

## (12) BREVET D'INVENTION

(11) N° de publication : **MA 52721 A1** (51) Cl. internationale : **F25B 21/00**

(43) Date de publication :  
**30.09.2022**

---

(21) N° Dépôt :  
**52721**

(22) Date de Dépôt :  
**16.03.2021**

(71) Demandeur(s) :  
**UNIVERSITE HASSAN II, 19, Rue Tarik Bnou Ziad, Mers Sultan, BP 9167,  
CASABLANCA (MA)**

(72) Inventeur(s) :  
**EL HAFIDI Moulay Youssef**

(74) Mandataire :  
**Aawatif HAYAR**

---

(54) Titre : **Système de refroidissement magnétocalorique à base de nano fluide à température ambiante**

(57) Abrégé : Le présent système est un système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide à température ambiante. Il comprend un matériau magnétocalorique poreux permettant de maximiser l'efficacité de la réfrigération tout en gardant le coût raisonnable comparé au gadolinium pur. Un générateur de champ magnétique est prévu pour générer un champ magnétique puissant à l'aide d'électroaimants et/ou d'aimants permanents entourant le matériau magnétocalorique, qui est alternativement magnétisé et démagnétisé pour générer un effet magnétocalorique servant pour le refroidissement. Par le biais de deux unités séparées de transfert de chaleur à haute température et à basse température, l'échange thermique se produit entre le matériau magnétocalorique et le nanofluide, ce qui permet d'obtenir un effet de refroidissement optimal. Ce système présente une technologie de réfrigération économe en énergie, respectueuse de l'environnement et à haut rendement thermique.

## **Système de refroidissement magnéto-calorique à base de nanofluide à température ambiante**

### **Résumé**

Le présent système est un système de refroidissement magnéto-calorique à base de nanofluide à température ambiante. Il comprend un matériau magnéto-calorique poreux permettant de maximiser l'efficacité de la réfrigération tout en gardant le coût raisonnable comparé au gadolinium pur. Un générateur de champ magnétique est prévu pour générer un champ magnétique puissant à l'aide d'électroaimants et/ou d'aimants permanents entourant le matériau magnéto-calorique, qui est alternativement magnétisé et démagnétisé pour générer un effet magnéto-calorique servant pour le refroidissement. Par le biais de deux unités séparées de transfert de chaleur à haute température et à basse température, l'échange thermique se produit entre le matériau magnéto-calorique et le nanofluide, ce qui permet d'obtenir un effet de refroidissement optimal. Ce système présente une technologie de réfrigération économe en énergie, respectueuse de l'environnement et à haut rendement thermique.

**Titre**

## **SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT MAGNÉTOCALORIQUE À BASE DE NANOFLUIDE À TEMPÉRATURE AMBIANTE**

### **Domaine technique de l'invention**

La présente divulgation concerne les systèmes de refroidissement et, plus particulièrement, les systèmes de refroidissement magnéto-caloriques.

### **Contexte de l'invention**

Au cours des dernières décennies, la réfrigération magnétique (RM) est devenue la promesse inéluctable d'une technologie de refroidissement propre et efficace, spécialement à température ambiante. En effet, un effet magnéto-calorique géant (GMCE) est observé dans les matériaux à base de gadolinium. La réfrigération magnétique est une technologie propre qui utilise un champ magnétique pour modifier l'entropie magnétique d'un matériau (l'effet magnéto-calorique, EMC), permettant ainsi au matériau de servir de réfrigérant. Cette technologie permet d'obtenir un rendement frigorifique plus élevé (environ 20 à 30 %) que les techniques classiques de compression de gaz. De nombreux efforts ont été déployés, tant sur le plan théorique qu'expérimental, afin de mettre au point de nouveaux concepts de réfrigération magnétique active (RMA) qui permettent la réfrigération magnétique à température ambiante.

Le brevet américain US8104293 intitulé "Cooling device and method of operation" (Dispositif de refroidissement et méthode de fonctionnement), attribué à Haier US Appliance Solutions Inc, illustre une méthode de fonctionnement d'un dispositif de refroidissement. Le procédé comprend la régulation séquentielle d'une température d'une pluralité d'éléments magnéto-caloriques couplés thermiquement pour maximiser l'effet magnéto-calorique pour chacun des éléments magnéto-caloriques lorsqu'ils sont soumis à un cycle de réfrigération magnétique régénérative.

Cependant, ce procédé de fonctionnement d'un dispositif de refroidissement tel que décrit dans le brevet américain susmentionné comprend une pluralité d'éléments magnéto-caloriques couplés thermiquement, ce qui présente une certaine complexité technique.

Le brevet américain US9631842 intitulé "Magneto-caloric cooling system" (système de refroidissement magnétocalorique), attribué à Barr Gordon O [US], illustre un système de refroidissement magnétocalorique qui comprend une zone d'absorption d'énergie conçue pour être positionnée à proximité d'un dispositif de production d'énergie thermique. Un dispositif de transfert d'énergie thermique est configuré pour être déplacé entre la zone d'absorption d'énergie et la zone de dissipation d'énergie. Un dispositif de génération de champ magnétique est mis en place pour produire un champ magnétique à proximité de la zone de dissipation d'énergie.

Néanmoins, le système de refroidissement magnétocalorique ci-dessus, tel que divulgué dans le brevet américain susmentionné, utilise du gadolinium pur avec un dispositif de génération de champ magnétique sans se soucier du prix très cher du matériau.

La demande de brevet taïwanaise TW201135168A intitulée "Rotary magneto-cooling apparatus under room temperature" (appareil rotatif de refroidissement magnétique à température ambiante), attribuée à l'Université Nat Taipei Technology, illustre un appareil rotatif de refroidissement magnétique à température ambiante qui est appliqué dans un champ de refroidissement, mais cet appareil rotatif de magnéto-refroidissement utilise du gadolinium pur avec un dispositif de génération de champ magnétique sans tenir compte du coût du système proposé.

La demande de brevet coréenne KR20110048935A, intitulée " Magnetic field generating unit for magnetic refrigerator and magnetic refrigerator comprising the same ", attribuée à l'Institut de recherche en électrotechnique de Corée, illustre une unité de génération de champ magnétique pour réfrigérateur magnétique et un réfrigérateur magnétique comprenant celle-ci.

Le brevet coréen KR100768006, intitulé " Magnetic heat-exchanging unit and Magnetic Refrigerator with the magnetic heat-exchanging unit" et attribué à Daewoo Electronics Corp, illustre une unité d'échange de chaleur magnétique dans laquelle une pièce de matériau magnétocalorique est disposée de telle sorte qu'un espace est formé, et un refroidisseur magnétique composé d'un échangeur de chaleur haute température et d'un échangeur de chaleur basse température séparés à travers

lesquels un fluide thermo conducteur qui échange de la chaleur avec l'unité magnéto-calorique circule séparément.

Le brevet coréen KR100761666 intitulé "Active Magnetic Refrigerator", attribué à Daewoo Electronics Corp, illustre un réfrigérateur magnétique actif comprenant un échangeur de chaleur à haute température et un échangeur de chaleur à basse température séparés, dans lesquels un fluide de conduction thermique destiné à échanger de la chaleur avec une pluralité d'unités d'échange de chaleur magnétiques, dans lesquelles des pièces calorifiques en matériau magnétique sont disposées pour former un espace, circule séparément à travers une électrovanne. Une unité d'échange de chaleur magnétique a été développée pour améliorer le rendement thermique.

La demande de brevet américaine intitulée "Reciprocating and rotary magnetic refrigeration apparatus", attribuée à Chen Chih-Hsin, illustre un appareil de réfrigération magnétique à mouvement alternatif et rotatif qui adopte un concept de dynamo pour générer un effet thermomagnétique pour le refroidissement.

En conséquence, afin de surmonter un ou plusieurs inconvénients associés à l'état de l'art, on ressent fortement le besoin d'un système de refroidissement magnéto-calorique efficace, abordable et fiable qui peut être adopté avec de nouveaux matériaux magnéto-caloriques qui sont rentables et de tels systèmes de refroidissement peuvent être intégrés aux dispositifs de réfrigération existants remplaçant ainsi les systèmes de refroidissement au gaz frigorigène nocif à l'environnement.

### Résumé de l'invention

Dans un aspect de la présente invention, le système de refroidissement magnéto-calorique utilise des matériaux composites pour améliorer l'effet magnéto-calorique et la puissance de refroidissement du réfrigérant.

Dans un autre aspect de la présente invention, le système de refroidissement magnéto-calorique est associé à la technologie des nanofluides en raison de ses propriétés thermiques améliorées.

Dans un autre aspect de la présente invention, le système de refroidissement magnéto-calorique est utilisé avec deux échangeurs de chaleur similaires pour absorber et expulser la chaleur.

Dans un autre aspect de la présente invention, le système de refroidissement magnéto-calorique fonctionne dans des conditions de température ambiante.

Dans un autre aspect de la présente invention, le système de refroidissement magnéto-calorique présente un cycle thermodynamique consistant en la magnétisation et la démagnétisation du matériau dans lequel la chaleur est respectivement rejetée et absorbée. Les cycles les plus appropriés pour la réfrigération magnétique à température ambiante sont le cycle de Brayton et le cycle d'Ericsson.

D'autres objets, aspects, caractéristiques et finalités de la présente invention seront mieux compris à partir de la description détaillée suivante. La description suivante est de nature illustrative et n'est pas destinée à être en aucune façon limitative. En plus des aspects, des modes de réalisation et des caractéristiques décrits ci-dessus, d'autres aspects, modes de réalisation et caractéristiques deviendront apparents en se référant à la description détaillée suivante.

### **Brève description des dessins**

Les dessins ci-joints illustrent le meilleur mode de réalisation de l'invention tel qu'il est actuellement envisagé et exposé ci-après. La présente invention peut être plus clairement comprise à partir de la description détaillée suivante des modes de réalisation préférés, prise conjointement avec les dessins ci-joints, dans lesquels des lettres et des chiffres de référence similaires indiquent les parties correspondantes dans les différentes figures des dessins ci-joints, et dans lesquels :

La figure 1 illustre la conception du système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide.

La figure 2 illustre l'effet magnétocalorique pour le cas adiabatique qui présente un maximum géant autour de  $T_c$  (Température de Curie).

La figure 3 présente le rapport d'amélioration de la conductivité thermique en fonction de la concentration volumique des NTC (Nanotubes de Carbone).

### **Description détaillée des dessins**

Afin d'améliorer et de surmonter un ou plusieurs inconvénients et difficultés associés à l'état de l'art et de fournir des avantages supplémentaires, un système et une méthode d'identification sont fournis et illustrés ici. Des caractéristiques et des avantages supplémentaires sont réalisés grâce aux aspects de la divulgation de la présente invention. D'autres modes de réalisation et aspects de la divulgation de la présente invention sont décrits en détail dans le présent document et sont considérés comme faisant partie de l'invention revendiquée.

La présente invention déploie un système de refroidissement magnétocalorique qui comprend un matériau magnétocalorique auquel un champ magnétique est appliqué par un aimant permanent ou une bobine électrique. Le système de refroidissement magnétocalorique de la présente invention a un cycle thermodynamique consistant en la magnétisation et la démagnétisation du matériau dans lequel la chaleur est respectivement rejetée et absorbée.

La figure 1 illustre la conception du système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide. Il comprend deux circuits identiques : un circuit chaud **24** et un circuit froid **22**. Chaque circuit contient une pompe, des vannes **26** et un échangeur de chaleur **14,16**. Les deux circuits communiquent avec un réservoir contenant le matériau magnétocalorique **10** (dans ce cas, matériau poreux à base de gadolinium). La circulation du nanofluide **18** est contrôlée par un automate qui commande les électrovannes. Le générateur de champ magnétique est appliqué (dans ce cas, le champ magnétique est fourni par des aimants permanents NdFeB **12**) autour du matériau à base de gadolinium **10** afin d'assurer sa magnétisation/démagnétisation.

En se référant à la figure 2, on peut observer l'effet magnétocalorique (EMC) pour différents champs magnétiques appliqués. Un changement positif important de l'EMC est observé au voisinage de la température de transition (température de Curie). Le maximum de l'EMC croît significativement avec le champ magnétique.

La figure 3 montre le rapport de conductivité thermique en fonction de la concentration en nanoparticules simulée pour les formes les plus courantes de nanoparticules. La forme tétraédrique est la plus adaptée en termes de conductivité thermique élevée alors que la sphère présente les performances les plus faibles. Plus la concentration en nanoparticules est élevée (pas plus de 10% pour maintenir une faible viscosité du fluide), plus l'échange thermique entre le matériau magnétocalorique et le fluide est important.

Dans un mode de réalisation de la présente invention, le système de refroidissement magnétocalorique utilise la famille des NdFeB comme aimants permanents pour la source de champ magnétique (environ 1,3 Tesla). Un matériau poreux à base de gadolinium est pris comme matériau magnétocalorique. Le nanofluide est composé d'eau comme liquide de base et de nanotubes de carbone (NTC) comme nanoparticules. Le système fonctionne à température ambiante (environ 20°C). En termes de spécifications techniques, le débit du fluide est égal à *1L/min*, le temps de cycle est de 2 secondes et le gadolinium poreux est un disque plat de 200 g avec un diamètre de 400  $\mu\text{m}$ . Comme principaux résultats, nous générons une puissance frigorifique de 50 à 60 *W*. Le coefficient de performance (COP) qui est le rapport entre le

changement de chaleur à la "sortie" et le travail fourni est d'environ 26 et le  $\Delta T$  généré est égal à 6°C.

Contrairement aux techniques de réfrigération classiques basées sur la compression de gaz frigorigène, le système de refroidissement magnéto-calorique de la présente invention préserve l'environnement et économise la consommation d'énergie. La présente conception est plus simple et moins coûteuse que les réfrigérateurs à régénération magnétique active.

Après avoir passé en revue cette description détaillée et les dessins du mode de réalisation illustré, les personnes ordinairement qualifiées dans l'art pertinent se rendront compte que ceux-ci ne font que définir un mode de réalisation préconisé de l'invention au lieu de le délimiter. Il faut plutôt garder à l'esprit que la portée de l'invention, telle qu'elle est exposée ci-dessous, est suffisamment large pour englober un nombre substantiel et une grande variété de modes de réalisation, dont beaucoup peuvent même ne pas ressembler à celui qui est représenté et décrit ici. Néanmoins, de telles réalisations supplémentaires emploieront l'esprit et la portée de l'invention qui est établie uniquement par les revendications suivantes et leurs équivalents.

### Revendications

1. Un système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide à température ambiante comprenant :
  - a. Un matériau magnétocalorique poreux **10** ;
  - b. Un générateur de champ magnétique magnétisant et démagnétisant alternativement le matériau magnétocalorique ;
  - c. Un échangeur de chaleur à haute température **14** connecté à une unité d'échange de chaleur magnétique ;
  - d. Un échangeur de chaleur à basse température **16** relié à l'unité d'échange de chaleur magnétique ;
  - e. Un automate qui commande le cycle thermodynamique consistant en la magnétisation et la démagnétisation du matériau magnétocalorique dans lequel la chaleur est respectivement rejetée et absorbée ; et
  - f. Un nanofluide **18** pour améliorer la conductivité thermique.
2. Système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide de la revendication **1**, dans lequel le composé magnétocalorique poreux **10** est un matériau composite.
3. Système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide de la revendication **2**, dans lequel le matériau composite magnétocalorique **10** comprend des matériaux à base de gadolinium.
4. Système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide de la revendication **1**, dans lequel le générateur de champ magnétique utilise des bobines électriques pour fournir un champ magnétique puissant.
5. Système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide de la revendication **1**, dans lequel le générateur de champ magnétique utilise des aimants permanents **12** pour fournir un champ magnétique puissant.
6. Système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide de la revendication **5**, dans lequel la circulation du nanofluide **18** est contrôlée par un automate qui commande les électrovannes.

7. Système de refroidissement magnéto-calorique à base de nanofluide de la revendication 1, dans lequel le nanofluide contient de l'eau comme liquide de base et des nanoparticules solides.
8. Système de refroidissement magnéto-calorique à base de nanofluide de la revendication 7, dans lequel les nanoparticules solides sont des nanotubes de carbone (NTC).
9. Système de refroidissement magnéto-calorique à base de nanofluide de la revendication 1, dans lequel le cycle thermodynamique du nanofluide 18 est un cycle de Brayton.
10. Système de refroidissement magnéto-calorique à base de nanofluide de la revendication 1, dans lequel le cycle thermodynamique du nanofluide 18 est un cycle d'Ericsson.

Dessins

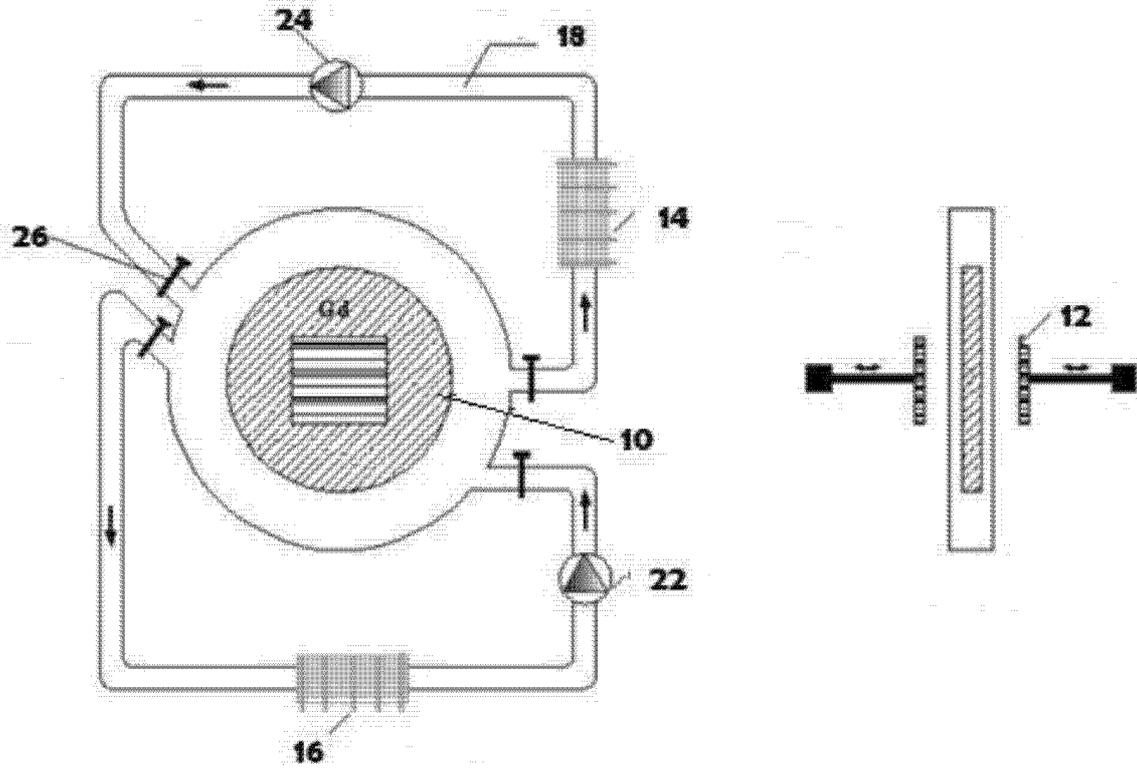


Figure 1

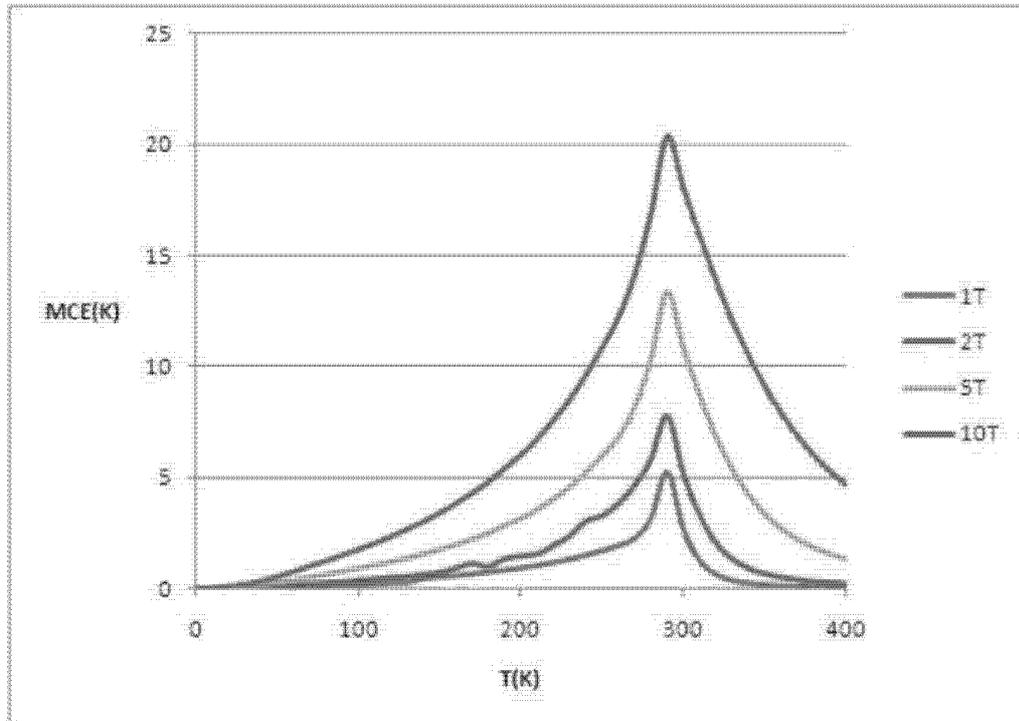


Figure 2

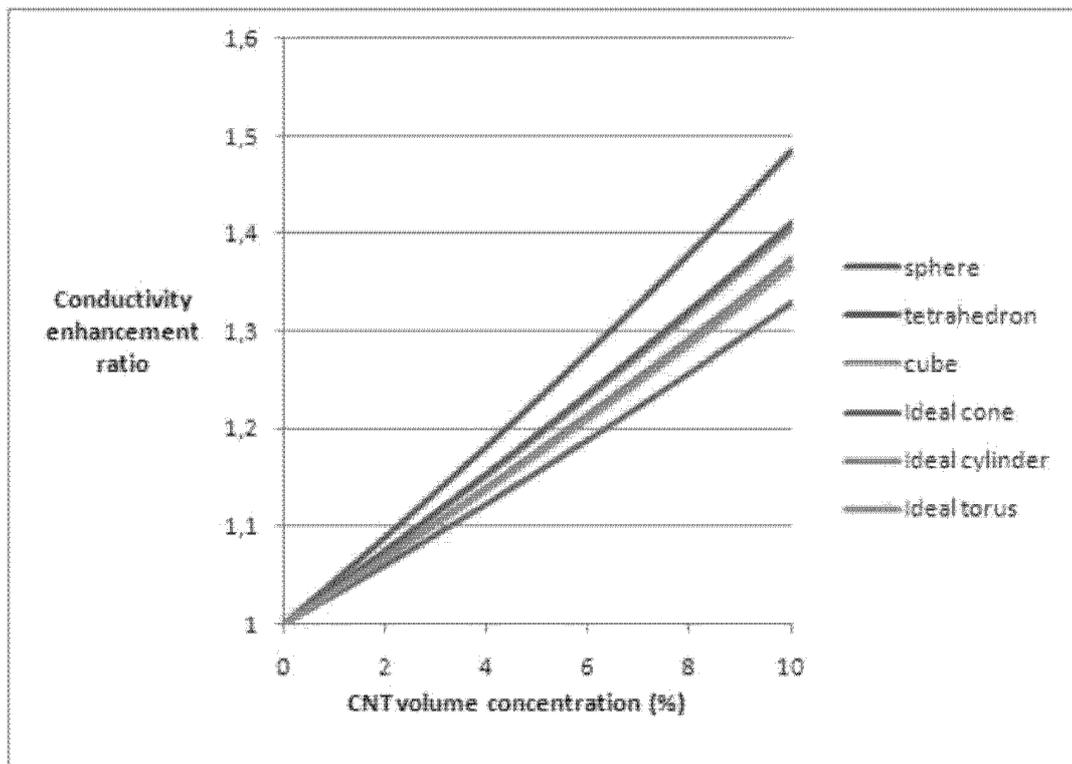


Figure 3

**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)

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 52721	Date de dépôt : 16/03/2021
Déposant : UNIVERSITE HASSAN II	
Intitulé de l'invention : Système de refroidissement magnéto-calorique à base de nano fluide à température ambiante	
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 type="checkbox"/> Cadre 4 : Remarques de forme et de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: EL KINANI Mohamed	Date d'établissement du rapport : 14/07/2021
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  
7 Pages
- Revendications  
1-10
- Planches de dessin  
3 Pages

**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

Plateformes et bases de données électroniques de recherche :

EPOQUENET, WPI, ScienceDirect, IEEE, ORBIT

Catégorie*	Documents cités avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	N° des revendications visées
X	WO2004059221 (A1) ; ECOLE D'INGENIEURS DU CANTON D [CH] ; 15-07-2004	1-10
X	MA38952 A1; MASCIR (MOROCCAN FOUNDATION FOR ADVANCED SCIENCE INNOVATION & RESEARCH) ; 31/10/2017	1-10
X	Voraksmy BAN ; Institut Jean Lamour- CNRS – [FR] ; 18/01/2011 <a href="http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD_T_2011_0005_BAN.pdf">http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD_T_2011_0005_BAN.pdf</a>	1-10

**\*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 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications aucune	Oui
	Revendications 1-10	Non
Activité inventive	Revendications aucune	Oui
	Revendications 1-10	Non
Application Industrielle	Revendications 1-10	Oui
	Revendications aucune	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 : WO2004059221 (A1)

D2 : MA38952 A1

D3 : [http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD\\_T\\_2011\\_0005\\_BAN.pdf](http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCD_T_2011_0005_BAN.pdf)

**1. Nouveauté**

Aucun document de l'état de la technique ne divulgue un système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide à température ambiante tel que décrit dans la revendication 1 de la présente demande.

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

Par conséquent, l'objet des revendications dépendantes 2-10 est également nouveau.

**1. Activité inventive**

Le document D1 considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1 divulgue un système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide à température ambiante comprenant :

- Un générateur de champ magnétique magnétisant et démagnétisant alternativement le matériau magnétocalorique ;
- Un échangeur de chaleur à haute température connecté à une unité d'échange de chaleur magnétique ;
- Un échangeur de chaleur à basse température relié à l'unité d'échange de chaleur magnétique ;
- Un nanofluide 18 pour améliorer la conductivité thermique.
- Un moyen de commande de la magnétisation et la démagnétisation du matériau magnétocalorique

Par conséquent, l'objet de la revendication 1 diffère de ce système connu en ce qu'il

comprend un matériau magnétocalorique poreux.

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut être considéré comme adapter le système de D1 afin de fournir un transfert de chaleur optimal.

Le document D2 décrit un système de refroidissement magnétocalorique à base de nanofluide à température ambiante comprenant un matériau magnétocalorique poreux.

D'où l'objet de la revendication indépendantes 1 n'est pas considéré comme impliquant une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les revendications 2-10 ne contiennent pas de caractéristiques supplémentaires qui satisfont aux exigences de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13 en matière d'activité inventive (voir D1-D3[en particulier la caractéristique « matériau composite magnétocalorique comprenant des matériaux à base de gadolinium »]).

## **2. Application industrielle**

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.