



## (12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication :  
**MA 38952 A1**

(51) Cl. internationale :  
**H01L 25/075**

(43) Date de publication :  
**31.10.2017**

---

(21) N° Dépôt :  
**38952**

(22) Date de Dépôt :  
**06.04.2016**

(71) Demandeur(s) :  
**MASCIR (MOROCCAN FOUNDATION FOR ADVANCED SCIENCE INNOVATION & RESEARCH), RUE MOHAMED ELJAZOULI, MADINAT ALIRFANE, RABAT 10100 (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**HAMEDOUN MOHAMMED ; BENYOUSSEF ABDELILAH ; MOUNKACHI OMAR ; EL MAALAM KHADIJA ; Fkhar Lahcen**

(74) Mandataire :  
**ABDELHAQ AMMANI**

---

(54) Titre : **Un réfrigérateur magnétique basé sur le transfert de chaleur par des nano-fluides**

(57) Abrégé : la présente invention concerne l'utilisation de Nano-fluide comme fluide caloporteur dans un dispositif de réfrigération magnétique linéaire, à fin d'amplifier et améliorer la variation de la température adiabatique entre les deux sources: froide et chaude. le nano-fluide caractérisé en ce que dans fluide caloporteur de base on disperse des nanoparticules d'A1203 à un pourcentage variant de 1% à 2,5%.

**Un réfrigérateur magnétique basé sur le transfert de chaleur par des nano-fluides****Abrégé:**

La présente invention concerne l'utilisation de Nano-fluide comme fluide caloporteur dans un dispositif de réfrigération magnétique linéaire, à fin d'amplifier et améliorer la variation de la température adiabatique entre les deux sources : froide et chaude. Le nano-fluide caractérisé en ce que dans fluide caloporteur de base on disperse des nanoparticules d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à un pourcentage variant de 1% à 2,5%.

## Un réfrigérateur magnétique basé sur le transfert de chaleur par des nano-fluides

### Domaine de l'invention :

La présente invention concerne l'utilisation de Nano-fluide comme fluide caloporteur dans un dispositif de réfrigération magnétique linéaire, à fin d'amplifier et améliorer la variation de la température adiabatique entre les deux sources : froide et chaude. Cette amplification servira par suite à l'application de dispositif pour la production de froid magnétique pour la réfrigération domicile, climatisation automobile...etc.

### Art antérieur :

Actuellement la production du froid repose essentiellement sur des techniques classiques de compression et détente des gaz (CFC, HFC et HCFC...), Cette technologie comporte des impacts environnementaux et économiques (gaz à effet de serre, faible efficacité énergétique...). La réfrigération magnétique semble d'être une technologie alternative pour remplacer les systèmes de refroidissement classiques.

La réfrigération magnétique est une technique de production du froid, basée sur l'effet magnéto-calorique « EMC » : c'est une propriété intrinsèque des matériaux magnétiques qui consiste à absorber ou à émettre de la chaleur sous l'action d'un champ magnétique. Cela se traduit par le réchauffement ou le refroidissement du matériau. On note que ce changement de température est réversible selon la présence ou l'absence de champ magnétique extérieur.

Sous l'action d'un champ magnétique, les moments magnétiques s'alignent et provoquent une réduction de l'entropie magnétique. Si le processus est adiabatique et réversible (sans échange de chaleur avec le milieu extérieur), l'entropie totale doit rester constante. La mise en ordre des moments magnétiques sera compensée par l'apparition d'un désordre dans l'arrangement atomique qui se traduira par une augmentation de la température : c'est l'échauffement par aimantation adiabatique. Dans le cas contraire, la suppression du champ favorise le désordre des moments magnétiques et une perte des arrangements atomiques

qui se traduira par une diminution de la température du matériau: c'est le refroidissement par désaimantation adiabatique.

L'exploitation directe de l'effet magnétocalorique ne permet pas d'atteindre des écarts de température importants entre la source chaude et la source froide, donc on peut amplifier l'EMC grâce à des cycles magnétothermiques spécifiques appelés cycle à régénération AMR (Active Magnetic Regenerative), qui est défini comme une série successive des cycles de Brayton.

Le premier prototype de réfrigération magnétique inventé par Brown (*G. V. Brown, Magnetic heat pumping near room temperature, J.Appl.Phys., 47 (1976) 3673-3680.*) a permis de valider l'application de cette technologie de production du froid magnétique autour de l'ambiante. Un nombre important des documents : brevets et articles ont été déposés dans le domaine de la réfrigération magnétique au bien des nanofluides :

Le prototype développé par Austronautic Technology (*Zimm C, Boeder A, Chell J et al (2006) Design and performance of a permanent-magnet rotary refrigerator. Int J Refrig 29:1302–1306*) atteint une variation de température adiabatique de 10K sous un champ de 5 Tesla en utilisant le Gadolinium « Gd » comme matériau magnétocalorique.

Un autre démonstrateur a été réalisé au laboratoire de Génie Electrique de Grenoble, (*Legait U, Guillou F, Kedous-Lebouc A et al (2014) An experimental comparison of four magnetocaloric regenerators using three different materials. Int J Refrig 37:147–155*) opérant près de la température ambiante en utilisant des aimants permanents qui génèrent un champ magnétique de l'ordre de 0,8 T et le Gd comme matériau magnétocalorique. La variation de la température enregistrée est de l'ordre de 4 K, après des optimisations de la géométrie et des différents paramètres cette variation de température a été augmentée jusqu'à une valeur de 10,5K.

Riso National Laboratory en Danemark (*Bahl CRH, Petersen TF, Pryds N et al (2008) A versatile magnetic refrigeration test device. Rev Sci Instrum 79:1–7*) a développé un prototype de réfrigération magnétique linéaire. Le régénérateur est composé des plaques parallèles du Gd. L'écart de température obtenu est de l'ordre de 10,2 K pour un champ magnétique de 1,2 T.

Un travail sur la magnéto-calorie à l'université de Victoria au Canada (*Rowe AM, Barclay JA (2002) Design of an active magnetic regenerator test apparatus. In: Advances in cryogenic engineering: proceedings of the cryogenic engineering conference, vol 47*) a donné naissance à un démonstrateur linéaire basé sur le Gd comme matériau magnéto-calorique et un aimant permanent qui génère un champ magnétique de 1,4 T. L'écart de température trouvée est de l'ordre de 13 K.

Le brevet (WO 2005/093343 A1) concerne un système de réfrigération magnétique : faire refroidir un fluide caloporteur lorsqu'il traverse un matériau magnéto-calorique dont le vue à une application de climatisation automobiles.

Le brevet (WO 2005/059221 A1) concerne un procédé de régénérer en continu du froid et de chaleur par effet magnéto-calorique à travers au moins un échangeur de chaleur.

Le brevet (US 6221275 B1) est orienté vers l'augmentation de l'échange thermique d'un fluide par dispersion des nanoparticules.

Le brevet, (US 2012 / 0031109 A1) est en relation avec le processus de synthèse des nano-fluides contenant des nanotubes de carbone et des oxydes de métaux à fin d'améliorer la conductivité thermique.

Dans tous les démonstrateurs ou prototypes réalisés, différents types de fluides caloporteurs (sous forme liquide/gaz, par exemple : eau, éthylène glycol, huile, Hélium, alcools, ...) ont été utilisés dont l'objectif est d'échanger la chaleur entre le matériau magnéto-calorique et les deux sources: froides et chaudes.

#### **Problématique :**

Une contrainte des systèmes de réfrigération magnétique est la limitation dans l'écart de température entre la source chaude et la source froide. Il reste inférieur à 30 K dans les systèmes les plus performants. Cette valeur est relativement faible comparée avec celles obtenues dans les systèmes de la réfrigération classique.

#### **Valeur ajoutée :**

La production du froid magnétique repose sur trois principaux composants: le matériau à effet magnéto-calorique géant, La source du champ magnétique, et le fluide caloporteur. Ce dernier sera l'objet de notre innovation. Le fluide caloporteur à un rôle très important dans

l'efficacité du cycle magnétique. Il produit un cycle hydraulique en deux étapes. Une étape a pour but l'absorption de la chaleur après l'aimantation. Et une autre étape sert à évacuer la chaleur après la désaimantation. Alors le fluide doit être un bon conducteur de la chaleur pour assurer ces deux échanges thermiques, c'est-à-dire sa conductivité thermique doit être élevée. Les fluides utilisés dans les autres prototypes sont des fluides de base avec une très faible conductivité thermique.

Un objectif de la présente invention est de fournir un fluide caloporteur à fort pouvoir de transfert de chaleur.

### **Description de l'invention**

L'invention porte sur l'amélioration du pouvoir de transfert de chaleur des fluides caloporteurs. En particulier l'invention porte sur la suspension des nanoparticules dans un fluide de base permettant d'augmenter la conductivité thermique et l'ensemble est dit Nanofluide.

Notre innovation consiste à utiliser des nanofluides, contenant des nanoparticules non magnétiques, dans un démonstrateur magnétocalorique linéaire. Les nanoparticules a dispersé dans un fluide de base sont: les métaux nanoparticules, les oxydes de métaux et les nanotubes de carbone... avec un pourcentage bien défini. L'usage des ces nanofluides améliore l'échange thermique et par conséquent l'écart de la température entre la source froide et la source chaude.

### **Brève description et interprétation des résultats :**

Le Tableau 1 présente les résultats obtenus par U.Legait. *Legait et al.*, qui ont utilisé le Gd comme matériau magnétocalorique (17 plaques) et de l'eau pur comme fluide caloporteur dans un prototype de réfrigération magnétique linéaire. La variation de température adiabatique trouvée est 10.5K.

Le Tableau 2 regroupe nos résultats en gardant les mêmes conditions citées dans le Tableau 1 sauf qu'on remplace le fluide par un nano-fluide à 1% de  $Al_2O_3$ . En remarque que l'écart de la température à augmenter de 3 K.

Le Tableau 3 contient les résultats avec un Nano-fluide 2,5% d' $Al_2O_3$ , tout en maintenir les autres conditions fixes similaires à ceux du Tableau 1. La variation de la température et augmenter jusqu'à une valeur de 25,17K

Le Tableau 4 présente les résultats obtenus dans les conditions de Nano-fluide 1% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  et les conditions du tableau 1, mais pour différents débits allant de 0,5 jusqu'à 5 ml/s, le maximum de la variation de température est égal à 32,5K pour un débit de 0,5.

Le Tableau 5 présente les résultats obtenus dans les conditions de Nano-fluide 1% d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  et les conditions du tableau 1, mais pour différents gap ou espace entre les plaques qui varie entre 0,05 et 0,5 mm. On constate que la variation de température augmente si le gap diminue et la valeur estimée pour 0,08 mm est 28,3K.

**Exemple d'amplification de variation de Température par l'utilisation d'un Nanofluide à base d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ :**

➤ **Fluide eau pur :**

Tableau 1:

Paramètres	Epaisseur des plaques	gap	Nombre des plaques	Surface de contact	Débit	Fréquence	Ecart de température
	1mm	0,3mm	17	0,035m <sup>2</sup>	2ml/s	0,42Hz	10,5K

➤ **Nanofluide à base d' $\text{Al}_2\text{O}_3$ :**

Tableau 2:

Paramètres	Epaisseur des plaques	gap	Nombre des plaques	Surface de contact	Débit	Fréquence	Ecart de température
Nanofluide $\text{Al}_2\text{O}_3$ 1%	1mm	0,3mm	17	0,035m <sup>2</sup>	2ml/s	0,42Hz	12,17K

Tableau 3:

Paramètres	Epaisseur des plaques	gap	Nombre des plaques	Surface de contact	Débit	Fréquence	Ecart de température
Nanofluide Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2,5%	1mm	0,3mm	17	0,035m <sup>2</sup>	2ml/s	0,42Hz	25,17K

Tableau 4:

Débit (ml/s)	0,5	0,8	1	1,5	2	3	4	5
$\Delta T$ (K)	23,1	19,2	17,22	13,19	12,17	9,83	8,35	7,2

Tableau 5:

Gap mm	0,05	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\Delta T$ (K)	37,2	28,4	24,8	16,12	12,17	9,62	7,7



**Revendications :**

- 1- Système de réfrigération basé sur la production du froid par l'effet magnétocalorique comprenant un matériau magnétocalorique, un moyen pour générer un champ magnétique et un moyen pour le transfert de la chaleur **caractérisé en ce que** ledit moyen pour le transfert de chaleur est un nanofluide composé d'un fluide dans lequel des nanomatériaux sont dispersés pour assurer un effet magnétocalorique pour un gradient de température supérieur à 25 °C.
- 2- Système selon la revendication 1 **caractérisé en ce que** la réfrigération magnétique est produite par un matériau et/ou nanomatériau magnétocalorique avec une structuration simple et/ou poreuse.
- 3- Système selon les revendications 1 et 2 **caractérisés en ce que** le cycle magnétique AMRR (active magnetic regenerative refrigeration (réfrigération magnétique active à récupération)) est linéaire et/ou rotative.
- 4- Système selon les revendications 1 à 4 **caractérisé en ce qu'il** est valable pour des applications de refroidissement à basse (<300K), ambiante (~300K) et haute température (>300K).



**RAPPORT DE RECHERCHE  
AVEC OPINION SUR LA BREVETABILITE**  
(Conformément aux articles 43 et 43.2 de la loi 17-97 relative à la  
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et  
complétée par la loi 23-13)

**Renseignements relatifs à la demande**

N° de la demande : 38952		Date de dépôt : 06/04/2016
Déposant : MASCIR (MOROCCAN FOUNDATION FOR ADVANCED SCIENCE INNOVATION & RESEARCH)		
Intitulé de l'invention : Un réfrigérateur magnétique basé sur le transfert de chaleur par des nano- fluides		
Le présent document est le rapport de recherche avec opinion sur la brevetabilité établi par l'OMPIC conformément aux articles 43 et 43.2, et notifié au déposant conformément à l'article 43.1 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.		
Les documents brevets cités dans le rapport de recherche sont téléchargeables à partir du site <a href="http://worldwide.espacenet.com">http://worldwide.espacenet.com</a> , et les documents non brevets sont joints au présent document, s'il y en a lieu.		
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :		
Partie 1 : Considérations générales		
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité <input type="checkbox"/> Cadre 3 : Titre et/ou Abrégé tel qu'ils sont définitivement arrêtés		
Partie 2 : Rapport de recherche		
Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité		
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de clarté <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications dont aucune recherche significative n'a pu être effectuée <input type="checkbox"/> Cadre 7 : Défaut d'unité d'invention		
Examineur: M. EL KINANI		Date d'établissement du rapport : 27/04/2016
Téléphone: 212 5 22 58 64 14/00		



**Partie 1 : Considérations générales**

*Cadre 1 : base du présent rapport*

Les pièces suivantes de la demande servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Description  
6 Pages
- Revendications  
4

**Partie 2 : Rapport de recherche**

**Classement de l'objet de la demande :**

CIB : H01L 25/075, 31/042

CPC : F25B2321/002, Y02B30/66; C09K5/10

Bases de données électroniques consultées au cours de la recherche :

**EPOQUE, Orbit**

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X	EP2108904 , Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD) [CH] ,14/10/ 2009	1-4
X	WO2004059221 ; Ecole D'ingenieurs Du Canton De Vaud ; 15/07/2004	1

**\*Catégories spéciales de documents cités :**

-« X » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément  
 -« Y » document particulièrement pertinent ; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier  
 -« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent  
 -« P » documents intercalaires ; Les documents dont la date de publication est située entre la date de dépôt de la demande examinée et la date de priorité revendiquée ou la priorité la plus ancienne s'il y en a plusieurs  
 -« E » Éventuelles demandes de brevet interférentes. Tout document de brevet ayant une date de dépôt ou de priorité antérieure à la date de dépôt de la demande faisant l'objet de la recherche (et non à la date de priorité), mais publié postérieurement à cette date et dont le contenu constituerait un état de la technique pertinent pour la nouveauté

**Partie 3 : Opinion sur la brevetabilité**

*Cadre 4 : Remarques de clarté*

La revendication 4 ne satisfait pas aux exigences de l'article 35 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13 car l'objet de la protection demandée n'est pas clairement défini. La revendication tente de définir l'objet par le résultat recherché. cette formulation « caractérisé en ce qu'il est valable pour des applications de refroidissement à basse <300k, ambiante ~300k et haute température >300k) n'est pas acceptable en l'espèce, puisqu'il semble possible de définir l'objet en des termes plus concrets, c'est-à-

dire en exposant comment l'effet peut être obtenu.

Les revendications 2 et 3 ne se fondent pas sur la description, ce qui est contraire à l'article 34 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13, étant donné que leur portée est plus large que celle qui est justifiée par la description et les dessins.

*Cadre 5 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle*

Nouveauté (N)	Revendications aucune Revendications 1-4	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications aucune Revendications 1-4	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-4 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants. Les numéros d'ordre qui leur sont attribués ci-après seront utilisés dans toute la suite de la procédure

D1 : EP2108904

D2 : WO2004059221

**1. Nouveauté (N) et activité inventive (AI) :**

Le document D1 divulgue un système de réfrigération par l'effet magnétocalorique comprenant un matériau magnétocalorique, un moyen (4, 11) pour générer un champ magnétique et un moyen de transfert de chaleur caractérisé en ce que ledit moyen de transfert de chaleur est un nano fluide (cf. paragr. [0028]) dans lequel des nanomatériaux sont dispersés.

Le document D2 couvre aussi l'objet de la revendication 1.

D'où l'objet de la revendication indépendante 1 n'est pas nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.

De plus, nonobstant le manque de clarté mentionné ci-dessus, l'objet des revendications dépendantes 2-4 n'est pas nouveau au sens de l'article 26 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13, en effet :

Le document D1 décrit également l'utilisation d'un nanomatériau magnétocalorique avec une structure simple ou poreuse (cf. paragr. [0054]), D1 décrit également la possibilité de l'utilisation de différents

process de régénération active (“Different thermodynamic processes are possible, an active regenerative process is possible”, “including different types of regeneration and thermodynamic cycles”).

L’objet des revendications 1-4 ne remplit pas les critères de l’activité inventive, conformément à l’article 28 de la loi 17-97 modifiée et complétée par la loi 23-13.

**2. Possibilité d’application industrielle (PAI) :**

L’objet de la présente invention est susceptible d’application industrielle au sens de l’article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu’il présente une utilité déterminée, probante et crédible.