

(19)



(11)

EP 2 615 077 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

17.07.2013 Bulletin 2013/29

(51) Int Cl.:

C06B 21/00 (2006.01)
B01F 3/08 (2006.01)

C06B 47/00 (2006.01)
B01F 3/18 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **13151038.0**

(22) Date de dépôt: **11.01.2013**

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

Etats d'extension désignés:

BA ME

(30) Priorité: **13.01.2012 FR 1250348**

(71) Demandeurs:

- **Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S)**
75016 Paris (FR)
- **ISL - Institut franco-allemand de recherches de Saint-Louis**
68300 Saint-Louis (FR)

• **MBDA France**

75016 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **Comet, Marc**
68330 Huningue (FR)
- **Spitzer, Denis**
67203 Oberschaefolsheim (FR)
- **Hassler, Dominique**
68870 Barthenheim (FR)

(74) Mandataire: **Jacobson, Claude et al**

Cabinet Lavoix
2, Place d'Estienne d'Orves
75441 Paris Cedex 09 (FR)

(54) **Activation de compositions énergétiques par mélange magnétique**

(57) L'invention concerne une composition énergétique comprenant des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, ladite composition énergétique pouvant être activée du point de vue

pyrotechnique par mélange desdits précurseurs inertes de composition énergétique finale par agitation desdites particules motrices au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps.

L'invention concerne également un dispositif comprenant une telle composition ainsi qu'un procédé pour activer ladite composition énergétique.

EP 2 615 077 A1

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des compositions énergétiques, et en particulier des compositions énergétiques qui peuvent être intégrées dans des systèmes pyrotechniques, notamment de l'industrie militaire ou spatiale, comme les inflammateurs, les détonateurs ou des dispositifs intégrant ces éléments.

[0002] La composition énergétique est considérée comme étant l'élément primaire de la chaîne. La composition énergétique utilisée en début de la chaîne pyrotechnique est le plus souvent une composition sensible (composition primaire) afin de permettre la mise en régime de la chaîne pyrotechnique. Du fait de leur sensibilité élevée, il est nécessaire de se prémunir du fonctionnement accidentel de ces dernières.

[0003] Le fonctionnement normal du système pyrotechnique est généralement mis en oeuvre par un effet mécanique, thermique ou électrique, de faible puissance.

[0004] Un fonctionnement accidentel conduisant au déclenchement de la chaîne pyrotechnique peut causer des dommages importants, que ce soit en termes humain ou de matériel. Il est nécessaire de se prémunir d'un fonctionnement accidentel des compositions énergétiques pour en assurer un niveau de sécurité compatible avec les exigences de muratation du système (en référence au label MURAT - « Munition à Risques Atténués », ou IM - « Insensitive Munitions » en anglais). Une munition possédant le label MURAT est une munition qui satisfait aux conditions exigées en matière de performances, de disponibilité et de mise en oeuvre, mais pour laquelle on a réduit au minimum la probabilité d'un fonctionnement intempestif et des dommages collatéraux qui en résulteraient lorsqu'elle est soumise à des sollicitations accidentelles. Le caractère MURAT d'une munition en constitue une performance intrinsèque, indépendante du cycle de vie, définie pour une configuration donnée. Les labels MURAT sont définis dans l'instruction DGA/IPE n° 260 édition de juillet 1993 : "Doctrine nationale française en matière de munitions à risques atténués".

[0005] Des procédés classiques de désensibilisation d'un matériau énergétique consistent à élever le seuil de sensibilité aux différentes formes de sollicitations, au détriment de sa performance. Il existe plusieurs variantes de ce procédé, ayant trait aux explosifs intrinsèques, tels que la nitroglycérine (A. Nobel, brevet US 78,317 (1868)), l'azoture de plomb (Société d'études chimiques pour l'industrie, brevet FR 499,506 (1918)), ainsi qu'aux compositions énergétiques (R.L. Simpson et al., brevets US 6,666,935 (2003) et US 6,893,518 (2005)). Malgré la diminution du niveau de sensibilité, la substance reste intrinsèquement énergétique.

[0006] Actuellement les besoins industriels sont satisfaits par la préparation de substances énergétiques primaires pouvant être désensibilisées par ingénierie des matériaux. L'exemple le plus connu est celui du procédé

d'Alfred Nobel pour désensibiliser aux chocs la nitroglycérine en l'imprégnant dans différentes substances poreuses. La dynamite ainsi obtenue, quoiqu'elle soit peu sensible, demeure un explosif susceptible de détoner sous l'effet d'une sollicitation d'intensité suffisamment élevée. Ce type de procédé insensibilise le matériau au détriment de ses performances. En d'autres termes, un matériau énergétique primaire n'est jamais rendu totalement inerte.

[0007] Le désalignement des éléments primaires d'une chaîne pyrotechnique constitue un artifice physique permettant d'atteindre le niveau de sécurité requis en séparant les éléments actifs de la chaîne pyrotechnique et à ne les réunir qu'au moment où cela est nécessaire, dans les conditions de tir ou d'allumage prévues.

[0008] Les procédés actuellement utilisés impliquent l'intégration de substances énergétiques sensibles susceptibles de donner lieu à une réaction pyrotechnique en cas de sollicitations accidentelles au cours du stockage ou de l'utilisation, dans des armements ou d'autres systèmes qui les contiennent. Ces sollicitations peuvent intervenir lors de la manutention, du vieillissement, d'un incendie, ou par un coup au but, etc. Les conséquences d'une réaction pyrotechnique accidentelle peuvent aller de la neutralisation à la destruction du système et présenter un coût et des dommages matériels et humains associés. Enfin, la réglementation applicable dans le transport et la manipulation des matières explosives nécessite des conditions particulières, lourdes et coûteuses à mettre en place.

[0009] La séparation initiale des phases constitutives de la composition primaire de la chaîne pyrotechnique est actuellement une technique de désensibilisation ultime du matériau énergétique. De plus, ce procédé résout les problèmes provenant des contraintes réglementaires s'appliquant à toute substance pyrotechnique (stockage, installations classées, transport) compte tenu de l'absence de matériau énergétique constitué.

Buts de l'invention

[0010] L'invention a pour but de résoudre l'ensemble des problèmes techniques mentionnés ci-dessus, et en particulier les problèmes techniques et réglementaires liés à l'emploi de matériaux énergétiques constitués.

[0011] En particulier, l'invention a pour but de fournir une composition énergétique présentant un très haut niveau de sécurité du point de vue pyrotechnique, notamment pour faciliter la muratation des systèmes incluant.

[0012] L'invention a notamment pour but de fournir une composition énergétique qui ne s'active pas suite à des sollicitations accidentelles pouvant intervenir lors du cycle de vie du produit.

[0013] L'invention a également pour but de fournir une composition énergétique disponible uniquement lorsqu'elle est nécessaire et sans affecter ses performances énergétiques.

[0014] L'invention a également pour but de fournir un procédé permettant d'activer cette composition énergétique, et de dispositifs le mettant en oeuvre.

Description de l'invention

[0015] L'invention concerne une composition énergétique susceptible d'être activée en mélangeant ses constituants élémentaires individuellement inertes.

[0016] L'invention concerne une composition énergétique comprenant des particules ferromagnétiques ou aimantées, de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, ladite composition énergétique étant susceptible d'être activée du point de vue pyrotechnique par mélange des précurseurs inertes de composition énergétique finale par agitation desdites particules motrices soit au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps.

[0017] La composition énergétique de l'invention comprend au moins deux types de composés précurseurs, qui physiquement séparés, sont inactifs du point de vue pyrotechnique, mais deviennent actifs du point de vue pyrotechnique lorsqu'ils sont mélangés. La composition de l'invention est donc une composition inerte du point de vue pyrotechnique qui devient active après mise en contact des précurseurs entre eux.

[0018] L'invention consiste donc en une composition énergétique qui peut être activée du point de vue pyrotechnique en mélangeant ses constituants élémentaires au moyen d'un champ magnétique variant au cours du temps et s'appliquant directement sur les particules. Les constituants élémentaires permettant d'activer la composition énergétique sont les précurseurs de composition énergétique finale. On entend par « actif » ou « activé » du point de vue pyrotechnique le fait de rendre la composition suffisamment énergétique pour son utilisation dans un dispositif pyrotechnique, notamment en tant que composition d'amorçage.

[0019] La taille des particules motrices doit être suffisante pour entraîner les précurseurs en mouvement et en assurer le mélange. Toutefois, l'inertie ne doit pas être trop importante afin d'éviter la mise à feu de la composition sous les effets de chocs ou de friction produits par les mouvements des particules motrices. Le dimensionnel des particules motrices est généralement compris entre 0,1 et 10000 micromètres.

[0020] Les particules motrices présentent généralement une forme géométrique déplaçant la plus grande quantité possible de matières les environnant lorsqu'elles entrent en mouvement. À cet effet, les particules motrices se présentent de préférence sous forme de plaquettes ou lamelles, éventuellement crantées.

[0021] Selon un mode de réalisation, les particules motrices ferromagnétiques, qui sont directement animées par le champ magnétique, sont choisies parmi le fer, le

cobalt, le nickel, un alliage d'Heusler, la famille des lanthanides, oxydes mixtes de fer II et de fer III, et les ferrites. Les ferrites peuvent être définis par la formule $(MO ; Fe_2O_3)$ où M est un métal divalent. Un représentant bien connu est la magnétite Fe_3O_4 ($FeO ; Fe_2O_3$).

[0022] Selon un autre mode de réalisation, les particules motrices aimantées, qui sont directement animées par le champ magnétique, sont choisies parmi les aimants permanents. Parmi les aimants permanents on peut citer le Nd-B-Fe, les aimants de chimie de coordination comme les composés $[M^I(Rtrz)_3]A^-\cdot xH_2O$ où les ions métalliques M (Fe^{II} , Zn^{II}) sont reliés entre eux par des ligands triazole (trz) greffés en position 4 par un groupement R (généralement une chaîne alkyle), A^- correspond au contre-ion utilisé, par exemple Cl^- ou l'ion paratolylsulfonate ; les aimants organo-métalliques comme par exemple le $[Fe(Me_5Cp)_2][TCNE]$, où Me_5Cp est le pentaméthylcyclopentadiényle et TCNE le tétracyanoéthylène ou le $V(TCNE)_2$ (di-tétracyanoéthylène de vanadium); et les aimants purement organiques.

[0023] Les précurseurs de la composition énergétique finale forment avantageusement un système redox comprenant une composition oxydante et une composition réductrice.

[0024] Selon un mode de réalisation particulier, la composition oxydante et la composition réductrice sont physiquement séparées par une couche intermédiaire pouvant inclure des particules motrices. Typiquement l'épaisseur de la couche de particules motrices est comprise entre 0,2 et 5 mm, et peut être par exemple d'environ 1 mm. La séparation de la composition oxydante de la composition réductrice par la couche de particules motrices permet une inactivation encore plus fiable de la composition énergétique.

[0025] Selon un autre mode de réalisation particulier, la composition oxydante et la composition réductrice, séparées physiquement, par exemple par une membrane, un opercule ou un diaphragme, comprennent ou non chacune des particules motrices.

[0026] La composition énergétique est activée par agitation des particules motrices qui pénètrent et se déplacent dans la composition oxydante et la composition réductrice. Sous l'effet de l'agitation des particules motrices, les compositions oxydante et réductrice se mélangent, activant ainsi la composition énergétique.

[0027] En général, la teneur en particules motrices nécessaire pour assurer le mélange se situe entre 1 et 20 %, et de préférence entre 1 et 5 %, en masse de la masse totale de la composition énergétique. Cette proportion reste modeste et n'est pas suffisamment élevée pour altérer significativement les performances énergétiques de la composition finale activée.

[0028] L'homogénéisation de la composition énergétique est d'autant plus efficace que les particules des précurseurs sont de petites tailles. Selon un mode de réalisation, les précurseurs de la composition énergétique finale sont des poudres de dimension nanométrique. Le diamètre des particules élémentaires est généralement

compris entre 1 et 300 nm, et de préférence inférieure à 100 nm. L'agitation des particules motrices permet le foisonnement des précurseurs, en favorise l'interpénétration, et par conséquent, favorise l'efficacité et l'homogénéité du mélange.

[0029] De préférence, la taille des particules motrices est supérieure d'au moins un ordre de grandeur à celle des plus gros agrégats des particules de précurseurs. Une taille idéale des particules motrices se situe entre 1 μm et un centimètre.

[0030] De préférence, les précurseurs de la composition énergétique finale sont des constituants des nanothermites. Les nanothermites (« metastable intermolecular composites » - MICs) sont un mélange très fin, à l'échelle nanométrique, d'un oxydant et d'un réducteur.

[0031] Parmi les nanothermites on peut citer les compositions aluminium-oxyde de molybdène(VI), comme Al-MoO_3 ; les compositions aluminium-oxyde de cuivre (II), comme Al-CuO ; les compositions Aluminium-oxydes de fer(II,III), comme $\text{Al-Fe}_2\text{O}_3$; les compositions aluminium-oxyde de tungstène(VI), comme Al-WO_3 ; les compositions aluminium-oxyde de bismuth(III), comme $\text{Al-Bi}_2\text{O}_3$; les compositions aluminium-oxyde de manganèse(IV), comme Al-MnO_2 ; les mélanges de permanganate de potassium avec de l'antimoine; les mélanges de permanganate de potassium avec de l'aluminium, comme Al-KMnO_4 ; les mélanges de permanganate de potassium avec du bore, comme B-KMnO_4 ; les hydrates d'oxydes aluminium-tungsten(VI); les composés Titane-bore, et les aluminium-fluoropolymères. Des nanothermites peuvent également être formulées en mélangeant des poudres d'oxydes métalliques avec des métaux réducteurs tels que le bore, le magnésium, le titane, le zirconium, le hafnium, le zinc ainsi que certains éléments appartenant à la famille des terres rares.

[0032] Le PTFE ou d'autres fluoropolymères peuvent être utilisés comme liants des nanothermites.

[0033] Les nanothermites sont avantageuses puisqu'elles possèdent un potentiel énergétique et une sensibilité thermique permettant un allumage par fil chaud, fil détonant, impulsion laser, flamme, plasma ou décharge capacitive. Leurs constituants, métaux ou oxydes métalliques, possèdent une excellente stabilité dans le temps, y compris en conditions extrêmes (variations de températures, etc.). Cette dernière caractéristique revêt une importance capitale pour le développement de systèmes intégrables dans des missiles.

[0034] La composition énergétique de l'invention peut être complexe et comprendre des molécules organiques, énergétiques ou inertes, utilisées par exemple en tant que substances génératrices de gaz, comme des propergols par exemple.

[0035] En outre la composition énergétique de l'invention peut constituer avantageusement une composition d'allumage ou d'amorçage d'un système pyrotechnique.

[0036] L'invention concerne également un dispositif comprenant une ou plusieurs compositions énergétiques inactives telles que définies précédemment, et un ou plu-

sieurs moyens générateurs de champ magnétique variant en fonction du temps pour activer ladite composition énergétique du point de vue pyrotechnique.

[0037] De préférence la position des lignes de champ varie en fonction du temps. Par exemple le champ magnétique est mis en rotation. Ceci peut s'effectuer simplement en mettant en rotation le ou les moyens générateurs de champ magnétique.

[0038] Selon un mode de réalisation, le moyen générateur de champ magnétique est choisi parmi un ou plusieurs aimants permanents mécaniquement mobiles, un ou plusieurs solénoïdes, un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu, et l'une quelconque de leurs combinaisons.

[0039] Avantageusement, les moyens générateurs de champ magnétique sont disposés autour de ladite composition énergétique inactive, et génèrent de préférence un champ magnétique traversant sensiblement l'ensemble de la composition énergétique.

[0040] Selon une variante, le dispositif de l'invention comprend un moyen d'entraînement, tel qu'un moteur, entraînant en rotation le moyen générateur de champ magnétique pour agiter les particules motrices afin de mettre en contact les précurseurs entre eux, et ainsi générer la composition énergétique activée.

[0041] On peut prévoir que le dispositif comprenne un moyen d'activation du champ magnétique à distance.

[0042] Selon une variante préférée, le dispositif de l'invention est intégré dans un système pyrotechnique, et par exemple un système pyrotechnique militaire. L'invention couvre donc en particulier une charge militaire, un obus, une roquette, un missile notamment un missile d'interception ou de croisière, ou tout autre armement comprenant un système pyrotechnique selon l'invention. L'invention couvre également des systèmes pour détonateurs de très haute sécurité utilisés dans le cadre d'applications civiles.

[0043] Typiquement le dispositif de l'invention est intégré dans un inflammateur, un détonateur ou un élément de système pyrotechnique, notamment militaire. Un tel dispositif procure un niveau de sécurité très important facilitant l'obtention du label MURAT.

[0044] L'architecture du dispositif utilisé pour faire varier le champ magnétique dépend de la nature des substances à mélanger et des spécificités de l'application envisagée. Ainsi le dispositif de l'invention peut prendre toute géométrie appropriée au mélange des précurseurs par l'agitation des particules motrices sous l'influence du champ magnétique seul ou associé à un moyen de mélange complémentaire.

[0045] Les systèmes pyrotechniques de l'invention sont des systèmes de dimension centimétrique (telles que des inflammateurs ou détonateurs).

[0046] L'invention permet l'activation de la composition énergétique d'un système pyrotechnique dans les instants qui précèdent sa mise à feu. Avant le déclenchement de l'activation, le système pyrotechnique est totalement inerte puisque les éléments primaires de la

composition énergétique, qui sont insensibles séparément, ne sont pas associés.

[0047] Pour assurer une sécurité maximale, les compositions de précurseurs (par exemple compositions oxydante et réductrice) de l'invention peuvent être séparées par un système de séparation physique, par exemple par une membrane ou un diaphragme. Ce système de séparation physique peut être éliminé juste avant mélange des deux compositions de précurseurs, par exemple par perforation ou ouverture. Le dispositif de l'invention peut donc comprendre un moyen de perforation ou d'ouverture du système de séparation physique.

[0048] L'invention concerne également un procédé d'activation d'une composition énergétique, dans lequel ladite composition énergétique comprend des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, cette composition étant telle que définie précédemment, ledit procédé comprenant :

- (i) l'agitation desdites particules motrices soit au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps pour mélanger les précurseurs de la composition énergétique, et
- (ii) l'activation de la composition énergétique par mise en contact des précurseur inertes entre eux.

[0049] Typiquement, le champ magnétique est produit un ou plusieurs aimants permanents mécaniquement mobiles et/ou par un ou plusieurs solénoïdes et/ou un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu.

[0050] Par exemple, un assemblage de solénoïdes peut être utilisé pour déplacer les particules motrices dans la totalité du volume qu'occupe la composition activée. Les champs générés sont ainsi contrôlés afin d'assurer un mouvement permettant l'homogénéisation efficace des constituants de la composition.

[0051] Le procédé de l'invention permet de mélanger les précurseurs avec un temps de mélange compatible pour l'utilisation de la composition dans un système pyrotechnique, par exemple dans un missile. Le temps de mélange est de l'ordre de quelques secondes (missile d'interception) à quelques minutes (missile de croisière). Typiquement le temps de mélange est compris entre 0,1 seconde et 5 minutes. De préférence, l'agitation ou le mélange est réalisé jusqu'à l'obtention d'une composition énergétique homogène, c'est-à-dire que les précurseurs soient intimement mélangés.

[0052] Selon une variante, après activation de la composition énergétique, les particules motrices sont retirées du mélange, notamment par l'action d'un champ magnétique plus puissant.

[0053] Selon une variante, après activation de la composition énergétique, celle-ci peut être comprimée.

[0054] Le procédé de l'invention consiste donc à produire une composition énergétique au moment où elle doit être utilisée, à partir de précurseurs inertes. Parmi les avantages découlant de la mise en oeuvre de ce procédé on peut notamment citer :

- un niveau de sécurité très élevé voire absolu, le matériau énergétique n'étant formé qu'au moment de son utilisation ;
- les performances du matériau énergétique ne sont pas altérées dans le temps ;
- les contraintes réglementaires inhérentes à la fabrication, la manipulation, le stockage, le transport et la mise en oeuvre des substances énergétiques sont sans objet ;
- la compacité du système intégrant le dispositif de l'invention permet d'envisager l'embarquement dans différents systèmes militaires ou spatiaux ;
- le procédé est particulièrement adapté à la fabrication d'une composition d'amorçage, ce qui élève de manière considérable le niveau de muratation des armements dans lesquels elle peut être intégrée.

[0055] La figure 1 représente une coupe schématique d'une variante de l'invention dans laquelle une composition oxydante (10) est déposée au fond d'un godet (60), ladite composition oxydante (10) comprenant des particules motrices (30). Une composition réductrice (20) est déposée à la surface de la composition oxydante (10).

[0056] Le godet (60) est positionné à l'intérieur d'un moyen générateur de champ magnétique (ou inducteur) (50), tel qu'un stator, par exemple de forme annulaire (non représentée sur la figure). L'inducteur (50) peut être relié à un ou plusieurs dispositifs d'alimentation électrique afin d'activer ou non le champ magnétique. L'inducteur (50) est de préférence relié à un dispositif d'entraînement en rotation selon l'axe (70). Ce dispositif peut être typiquement un moteur. Le godet (60) est de préférence maintenu fixe lors de la rotation de l'inducteur (50). La composition énergétique (système {composition oxydante (10) /réductrice (20)}) est inactive, mais peut-être activée par la mise en rotation de l'inducteur (50) en fonctionnement. Les particules motrices (30) sont mises en mouvement par le champ magnétique induit de manière à mélanger les compositions oxydante (10) et réductrice (20). On entend par inducteur (50) en fonctionnement le fait qu'il génère un champ magnétique traversant les compositions oxydante (210) et réductrice (220). Le sens d'empilement des couches représentés sur les figures 1 et 2 (orthogonal à l'axe de rotation (70)) peut être inversé (parallèle à l'axe de rotation (70)) si une telle configuration présente un meilleur rendement en terme d'aptitude au mélange. Toutes autres orientations intermédiaires peuvent être retenues si elles présentent un intérêt compte-tenu de la nature des produits à mélanger et du mode d'agitation.

[0057] La figure 2 représente une coupe schématique d'une autre variante de ce dispositif dans lequel le godet

(260) contient une composition oxydante (210) sur laquelle a été déposée une couche de particules motrices (230) sur laquelle a été déposée une couche réductrice (220). La couche de particules motrices (230) permet d'isoler les compositions oxydantes (210) et réductrices (220). Cette composition totale (système {composition oxydante (10) /réductrice (20)}) est alors inactive. De la même manière le mélange des compositions est réalisé par la mise en rotation selon l'axe (270) de l'inducteur (250) en fonctionnement qui mélange les compositions oxydante (210) et réductrice (220) du fait de la mise en mouvement des particules motrices (230) par le champ magnétique induit.

[0058] De préférence, le mélange est réalisé jusqu'à l'obtention d'une composition homogène avec un mélange intime des compositions oxydante (10,210) et réductrice (20,220).

Revendications

1. Composition énergétique inactive comprenant des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, ladite composition énergétique étant susceptible d'être activée du point de vue pyrotechnique par mélange desdits précurseurs inertes de composition énergétique finale par agitation desdites particules motrices au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps.
2. Composition, selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** les particules motrices ferromagnétiques sont choisies parmi le fer, le cobalt, le nickel, un alliage d'Heusler, la famille des lanthanides, oxydes mixtes de fer II et de fer III, et les ferrites.
3. Composition, selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** les particules motrices aimantées sont choisies parmi les aimants permanents.
4. Composition, selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les précurseurs de la composition énergétique finale forment un système redox comprenant une composition oxydante et une composition réductrice.
5. Composition, selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** la composition oxydante et la composition réductrice sont physiquement séparées par une couche intermédiaire pouvant inclure des particules motrices.
6. Composition, selon la revendication 4, **caractérisée en ce que** la composition oxydante et la composition

réductrice, séparées physiquement, par exemple par une membrane, un diaphragme ou un opercule, comprennent ou non chacune des particules motrices.

7. Composition, selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les précurseurs de la composition énergétique finale sont des constituants des nanothermites.
8. Dispositif comprenant une ou plusieurs compositions énergétiques inertes telles que définies aux revendications précédentes, et un ou plusieurs moyens générateurs de champ magnétique variant en fonction du temps pour activer ladite composition énergétique du point de vue pyrotechnique.
9. Dispositif, selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le moyen générateur de champ magnétique est choisi parmi un ou plusieurs aimants permanent mécaniquement mobiles, un ou plusieurs solénoïdes, un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu, et l'une quelconque de leurs combinaisons.
10. Dispositif, selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** les moyens générateurs de champ magnétique sont disposés autour de ladite composition énergétique inactive.
11. Dispositif, selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce qu'il** comprend un moyen d'activation du champ magnétique à distance.
12. Système pyrotechnique ou élément de système pyrotechnique dans lequel est intégré un dispositif, selon l'une quelconque des revendications 8 à 11.
13. Procédé d'activation d'une composition énergétique, dans laquelle ladite composition énergétique comprend des particules ferromagnétiques ou aimantées de dimension micrométrique à centimétrique, dites particules motrices, et au moins deux types de composés solides pulvérulents de dimension nanométrique initialement physiquement séparés, dits précurseurs inertes de composition énergétique finale, cette composition étant telle que définie selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, ledit procédé comprenant :
 - (i) l'agitation desdites particules motrices au moyen d'un champ magnétique variant en fonction du temps pour mélanger les précurseurs inertes de la composition énergétique, et
 - (ii) l'activation de la composition énergétique par mise en contact des précurseurs inertes entre eux.

14. Procédé, selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** le champ magnétique est produit par un ou plusieurs aimants permanents mécaniquement mobiles et/ou par un ou plusieurs solénoïdes et/ou un ou plusieurs électroaimants alimentés par une source de courant oscillant ou continu. 5
15. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 13 et 14, **caractérisé en ce qu'**après activation de la composition énergétique, les particules motrices sont retirées du mélange, notamment par l'action d'un champ magnétique plus puissant. 10
16. Procédé, selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, **caractérisé en ce qu'**après activation de la composition énergétique, la composition est comprimée. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

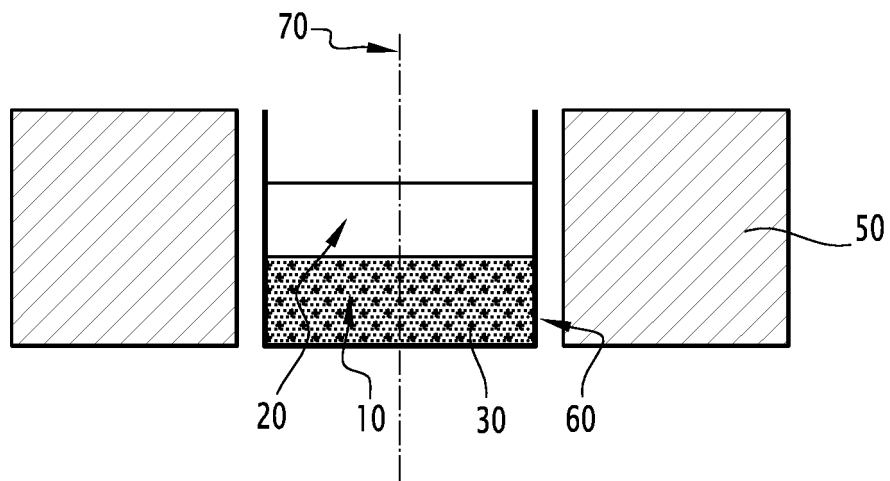


FIG.1

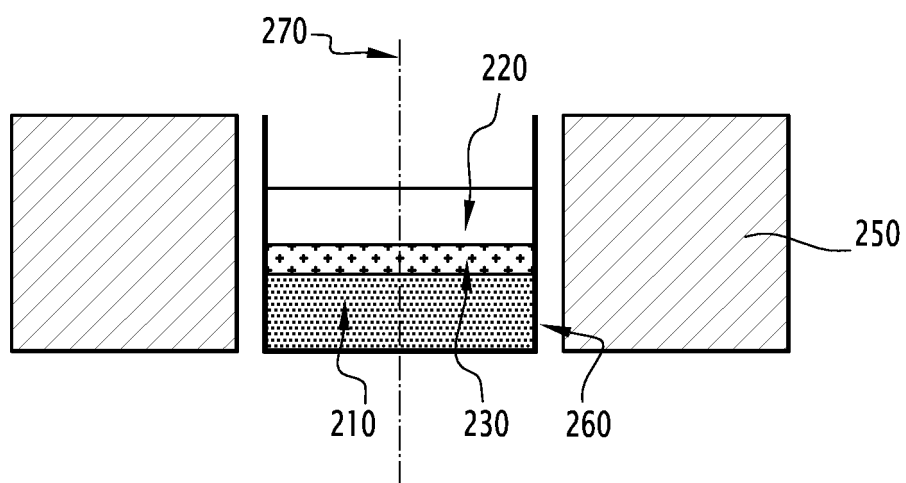


FIG.2



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 15 1038

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	RAKOCZY R ET AL: "Studies of a mixing process induced by a transverse rotating magnetic field", CHEMICAL ENGINEERING SCIENCE 01 JUNE 2011 ELSEVIER LTD GBR, vol. 66, no. 11, 1 juin 2011 (2011-06-01), pages 2298-2308, XP002689296, DOI: 10.1016/J.CES.2011.02.021 * abrégé * *	1-16	INV. C06B21/00 C06B47/00 B01F3/08 B01F3/18
Y	DE 23 41 818 A1 (GARPHYTTE BRUK AB) 27 février 1975 (1975-02-27) * revendications *	1-16	
Y	US 3 219 318 A (ABE HERSHLER) 23 novembre 1965 (1965-11-23) * colonne 7, ligne 18 - ligne 21; revendications *	1-16	
Y	US 5 699 842 A (WEGMAN PAUL M [US]) 23 décembre 1997 (1997-12-23) * revendications *	1-16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Y	US 3 987 967 A (KUZNETSOV JURY NIKOLAEVICH ET AL) 26 octobre 1976 (1976-10-26) * colonne 5, ligne 62 - ligne 65; revendications *	1-16	C06B B01F
Y	US 4 632 316 A (WATANABE YASUO [JP] ET AL) 30 décembre 1986 (1986-12-30) * revendications *	1-16	
Y	US 4 247 494 A (CARTER GEORGE B) 27 janvier 1981 (1981-01-27) * revendications *	1-16	
		-/--	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 8 mai 2013	Examineur Schut, Robert
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 15 1038

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
Y	WO 2009/008794 A1 (BAE SYSTEMS BOFORS AB [SE]; RUNEMARD MATS [SE]; VIEIDER CHRISTIAN [SE]) 15 janvier 2009 (2009-01-15) * revendications *	1-16	
Y	US 7 585 381 B1 (ZUBRIN ROBERT M [US]) 8 septembre 2009 (2009-09-08) * revendications *	1-16	
Y	US 325 538 A (C.W. HAYES) 1 septembre 1885 (1885-09-01) * revendications *	1-16	
Y	FR 2 601 125 A1 (SOUCAZE SOUDAT JEAN [FR]) 8 janvier 1988 (1988-01-08) * revendications *	1-16	
A	US 5 665 276 A (KIRBY IAN JOHN [GB] ET AL) 9 septembre 1997 (1997-09-09) * revendications *	1-16	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 8 mai 2013	Examineur Schut, Robert
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

 1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 13 15 1038

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

08-05-2013

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 2341818	A1	27-02-1975	AUCUN	
US 3219318	A	23-11-1965	AUCUN	
US 5699842	A	23-12-1997	BR 9701782 A CA 2202428 A1 US 5699842 A	10-11-1998 12-10-1997 23-12-1997
US 3987967	A	26-10-1976	DE 2556935 A1 FR 2294751 A1 IT 1060811 B NL 7514737 A US 3987967 A	01-07-1976 16-07-1976 30-09-1982 22-06-1976 26-10-1976
US 4632316	A	30-12-1986	DE 3240057 A1 JP S61135 B2 JP S5876151 A US 4632316 A	19-05-1983 06-01-1986 09-05-1983 30-12-1986
US 4247494	A	27-01-1981	AU 3883378 A BR 7805256 A DE 2835621 A1 ES 472592 A1 FI 782499 A FR 2400496 A1 GR 63561 A1 IN 149215 A1 LU 80117 A1 NL 7808442 A OA 6037 A PT 68423 A SE 7808650 A US 4247494 A YU 195678 A	14-02-1980 08-05-1979 01-03-1979 16-02-1979 17-02-1979 16-03-1979 17-11-1979 10-10-1981 19-01-1979 20-02-1979 30-06-1981 01-09-1978 17-02-1979 27-01-1981 21-01-1983
WO 2009008794	A1	15-01-2009	EP 2173688 A1 SE 0701645 A US 2011011294 A1 WO 2009008794 A1	14-04-2010 07-01-2009 20-01-2011 15-01-2009
US 7585381	B1	08-09-2009	US 7585381 B1 US 2010269964 A1 US 2011186193 A1	08-09-2009 28-10-2010 04-08-2011
US 325538	A	01-09-1885	AUCUN	

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 13 15 1038

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

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

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

08-05-2013

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2601125 A1	08-01-1988	AUCUN	

US 5665276 A	09-09-1997	AU 5466996 A	12-12-1996
		CA 2177869 A1	23-02-1997
		EP 0745574 A1	04-12-1996
		JP H08338699 A	24-12-1996
		US 5665276 A	09-09-1997

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 78317 A, A. Nobel [0005]
- FR 499506 [0005]
- US 6666935 B [0005]
- US 6893518 B [0005]