



(11) **EP 3 770 136 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**27.01.2021 Bulletin 2021/04**

(51) Int Cl.:  
**C06B 23/00 (2006.01) C06B 29/00 (2006.01)**  
**C06B 45/02 (2006.01) C06D 5/06 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **20187229.8**

(22) Date de dépôt: **22.07.2020**

(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**  
Etats de validation désignés:  
**KH MA MD TN**

(71) Demandeur: **ArianeGroup SAS**  
**75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:  
• **BESOMBES, Stéphane**  
**33185 LE HAILLAN (FR)**  
• **THEIL-BAZINGUETTE, David**  
**33185 LE HAILLAN (FR)**

(30) Priorité: **25.07.2019 FR 1908448**

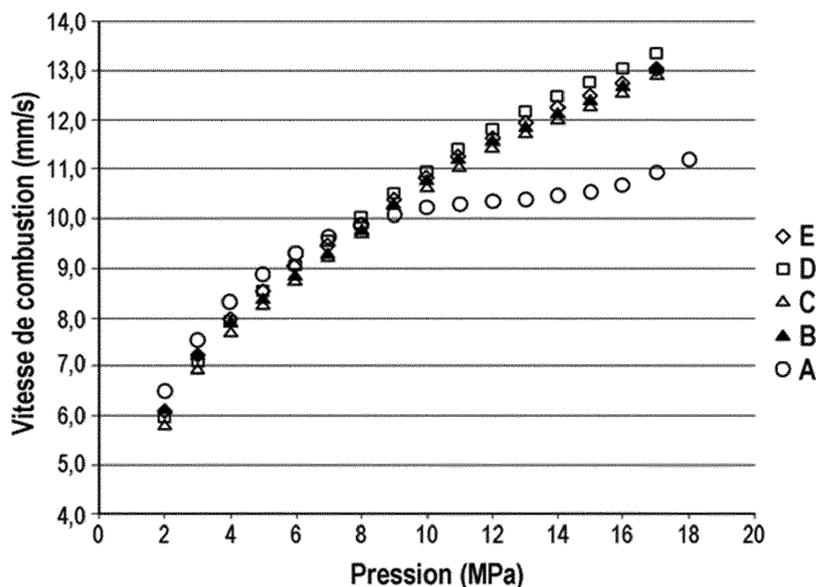
(74) Mandataire: **Cabinet Beau de Loménie**  
**158, rue de l'Université**  
**75340 Paris Cedex 07 (FR)**

(54) **PROPERGOL SOLIDE COMPOSITE**

(57) La présente invention concerne un propergol solide composite comprenant un liant comprenant un polymère polyol réticulé dans lequel sont présents :  
- une charge oxydante comprenant des particules de perchlorate inorganique, la charge oxydante présentant une distribution de taille bimodale avec (i) un premier ensemble de particules de perchlorate inorganique présentant une première taille D50 comprise entre 150  $\mu\text{m}$  et 250  $\mu\text{m}$  et présent à raison de 50% à 60% en masse dans le

propergol solide composite, et (ii) un deuxième ensemble de particules de perchlorate inorganique présentant une deuxième taille D50 comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 20  $\mu\text{m}$  et présent à raison de 7% à 17% en masse dans le propergol solide composite,  
- une charge réductrice comprenant des particules d'aluminium et/ou d'un composé d'aluminium, et  
- un catalyseur balistique comprenant des particules d'oxyde de cuivre CuO.

[Fig. 3]



**EP 3 770 136 A1**

## Description

Domaine Technique

**[0001]** L'invention concerne un propergol composite ayant une vitesse de combustion présentant une sensibilité réduite aux variations de pression. L'invention vise également l'application de ce propergol composite en tant que changement propulsif d'un moteur-fusée.

Technique antérieure

**[0002]** Les propergols composites sont connus pour la propulsion fusée et mettent généralement en œuvre un liant dans lequel sont dispersées des charges énergétiques. On peut adjoindre un catalyseur balistique à ces compositions afin d'augmenter la vitesse de combustion et la poussée produite. Ainsi, l'emploi d'oxyde de fer  $Fe_2O_3$  en tant que catalyseur balistique est connu. Il demeure toutefois souhaitable de réduire la sensibilité de la vitesse de combustion à la pression dans la chambre de combustion.

Exposé de l'invention

**[0003]** L'invention concerne un propergol solide composite comprenant un liant comprenant un polymère polyol réticulé dans lequel sont présents :

- une charge oxydante comprenant des particules de perchlorate inorganique, la charge oxydante présentant une distribution de taille bimodale avec (i) un premier ensemble de particules de perchlorate inorganique présentant une première taille D50 comprise entre 150  $\mu m$  et 250  $\mu m$  et présent à raison de 50% à 60% en masse dans le propergol solide composite, et (ii) un deuxième ensemble de particules de perchlorate inorganique présentant une deuxième taille D50 comprise entre 5  $\mu m$  et 20  $\mu m$  et présent à raison de 7% à 17% en masse dans le propergol solide composite,
- une charge réductrice comprenant des particules d'aluminium et/ou d'un composé d'aluminium, et
- un catalyseur balistique comprenant des particules d'oxyde de cuivre CuO.

**[0004]** Sauf mention contraire, on entend par « taille D50 », la dimension donnée par la distribution granulométrique statistique à la moitié de la population.

**[0005]** L'incorporation d'un catalyseur balistique d'oxyde de cuivre CuO au sein de la formulation de propergol solide composite décrite ci-dessus permet d'atteindre conjointement une vitesse de combustion élevée associée à une réduction significative de l'exposant de pression, et ce sur une large plage de pression. L'exposant de pression correspond à l'exposant  $n$  dans la loi de Vieille qui est vérifiée par le propergol et qui a pour expression :  $V_c = a \cdot P^n$ , où  $V_c$  désigne la vitesse de com-

bustion du propergol,  $P$  la pression dans la chambre de combustion et a un facteur pré-exponentiel. La réduction de l'exposant de pression  $n$  permet de réduire la dépendance de la vitesse de combustion à la pression et permet ainsi d'envisager de pouvoir accéder à une réduction significative de la dispersion de fonctionnement d'un moteur à propergol solide. En effet, la réduction de l'exposant de pression permet de réduire les fluctuations de fonctionnement liées aux fluctuations de pression durant le fonctionnement du moteur conduisant ainsi à l'obtention d'un point de fonctionnement plus stable du moteur. La réduction des dispersions de fonctionnement contribue notamment à réduire les contraintes mécaniques auxquelles la structure du moteur pourrait être soumise en cas de pressurisation interne maximale. Ainsi, il est possible d'envisager de pouvoir recourir à des architectures de moteur optimisées (masse de structure réduite) pour un même niveau de fiabilité de fonctionnement du moteur, ou à iso-dimensionnement du moteur, à un accroissement du niveau de fiabilité de fonctionnement du moteur. L'effet bénéfique du catalyseur balistique d'oxyde de cuivre CuO est obtenu pour un propergol solide composite présentant la distribution de taille bimodale décrite ci-dessus pour la charge oxydante. Un tel propergol convient à une intégration en tant que chargement propulsif pour un véhicule spatial. Comme cela sera rappelé dans la partie expérimentale, l'effet d'abaissement de l'exposant de pression suite à l'incorporation d'oxyde de cuivre CuO n'est pas obtenu de manière notable si la granulométrie de la charge oxydante diffère de celle décrite plus haut.

**[0006]** Dans un exemple de réalisation, les particules d'oxyde de cuivre CuO présentent une surface spécifique BET supérieure ou égale à 10  $m^2/g$ .

**[0007]** Une telle surface spécifique permet avantageusement d'augmenter davantage encore la vitesse de combustion du propergol.

**[0008]** Dans un exemple de réalisation, la teneur massique en particules d'oxyde de cuivre CuO est comprise entre 0,01% et 1%.

**[0009]** Dans un exemple de réalisation, le propergol comprend :

- le polymère polyol réticulé en une teneur massique comprise entre 9% et 12%,
- les particules de perchlorate inorganique en une teneur massique comprise entre 64% et 70%,
- les particules d'aluminium et/ou du composé d'aluminium en une teneur massique comprise entre 17% et 23%, et
- les particules d'oxyde de cuivre CuO en une teneur massique comprise entre 0,01% et 1%.

**[0010]** L'invention vise également un propulseur comprenant un corps de propulseur définissant une chambre de combustion dans laquelle un chargement du propergol composite tel que décrit plus haut est présent.

**[0011]** L'invention vise également un véhicule spatial

comprenant un propulseur tel que décrit plus haut. Le véhicule spatial peut être un lanceur fusée.

Brève description des dessins

#### [0012]

[Fig. 1] La figure 1 illustre schématiquement la distribution de taille bimodale pour les particules de perchlorate inorganique pouvant être mises en œuvre dans le cadre de l'invention.

[Fig. 2] La figure 2 représente un corps de propulseur incorporant un propergol solide composite selon l'invention.

[Fig. 3] La figure 3 compare l'évolution de la vitesse de combustion en fonction de la pression pour différentes compositions de propergol.

[Fig. 4] La figure 4 compare l'évolution de l'exposant de pression en fonction de la pression pour différentes compositions de propergol.

[Fig. 5] La figure 5 compare l'évolution de la vitesse de combustion en fonction de la pression pour différentes compositions de propergol.

[Fig. 6] La figure 6 compare l'évolution de la vitesse de combustion en fonction de la pression pour différentes compositions de propergol.

[Fig. 7] La figure 7 compare l'évolution de d'exposant de pression en fonction de la pression pour différentes compositions de propergol.

Description des modes de réalisation

**[0013]** Le propergol comprend un liant comprenant un polymère polyol réticulé. Le polymère polyol réticulé est par exemple un polybutadiène hydroxytélechélique (PB-HT) réticulé. Le polymère polyol est réticulé par un agent de réticulation. L'agent de réticulation peut être un diisocyanate. Dans ce cas, on obtient un polyuréthane par réticulation du polyol par l'agent de réticulation diisocyanate. Le liant peut comprendre un extenseur de chaîne du polymère polyol de manière connue en soi. Les charges oxydante et réductrice peuvent être dispersées dans le liant. Le liant peut constituer une matrice polymérique enrobant les charges oxydante et réductrice.

**[0014]** La charge oxydante comprend des particules de perchlorate inorganique. Le perchlorate inorganique peut être le perchlorate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{ClO}_4$ ). Comme indiqué plus haut, les particules de perchlorate inorganique présentent une distribution de taille bimodale avec (i) un premier ensemble de particules de perchlorate inorganique présentant une première taille D50 comprise entre 150  $\mu\text{m}$  et 250  $\mu\text{m}$  et présent à raison de 50% à 60% en masse dans le propergol solide composite, et (ii) un deuxième ensemble de particules de perchlorate inorganique présentant une deuxième taille D50 comprise entre 5  $\mu\text{m}$  et 20  $\mu\text{m}$  et présent à raison de 7% à 17% en masse dans le propergol solide composite. Les particules de perchlorate inorganique peuvent être présen-

tes dans le propergol solide composite en une teneur massique globale comprise entre 64% et 70% (correspondant à la somme des teneurs des particules des premier et deuxième ensembles).

5 **[0015]** La distribution de taille des particules de perchlorate inorganique peut être déterminée par technique de diffraction laser, de manière connue en soi.

**[0016]** La figure 1 illustre la distribution de taille bimodale des particules de perchlorate inorganique qui peuvent être mises en œuvre dans le cadre de l'invention. Sur cette figure, pour une taille x donnée de particules, l'ordonnée indique la teneur massique dans le propergol des particules ayant cette taille x. Les particules de perchlorate inorganique définissent un premier ensemble E1 de particules de perchlorate inorganique et un deuxième ensemble E2 de particules de perchlorate inorganique. La distribution bimodale est asymétrique. La distribution bimodale présente deux pics (maxima) distincts P1 et P2. La hauteur du pic P1 de la distribution du premier ensemble E1 peut être différente, par exemple supérieure, à la hauteur du pic P2 de la distribution du deuxième ensemble E2.

**[0017]** La distribution de chacun des premier et deuxième ensembles E1 et E2 peut correspondre à une distribution normale. Les particules du premier ensemble E1 présentent une première taille D50 TM1 et les particules du deuxième ensemble E2 présentent une deuxième taille D50 TM2. La première taille D50 TM1 est supérieure à la deuxième taille D50 TM2. La deuxième taille D50 TM2 peut être espacée de la première taille D50 TM1 par au moins deux, voire au moins trois, écarts-types de la distribution du premier ensemble E1.

**[0018]** La charge réductrice comprend des particules d'aluminium et/ou d'un composé d'aluminium. Le composé d'aluminium peut être l'un au moins d'un alliage d'aluminium ou de l'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Les particules d'aluminium et/ou du composé d'aluminium peuvent être présentes dans le propergol solide composite en une teneur massique comprise entre 17% et 23%.

40 **[0019]** Le propergol comprend en outre un catalyseur balistique comprenant des particules d'oxyde de cuivre CuO. Comme indiqué plus haut, la teneur massique en particules d'oxyde de cuivre CuO dans le propergol peut être comprise entre 0,01% et 1%, par exemple entre 0,1% et 1%, par exemple entre 0,1% et 0,3% ou entre 0,3% et 1%. Selon un exemple, les particules d'oxyde de cuivre CuO peuvent présenter une surface spécifique BET supérieure ou égale à 10  $\text{m}^2/\text{g}$ .

**[0020]** L'oxyde de cuivre CuO peut être l'unique catalyseur balistique présent dans le propergol solide composite. Le propergol composite peut être dépourvu de l'un au moins des catalyseurs balistiques suivants : un sel de cuivre, un oxyde de fer, les catalyseurs sur base ferrocénique, un oxyde de chrome, un oxyde de nickel, un oxyde de cobalt, un sel métallique de plomb, un sel de bismuth.

**[0021]** Le propergol composite peut être dépourvu de l'un au moins des composés suivants : nitrocellulose ou

nitroglycérine.

**[0022]** Le propergol peut être fabriqué à partir des constituants évoqués plus haut en mettant en œuvre des techniques de mélange et de réticulation connues de l'homme du métier qui ne sont pas reprises ici par souci de concision.

**[0023]** La figure 2 montre un corps de propulseur 1 comprenant une enveloppe structurale 11 définissant une chambre de combustion dans laquelle est présent le chargement de propergol composite 10. Le corps de propulseur comprend un allumeur (non représenté) destiné à initier le chargement de propergol 10. Le corps de propulseur peut faire partie d'un moteur fusée et être un corps de propulseur de lanceur fusée. Avantagusement, le propergol solide composite peut présenter un exposant de pression  $n$  dans la loi de Vieille inférieur ou égal à 0,2, de préférence inférieur ou égal à 0,1, sur tout ou partie de la plage de pression 8-15 MPa dans la chambre de combustion.

#### Exemples

*Exemple 1 : comparaison entre l'utilisation d'oxyde de cuivre CuO et d'oxyde de fer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en tant que catalyseur balistique dans une formulation de propergol incorporant une distribution bimodale de charge oxydante*

**[0024]** La formulation mise en œuvre mise en œuvre dans cet essai présentait une répartition bimodale de charges de perchlorate d'ammonium (PA). Cette formulation de propergol composite est adaptée à former le chargement propulsif d'un lanceur spatial. Le grade d'oxyde de cuivre CuO utilisé était sous la forme d'une poudre solide fine, correspondant au grade « Copper(II) oxide Special Ultra Fine » (n° CAS 1317-38-0) approvisionné auprès du producteur TIB Chemicals. Les caractéristiques de l'oxyde de cuivre CuO qui a été mis en œuvre étaient les suivantes :

- granulométrie D10/D50/D90 d'environ 0,5 $\mu$ m/5,0 $\mu$ m/20  $\mu$ m (valeurs mesurées par un granulomètre à diffraction laser),
- surface spécifique de 11,6 m<sup>2</sup>/g (BET),
- densité de 6,28 g/cm<sup>3</sup> (pycnomètre à gaz), et
- pureté 98,3%.

**[0025]** Les formulations ayant la composition ci-dessous ont été préparées et évaluées :

- charge oxydante de PA à raison de 66,75% massique,
- charge réductrice d'aluminium à raison de 20% massique,
- liant polyol réticulé à raison de 13% massique, et
- catalyseur balistique (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ou CuO) à raison de 0,25% massique.

**[0026]** Les 66,75% massique de charges de PA utili-

sée étaient répartis ainsi :

- 54,75% massique de classe granulométrique de dimension moyenne centrée sur 200  $\mu$ m correspondant au premier ensemble de particules de perchlorate inorganique, ces particules avaient été obtenues par cristallisation, et
- 12% massique de classe granulométrique de dimension fine centrée sur 9  $\mu$ m correspondant au deuxième ensemble de particules de perchlorate inorganique, ces particules avaient été obtenues par broyage à partir des particules de classe granulométrique de dimension moyenne centrée sur 200  $\mu$ m.

**[0027]** La poudre d'aluminium utilisée était une variété caractérisée par une morphologie de grain régulière, obtenue par atomisation sous atmosphère inerte (azote) et de taille D50 d'environ 30  $\mu$ m.

**[0028]** Les figures 3 et 4 fournissent les résultats de la comparaison des caractéristiques balistiques obtenues avec cette formulation selon que de l'oxyde de cuivre CuO ou de fer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est utilisé en tant que catalyseur balistique. La formulation utilisant de l'oxyde de cuivre CuO incorporé à un taux massique de 0,25% correspond à la courbe « A » sur ces figures. Les formulations de référence utilisant comme catalyseur balistique de l'oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), incorporé au même taux massique de 0,25% dans le propergol, correspondent aux courbes « B » à « E ». Différents grades d'oxyde de fer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ont été évalués, correspondant à des produits de granulométrie et/ou de surface spécifique et/ou de pureté différentes et/ou obtenus par des procédés de fabrication différents afin de démontrer dans chaque cas l'effet avantageux produit par l'emploi d'oxyde de cuivre CuO. Ces grades de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ont été approvisionnés auprès de différents producteurs/fournisseurs du domaine et sont représentatifs de grades Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> qui peuvent être utilisés en tant que catalyseur balistique dans des propergols pour véhicule spatial.

**[0029]** Les échantillons de propergol ont été réalisés sur le même moyen de fabrication, à savoir un malaxeur de type horizontal de capacité 5 litres. Les formulations étaient identiques sauf sur le plan de la nature du catalyseur balistique (CuO ou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). La durée de cuisson du propergol était identique dans chacun des essais réalisés. Le moyen et les paramètres d'essais étaient identiques pour la caractérisation balistique. La mesure de la vitesse de combustion a été effectuée par analyse d'écho ultrasonore, les échantillons ayant été pré-conditionnés à +20°C avant essai.

**[0030]** Les résultats obtenus sont fournis à la figure 3 qui montre les courbes de vitesse de combustion (Vc en mm/s) en fonction de la pression (en MPa) pour les formulations catalysées avec CuO en comparaison avec celles catalysées par Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La figure 4 montre quant à elle la variation de l'exposant de pression ( $n$ ) en fonction de la pression (en MPa) pour les formulations catalysées avec CuO en comparaison avec celles catalysées par

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**[0031]** Les figures 3 et 4 illustrent l'impact favorable engendré par l'emploi de l'oxyde de cuivre CuO sur les caractéristiques balistiques du propergol. On note en particulier un aplatissement notable de l'allure de la courbe de vitesse de combustion sur la plage 9-15 MPa lorsque le CuO est employé qui se traduit par une valeur d'exposant de pression n très significativement abaissée (n inférieur ou égal à 0,2 sur la plage 8-15MPa et avec n proche de ou inférieur à 0,1 sur la plage 10-14MPa). Ce résultat est à comparer avec ceux obtenus lorsque Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est utilisé pour lesquels l'exposant de pression n est supérieur ou égal à 0,3 sur la plage 7-15 MPa. On constate aussi que l'on obtient, sur la plage de pression 2-9 MPa, une vitesse de combustion équivalente à celle obtenue avec Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lorsque du CuO est employé.

**[0032]** Dans les architectures de moteurs pour lanceur spatial mettant en œuvre la formulation ayant la base détaillée ci-dessus sans catalyseur CuO, la plage de pression opérationnelle nominale du moteur est comprise entre 4 MPa et 9,5 MPa. La pression maximale, en prenant en compte les possibles fluctuations de fonctionnement lors de la combustion du chargement propergol, se situe autour de 10 MPa. La figure 3 montre que l'emploi du CuO permet d'accéder à des niveaux de vitesse de combustion tout à fait comparables à ceux obtenus avec le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sur la plage opérationnelle de fonctionnement du moteur.

**[0033]** Lorsque du CuO est employé, la valeur d'exposant de pression se réduit très fortement à l'approche de 10 MPa, qui correspond à la limite haute de la plage de fonctionnement. Ainsi, le risque de fluctuation de pression pouvant engendrer une fluctuation du point de fonctionnement, et possiblement une surpression mécanique de la structure du moteur pouvant nuire à son intégrité, se trouve significativement réduit. Dans cette configuration, les caractéristiques balistiques induites par l'emploi de CuO permettent ainsi d'envisager d'accéder à fonctionnements plus stables du moteur dans cette plage de pression (à l'approche de la limite haute 10 MPa), voire d'envisager de pouvoir accéder à des architectures de moteur optimisées comme indiqué précédemment.

**[0034]** La figure 5 permet de confirmer indirectement l'impact avantageux induit par l'emploi du CuO. Dans cet essai, l'évolution de la vitesse de combustion en fonction de la pression a été déterminée pour deux formulations de propergol pour lanceur spatial : La première formulation évaluée était identique à celle décrite ci-dessus mais catalysée avec 0,20% massique de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et mise en œuvre sur un malaxeur de technologie différente (malaxeur à pâles verticales de contenance 1 Gallon). La courbe notée « F » à la figure 5 correspond aux résultats obtenus pour cette première formulation. La teneur massique en PA de dimension moyenne centrée sur 200 μm était de 54,8% massique. La deuxième formulation évaluée était identique à la première formulation mais sans catalyseur balistique Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dans cette deuxième formulation, la teneur en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a été reportée sur la teneur

en PA de dimension moyenne centrée sur 200 μm laquelle représentait alors 55% massique. La courbe notée « G » à la figure 5 correspond aux résultats obtenus pour cette deuxième formulation.

**[0035]** La figure 5 illustre le fait que l'incorporation de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> au sein d'une formulation de propergol composite conduit, par rapport à une base non catalysée, à une augmentation notable de la valeur de vitesse de combustion sur la plage opérationnelle de fonctionnement du moteur pour lanceur spatial. Il n'y a toutefois pas d'amélioration notable de la valeur de l'exposant de pression sur cette même plage fonctionnelle par rapport à une formulation non catalysée (i.e. exempte de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Ce résultat illustre le fait que le fort abaissement de la valeur d'exposant de pression observé préalablement avec le CuO n'est pas intrinsèquement inhérent à la formulation de base non catalysée, et que l'ajout d'un catalyseur balistique conventionnel (dans cet exemple le Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ne suffit assurément pas à abaisser cette valeur d'exposant mais se contente d'accroître la valeur de vitesse de combustion, démontrant ainsi au final que l'abaissement de la valeur d'exposant de pression associée à une augmentation de la Vc est bien induit par l'emploi d'oxyde de cuivre CuO.

**[0036]** L'exemple 1 a démontré l'avantage lié à l'incorporation de l'oxyde de cuivre CuO en tant que catalyseur balistique. Les essais dans l'exemple 1 ont été conduits sur une base de propergol ayant une distribution de charge oxydante bimodale particulière qui convient à un emploi dans un véhicule spatial. L'exemple 2 à suivre va maintenant s'attacher à évaluer l'influence de la granulométrie de la charge oxydante sur les caractéristiques balistiques obtenues pour le propergol.

*Exemple 2 : influence de la granulométrie de la charge oxydante sur les caractéristiques balistiques du propergol*

**[0037]** Dans cet exemple, la base de propergol mise en œuvre comprenait une charge oxydante de PA avec une dimension granulométrique moyenne notablement plus faible et sous la forme d'une distribution trimodale (hors invention) et non plus bimodale comme dans l'exemple 1. Dans cet essai, les inventeurs ont comparé les performances obtenues entre un tel propergol incorporant soit de l'oxyde de cuivre CuO, soit de l'oxyde de fer Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> à la place de l'oxyde de cuivre CuO. Les figures 6 et 7 illustrent la comparaison des caractéristiques balistiques obtenues avec l'emploi :

- d'oxyde de cuivre CuO (courbe notée « H » aux figures 6 et 7), et
- d'un catalyseur balistique oxyde de fer (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (courbe notée « I » aux figures 6 et 7)

Dans ces deux cas, les catalyseurs ont été incorporés à un taux comparable dans le propergol.

La figure 6 illustre le fait que l'incorporation de CuO induit

un effet catalytique conduisant à un niveau de vitesse de combustion équivalent à celui du catalyseur balistique  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Toutefois, l'emploi de  $\text{CuO}$  dans une telle formulation de propergol composite à distribution de charges oxydantes PA hors invention n'induit pas d'abaissement notable de la valeur de l'exposant de pression par rapport à une formulation catalysée avec  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , contrairement à ce qui a été observé précédemment pour une formulation de propergol ayant une répartition bimodale des charges oxydantes (voir figure 7).

**[0038]** Ainsi, on constate que lorsque la granulométrie de la charge oxydante est modifiée, l'incorporation d'oxyde de cuivre  $\text{CuO}$  ne conduit pas à un effet d'abaissement de l'exposant de pression significatif par rapport à l'emploi d'oxyde de fer  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . L'avantage lié à l'incorporation d'oxyde de cuivre  $\text{CuO}$  ne se manifeste pas de manière systématique au sein de n'importe quelle formulation de propergol composite mais résulte de la combinaison avec des charges oxydantes de granulométrie spécifique.

**[0039]** L'expression « comprise entre ... et ... » doit se comprendre comme incluant les bornes.

## Revendications

1. Propergol solide composite (10) comprenant un liant comprenant un polymère polyol réticulé dans lequel sont présents :

- une charge oxydante comprenant des particules de perchlorate inorganique, la charge oxydante présentant une distribution de taille bimodale avec (i) un premier ensemble (E1) de particules de perchlorate inorganique présentant une première taille D50 (TM1) comprise entre  $150 \mu\text{m}$  et  $250 \mu\text{m}$  et présent à raison de 50% à 60% en masse dans le propergol solide composite, et (ii) un deuxième ensemble (E2) de particules de perchlorate inorganique présentant une deuxième taille D50 (TM2) comprise entre  $5 \mu\text{m}$  et  $20 \mu\text{m}$  et présent à raison de 7% à 17% en masse dans le propergol solide composite,
- une charge réductrice comprenant des particules d'aluminium et/ou d'un composé d'aluminium, et
- un catalyseur balistique comprenant des particules d'oxyde de cuivre  $\text{CuO}$ .

2. Propergol solide composite (10) selon la revendication 1, dans lequel les particules d'oxyde de cuivre  $\text{CuO}$  présentent une surface spécifique BET supérieure ou égale à  $10 \text{ m}^2/\text{g}$ .

3. Propergol solide composite (10) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la teneur massique en particules d'oxyde de cuivre  $\text{CuO}$  est comprise entre 0,01% et 1%.

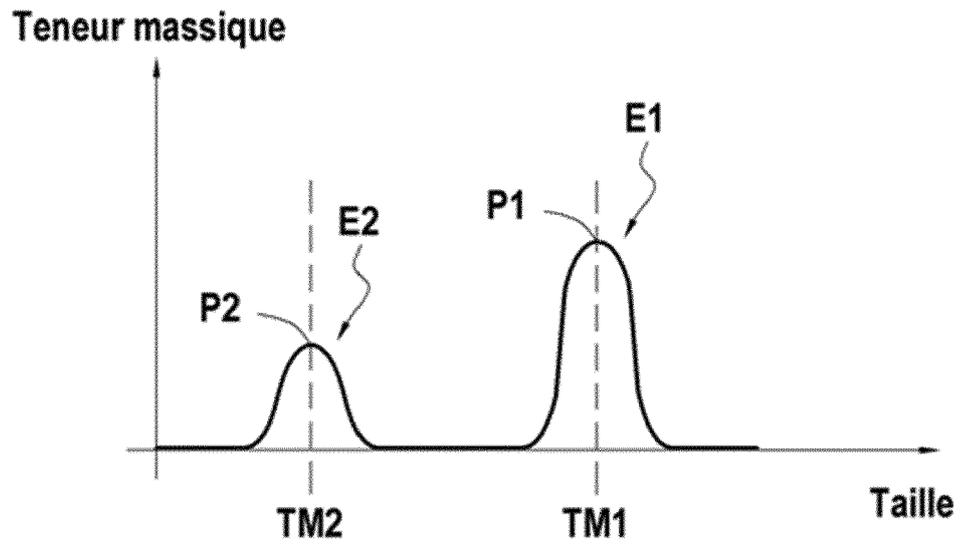
4. Propergol solide composite (10) selon la revendication 3, dans lequel le propergol comprend :

- le polymère polyol réticulé en une teneur massique comprise entre 9% et 12%,
- les particules de perchlorate inorganique en une teneur massique comprise entre 64% et 70%,
- les particules d'aluminium et/ou du composé d'aluminium en une teneur massique comprise entre 17% et 23%, et
- les particules d'oxyde de cuivre  $\text{CuO}$  en une teneur massique comprise entre 0,01% et 1%.

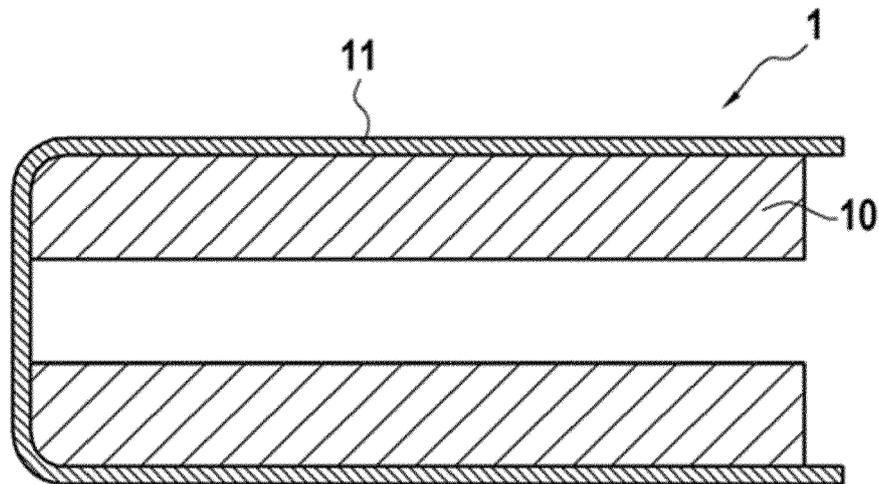
5. Propulseur comprenant un corps de propulseur (1) définissant une chambre de combustion dans laquelle un chargement (10) du propergol composite selon l'une quelconque des revendications 1 à 4 est présent.

6. Véhicule spatial comprenant un propulseur selon la revendication 5.

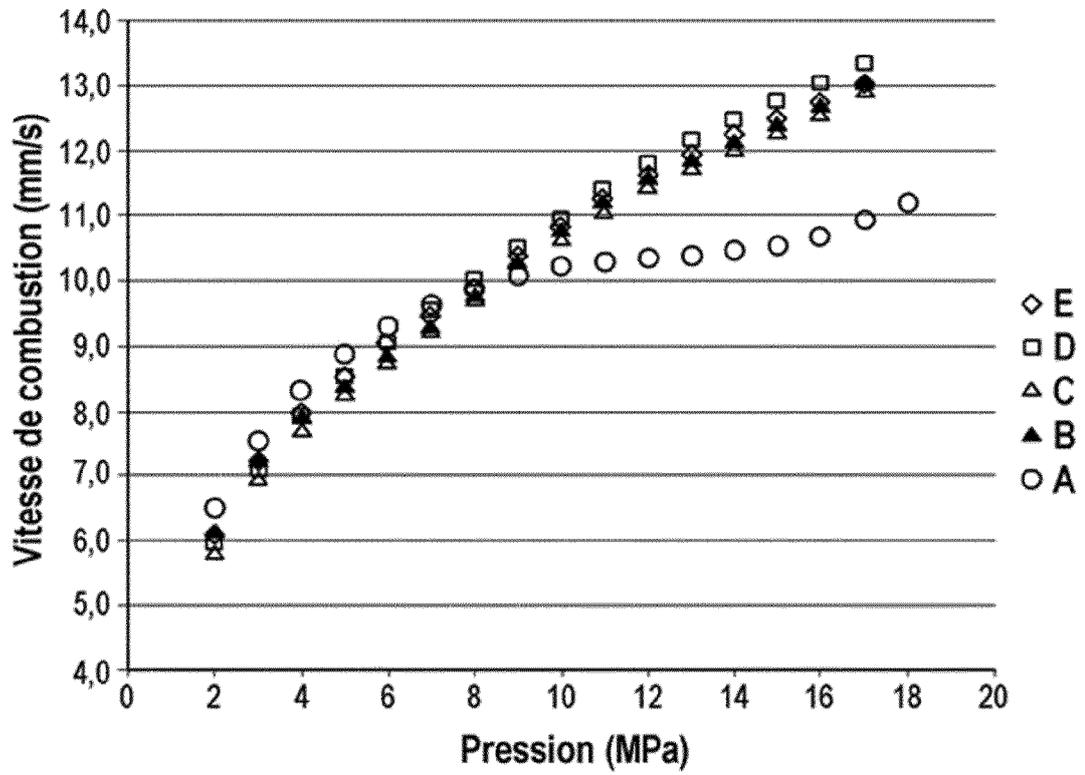
[Fig. 1]



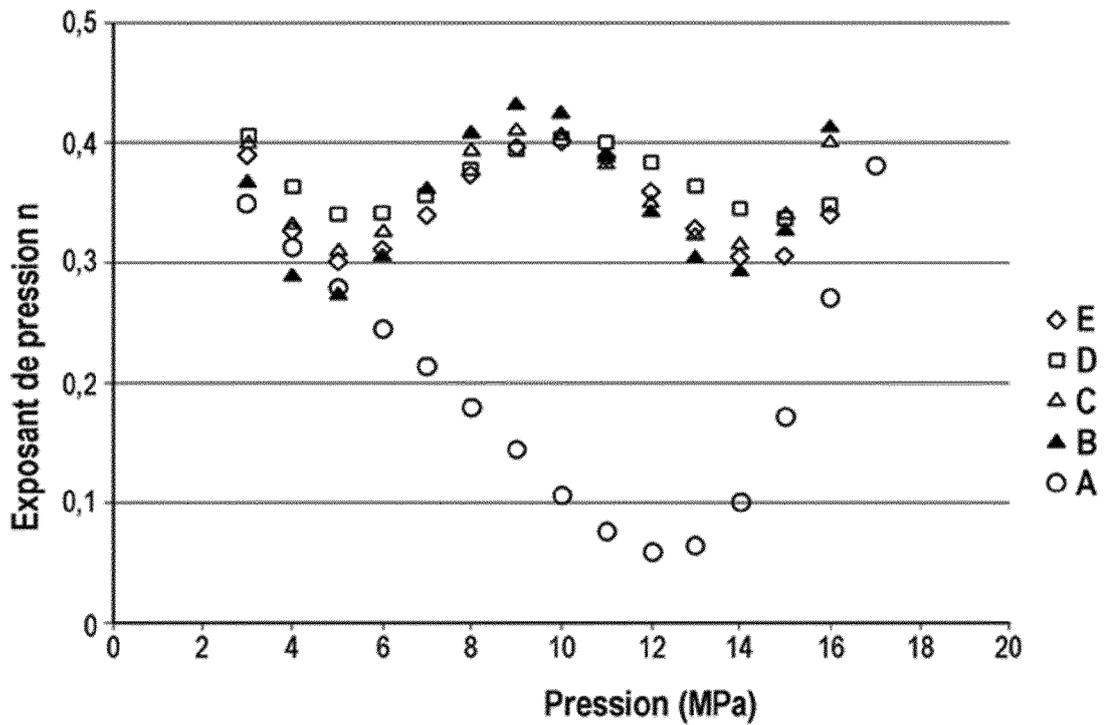
[Fig. 2]



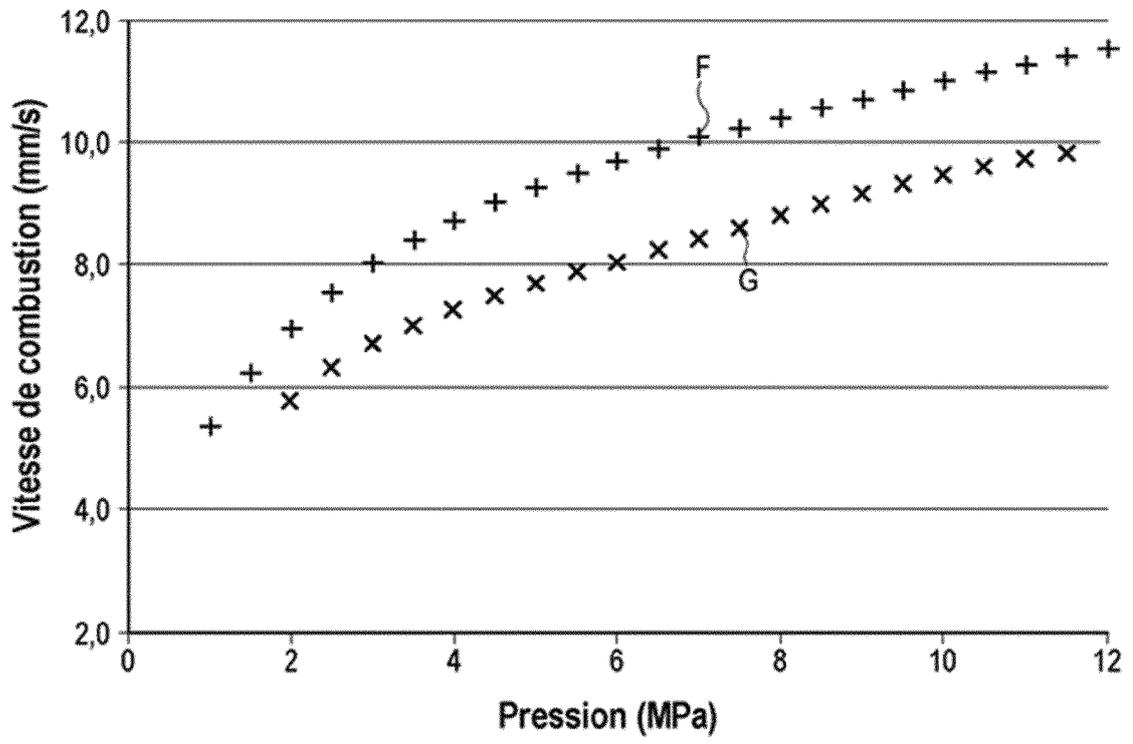
[Fig. 3]



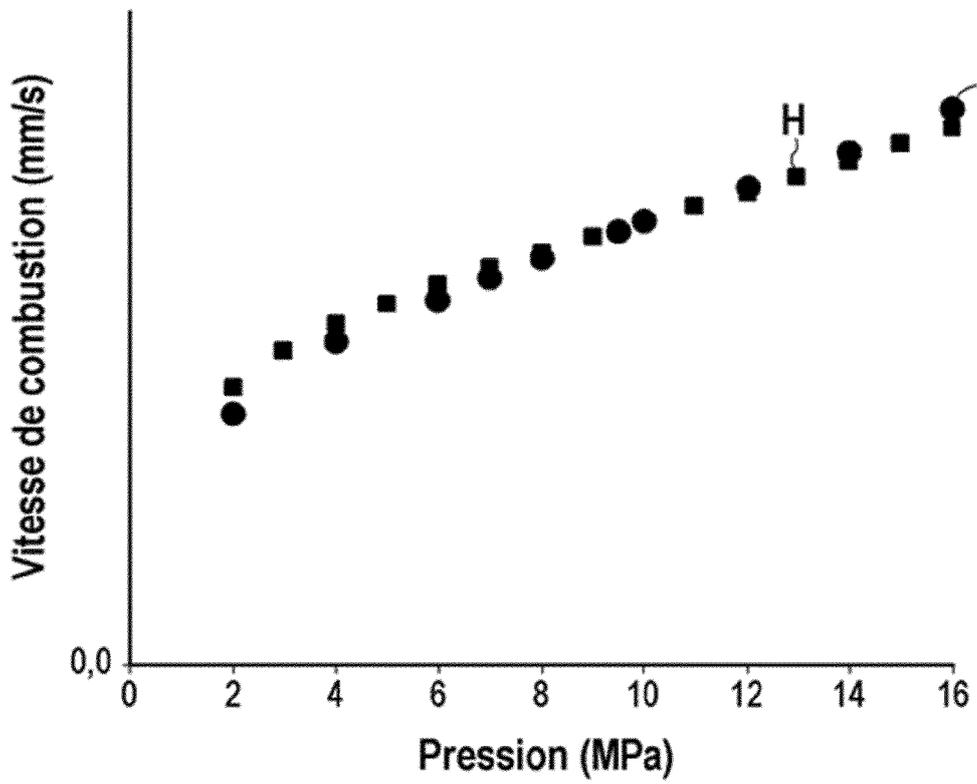
[Fig. 4]



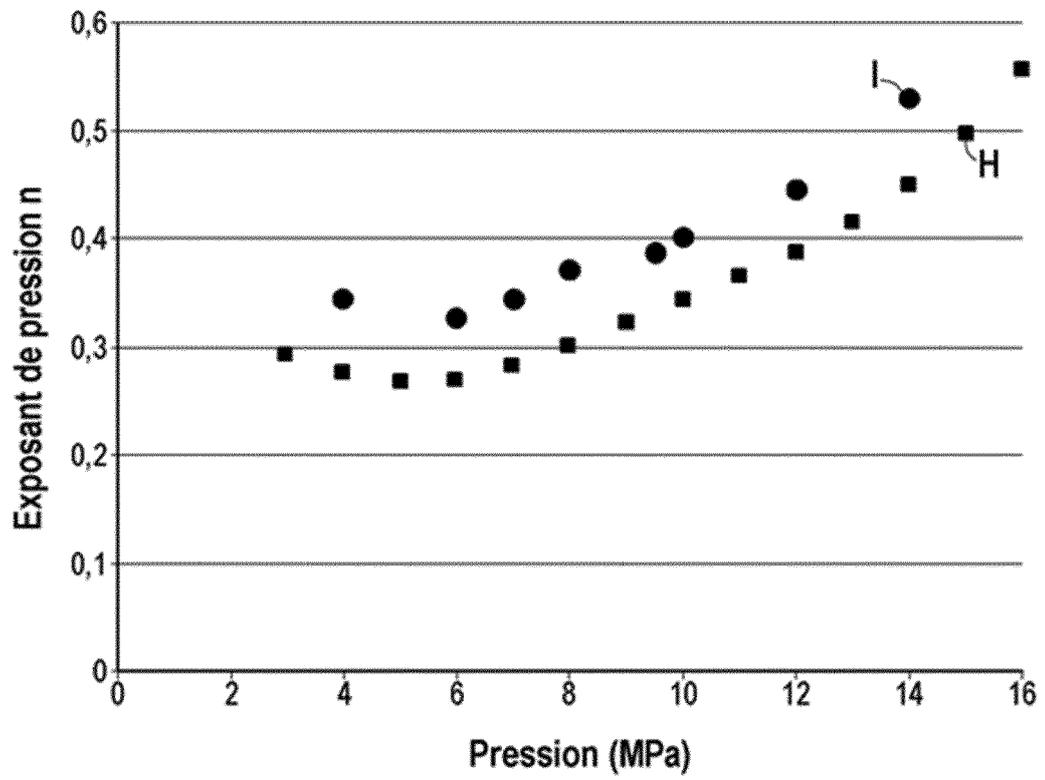
[Fig. 5]



[Fig. 6]



[Fig. 7]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 20 18 7229

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

| DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS  |  |   |   |                                      |
|--|--|---|---|--------------------------------------|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes  | Revendication concernée   | CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)                          |                                      |
| A  | US 3 255 059 A (HAMERMESH CHARLES L ET AL)<br>7 juin 1966 (1966-06-07)<br>* colonne 1, lignes 10-13; colonne 2, lignes 1-11; colonne 8, lignes 5-16, 30-64;<br>exemple XI *                          | 1-6   | INV.<br>C06B23/00<br>C06B29/00<br>C06B45/02<br>C06D5/06 |                                      |
| A  | US 6 217 682 B1 (CAMPBELL CAROL JEAN [US])<br>17 avril 2001 (2001-04-17)<br>* colonne 1, ligne 14 - colonne 2, ligne 18; colonne 2, lignes 22-32; colonne 4, lignes 56-66; colonne 5, lignes 47-55 * | 1-6   |   |                                      |
| A  | EP 0 685 368 A1 (MORTON INT INC [US])<br>6 décembre 1995 (1995-12-06)<br>* page 5, ligne 12 - ligne 14; exemple 8 *  | 1-6   |   |                                      |
| A  | EP 1 216 977 A2 (POUDRES & EXPLOSIFS STE NALE [FR])<br>26 juin 2002 (2002-06-26)<br>* alinéas [0016], [0018]; exemple 3 *  | 1-6   |   |                                      |
| A  | US 2018/170821 A1 (REIMER KARL G [US] ET AL)<br>21 juin 2018 (2018-06-21)<br>* alinéas [0026], [0028] *  | 1-6   |   | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) |
| A  | EP 2 551 253 A2 (AUTOLIV ASP INC [US])<br>30 janvier 2013 (2013-01-30)<br>* alinéas [0025] - [0027]; revendication 1 *   | 1-6   |   | C06B<br>C06D                         |
| A  | US 2009/260730 A1 (KODAMA RYOI [JP] ET AL)<br>22 octobre 2009 (2009-10-22)<br>* alinéa [0045]; tableaux 3, 4, 7 *  | 1-6   |   |                                      |
| Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications   |  |   |   |                                      |
| Lieu de la recherche<br><b>La Haye</b>   |  | Date d'achèvement de la recherche<br><b>27 novembre 2020</b>  | Examineur<br><b>Kappen, Sascha</b>                      |                                      |
| CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES<br>X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |  | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>& : membre de la même famille, document correspondant |   |                                      |

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 20 18 7229

5 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.

27-11-2020

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche |    | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s)   | Date de<br>publication   |
|---|----|------------------------|---|--|
| US 3255059                                      | A  | 07-06-1966             | AUCUN   |  |
| US 6217682                                      | B1 | 17-04-2001             | AU 1995599 A<br>US 6217682 B1<br>WO 9921808 A1  | 17-05-1999<br>17-04-2001<br>06-05-1999   |
| EP 0685368                                      | A1 | 06-12-1995             | AU 1342395 A<br>CA 2143361 A1<br>DE 69504132 T2<br>EP 0685368 A1<br>JP 2634786 B2<br>JP H07330477 A<br>KR 950032020 A<br>US 5486248 A<br>US 5538568 A   | 04-01-1996<br>01-12-1995<br>24-12-1998<br>06-12-1995<br>30-07-1997<br>19-12-1995<br>20-12-1995<br>23-01-1996<br>23-07-1996                             |
| EP 1216977                                      | A2 | 26-06-2002             | AT 300508 T<br>BR 0106250 A<br>CA 2364135 A1<br>DE 60112231 T2<br>EP 1216977 A2<br>FR 2818636 A1<br>JP 3825316 B2<br>JP 2002255679 A<br>KR 20020051850 A<br>MX PA01012981 A<br>US 2002079031 A1 | 15-08-2005<br>13-08-2002<br>22-06-2002<br>24-05-2006<br>26-06-2002<br>28-06-2002<br>27-09-2006<br>11-09-2002<br>29-06-2002<br>21-10-2002<br>27-06-2002 |
| US 2018170821                                   | A1 | 21-06-2018             | AUCUN   |  |
| EP 2551253                                      | A2 | 30-01-2013             | CN 102898262 A<br>EP 2551253 A2<br>US 2013025749 A1   | 30-01-2013<br>30-01-2013<br>31-01-2013   |
| US 2009260730                                   | A1 | 22-10-2009             | CN 101432245 A<br>EP 2014632 A1<br>JP 5277428 B2<br>JP 2007297252 A<br>US 2009260730 A1<br>WO 2007129611 A1   | 13-05-2009<br>14-01-2009<br>28-08-2013<br>15-11-2007<br>22-10-2009<br>15-11-2007   |

EPO FORM P0460

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