



## (12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 33422 B1** (51) Cl. internationale : **C09K 5/02; C01B 31/02; C04B 35/52**
- (43) Date de publication : **03.07.2012**

- 
- (21) N° Dépôt : **34523**
- (22) Date de Dépôt : **09.01.2012**
- (30) Données de Priorité : **16.06.2009 ES P200901423**
- (86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/ES2010/000261 15.06.2010**
- (71) Demandeur(s) : **ABENGOA SOLAR NEW TECHNOLOGIES, S.A., Avenida de la Buhaira 2 E-41018 - Sevilla (ES)**
- (72) Inventeur(s) : **PALOMO DEL BARRIO, Elena ; BEN KHEMIS, Sabri ; MOURAND, David ; NOEL, Frédéric ; HO-KON-TIAT, Vanessa ; DAUVERGE, Jean-Luc ; ANGUY, Yannick ; PRIETO RIOS, Cristina ; OVE LLOVERA, Aleix**
- (74) Mandataire : **CABINET PATENTMARK**

- 
- (54) Titre : **MATÉRIAU COMPOSITE POUR STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE À HAUTE TEMPÉRATURE**
- (57) Abrégé : L'INVENTION CONCERNE UN MATÉRIAU COMPOSÉ POUR LE STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE À HAUTE TEMPÉRATURE (225 À 488°C), FORMÉ PAR UNE STRUCTURE EN CARBONE POREUSE AU MOINS PARTIELLEMENT REMPLIE DE LIOH/KOH DANS LAQUELLE UNE GRANDE QUANTITÉ D'ÉNERGIE THERMIQUE PEUT ÊTRE STOCKÉE OU EN ÊTRE LIBÉRÉE TRÈS RAPIDEMENT. LA STRUCTURE EN CARBONE EST CARACTÉRISÉE PAR UNE HAUTE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE VOLUMÉTRIQUE, UNE FAIBLE DENSITÉ, UNE POROSITÉ HAUTEMENT INTERCONNECTÉE ET UN MODULE D'ÉLASTICITÉ RELATIVEMENT ÉLEVÉ. LES PROPRIÉTÉS REMARQUABLES DES MÉLANGES LIOH/KOH SONT UNE GRANDE QUANTITÉ D'ÉNERGIE IMPLIQUÉE DANS LA FUSION/CRISTALLISATION COMPLÈTE, UNE DILATATION EN VOLUME RELATIVE ASSEZ BASSE LORS DE LA FUSION ET UNE SOUS-RÉFRIGÉRATION ASSEZ BASSE. LES PRINCIPAUX AVANTAGES DES

COMPOSÉS OBTENUS SONT UNE DENSITÉ ÉNERGÉTIQUE TRÈS ÉLEVÉE, UNE DILATATION EN VOLUME RELATIVEMENT BASSE, UN TRANSFERT DE CHALEUR HAUTEMENT RENFORCÉ, UNE THERMO-ADAPTABILITÉ, UNE STABILITÉ ET UNE HYSTÉRÉSIS INSIGNIFIANTES.

**RÉSUMÉ**

Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température (225 à 488°C) formé d'une structure en carbone poreux au moins partiellement remplie de LiOH/KOH où une grande quantité d'énergie thermique

5 peut être stockée ou libérée très rapidement. La structure en carbone se caractérise par une haute conductivité thermique volumétrique, une basse densité, une porosité hautement interconnectée et un module d'élasticité relativement élevé. Les propriétés importantes des mélanges LiOH/KOH sont une grande quantité d'énergie impliquée dans la fusion/cristallisation complète,

10 une expansion de volume relative assez basse lorsqu'il est fondu et un sous-refroidissement assez bas. Les principaux avantages des composites qui en résultent sont une très haute densité énergétique, une expansion de volume relativement basse, un transfert de chaleur hautement favorisé, thermo-

adaptabilité, stabilité et hystérèse insignifiante.

15

fuy

**MATÉRIAU COMPOSITE POUR STOCKAGE D'ÉNERGIE THERMIQUE À  
HAUTE TEMPÉRATURE**

**Secteur technique de l'invention**

La présente invention concerne de nouveaux matériaux à changement  
5 de phase pour stockage d'énergie thermique à haute température (>200°C). Ils  
sont le résultat du remplissage d'une structure en carbone poreux avec un  
matériau à changement de phase de haute densité énergétique. La fonction du  
matériau à changement de phase est de stocker ou de libérer de l'énergie  
thermique dans un intervalle de température choisi, tandis que le carbone sert à  
10 favoriser le transfert de chaleur.

**Antécédents de l'invention**

Actuellement, il y a de nombreuses applications qui requièrent le  
stockage d'une grande quantité de chaleur à haute température. Dans le  
secteur industriel la récupération, le stockage et la réutilisation de la chaleur  
15 résiduelle pourrait jouer un rôle important pour une utilisation efficace et  
économique de l'énergie.

Dans la génération d'énergie basée sur des techniques de conversion  
conventionnelles (c'est-à-dire des centrales électriques à gaz ou huile), le  
stockage de chaleur pourrait être une façon utile d'améliorer l'efficacité et la  
20 récupération de cette dernière, ainsi que de réduire l'énergie nominale requise  
pour l'ajustement aux pics de charge.

En ce qui concerne les énergies renouvelables, en raison de  
l'augmentation de la quantité d'électricité générée au moyen de ces sources  
des problèmes considérables de stabilité du réseau ont commencé à  
25 apparaître, puisqu'elles dépendent de la disponibilité de la ressource, par  
exemple, les centrales solaires électriques actuelles cessent de fonctionner la  
nuit, c'est pourquoi l'intégration du stockage de l'énergie thermique éviterait les  
problèmes de stabilité du réseau et prolongerait la période de fourniture  
d'énergie, ce qui contribue à une commercialisation satisfaisante de ces  
30 technologies.

D'autre part, pour des centrales thermiques solaires autonomes dans  
des parcs électriques éloignés ou isolés, le stockage d'énergie est un élément  
clé pour maximiser le facteur de capacité et assurer la disponibilité. Le stockage  
thermique à haute température pourrait être utilisé également pour augmenter  
35 l'efficacité dans la cogénération.

Un autre champ d'application des nouveaux matériaux à changement de phase proposés pourrait être la protection thermique pour dispositifs électroniques à haute énergie. Dans le domaine aérospatial, ils pourraient être utilisés comme un évacuateur de chaleur pour éviter la surchauffe des satellites

5 durant les orbites cycliques, ainsi que pour éviter la surchauffe des bords avant des véhicules spatiaux durant la rentrée. Également dans les systèmes de frein pour l'industrie aéronautique et pour atténuer les pics de température dans les réactions exothermiques, pour l'industrie chimique, autant de secteurs possibles pour lesquels une protection thermique importante est requise.

10 Malgré l'intérêt qu'il présente, on ne trouve que très peu voire aucun système commercial de stockage d'énergie thermique à haute température. Et cela en raison principalement du coût encore élevé de l'investissement des technologies existantes, qui conduit à des systèmes qui ne sont pas économiques.

15 Un aspect essentiel pour parvenir à une réduction des coûts significative, c'est dans les systèmes de stockage, le développement de matériaux à bas coût qui soient stables à long terme et qui satisfassent aux exigences énergétiques du stockage dans les centrales et qui évitent le surdimensionnement de l'unité de stockage.

20 Les réalisations existantes reposent habituellement sur des systèmes de stockage de chaleur sensible avec utilisation de liquides (c'est-à-dire, huiles, sels fondus) ou solides (c'est-à-dire, métaux, céramiques, pierres, béton) comme moyen de stockage. Les liquides prédominent dans les applications dans l'intervalle de 150 à 400°C et les solides dans l'intervalle de température

25 au-delà de 500/600°C. Pour ces solides les densités d'énergie varient de 1500-3000 kJ/(m<sup>3</sup>·K) et les coûts d'investissement varient de 30 €/kWh, pour le béton, à 400 €/kWh, pour les matériaux céramiques.

Pour réduire les coûts d'investissement, réussir à obtenir un récipient compact est un point clé dans ces systèmes, du fait qu'une partie significative

30 du coût du stockage est généralement due aux échangeurs de chaleur, aux réceptacles et à l'isolation thermique.

Le stockage de chaleur repose sur des matériaux à changement de phase (technologie de chaleur latente) qui présentent un fort potentiel pour le développement de systèmes de stockage efficaces et économiques,

35 spécialement pour les applications utilisant des fluides qui subissent un

traitement à température constante, comme la vapeur humide durant la condensation ou l'évaporation. Le plus grand avantage des matériaux à changement de phase c'est leur capacité à stocker/libérer une grande quantité de chaleur dans un intervalle étroit de température durant les changements de phase.

Parmi ceux-là, les sels ont été identifiés comme des candidats potentiels pour le développement de systèmes de stockage de chaleur latente efficaces et économiques. L'énergie ou chaleur latente impliquée dans la fusion/cristallisation des sels est normalement dans l'intervalle de 100-1000 kJ/kg (0,2-2 GJ/m<sup>3</sup>), valeurs qui généralement augmentent avec la température de fusion des sels.

Par comparaison avec les technologies de chaleur sensible, la technologie de stockage de chaleur à changement de phase avec des sels, fait que le volume des systèmes est réduit de manière significative (normalement plus de 10 fois) et qu'on évite ainsi le surdimensionnement de l'échangeur de chaleur. Cependant, les basses conductivités thermiques des sels ( $< 1$  W/m/K) sont un facteur limitant pour satisfaire aux exigences d'énergie des applications industrielles souhaitées.

À basse température, on a proposé et testé différentes manières pour augmenter la conductivité thermique des matériaux à changement de phase, principalement des cires de paraffine. L'utilisation de charges métalliques telles que des additifs d'aluminium ou de cuivre, des mousses métalliques ou des ailettes, sont les solutions les plus anciennes. On a trouvé qu'avec ces additifs le temps de charge et de décharge du système de stockage était réduit de manière significative. Cependant, ces charges métalliques ajoutaient un poids et un coût significatif aux systèmes de stockage en impliquant en outre un risque d'apparition de corrosion.

Les cires de paraffine à l'intérieur d'une structure poreuse d'un catalyseur en silice ou en carbone activé sont d'intéressantes voies alternatives aux charges métalliques en raison de leur basse densité.

Certains auteurs ont proposé des techniques d'élévation de la conductivité reposant sur des additifs de graphite et des mousses de graphite saturées avec ou dans des matériaux à changement de phase (PCM Phase Change Material).

Les brevets W098/04644, FR2715719A1, US7316262B1 et

US6399149B1 sont également en rapport avec des structures poreuses (mousses métalliques ou en carbone, fibres en carbone) remplies avec des matériaux à changement de phase (PCM) qui fondent à basse température.

Quant à la recherche sur les systèmes de stockage d'énergie thermique pour haute température, elle est très récente et elle consiste principalement en des sels dont la conductivité est favorisée par l'utilisation de graphite. Les principales raisons justifiant le choix du graphite sont sa grande résistance à la corrosion et à l'attaque chimique, sa conductivité thermique très élevée et son bas coût.

Dans le cadre du projet DISTOR (Energy Storage for Direct Steam Solar Power Plants), réalisé sur la Plateforme Solaire d'Almería, la viabilité des techniques d'élévation de la conductivité basées sur des systèmes sans graphite a été prouvée avec  $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$  (50% en moles) pour des applications à 225°C. Des recherches ont été faites concernant deux pistes d'élaboration principales : dispersion des particules de graphite dans un sel fondu et microencapsulation par compression à froid (uni-axiale et isostatique) d'un mélange de graphite naturel expansé et de sels en poudre.

Des développements similaires ont été réalisés en utilisant cette fois des sels comme  $\text{KNO}_3/\text{NaNO}_3$ ,  $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_3/\text{NaCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{LiCO}_3/\text{Na}_2\text{CO}_3$  et  $\text{LiBr}$ , qui fondent à 225, 252, 295, 337, 493 et 546°C respectivement.

Le brevet des États-Unis US6399149B1 concerne des structures en carbone poreuses remplies avec des matériaux à changement de phase et revêtues pour former un produit qui agit comme un évacuateur de chaleur. Cependant, pour une application à haute température, seuls ont été pris en compte les matériaux avec changement de phase avec transition solide-liquide en dessous de 1800°C ou 1200°C mais qui restent à l'état liquide jusqu'à une température aussi élevée que 1800°C ou 1200°C.

Bien que l'efficacité du carbone pour favoriser la conductivité du sel ait été prouvée, on a identifié divers problèmes et limitations pour que les composites carbone/sel deviennent une option réelle pour le stockage d'énergie thermique:

- Le principal inconvénient est généralement lié à l'expansion du volume des sels lorsqu'ils fondent et qu'ils sont postérieurement soumis à une tension mécanique. Rechercher des sels avec une expansion de volume très basse, relativement, ainsi que des structures en carbone qui permettent la gestion locale de l'expansion du volume des sels, est un

aspect important pour l'amélioration des matériaux en carbone/sels.

- Les sels qui ont déjà fait l'objet de recherches subissent une fusion à température constante (sels purs, mélanges eutectiques). Par conséquent, leur utilisation se limite à des applications avec des fluides opérationnels qui subissent un traitement à température constante également, comme la vapeur humide durant la condensation ou l'évaporation. Si on souhaite les employer dans des applications où plusieurs températures sont requises, on doit mettre en œuvre des cascades de sels appropriées pour satisfaire aux exigences du procédé en termes de température d'entrée/sortie du fluide opérationnel. Cela pourrait être viable, aux dépens, toutefois, de la simplicité des systèmes de stockage. En ce sens, chercher des mélanges de sels qui subissent une fusion sur un intervalle approprié de températures pourrait être une alternative intéressante, puisqu'il n'y a pas de ségrégation des composants chimiques du sel.
- La densité énergétique (chaleur latente) des sels qui ont déjà fait l'objet de recherches varie de 100 à 360 kJ/kg. Chercher un sel qui offre une densité énergétique significativement supérieure sera une façon d'augmenter la compacité des systèmes de stockage et, par conséquent, la réduction des coûts d'investissement.
- La plupart des matériaux inorganiques à changement de phase montrent un sous-refroidissement. C'est un phénomène aléatoire dans la nature qui pourrait conduire à des différences significatives entre les températures de fusion et de cristallisation. Pour les applications de stockage d'énergie thermique, le sous-refroidissement est généralement un inconvénient parce qu'il implique le fait qu'on utilise différentes températures opérationnelles pour la charge et la décharge.

Les composites carbone/sel de cette invention dépassent lesdites limitations et sont une option prometteuse pour le stockage économique d'énergie thermique dans l'intervalle de 225 à 477°C de température. Comme cela sera analysé postérieurement, les principaux avantages de ces composites sont une densité énergétique très élevée, une expansion de volume relativement très basse, un transfert de chaleur très amélioré, une thermo-adaptabilité, une stabilité et une hystérèse inestimable.

### 35 Description de l'invention



Ainsi, l'un des objectifs de la présente invention, c'est la production de composites à haute conductivité thermique constitués d'une structure en carbone poreux remplie d'un sel où une grande quantité d'énergie thermique peut être stockée ou libérée très rapidement.

5 À mesure qu'on ajoute de la chaleur à la surface du composite, à partir d'une source de chaleur telle qu'une puce informatique, un fluide opérationnel ou un rayonnement comme celui de la lumière du soleil, cette énergie est transmise rapidement et uniformément à travers la structure en carbone et ensuite au sel. Dans le sel, en raison de la chaleur latente de fusion, de  
10 l'énergie sera absorbée dans plusieurs ordres de grandeur supérieurs à celui qu'absorberait un matériau sans changement de phase. À l'inverse, le composite peut être utilisé pour libérer de l'énergie rapidement lorsqu'il est mis en contact avec un objet ou un fluide opérationnel plus froid.

Un autre objectif de la présente invention est celui de d'offrir un mode  
15 aisé d'ajustement de la température de fusion/cristallisation du composite qui stockera l'énergie, de sorte qu'il est possible de couvrir un vaste intervalle de températures d'application avec les mêmes composants chimiques.

La présente invention entend aussi fournir des composites avec hystérèse insignifiante et qui permettent la gestion locale de l'expansion du  
20 volume du sel lorsqu'il fond.

Ces objectifs sont atteints via une sélection adéquate tant du sel que de la structure en carbone poreux.

Le sel choisi qui satisfait aux exigences attendues est le système binaire LiOH/KOH.

25 Ce matériau composite présente des caractéristiques très avantageuses telles que :

- Thermo-adaptabilité. Elle est obtenue en changeant la teneur molaire de LiOH dans le mélange de LiOH/KOH et elle permet de couvrir un vaste intervalle d'applications. Par exemple, un mélange avec 46,5% en poids de LiOH pourrait être utilisé pour stocker de l'énergie à 314°C, alors que  
30 les mélanges avec 78,92% en poids de LiOH seront préférés pour le stockage d'énergie dans l'intervalle de 314-450°C de température.
- Densité énergétique très élevée. L'énergie impliquée dans les transformations complètes solide-liquide de LiOH/KOH est très élevée ;  
35 elle peut atteindre 1500 kJ/kg. Par exemple, la chaleur latente d'un

mélange avec 46,05% en poids de LiOH est de 535 kJ/kg, alors que le changement d'enthalpie impliqué dans la fusion complète d'un mélange avec 78,92% en poids de LiOH est de 1100 kJ/kg. Cela permet une augmentation de la compacité des systèmes de stockage et, par conséquent, une réduction des coûts d'investissement.

5     ▪ Expansion de volume basse. L'expansion de volume relative maximale des mélanges de LiOH/KOH est inférieure à 9%.

10    ▪ Transfert de chaleur très favorisé. Du fait de la haute conductivité thermique globale (volumétrique) des structures en carbone choisies, le temps requis pour la charge/décharge du système de stockage peut être réduit de manière significative en utilisant une teneur en carbone très basse dans les composites en carbone/sel.

15    Cette augmentation de la conductivité thermique des composites est une façon très efficace de réduire la zone d'échange de chaleur (fluide opérationnel/moyen de stockage) et, par conséquent, elle implique une réduction significative des coûts d'investissement.

20    ▪ Hystérèse insignifiante. Le sous-refroidissement des mélanges de LiOH/KOH est assez bas, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différences significatives entre les températures de fusion et de cristallisation observées. Par conséquent, les systèmes de stockage qui en résultent ne nécessitent pas différentes conditions opérationnelles pour charge et décharge.

25    ▪ Stabilité. L'association "structures en carbone - LiOH/KOH" semble être stable (sans dégradation des propriétés de stockage d'énergie) avec le temps.

30    En ce qui concerne les structures en carbone à l'intérieur desquelles le sel est introduit, on peut utiliser des structures poreuses telles que des mousses (que ce soient des mousses de graphite, des mousses de carbone vitreux...), des nids d'abeille, des blocs de fibres (comme les fibres de carbone), des nanotubes, etc. pour favoriser le transfert de chaleur des mélanges de LiOH/KOH. Les propriétés principales requises pour ces structures apparentées au développement de composites carbone/sel sont :

35    ▪ Une haute conductivité thermique globale (volumétrique). Par exemple, les mousses de graphite et les blocs de fibres de carbone peuvent présenter une conductivité thermique globale qui varie de 50 à 180 W/m/K

- (comparable à celle des métaux).
- Une basse densité qui les convertit en une solution légère pour favoriser la conductivité thermique des sels. La densité des mousses de graphite normalement varie de 200 à 600 kg/m<sup>3</sup>.
  - 5 ▪ Une porosité hautement interconnectée pour permettre un remplissage aisé de la porosité. Par exemple, plus de 96% de la porosité des mousses de graphite est interconnectée ou est à porosité ouverte. Les diamètres de pore varient de 60 à 350 μm (valeurs moyennes) en fonction de la densité apparente de la mousse (600 à 200 kg/m<sup>3</sup>).
  - 10 ▪ Un module d'élasticité relativement élevé et une résistance à la compression qui garantit la stabilité dimensionnelle de la structure lorsqu'elle est infiltrée avec un sel et qu'elle est soumise à une tension mécanique qui a pour résultat la fusion du sel (expansion de volume). Les blocs de fibre mentionnés précédemment comme type de structure en
  - 15 carbone permettent un meilleur contrôle du module d'élasticité volumétrique.

#### **Description des dessins**

Pour compléter la description en cours et dans le but d'aider à une meilleure compréhension des caractéristiques de l'invention, on y joint un jeu de dessins sur lesquels, à titre d'illustration non limitative, il a été représenté ce qui suit :

- La Figure 1 est le diagramme des phases de LiOH/KOH (Source : FactSage®)
- La Figure 2 montre les résultats du test de DSC (Exploration Calorimétrique Différentielle) obtenus lorsqu'on réalise 10 fois le cyclage d'un échantillon de LiOH/KOH (46,05% en poids de LiOH).
- 25 • La Figure 3 présente les résultats du test de DSC (Exploration Calorimétrique Différentielle) obtenus lorsqu'on réalise 10 fois le cyclage d'un échantillon de LiOH/KOH (78,92% en poids de LiOH).

#### **Réalisation préférée de l'invention**

30 Pour une meilleure compréhension de l'invention, on trouvera ci-après la description du composite en question ainsi que celle de son fonctionnement dans ses différentes phases.

Les composites carbone/sel sont constitués d'une structure en carbone poreux au moins partiellement remplie de LiOH/KOH.

35 La structure poreuse peut être remplie de LiOH/KOH fondu au moyen de

techniques d'infiltration utilisant le vide ; d'autres procédés industriels peuvent aussi être employés comme par exemple le remplissage par condensation de vapeur de LiOH/KOH ou le remplissage utilisant un jet d'air avec de petites particules solides de LiOH/KOH en suspension.

5 Sur la Figure 1 est fourni le diagramme des phases du système binaire LiOH/KOH dont ont été extraites les propriétés les plus importantes de ce composite, qui sont les suivantes :

- 10 ▪ Permettent de couvrir un vaste intervalle d'applications. Comme cela est montré sur la Figure 1, les concentrations molaires de LiOH égales à 0, 0,264, 0,314, 0,67 et 1 fournissent des mélanges qui fondent à 404, 249, 225, 315 et 477°C respectivement. C'est pourquoi elles sont recommandées pour des applications qui nécessitent un évacuateur de chaleur à température constante ou pour des applications employant des fluides opérationnels qui subissent évaporation/condensation à une  
15 température proche de celle du point de fusion du mélange. Au contraire, pour une application employant des fluides opérationnels en une seule phase (c'est-à-dire, vapeur surchauffe, gaz), on préfère les mélanges qui subissent une fusion dans un vaste intervalle de température. La concentration de LiOH doit être choisie cette fois pour satisfaire le mieux possible aux exigences du procédé en termes de température  
20 d'entrée/sortie du fluide opérationnel. Par exemple, un mélange à 90% en moles de LiOH/(LiOH+KOH) peut être utilisé pour stocker de l'énergie dans des applications qui requièrent des températures d'entrée/sortie du fluide égales à 300-450°C.
- 25 ▪ La densité énergétique impliquée dans la transformation complète solide-liquide est très haute (voir le Tableau 1). Par exemple, la chaleur latente pour un mélange à 67% en moles de LiOH/(LiOH+KOH) est de 535 kJ/kg ; et le changement d'enthalpie pour la fusion complète d'un mélange à 90% en moles de LiOH/(LiOH+KOH) est de 1095 kJ/kg.
- 30 ▪ L'expansion de volume relative est assez basse, inférieure à 9% pour tous les mélanges. Les valeurs maximales correspondent à KOH pur (approximativement 8,6%) et LiOH pur (+8,33%).
- Le sous-refroidissement est assez bas. La Figure 2 montre des résultats de tests DSC (Exploration Calorimétrique Différentielle) réalisés sur un  
35 mélange à 67% en moles de LiOH/(LiOH+KOH). Les valeurs positives de

la compensation du flux de chaleur correspondent à la cristallisation du sel alors que les valeurs négatives correspondent à la fusion. La différence entre le point de fusion et la température de cristallisation est inférieure à 2°C en moyenne.

- 5 • On n'observe pas de ségrégation des composants chimiques de LiOH/KOH lorsqu'on utilise des concentrations molaires de LiOH qui conduisent à des mélanges qui subissent une fusion dans un intervalle de température et non pas à température constante. La Figure 3 montre les résultats de DSC (Exploration Calorimétrique Différentielle) obtenus
- 10 lorsqu'on cycle un mélange de LiOH/KOH à 90% en moles de LiOH/(LiOH+KOH). En fait, la densité de LiOH (solide) est assez proche de la densité du mélange LiOH/KOH (liquide) de sorte que la gravité ne provoque pas de ségrégation.

Composition % en poids de LiOH	Composition % en moles de LiOH	Intervalle de fusion (°C)	Changement d'enthalpie (kJ/kg)
0	0	403,87	167,03
0	0	248,85-403,87	497,4
0,1	0,2059	225,74	220,82
0,1	0,2059	225,74-291,25	426,9
0,1331	0,2638	225,74-248,85	379,8
0,1627	0,3120	225,74	359,26
0,3	0,50	225,74-294,58	576
0,4207	0,6289	225,74-314,82	726
0,45	0,6533	225,74-314,81	794
0,4605	0,6657	314,82	535
0,4605	0,6657	314,82-338,85	637
0,6	0,7778	314,82-401,07	842
0,8	0,9032	314,82-451,01	1108
1	1	477,01	875

15 Tableau 1. Intervalle de température de fusion et changement d'enthalpie pour différents mélanges LiOH/KOH.

**REVENDEICATIONS**

1. Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température caractérisé parce qu'il se compose d'une structure en carbone poreux qui est remplie au moins partiellement de LiOH/KOH.  
5
2. Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 1 caractérisé parce que la structure en carbone est de la mousse de graphite.  
10
3. Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 1 caractérisée parce que la structure en carbone est de la mousse de carbone vitreux.
- 15 4. Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 1 caractérisé parce que la structure en carbone est en forme de nid d'abeille.
- 20 5. Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 1 caractérisé parce que la structure en carbone est faite de fibres de carbone.
- 25 6. Matériau composite pour stockage d'énergie thermique à haute température selon la revendication 1 caractérisé parce que la structure en carbone est faite de nanotubes.
- 30 7. Procédure de fabrication du matériau composite décrit dans les revendications précédentes caractérisée parce que le remplissage du sel dans la structure en carbone est réalisé par condensation de vapeur de LiOH/KOH.
8. Procédure de fabrication du matériau composite décrit dans les revendications précédentes caractérisée parce que le remplissage du sel dans la structure en carbone est réalisé par jet d'air avec particules de LiOH/KOH.
- 35 9. Procédure de fabrication du matériau composite décrit dans les



revendications précédentes caractérisée parce que le remplissage du sel dans la structure en carbone est réalisé au moyen de techniques d'infiltration en utilisant le vide.

*fcf*

Données des bases de données de sels FTsalt-FACT

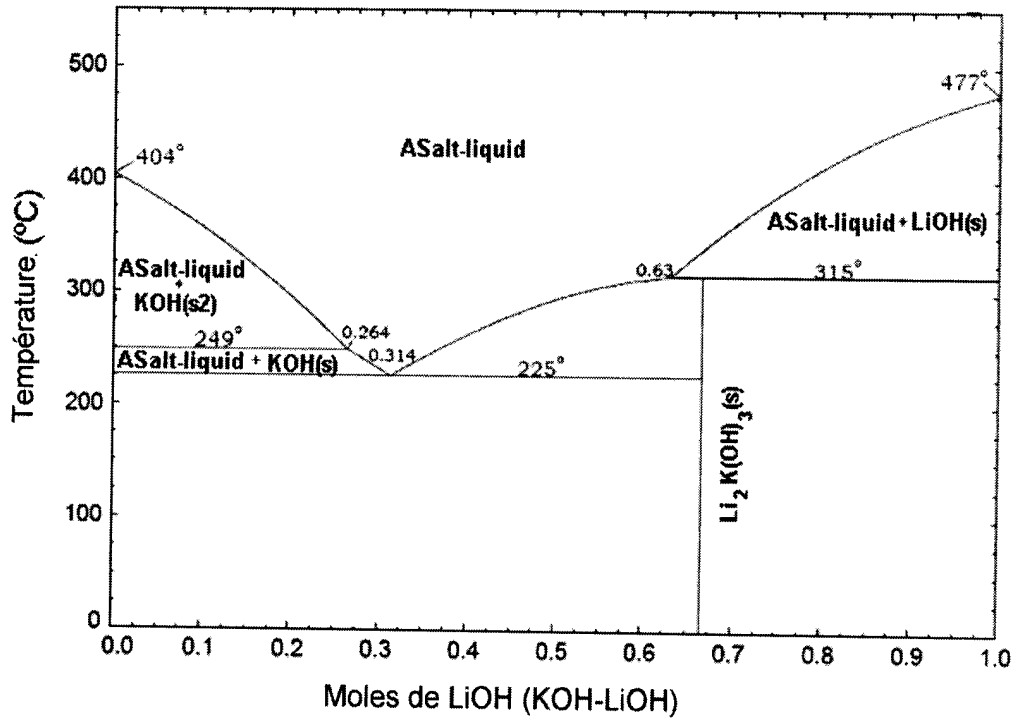


FIGURE 1

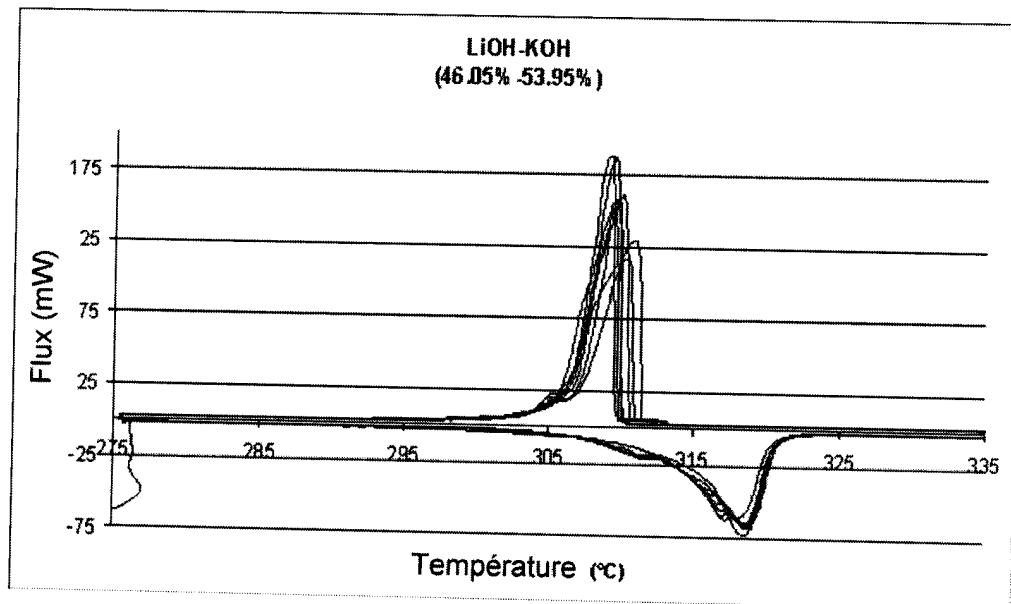


FIGURE 2

*fact*



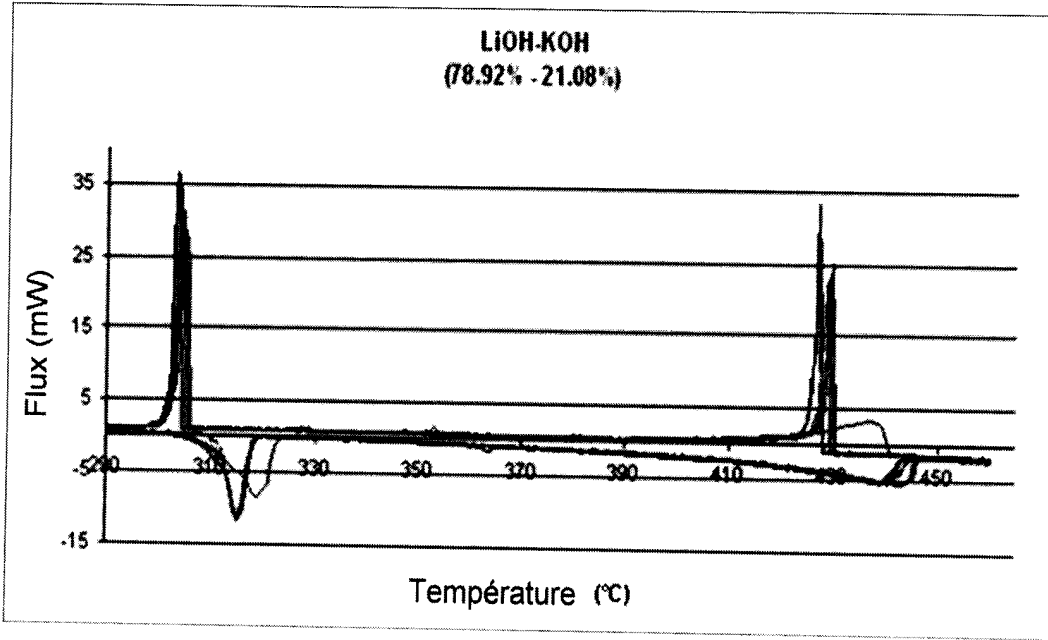


FIGURE 3

*fec*