

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
12 décembre 2024 (12.12.2024)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/252094 A1

(51) Classification internationale des brevets :

C23C 28/04 (2006.01) F02C 7/36 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01) C23C 16/02 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01) C23C 16/06 (2006.01)
C23C 14/16 (2006.01) F01D 5/02 (2006.01)
C23C 16/26 (2006.01) F01D 5/18 (2006.01)
F01D 25/16 (2006.01)

FR2305682 06 juin 2023 (06.06.2023) FR

(71) **Déposant : SAFRAN TRANSMISSION SYSTEMS**
[FR/FR] ; 18 Boulevard Louis Seguin, 92700 COLOMBES
(FR).

(72) **Inventeurs : EUVRARD, Béatrice Christine** ; Safran c/o
Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle Rond-point
René Ravaud, Réau, 77550 MOISSY CRAMAYEL (FR).
BECK, Guillaume Julien ; Safran c/o Centre d'Excellence
Propriété Intellectuelle rond-Point René Ravaud – Réau,
77550 MOISSY CRAMAYEL (FR). **BECQUERELLE,**
Samuel Raymond Germain ; Safran c/o Centre d'Excel-
lence Propriété Intellectuelle rond-Point René Ravaud –
Réau, 77550 MOISSY CRAMAYEL (FR). **COURLEUX,**
Alice ; Safran c/o Centre d'Excellence Propriété Intellec-
tuelle rond-Point René Ravaud – Réau, 77550 MOISSY
CRAMAYEL (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2024/050719

(22) Date de dépôt international :

05 juin 2024 (05.06.2024)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

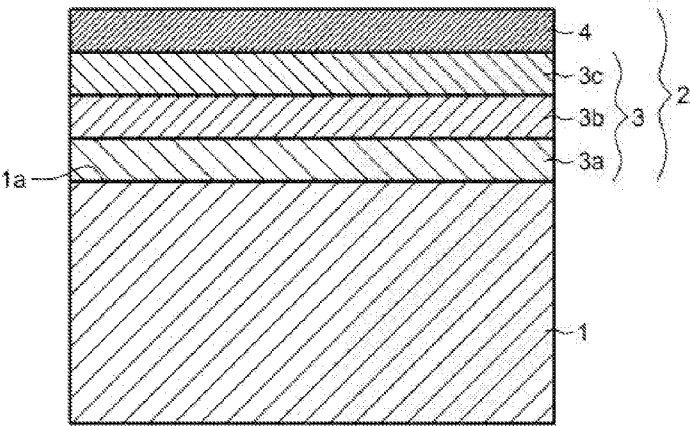
français

(30) Données relatives à la priorité :

(54) **Title:** PART HAVING AN OUTER SURFACE, THE OUTER SURFACE BEING COVERED WITH A MULTILAYER COATING

(54) **Titre :** PIÈCE PRÉSENTANT UNE SURFACE EXTERNE, LADITE SURFACE EXTERNE ÉTANT RECOUVERTE D'UN REVÊTEMENT MULTICOUCHES

[Fig 2]



(57) **Abstract:** The present invention relates to a part (1) having an outer surface (1a), the outer surface (1a) being covered with a coating (2) comprising at least: a) a first layer (3) deposited on the outer surface (1a) of the part (1) and comprising at least two sub-layers (3a, 3b): i) a first sub-layer (3a) made of a material comprising at least one element chosen from chromium, nickel, cobalt, phosphorus, nitrogen, niobium, alloys thereof and mixtures thereof; ii) a second sub-layer (3b) deposited on the first sub-layer (3a) and made of a material comprising at least two elements chosen from chromium, nickel, tungsten, cobalt, carbon, nitrogen, alloys thereof and mixtures thereof; iii) a third sub-layer (3c) deposited on the second sub-layer (3b) and made of a material comprising at least one element chosen from chromium, nickel, titanium, silicon, cobalt, phosphorus, nitrogen, alloys thereof and mixtures thereof; and b) a second layer (4) deposited on the first layer (3), which second layer is an amorphous carbon layer.

[Suite sur la page suivante]

(74) **Mandataire : DELPRAT, Olivier** et al. : CASALONGA,
31 rue de Fleurus, 75006 PARIS (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(57) **Abrégé** : La présente invention porte sur une pièce (1) présentant une surface externe (1a), ladite surface externe (1a) étant recouverte d'un revêtement (2) comprenant au moins : a) une première couche (3), déposée sur la surface externe (1a) de la pièce (1), comprenant au moins deux sous-couches (3a, 3b) : i) une première sous-couche (3a) en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le cobalt, le phosphore, l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges; ii) une deuxième sous-couche (3b), déposée sur la première sous-couche (3a), en un matériau comportant au moins deux éléments choisis parmi le chrome, le nickel, le tungstène, le cobalt, le carbone, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges; iii) une troisième sous-couche (3c), déposée sur la deuxième sous-couche (3b), en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges; et b) une deuxième couche (4), déposée sur la première couche (3), étant une couche de carbone amorphe.

DESCRIPTION

TITRE : Pièce présentant une surface externe, ladite surface externe étant recouverte d'un revêtement multicouches

5

Domaine technique

L'invention concerne le domaine technique des pièces d'un réducteur de moteur, notamment de moteur d'avion, telles qu'un palier d'un réducteur de moteur d'avion.

10

Etat de la technique

Le rôle d'un réducteur, en particulier un réducteur mécanique est de modifier le rapport de vitesse et de couple entre l'axe d'entrée et l'axe de sortie d'un système mécanique.

15

Les nouvelles générations de turbomachines à double flux, notamment celles ayant un très haut taux de dilution, comportent un réducteur mécanique pour entraîner l'arbre d'une soufflante (aussi appelé fan). De manière usuelle, le réducteur a pour but de transformer la vitesse de rotation dite rapide de l'arbre d'une turbine de puissance en une vitesse de rotation plus lente pour l'arbre entraînant la soufflante.

20

Un tel réducteur comprend un pignon central, appelé solaire, une couronne et des pignons appelés satellites, qui sont en prise entre le solaire et la couronne. Les satellites sont maintenus par un châssis appelé porte-satellites. Le solaire, la couronne et le porte-satellites sont des planétaires car leurs axes de révolution coïncident avec l'axe longitudinal X de la turbomachine. Les satellites ont chacun un axe de révolution différents équirépartis sur le même diamètre de fonctionnement autour de l'axe des planétaires. Ces axes sont parallèles à l'axe longitudinal X.

25

Il existe plusieurs architectures de réducteur. Dans l'état de l'art des turbomachines à double flux, les réducteurs sont de type planétaire ou épicycloïdal. Il existe dans d'autres applications similaires, des architectures dites différentielles ou compound.

30

Sur un réducteur planétaire, le porte-satellites est fixe et la couronne constitue l'arbre de sortie du dispositif qui tourne dans le sens inverse du solaire.

35

Sur un réducteur épicycloïdal, la couronne est fixe et le porte-satellites constitue l'arbre de sortie du dispositif qui tourne dans le même sens que le solaire.

- Sur un réducteur différentiel, aucun élément n'est fixé en rotation.
- 5 La couronne tourne dans le sens contraire du solaire et du porte-satellites.

Les réducteurs peuvent être composés d'un ou plusieurs étages d'engrènement. Cet engrènement est assuré de différentes façons comme par contact, par friction ou encore par champs magnétique. Il existe plusieurs types d'engrènement par contact comme avec des dentures

10 droites, hélicoïdales ou en chevron.

Les paliers d'un réducteur, notamment les paliers lisses d'un réducteur de moteur d'avion, présentent différents avantages, notamment un encombrement limité, une capacité à supporter des charges radiales élevées, à des vitesses importantes, mais aussi un gain important de

15 fiabilité et en dynamique.

A l'heure actuelle, les paliers, notamment les paliers lisses d'un réducteur, en particulier d'un moteur d'avion, peuvent être recouverts de revêtements de différentes natures, afin de limiter leur usure, les conséquences du frottement entre pièces mécaniques limitant ainsi les

20 risques de grippage.

Par exemple, des revêtements de type cupro-plomb ou encore de type cupro-bismuth sont utilisés pour recouvrir la surface de paliers, tels qu'un palier lisse. Les revêtements comprenant un alliage zinc-étain-plomb peuvent également être cités à titre d'exemple. Ces revêtements présentent

25 un module d'Young très inférieur à celui de l'acier, ce qui génère un écaillage du revêtement en cas de déformation du substrat, et limite la durée de vie d'un tel revêtement. De même, le coefficient de dilatation thermique de ces revêtements est très différent de celui de l'acier, ce qui peut générer un écaillage en cas d'échauffement du système.

30 Ces revêtements ne donnent donc pas entière satisfaction, en particulier, la limite de grippage est assez faible, les conséquences négatives sont rapidement observées. Ceci réduit donc la longévité de la pièce.

Il existe donc un besoin réel de fournir une pièce, telle qu'un palier, en particulier un palier lisse, présentant une résistance à l'usure améliorée.

Exposé de l'invention

5 A cet effet, la présente invention porte sur une pièce présentant une surface externe, ladite surface externe étant recouverte d'un revêtement comprenant au moins :

a) une première couche, déposée sur la surface externe de la pièce, comprenant au moins deux sous-couches :

10 i) une première sous-couche en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le cobalt, le phosphore, l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges ;

ii) une deuxième sous-couche, déposée sur la première sous-couche, en un matériau comportant au moins deux éléments choisis parmi le chrome, le
15 nickel, le tungstène, le cobalt, le carbone, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges ;

iii) une troisième sous-couche, déposée sur la deuxième sous-couche, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages
20 et leurs mélanges ; et

b) une deuxième couche, déposée sur la première couche, étant une couche de carbone amorphe.

Grâce à la pièce selon l'invention, une amélioration de la résistance à l'usure est obtenue avec un revêtement présentant un module d'Young et
25 un coefficient de dilatation proches de celui de l'acier, par exemple lors des différents cycles de fonctionnement. De plus, le coefficient de frottement est minimisé grâce à la pièce selon l'invention. Ainsi, grâce à l'invention, la longévité de la pièce est augmentée.

Par ailleurs, grâce aux sous-couches de l'invention, l'adhérence du
30 revêtement à la surface de la pièce est assurée. De plus, en cas d'arrachement, les sous-couches peuvent également jouer le rôle de lubrifiant solide, permettant ainsi de prolonger la durée de vie du revêtement sur la pièce, et donc d'augmenter la durée de vie de la pièce selon l'invention.

De préférence, le matériau de la première sous-couche comporte au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le phosphore, l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges.

Avantageusement, le matériau de la deuxième sous-couche comporte
5 au moins deux éléments choisis parmi le chrome, le nickel, le tungstène, le carbone, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

Préférentiellement, la première sous-couche et la deuxième sous-couche sont différentes. En d'autres termes, le matériau de la première sous-couche et le matériau de la deuxième sous-couche sont de préférence
10 de différentes natures.

Selon l'invention, la première couche comprend en outre :
iii) une troisième sous-couche, déposée sur la deuxième sous-couche, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages
15 et leurs mélanges.

Avantageusement, la dureté de la deuxième couche est supérieure ou égale, plus préférentiellement strictement supérieure, à la dureté de la troisième sous-couche.

Selon un mode de réalisation préféré, la deuxième couche est une
20 couche de carbone amorphe hydrogéné ou non hydrogéné, de préférence une couche de carbone amorphe hydrogéné.

Le carbone amorphe, aussi nommé DLC pour « Diamond Like Carbon » est une famille de revêtement à base d'atomes de carbone.

Ainsi, de préférence, la deuxième couche est une couche de carbone
25 amorphe hydrogéné (a-c:H).

Grâce à la couche de carbone amorphe, la résistance à l'usure est d'autant plus améliorée et le coefficient de frottement est minimisé.

De préférence, le ratio des liaisons carbone-carbone sp^2/sp^3 dans la couche de carbone amorphe va de 1 à 3.

Grâce à ce ratio particulier, la résistance à l'usure est d'autant plus
30 améliorée.

Avantageusement, le revêtement présente une épaisseur allant de 0,5 μm à 50 μm .

Selon un mode de réalisation préféré, la dureté de la deuxième couche est supérieure ou égale, plus préférentiellement strictement supérieure, à la dureté de la première couche.

Avantageusement, la dureté de la deuxième couche est supérieure ou
5 égale, plus préférentiellement strictement supérieure, à la dureté de la deuxième sous-couche.

Ainsi, de préférence, le revêtement présente un gradient de dureté et de préférence un gradient de module.

Le revêtement présente de préférence une dureté allant de 1000 à
10 4000 Hv (dureté Vickers). La dureté Vickers est déterminée de façon expérimentale par nano-indentation ou micro-duromètre, selon une méthode classique bien connue de l'homme du métier.

Le revêtement présente de préférence un module d'Young allant de 170 à 250 GPa. Le module d'Young est déterminé de façon expérimentale
15 par nano-indentation.

Selon un mode de réalisation particulier, la première couche comprend en outre :

iv) une quatrième sous-couche, déposée sur la troisième sous-couche, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le
20 nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

Avantageusement, la dureté de la deuxième couche est supérieure ou égale, plus préférentiellement strictement supérieure, à la dureté de la quatrième sous-couche.

25 Selon un autre mode de réalisation particulier, la première couche comprend en outre :

v) une cinquième sous-couche, déposée sur la quatrième sous-couche, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le
30 nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

Avantageusement, la dureté de la deuxième couche est supérieure ou égale, plus préférentiellement strictement supérieure, à la dureté de la cinquième sous-couche.

Avantageusement, la pièce selon l'invention est une pièce d'un réducteur de moteur, plus préférentiellement une pièce d'un réducteur de moteur d'avion, encore plus préférentiellement un palier d'un réducteur de moteur d'avion, mieux un palier lisse d'un réducteur de moteur d'avion.

5 Avantageusement, la pièce est un palier, tel qu'un palier lisse.

Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication de la pièce selon l'invention comprenant les étapes suivantes :

- (a) fournir une pièce selon l'invention présentant une surface externe ;
- (b) former sur la surface externe au moins la première sous-couche, la
- 10 deuxième sous-couche et la troisième sous-couche pour obtenir la première couche, telles que définies précédemment ;
- (c) former sur la première couche la deuxième couche telle que définie précédemment pour obtenir le revêtement.

La présente invention a également pour objet comprenant au moins

15 une pièce telle que définie à l'une quelconque des revendications précédentes.

Brève description des dessins

D'autres buts, avantages et caractéristiques ressortiront de la

20 description qui va suivre, donnée à titre purement illustratif et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- [Fig 1] représente une pièce présentant une surface externe étant recouverte d'un revêtement multicouches à titre illustratif ;
- [Fig 2] représente une pièce présentant une surface externe étant
- 25 recouverte d'un revêtement multicouches selon un premier mode de réalisation conforme à l'invention ;
- [Fig 3] représente une pièce présentant une surface externe étant recouverte d'un revêtement multicouches selon un deuxième mode de réalisation conforme à l'invention ;
- 30 [Fig 4] représente une pièce présentant une surface externe étant recouverte d'un revêtement multicouches selon un troisième mode de réalisation conforme à l'invention.

Dans ce qui va suivre, les bornes d'un domaine de valeurs sont comprises dans ce domaine, notamment dans les expressions « compris entre ... et ... » et « ... de ... à ... ».

Par ailleurs, l'expression « au moins un » utilisée dans la présente
5 description est équivalente à l'expression « un ou plusieurs ».

Exposé détaillé de modes de réalisation

La figure 1 illustre une pièce 1 présentant une surface externe 1a qui est recouverte d'un revêtement 2 à titre illustratif.

10 Le revêtement 2 comprend une première couche 3, déposée sur la surface externe 1a de la pièce 1, et une deuxième couche 4 déposée sur la première couche 3.

La première couche 3 comprend une première sous-couche 3a en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le
15 nickel, le cobalt, le phosphore, l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges. La première sous-couche 3a est déposée sur la surface externe 1a de la pièce 1.

De préférence, le matériau de la première sous-couche 3a comporte au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le phosphore,
20 l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges.

Le matériau de la première sous-couche 3a peut être un métal, un métal dopé ou une céramique contenant du chrome, un alliage de nickel, tel qu'un alliage chrome-nickel ou encore un alliage nickel-phosphore, un mélange d'azote et de chrome, tel que du nitrure de chrome.

25 La première couche 3 comprend en outre une deuxième sous-couche 3b, déposée sur la première sous-couche 3a, en un matériau comportant au moins deux éléments choisis parmi le chrome, le nickel, le tungstène, le cobalt, le carbone, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

Le matériau de la deuxième sous-couche 3b peut être un alliage de
30 nickel, tel qu'un alliage chrome-nickel, un mélange d'azote et de chrome, un mélange de carbone et tungstène, tel que du carbure de tungstène.

De plus, le matériau de la deuxième sous-couche 3b peut être dopé avec un élément, tel que du carbone ou un élément métallique, tel que du silicium, du chrome ou du titane.

La première sous-couche 3a et la deuxième sous-couche 3b peuvent être différentes. De préférence, elles sont différentes. En d'autres termes, le matériau de la première sous-couche 3a et le matériau de la deuxième sous-couche 3b sont de préférence de différentes natures.

5 Par exemple, si le matériau de la première sous-couche 3a est en un alliage chrome-nickel, alors le matériau de la deuxième sous-couche 3b sera un matériau différent de l'alliage chrome nickel dans ce mode de réalisation.

Avantageusement, la deuxième couche 4 est une couche de carbone
10 amorphe hydrogéné ou non hydrogéné, de préférence une couche de carbone amorphe hydrogéné (a-c:H).

Préférentiellement le ratio des liaisons carbone-carbone sp^2/sp^3 dans la deuxième couche 4 va de 1 à 3.

Préférentiellement, le revêtement 2 présente une épaisseur allant de
15 0,5 μm à 50 μm .

La pièce 1 comprenant le revêtement 2 peut être fabriquée selon un procédé comprenant les étapes suivantes :

(a) fournir la pièce 1 présentant la surface externe 1a ;
(b) former sur la surface externe 1a la première sous-couche 3a et la
20 deuxième sous-couche 3b pour obtenir la première couche, telles que définies précédemment.

Les sous-couches 3a et 3b sont par exemple déposées par dépôt physique en phase vapeur (PVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD (« Plasma-enhanced chemical vapor deposition ») ou
25 PAVCD (« Plasma assisted chemical vapor deposition »)) ; la deuxième couche 4 est déposée par PACVD ou PECVD pour obtenir un meilleur état de surface et une vitesse de dépôt plus élevée.

(c) former sur la première couche la deuxième couche telle que définie précédemment pour obtenir le revêtement.

30 La figure 2 illustre une pièce 1 présentant une surface externe 1a qui est recouverte d'un revêtement 2 selon un premier mode de réalisation selon l'invention.

Tout comme la pièce 1 telle que décrite précédemment, le revêtement 2 comprend une première couche 3, déposée sur la surface externe 1a de la pièce 1, et une deuxième couche 4 déposée sur la première couche 3.

La première couche 3 comprend également au moins une première sous-couche 3a et une deuxième sous-couche 3b.

Les mêmes modes préférentiels tels que décrits précédemment sont valables pour ce premier mode de réalisation.

La première couche 3 comprend en outre une troisième sous-couche 3c, déposée sur la deuxième sous-couche 3b, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le cobalt, le phosphore, le titane, le silicium, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

Dans ce premier mode, la deuxième couche 4 est déposée sur la troisième sous-couche 3c.

La sous-couche 3c est, comme pour les sous-couches 3a et 3b, par exemple déposée par dépôt physique en phase vapeur (PVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD (« Plasma-enhanced chemical vapor deposition ») ou PAVCD (« Plasma assisted chemical vapor deposition »)) ; la deuxième couche 4 est déposée par PACVD ou PECVD pour obtenir un meilleur état de surface et une vitesse de dépôt plus élevée.

La figure 3 illustre une pièce 1 présentant une surface externe 1a qui est recouverte d'un revêtement 2 selon un deuxième mode de réalisation selon l'invention.

Tout comme la pièce 1 telle que décrite dans le premier mode de réalisation, le revêtement 2 comprend une première couche 3, déposée sur la surface externe 1a de la pièce 1, et une deuxième couche 4 déposée sur la première couche 3.

La première couche 3 comprend également au moins une première sous-couche 3a, une deuxième sous-couche 3b et une troisième sous-couche 3c.

Les mêmes modes préférentiels tels que décrits précédemment et dans le premier mode de réalisation sont valables pour ce deuxième mode de réalisation.

La première couche 3 comprend en outre une quatrième sous-couche 3d, déposée sur la troisième sous-couche 3c, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

5 Dans ce deuxième mode, la deuxième couche 4 est déposée sur la quatrième sous-couche 3d.

La sous-couche 3d est, comme pour les sous-couches 3a, 3b et 3c, par exemple déposée par dépôt physique en phase vapeur (PVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD (« Plasma-enhanced chemical vapor deposition ») ou PAVCD (« Plasma assisted chemical vapor deposition »)) ; la deuxième couche 4 est déposée par PACVD ou PECVD pour obtenir un meilleur état de surface et une vitesse de dépôt plus élevée.

La figure 4 illustre une pièce 1 présentant une surface externe 1a qui est recouverte d'un revêtement 2 selon un troisième mode de réalisation selon l'invention.

Tout comme la pièce 1 telle que décrite dans le deuxième mode de réalisation, le revêtement 2 comprend une première couche 3, déposée sur la surface externe 1a de la pièce 1, et une deuxième couche 4 déposée sur la première couche 3.

La première couche 3 comprend également au moins une première sous-couche 3a, une deuxième sous-couche 3b, une troisième sous-couche 3c et une quatrième sous-couche 3d.

Les mêmes modes préférentiels tels que décrits précédemment et dans les premier et deuxième modes de réalisation sont valables pour ce troisième mode de réalisation.

La première couche 3 comprend en outre une cinquième sous-couche 3e, déposée sur la quatrième sous-couche 3d, en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le cobalt, le phosphore, l'azote, le titane, le silicium, leurs alliages et leurs mélanges.

Dans ce troisième mode, la deuxième couche 4 est déposée sur la cinquième sous-couche 3e.

La sous-couche 3e est, comme pour les sous-couches 3a, 3b, 3c et 3d, par exemple déposée par dépôt physique en phase vapeur (PVD) ou par

dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD (« Plasma-enhanced chemical vapor deposition ») ou PAVCD (« Plasma assisted chemical vapor deposition »)) ; la deuxième couche 4 est déposée par PACVD ou PECVD pour obtenir un meilleur état de surface et une vitesse
5 de dépôt plus élevée.

Exemple

Cinq pièces en acier ont été utilisées, dénommées dans la suite pièces 1 à 5.

10 Des essais pions disques ont été réalisés suivant les normes DIN 50324-07, ASTM G99-05 ou ISO 18535, générant les résultats disponibles dans le Tableau 1.

Tous les pions sont en acier faiblement allié et présentent une surface rectifiée, avec les particularités du Tableau 1. Les disques sont
15 tous identiques, en acier faiblement allié avec une surface rectifiée.

La pièce 1 a subi un traitement thermochimique de durcissement superficiel.

La pièce 2 a été utilisée telle quelle et n’a pas subi de traitement thermochimique.

20 Les pièces 3 à 5 ont été recouvertes de revêtements de différentes natures. L’ensemble des informations peut être trouvé dans le tableau 1 ci-dessous.

[Tableau 1]

Pièce	1	2	3	4	5
Traitement thermique	OUI	NON	-	-	-
Revêtement	-	-	CuPb ₁₈ Sn	CuPb	Revêtement multicouche typique de l’application

Ainsi, les pièces 1 à 4 sont des pièces comparatives. La pièce 5 est une pièce selon l'invention, revêtue d'une couche de carbone amorphe avec sous-couches d'une épaisseur de 0,5 µm à 50 µm, par PVD et PACVD.

5 Puis ces pièces ont été soumises à un test afin d'évaluer le taux d'usure.

Les résultats sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous. Le taux d'usure est exprimé en µm/s.

[Tableau 2]

Pièce	1	2	3	4	5
Taux d'usure (µm/s)	0,5	2,5	1,4	0,25	0,05

10

Il apparaît clairement que la pièce 5 selon l'invention présente un taux d'usure significativement moins élevé que celui des pièces 1 à 4 comparatives.

15 Ainsi, la pièce selon l'invention permet d'améliorer la résistance à l'usure.

REVENDICATIONS

1. Pièce (1) présentant une surface externe (1a), ladite surface externe (1a) étant recouverte d'un revêtement (2) comprenant au moins :
- 5 a) une première couche (3), déposée sur la surface externe (1a) de la pièce (1), comprenant au moins deux sous-couches (3a, 3b) :
- i) une première sous-couche (3a) en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le cobalt, le phosphore, l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges ;
- 10 ii) une deuxième sous-couche (3b), déposée sur la première sous-couche (3a), en un matériau comportant au moins deux éléments choisis parmi le chrome, le nickel, le tungstène, le cobalt, le carbone, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges ;
- iii) une troisième sous-couche (3c), déposée sur la deuxième sous-couche (3b), en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges ; et
- 15 b) une deuxième couche (4), déposée sur la première couche (3), étant une couche de carbone amorphe.
- 20 2. Pièce selon la revendication 1, caractérisée en ce que le matériau de la première sous-couche (3a) comporte au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le phosphore, l'azote, le niobium, leurs alliages et leurs mélanges.
3. Pièce selon la revendication 1 ou 2, caractérisée en ce que le matériau de la deuxième sous-couche (3b) comporte au moins deux éléments choisis parmi le chrome, le nickel, le tungstène, le carbone, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.
- 25 4. Pièce selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la première sous-couche (3a) et la deuxième sous-couche (3b) sont différentes.
- 30 5. Pièce selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la deuxième couche (4) est une couche de carbone amorphe hydrogéné ou non hydrogéné, de préférence une couche de carbone amorphe hydrogéné.

6. Pièce selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le ratio des liaisons carbone-carbone sp^2/sp^3 dans la deuxième couche (4) va de 1 à 3.

5 7. Pièce selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que le revêtement (2) présente une épaisseur allant de 0,5 μm à 50 μm .

8. Pièce selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la première couche (3) comprend en outre ;

10 iv) une quatrième sous-couche (3d), déposée sur la troisième sous-couche (3c), en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

15 9. Pièce selon la revendication 8, caractérisée en ce que la première couche (3) comprend en outre :

v) une cinquième sous-couche (3e), déposée sur la quatrième sous-couche (3d), en un matériau comportant au moins un élément choisi parmi le chrome, le nickel, le titane, le silicium, le cobalt, le phosphore, l'azote, leurs alliages et leurs mélanges.

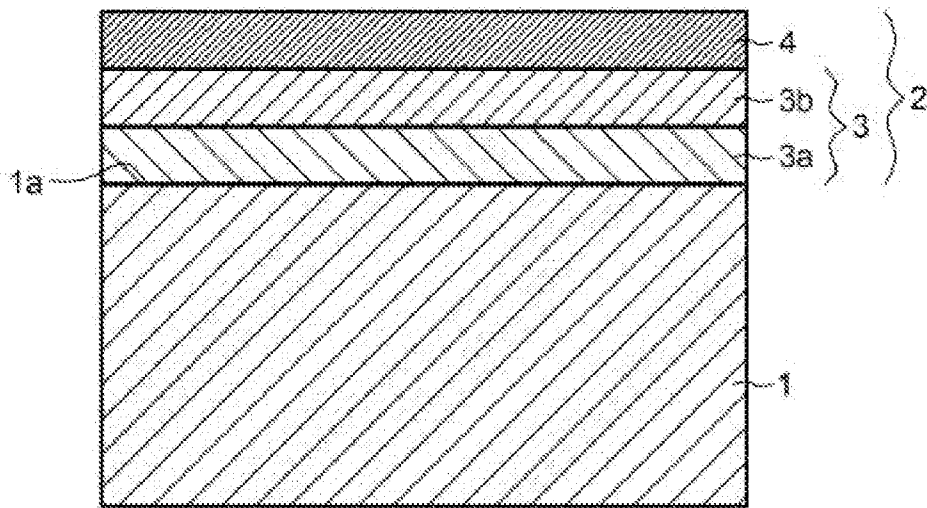
20 10. Pièce selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la pièce (1) est un palier.

11. Procédé de fabrication d'une pièce (1) telle que définie à l'une quelconque des revendications précédentes comprenant les étapes suivantes :

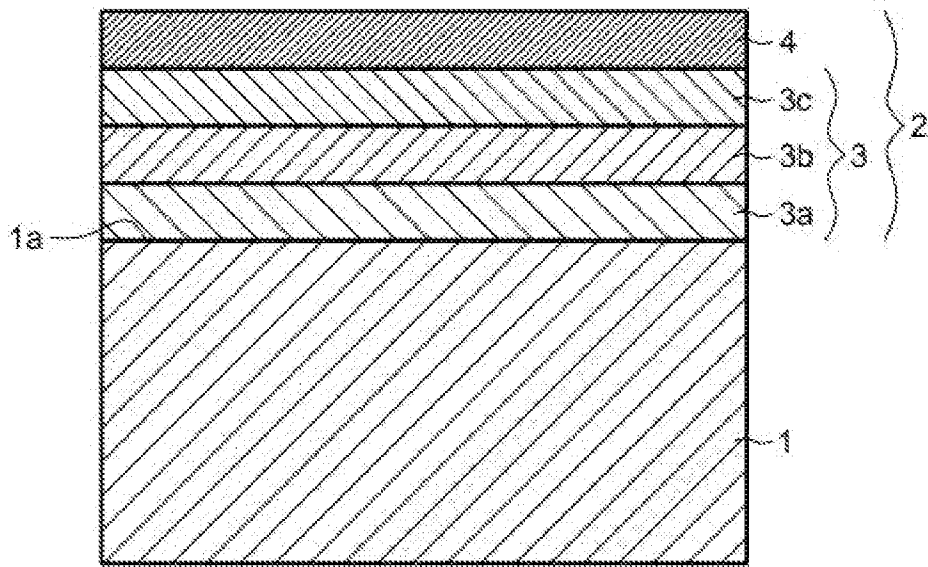
25 (a) fournir une pièce (1) présentant une surface externe (1a) ;
(b) former sur la surface externe (1a) au moins la première sous-couche (3a), la deuxième sous-couche (3b) et la troisième sous-couche (3c) pour obtenir la première couche (3) ;
(c) former sur la première couche (3) la deuxième couche (4) pour
30 obtenir le revêtement (2).

12. Aéronef comprenant au moins une pièce (1) telle que définie à l'une quelconque des revendications 1 à 10.

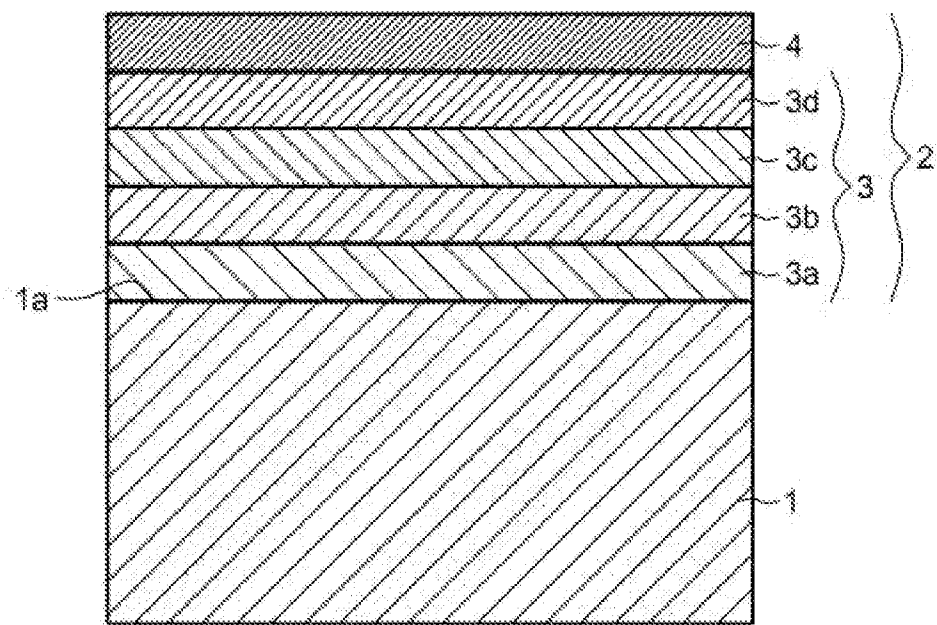
[Fig 1]



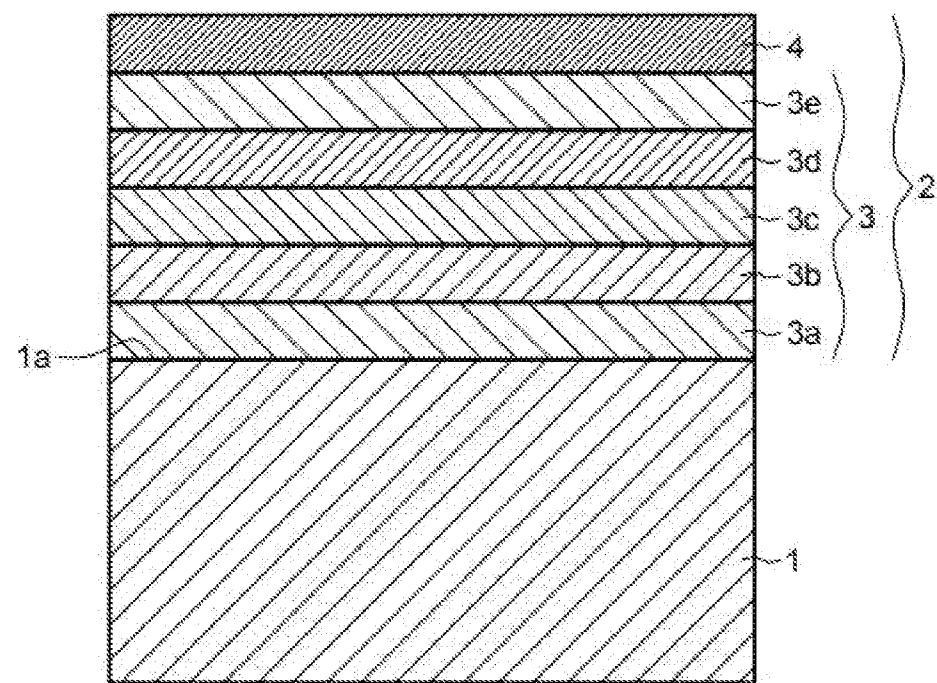
[Fig 2]



[Fig 3]



[Fig 4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050719

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>C23C 28/04</i> (2006.01)i; <i>C23C 14/02</i> (2006.01)i; <i>C23C 14/06</i> (2006.01)i; <i>C23C 14/16</i> (2006.01)i; <i>C23C 16/26</i> (2006.01)i; <i>F01D 25/16</i> (2006.01)i; <i>F02C 7/36</i> (2006.01)i; <i>C23C 16/02</i> (2006.01)i; <i>C23C 16/06</i> (2006.01)i; <i>F01D 5/02</i> (2006.01)i; <i>F01D 5/18</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C23C; F02C; F01D; F16J Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014178637 A1 (RAJAGOPALAN SRINIVASAN [US] ET AL) 26 June 2014 (2014-06-26)	1-11
Y	claims 1-8,14,15-20,31-56 paragraphs [0072] - [0088] paragraphs [0091] - [0098] paragraphs [0118] - [0125]	12
X	US 10458361 B2 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 29 October 2019 (2019-10-29) claims 1-6; figures 1-4 column 5, line 50 - column 7, line 15 column 1, line 50 - column 4, line 24	1-12
X	US 2014173995 A1 (BAILEY JEFFREY ROBERTS [US] ET AL) 26 June 2014 (2014-06-26) paragraphs [0019] - [0020], [0072] - [0084] paragraphs [0086] - [0094] paragraphs [0114] - [0116], [0121] - [0125]; table 1 claims 1-19	1-5,7-11
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 15 July 2024		Date of mailing of the international search report 26 July 2024
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Ovejero, Elena Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/050719

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	EP 3892895 A1 (SIMON ADRIEN LOUIS [FR] ET AL) 13 October 2021 (2021-10-13) claims 1-14 abstract	12 1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2024/050719

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
US	2014178637	A1	26 June 2014	AU	2013364110	A1	09 July 2015
				BR	112015009709	A2	04 July 2017
				CA	2890522	A1	26 June 2014
				CN	104870692	A	26 August 2015
				EP	2938754	A1	04 November 2015
				MY	185121	A	30 April 2021
				RU	2015123296	A	27 January 2017
				US	2014178637	A1	26 June 2014
				WO	2014099211	A1	26 June 2014

US	10458361	B2	29 October 2019	CN	106232873	A	14 December 2016
				DE	102014217040	A1	03 March 2016
				EP	3186408	A1	05 July 2017
				US	2017122249	A1	04 May 2017
				WO	2016030162	A1	03 March 2016

US	2014173995	A1	26 June 2014	AU	2013361115	A1	09 July 2015
				BR	112015009722	A2	04 July 2017
				CA	2890525	A1	26 June 2014
				CN	104870691	A	26 August 2015
				EP	2935652	A1	28 October 2015
				RU	2015123295	A	27 January 2017
				US	2014173995	A1	26 June 2014
WO	2014100608	A1	26 June 2014				

EP	3892895	A1	13 October 2021	CN	113531059	A	22 October 2021
				EP	3892895	A1	13 October 2021
				FR	3109194	A1	15 October 2021
				US	2021317788	A1	14 October 2021

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE					
INV.	C23C28/04	C23C14/02	C23C14/06	C23C14/16	C23C16/26
	F01D25/16	F02C7/36	C23C16/02	C23C16/06	F01D5/02
	F01D5/18				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB					
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE					
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) C23C F02C F01D F16J					
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche					
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO - Internal					
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS					
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents				no. des revendications visées
X	US 2014/178637 A1 (RAJAGOPALAN SRINIVASAN [US] ET AL) 26 juin 2014 (2014-06-26)				1 - 11
Y	revendications 1-8,14,15-20,31-56 alinéas [0072] - [0088] alinéas [0091] - [0098] alinéas [0118] - [0125] -----				12
X	US 10 458 361 B2 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]) 29 octobre 2019 (2019-10-29) revendications 1-6; figures 1-4 colonne 5, ligne 50 - colonne 7, ligne 15 colonne 1, ligne 50 - colonne 4, ligne 24 ----- - / - -				1 - 12
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe					
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets					
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée			Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale		
15 juillet 2024			26/07/2024		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Fonctionnaire autorisé Ovejero, Elena		

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2014/173995 A1 (BAILEY JEFFREY ROBERTS [US] ET AL) 26 juin 2014 (2014-06-26) alinéas [0019] - [0020], [0072] - [0084] alinéas [0086] - [0094] alinéas [0114] - [0116], [0121] - [0125]; tableau 1 revendications 1-19 -----	1-5,7-11
Y	EP 3 892 895 A1 (SIMON ADRIEN LOUIS [FR] ET AL) 13 octobre 2021 (2021-10-13)	12
A	revendications 1-14 abrégé -----	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/050719

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2014178637	A1	26-06-2014	AU 2013364110	A1 09-07-2015
			BR 112015009709	A2 04-07-2017
			CA 2890522	A1 26-06-2014
			CN 104870692	A 26-08-2015
			EP 2938754	A1 04-11-2015
			MY 185121	A 30-04-2021
			RU 2015123296	A 27-01-2017
			US 2014178637	A1 26-06-2014
			WO 2014099211	A1 26-06-2014

US 10458361	B2	29-10-2019	CN 106232873	A 14-12-2016
			DE 102014217040	A1 03-03-2016
			EP 3186408	A1 05-07-2017
			US 2017122249	A1 04-05-2017
			WO 2016030162	A1 03-03-2016

US 2014173995	A1	26-06-2014	AU 2013361115	A1 09-07-2015
			BR 112015009722	A2 04-07-2017
			CA 2890525	A1 26-06-2014
			CN 104870691	A 26-08-2015
			EP 2935652	A1 28-10-2015
			RU 2015123295	A 27-01-2017
			US 2014173995	A1 26-06-2014
			WO 2014100608	A1 26-06-2014

EP 3892895	A1	13-10-2021	CN 113531059	A 22-10-2021
			EP 3892895	A1 13-10-2021
			FR 3109194	A1 15-10-2021
			US 2021317788	A1 14-10-2021
