ledit rapport T/t soit supérieur à 1000.
- 20 8. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite unité de commande est agencée pour que ladite intensité I génère, dans ledit élément magnétique, un champ magnétique compris entre 0,05 Tesla et 10 Teslas.
9. Dispositif (1a-c) selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite unité de commande est agencée pour que ladite intensité I génère, dans ledit élément magnétique, un champ magnétique supérieur à 2 Teslas.
- 25 10. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite unité de commande comporte des moyens de réglage de l'un au moins des paramètres de l'impulsion choisi dans le groupe comprenant la durée t, la fréquence T, l'intensité I.

- 5 11. Dispositif (1a-c) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3, caractérisé en ce que ladite unité de commande comporte des moyens de temporisation agencés pour déterminer l'intervalle de temps écoulé depuis la commutation et/ou l'impulsion électrique (9a-c) précédente, cet intervalle de temps définissant au moins un paramètre de commutation et/ou d'impulsion .
- 10 12. Dispositif (1a-c) selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3, caractérisé en ce que ladite unité de commande comporte des moyens de réglage dudit paramètre de commutation et/ou d'impulsion prédéterminé.
- 15 13. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de récupération comportent au moins un échangeur "mixte" (78) agencé pour transférer les calories et les frigories.
- 20 14. Dispositif (1b) selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux éléments magnéto-caloriques (4b, 4a) raccordés entre eux en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle.
- 25 15. Dispositif (1b) selon la revendication 14, caractérisé en ce que lesdits éléments magnéto-caloriques (4b, 4a) ont des caractéristiques magnéto-caloriques différentes.
16. Dispositif (1b) selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comporte au moins deux électro-aimants (2b, 2c), chacun associé à un élément magnéto-calorique (4b, 4a) et au moins deux alimentations électriques (3b, 3c) agencées pour alimenter électriquement lesdits électro-aimants (2b, 2c) de manière dissociée.
- 30 17. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le noyau dudit élément magnétique (2a-c) est réalisé dans un matériau magnétique à forte rémanence.

18. Dispositif (1a-c) selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit élément magnétique (2a-c) et ledit élément magnéto-calorique (4a-c) sont fixes l'un par rapport à l'autre.

5 19. Procédé de génération de thermies à matériau magnéto-calorique au cours duquel on soumet au moins un élément matériau magnéto-calorique (4a-c) à au moins un électro-aimant (2a-c) alimenté par des impulsions électriques de manière à créer un champ magnétique impulsionnel pour générer des calories et des frigories, on récupère au moins une partie desdites calories et/ou desdites frigories générées par
10 ledit élément magnéto-calorique (4a-c) au moyen d'un fluide caloporteur, on fait circuler dans au moins un circuit (5) dont on dispose au moins une portion dans l'environnement immédiat dudit élément magnéto-calorique (4a-c) et on transfère au moins une partie desdites calories et/ou frigories au moyen d'au moins un échangeur thermique (7, 8, 78), lesdites impulsions électriques (9a-c) d'intensité I, de durée t et
15 à une fréquence T étant déclenchées en fonction d'au moins un paramètre d'impulsion prédéterminé, on détermine la température dudit fluide caloporteur et on utilise cette température du fluide comme paramètre d'impulsion.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'on utilise au moins
20 deux échangeurs thermiques que l'on relie audit circuit (7, 8) en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle.

21. Procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce que l'on utilise au moins un échangeur de calories (7) pour transférer les calories et au moins un échangeur de
25 frigories (8) pour transférer les frigories que l'on raccorde alternativement à l'élément magnéto-caloriques (4a-c) en fonction d'au moins un paramètre de commutation prédéterminé.

22. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'on règle au moins l'un
30 desdits paramètres d'impulsion choisi dans le groupe comprenant la fréquence T de

manière à ce qu'elle soit comprise entre 60 secondes et $1/150^{\text{ème}}$ de seconde, le rapport T/t soit compris entre 10 et 100 000, et ladite intensité I de manière à ce qu'elle génère dans ledit élément magnétique un champ magnétique compris entre 0,05 Tesla et 10 Teslas.

5

23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce que l'on règle au moins l'un desdits paramètres d'impulsion choisi dans le groupe comprenant la fréquence T de manière à ce qu'elle soit inférieure à 2 secondes, le rapport T/t soit supérieur à 1 000, ladite intensité I de manière à ce qu'elle génère dans ledit élément magnétique un champ magnétique supérieur à 2 Teslas.

10

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 ou 21, caractérisé en ce que l'on détermine l'intervalle de temps écoulé depuis la commutation et/ou l'impulsion électrique (9a-c) précédente, et en ce que l'on utilise cet intervalle de temps comme paramètre de commutation et/ou d'impulsion .

15

25. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que l'on utilise au moins deux éléments magnéto-caloriques (4b, 4c) ayant des caractéristiques magnéto-caloriques différentes que l'on raccorde entre eux en série, en parallèle ou selon une combinaison série/parallèle.

20

26. Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce que l'on utilise au moins deux électro-aimants (2b, 2c), chacun associé à élément magnéto-calorique (4b, 4c), et au moins deux alimentations électriques (3b, 3c), et en ce que l'on utilise dans des phases successives, un premier élément magnéto-calorique (4b) seul puis, un premier élément magnéto-calorique (4b) et un second élément magnéto-calorique (4c) simultanément et enfin, le second élément magnéto-calorique (4c) seul de manière à combiner les propriétés magnéto-caloriques des premier et second éléments magnéto-caloriques (4b, 4c).

25

30

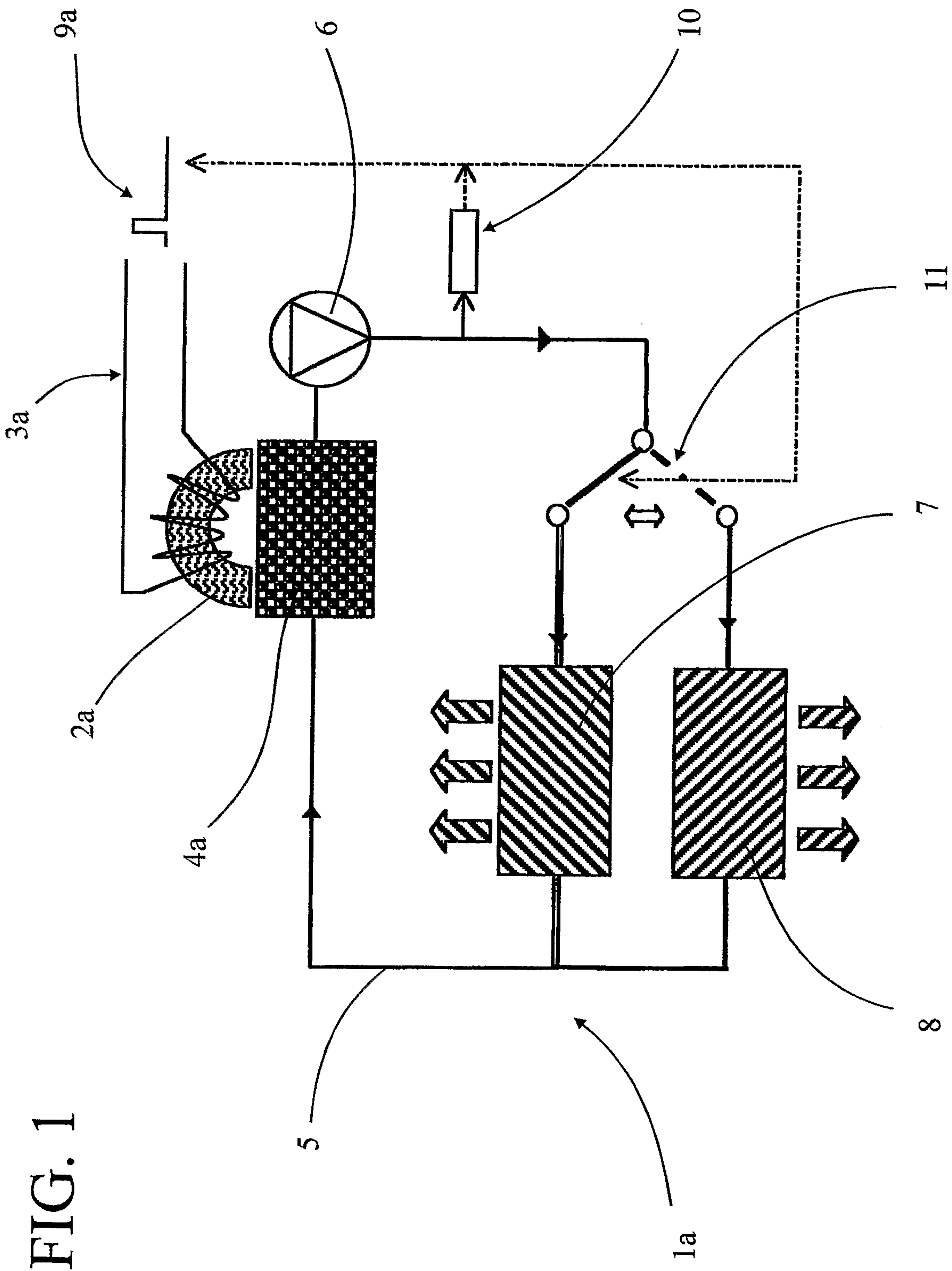


FIG. 1

FIG. 2A

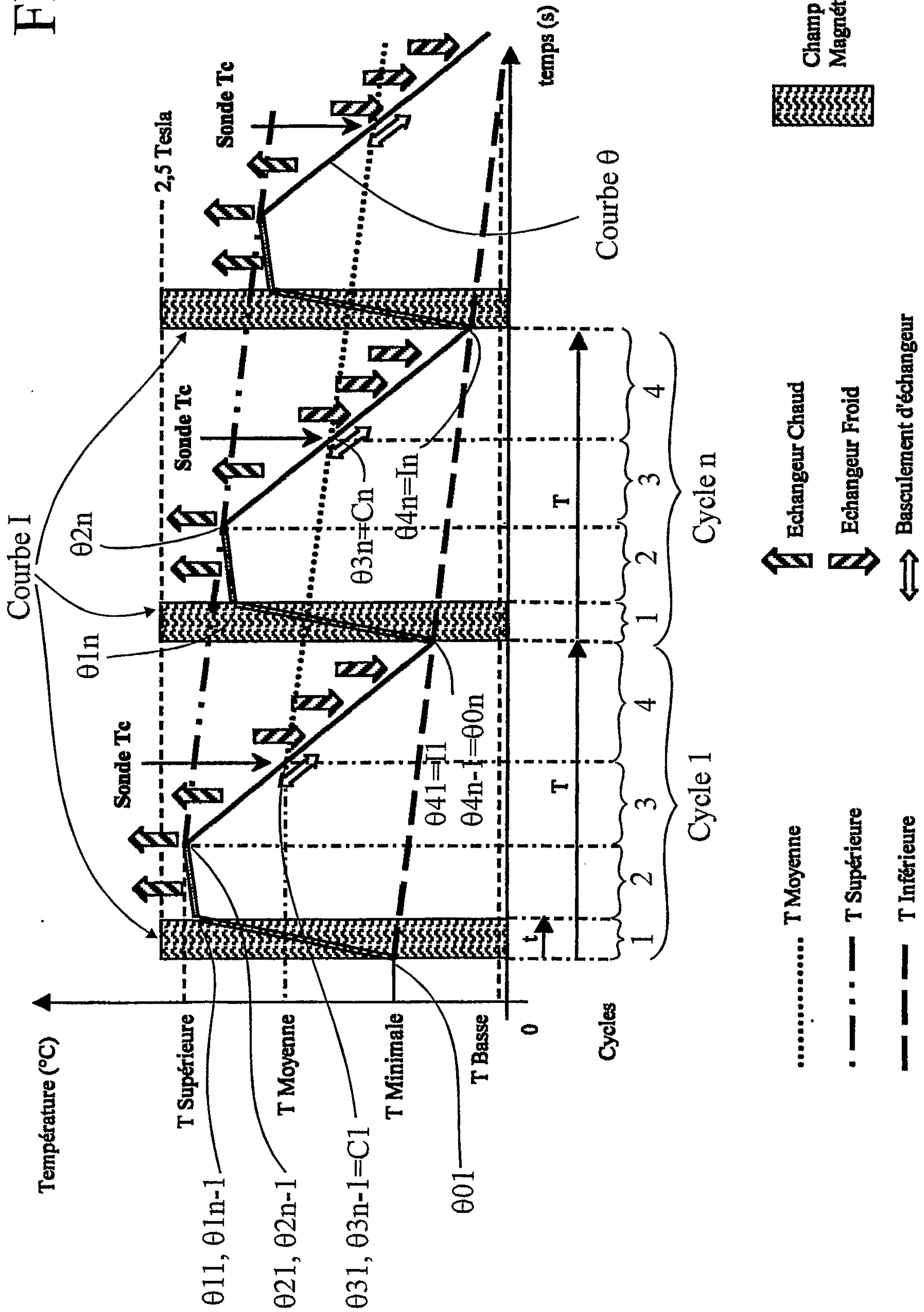
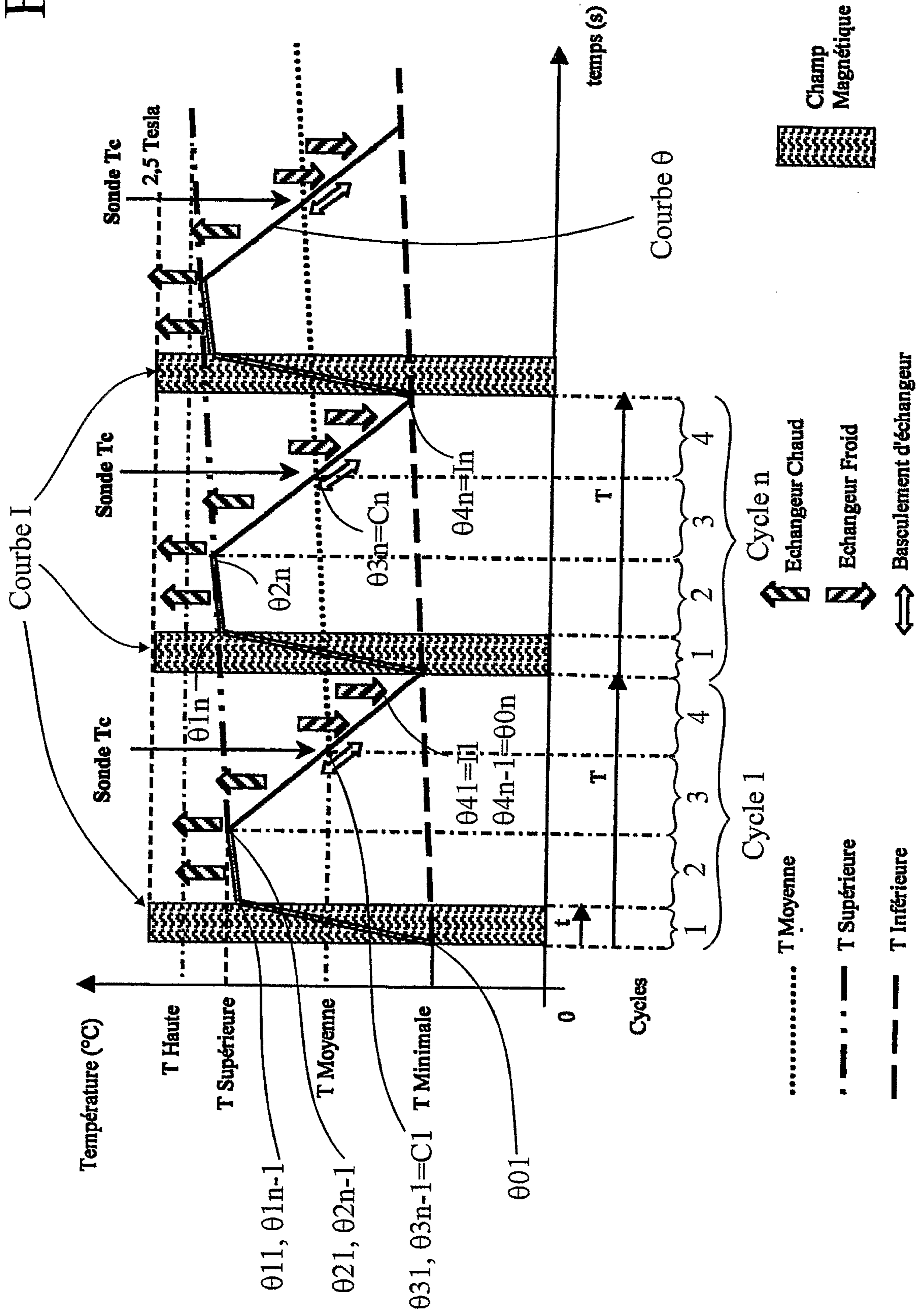


FIG. 2B



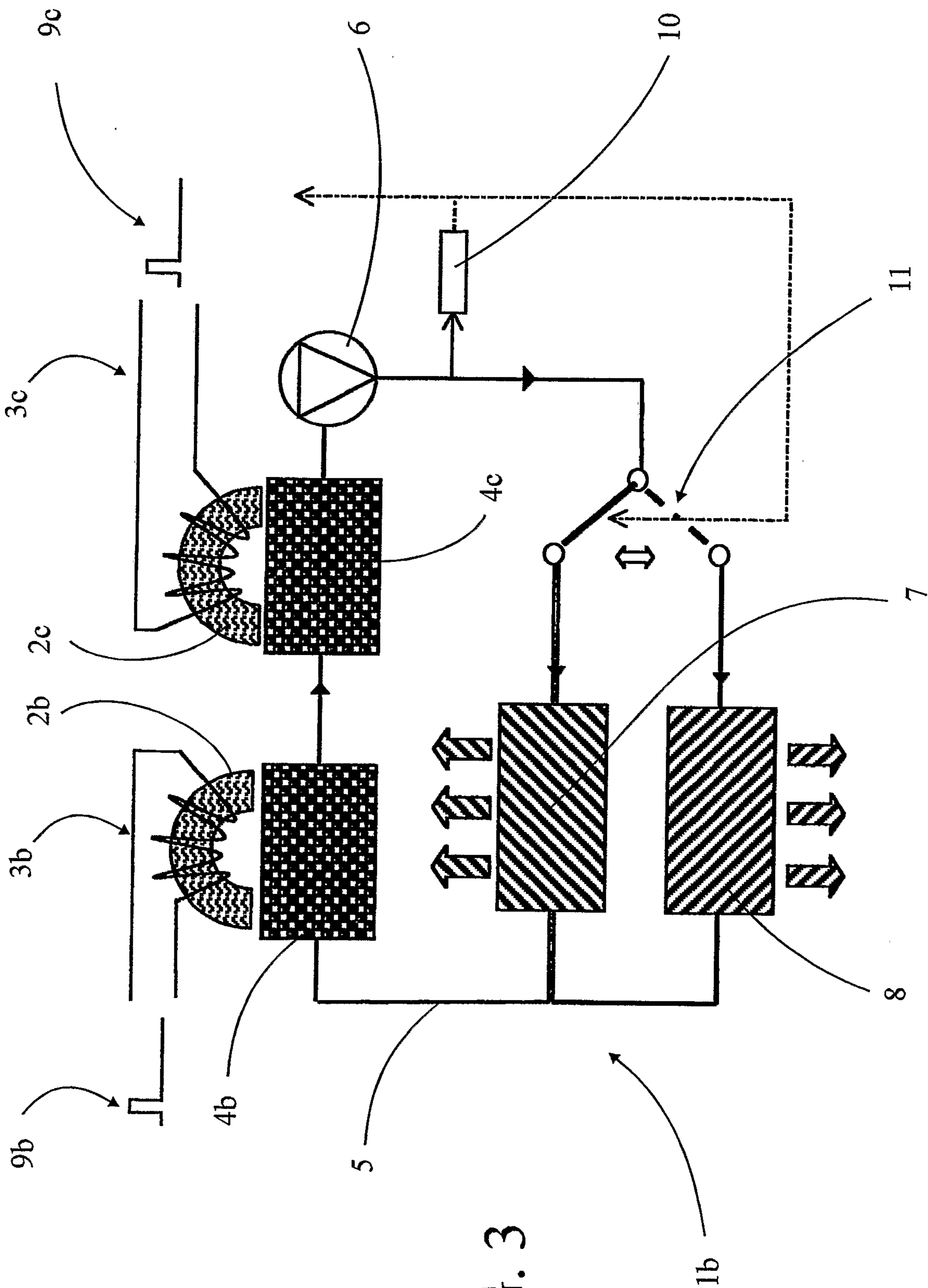


FIG. 3

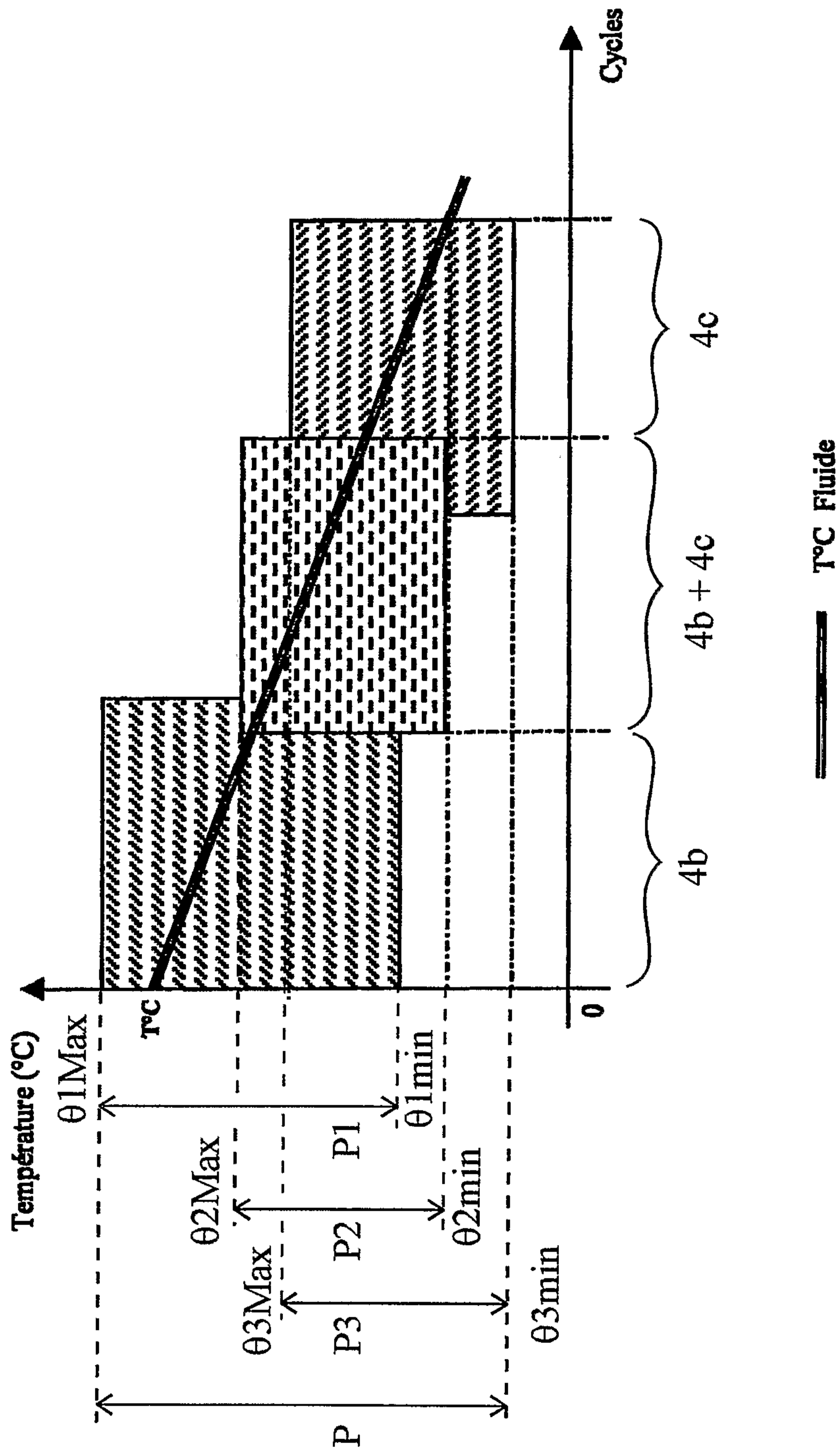


FIG. 4

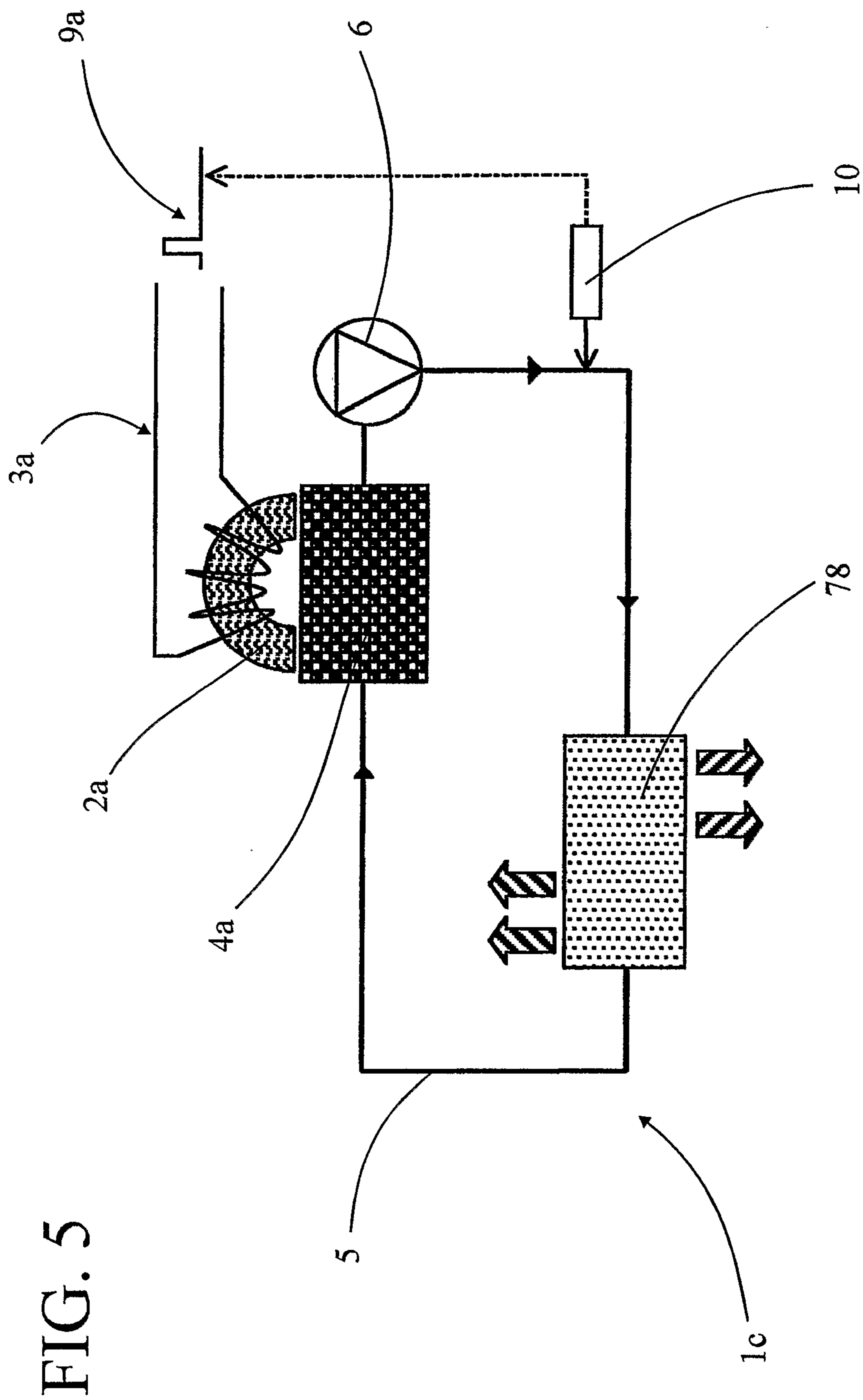
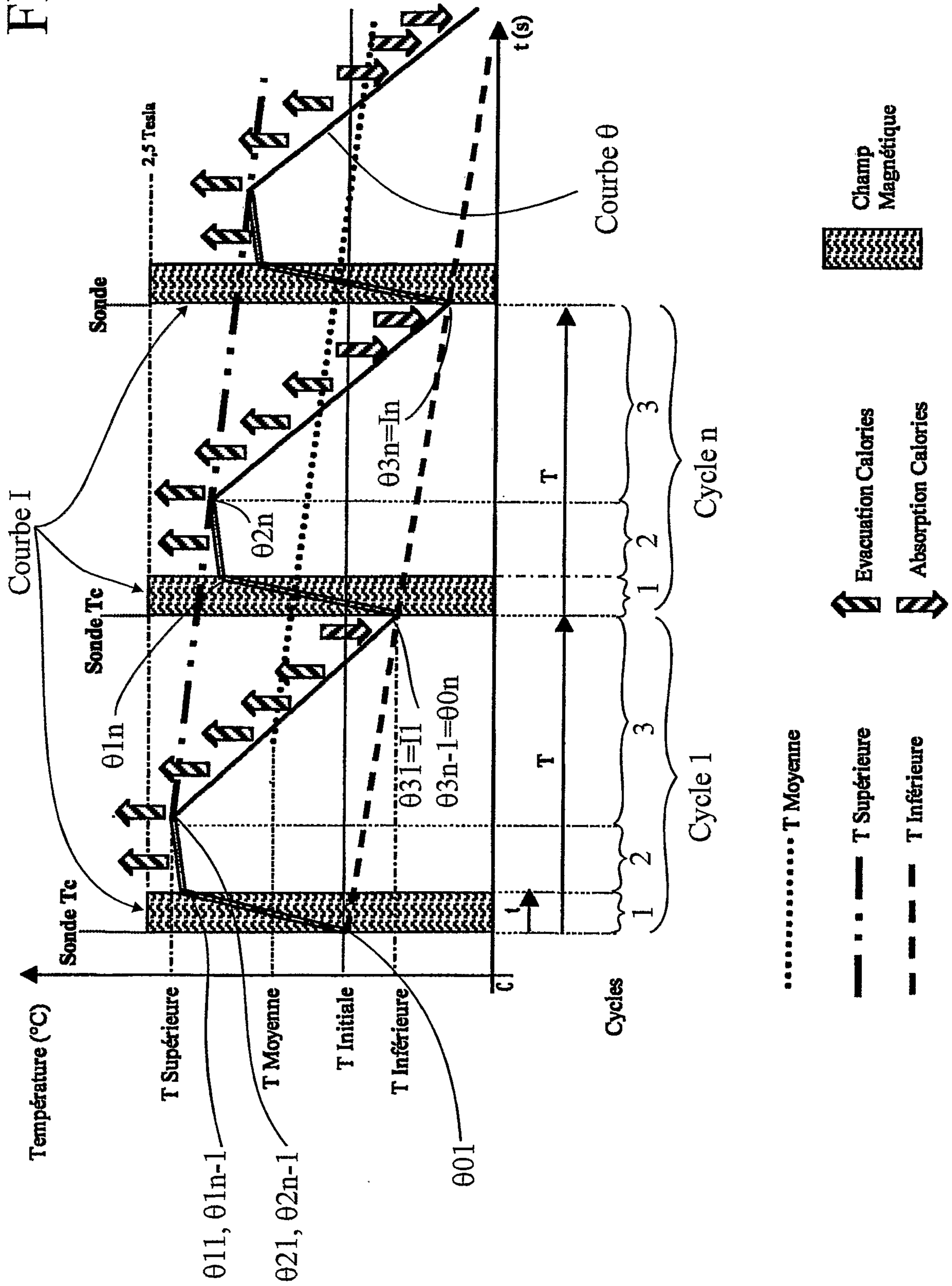


FIG. 5

FIG. 6A



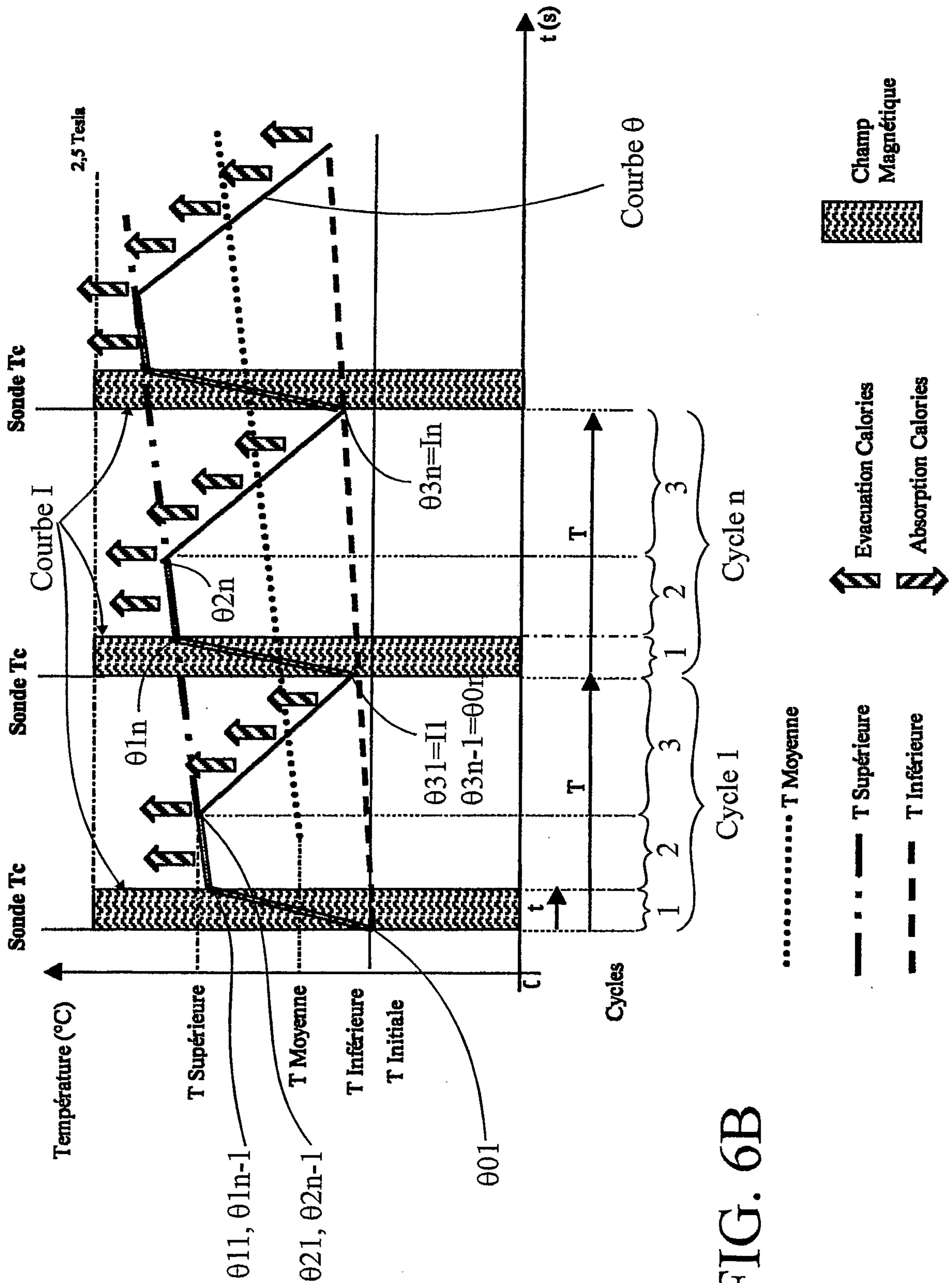


FIG. 6B

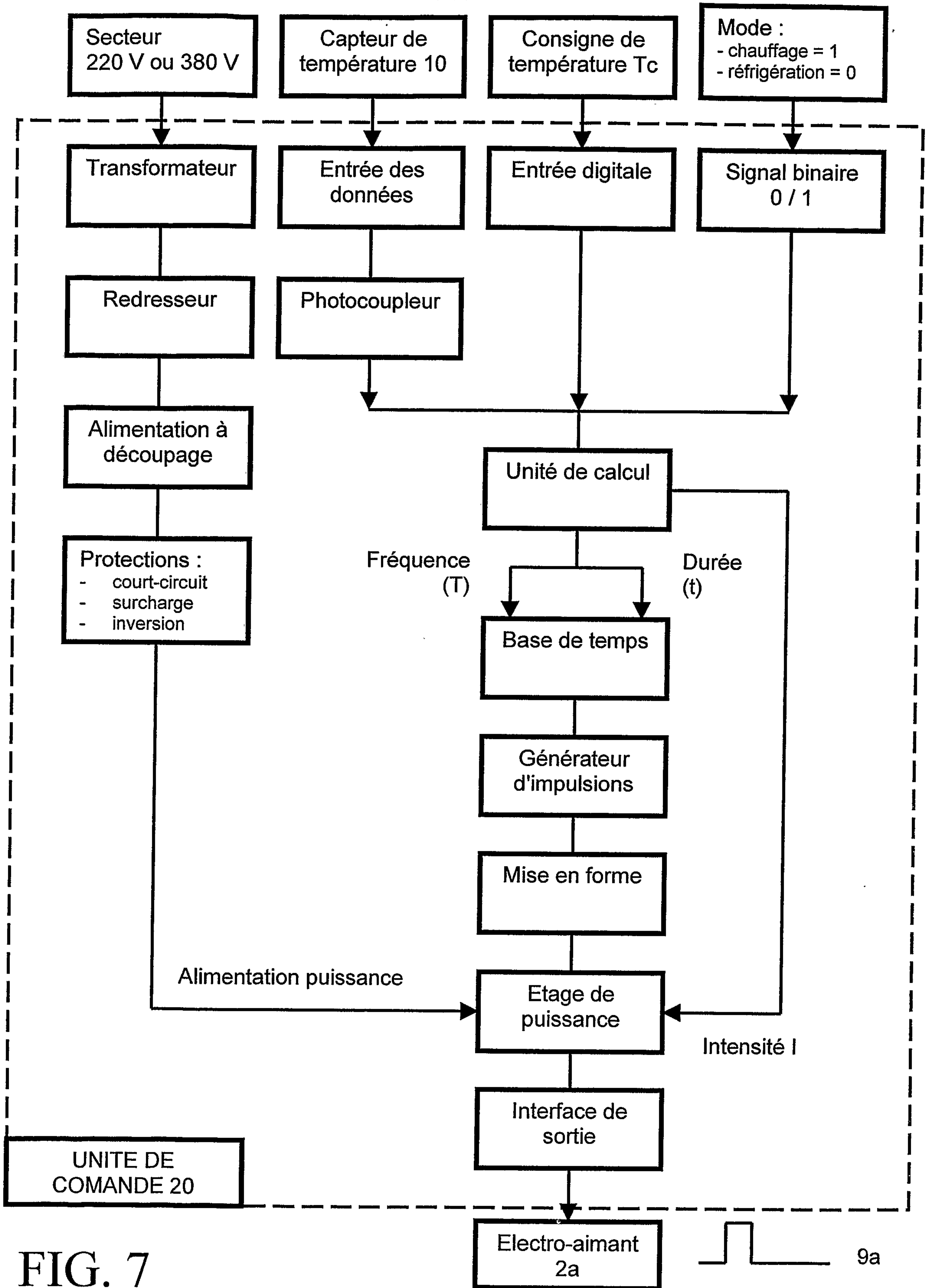


FIG. 7

