

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

22 Date de dépôt : 23.03.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 27.09.24 Bulletin 24/39.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE
Société par actions simplifiée — FR.

72 Inventeur(s) : TONDU Thomas.

73 Titulaire(s) : SAINT-GOBAIN GLASS FRANCE
Société par actions simplifiée.

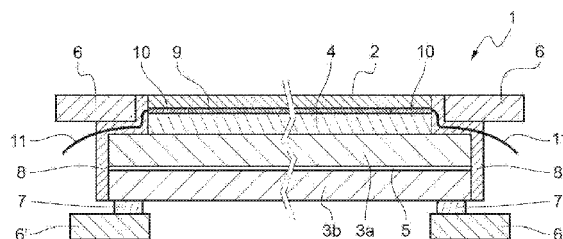
74 Mandataire(s) : Saint-Gobain Recherche.

54 Vitrage feuilleté aéronautique à système de chauffage électrique, utilisation du vitrage feuilleté
aéronautique comme vitrage de cockpit d'aéronef, et aéronef associé.

57 Vitrage feuilleté aéronautique à système de chauffage
électrique, utilisation du vitrage feuilleté aéronautique
comme vitrage de cockpit d'aéronef, et aéronef associé

La présente invention concerne un vitrage feuilleté aéro-
nautique (1) comprenant une première feuille (2) côté exté-
rieur et au moins une seconde feuille structurale (3a, 3b)
côté intérieur, le vitrage feuilleté aéronautique (1) compren-
nant en outre au moins un système de chauffage électrique
(9) agencé en regard de la face interne de la première feuille
(2), le vitrage feuilleté aéronautique (1) comprenant en outre
une couche à isopotential (10) appliquée sur la face interne
de la première feuille (2).

Figure à publier avec l'abrégé : Figure 1



Description

Titre de l'invention : Vitrage feuilleté aéronautique à système de chauffage électrique, utilisation du vitrage feuilleté aéronautique comme vitrage de cockpit d'aéronef, et aéronef associé

- [0001] La présente invention concerne le domaine de l'aéronautique, et porte en particulier sur un vitrage feuilleté aéronautique à système de chauffage électrique intégré, sur l'utilisation d'un tel vitrage feuilleté aéronautique comme vitrage de cockpit d'aéronef, et sur un aéronef comprenant un tel vitrage feuilleté aéronautique en tant que vitrage de cockpit.
- [0002] Les vitrages feuilletés aéronautiques sont généralement constitués de matériaux électriquement isolants (tels que du verre minéral, du PMMA (poly(méthacrylate de méthyle)), du PC (polycarbonate), etc.) qui tendent à se charger électriquement dans certains environnements chargeants qui peuvent être de deux types, à savoir :
- [0003] - charges d'origine triboélectrique associées à l'impact de particules (telles que des poussières, de la neige, des cristaux de glace, etc.) sur la surface extérieure (vis-à-vis de l'aéronef) du vitrage feuilleté, et
- [0004] - charges associées aux éclairs (plus rares).
- [0005] Dans ces conditions, la surface extérieure du vitrage feuilleté peut développer des potentiels électriques (par rapport à la masse de l'aéronef) extrêmement élevés de plusieurs kV voire quelques dizaines de kV.
- [0006] Il se constitue alors un potentiel de surface du vitrage feuilleté différent de celui de la structure de l'aéronef qui est généralement munie de dissipateurs passifs (par exemple, par effet corona au niveau de pointes) qui permettent d'écouler les charges accumulées sur toute la structure électriquement conductrice de l'aéronef.
- [0007] En outre, les vitrages feuilletés aéronautiques de cockpit d'aéronef intègrent généralement un système de chauffage électrique couvrant tout ou partie de la face interne de la feuille (également appelée « pli ») côté extérieur (vis-à-vis de l'aéronef) du vitrage feuilleté.
- [0008] On distingue deux catégories de vitrages feuilletés de cockpit d'aéronef à système de chauffage intégré : les pare-brise ou vitres frontales d'une part qui sont munis d'un système de chauffage électrique dit antigivre ; et les vitres latérales d'autre part qui généralement ne sont munies que d'un système de chauffage électrique dit antibuée. Ces deux systèmes de chauffage (antigivre et antibuée) se différencient par la puissance spécifique délivrée, le champ électrique développé étant plus faible pour les systèmes de chauffage antibuée.
- [0009] Les potentiels élevés développés sur la surface extérieure du vitrage feuilleté en-

gendrent des champs électriques intenses pouvant se décharger, entre autres, par des ruptures diélectriques : soit dans l'air (entre la surface extérieure du vitrage et la structure conductrice de l'aéronef en périphérie du vitrage) ; soit dans l'épaisseur de la feuille côté extérieur du vitrage feuilleté, entre sa face externe et le système de chauffage électrique (par exemple, une couche chauffante) agencé sur sa face interne.

[0010] Les décharges dans l'air peuvent être partielles ou développer des décharges de surface (couramment nommées feux de Saint-Elme dans le milieu aéronautique).

[0011] Ces deux mécanismes se trouvent donc en concurrence l'un de l'autre de telle façon que le premier des deux qui est déclenché empêche l'apparition de l'autre par neutralisation totale ou partielle de la surface externe du pli externe. Néanmoins, les conséquences d'une décharge de surface et d'une rupture diélectrique dans le pli externe sont radicalement différentes. Les décharges de surface génèrent des éblouissements et des transitoires électriques dans les circuits électriques des vitrages, mais ces deux phénomènes sont acceptés ou gérés sur de nombreux aéronefs. A l'inverse, les ruptures diélectriques dans l'épaisseur du pli externe peuvent entraîner sa perforation et/ou sa rupture qui constituent des modes de défaillance des vitrages nécessitant un remplacement.

[0012] Les concepteurs de vitrages visent donc à éviter l'atteinte de champ de rupture diélectrique dans les plis externes. Ceci peut être obtenu en drainant les charges électriques de surface au moyen d'une couche antistatique. Dans le cas des vitrages à couche chauffante, cela peut naturellement être géré par les décharges de surface. Toutefois, les effets de pointes au niveau des systèmes chauffants accroissent localement très fortement les champs électriques dans le pli externe et peuvent engendrer des ruptures diélectriques dans le pli externe avant qu'une décharge de surface n'ait eu lieu.

[0013] Un premier cas connu de concentration de champ électrique est rencontré lors de la mise en œuvre du chauffage par des fils fins. L'exigence d'invisibilité des fils par les pilotes impose l'emploi de fils d'un diamètre de typiquement $20\mu\text{m}$ à $30\mu\text{m}$ qui du fait de leur faible rayon concentrent fortement les champs électriques et induisent en absence de systèmes dédiés de minimisation des potentiels de surface des ruptures de pli externe.

[0014] Un second cas de concentration de champ électrique plus exceptionnel est rencontré dans le cas de bord de couche chauffante.

[0015] Dans ces deux cas, l'occurrence de ruptures diélectriques est d'autant plus élevée que la neutralisation des zones concernées est difficile par décharges de surface. Cela correspondra principalement au cas des réseaux chauffants éloignés de la structure métallique de l'aéronef.

[0016] En effet, les décharges de surface sont permises dans les zones au niveau desquelles

le système de chauffage électrique (tel qu'une couche chauffante) forme un condensateur avec la surface extérieure chargée du vitrage feuilleté. Typiquement, ce condensateur est assimilable à un condensateur plan-plan dont le diélectrique de séparation des plans chargés est constitué par l'épaisseur de la feuille côté extérieur (par exemple, 3 mm de verre) du vitrage feuilleté. La décharge de surface, en neutralisant la surface, dissipe l'énergie électrique. Cette énergie permet d'alimenter la propagation de l'arc (par ionisation de l'air) jusqu'à ce que la résistance d'arc dans l'air (fonction de la longueur de l'arc) n'assure plus une différence de potentiel suffisante entre la tête de l'arc et la surface extérieure du vitrage pour ioniser l'air.

- [0017] En l'absence de système de chauffage électrique (par exemple, couche chauffante) indirectement lié à la masse de l'aéronef, le couplage capacitif de la surface du vitrage se fait avec des plans de masse bien plus lointains, de telle sorte que l'énergie stockée par la charge de surface est sensiblement plus faible et ne permet pas d'alimenter une décharge de surface.
- [0018] Pour qu'une décharge de surface s'amorce, il faut un champ électrique suffisant dans l'air entre la périphérie du vitrage et le bord du système de chauffage électrique en vis-à-vis. Ainsi, les décharges de surface s'amorcent plus facilement aux endroits où le système de chauffage électrique est à proximité de la périphérie du vitrage qu'aux endroits où il en est éloigné.
- [0019] Les décharges de surface ne pouvant pas s'étendre sur l'intégralité de la surface du vitrage (du fait de la résistance d'arc croissant avec la taille de l'arc), les bords du système de chauffage électrique éloignés des bords du vitrage peuvent atteindre des potentiels électriques plus élevés par rapport au reste de la surface du vitrage. Ces zones sont donc plus susceptibles de développer des ruptures diélectriques dans l'épaisseur de la feuille côté extérieur du vitrage feuilleté, qui peuvent briser cette dernière, engendrant la défaillance du vitrage feuilleté.
- [0020] En outre, le bord du système de chauffage électrique engendre une singularité de champ électrique de type effet de pointe favorisant les occurrences de rupture diélectrique dans le vitrage feuilleté.
- [0021] Usuellement, ces problèmes sont résolus en appliquant une couche de décharge électrostatique, dite couche antistatique, sur la surface extérieure du vitrage feuilleté, ce qui confère une conductivité de surface au vitrage. L'ordre de grandeur de la résistivité électrique de cette couche antistatique va typiquement de la dizaine de kOhms à une fraction de méga Ohms. Cette couche antistatique est usuellement reliée électriquement à la structure de l'aéronef pour dissiper les faibles courants chargeants et maintenir la surface extérieure du vitrage feuilleté au potentiel de la masse de l'aéronef.
- [0022] Toutefois, une telle couche antistatique est exposée à l'environnement extérieur de

l'aéronef (par exemple, impact de gouttes d'eau, poussières, eau, nettoyage au sol de l'aéronef) et peut se retrouver éliminée de la surface extérieure du vitrage feuilleté. Il en résulte alors des risques de rupture en service de la feuille côté extérieur du vitrage feuilleté en environnement chargeant.

- [0023] La présente invention vise à surmonter les inconvénients de l'état antérieur de la technique, en proposant un vitrage feuilleté aéronautique à système de chauffage électrique intégré, incorporant une couche à isopotential appliquée sur la face interne de sa feuille côté extérieur, de manière à obtenir une solution durable de prévention des ruptures diélectriques de la feuille côté extérieur du vitrage feuilleté en environnement chargeant.
- [0024] La présente invention a donc pour objet un vitrage feuilleté aéronautique comprenant une première feuille côté extérieur, au moins une seconde feuille structurale côté intérieur et une couche intermédiaire disposée entre la première feuille et l'au moins une seconde feuille structurale, la première feuille et l'au moins une seconde feuille structurale étant en au moins l'un parmi un verre minéral et un verre organique, le vitrage feuilleté aéronautique comprenant en outre au moins un système de chauffage électrique agencé en regard de la face interne de la première feuille, caractérisé par le fait que le vitrage feuilleté aéronautique comprend en outre une couche à isopotential appliquée sur la face interne de la première feuille.
- [0025] Par « feuille côté extérieur », on entend la feuille (ou pli) du vitrage feuilleté agencée côté extérieur vis-à-vis de l'aéronef sur lequel le vitrage feuilleté est installé, et, par « feuille côté intérieur », on entend la feuille (ou pli) du vitrage feuilleté agencée côté intérieur vis-à-vis de l'aéronef sur lequel le vitrage feuilleté est installé. Ainsi, la face externe de la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté est en contact avec l'environnement extérieur de l'aéronef.
- [0026] La couche intermédiaire du vitrage feuilleté sert d'intercalaire entre la première feuille et l'au moins une seconde feuille structurale du vitrage feuilleté.
- [0027] Il est à noter que, dans le cas où le vitrage feuilleté comprend plusieurs secondes feuilles structurales, une couche intermédiaire de type intercalaire est également agencée entre chaque paire de secondes feuilles structurales adjacentes.
- [0028] La première feuille et la ou les secondes feuilles structurales du vitrage feuilleté peuvent être soit en verre minéral (par exemple, sodocalcique, borosilicate, alumino-silicate, etc.), soit en verre organique (par exemple, PMMA (poly(méthacrylate de méthyle), PC (polycarbonate), etc.). Il est à noter que l'au moins une seconde feuille structurale pourrait également être en verre organique de type film de PET (polytéréphtalate d'éthylène), sans s'écarter du cadre de la présente invention.
- [0029] La couche à isopotential appliquée sur la face interne de la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté possède un potentiel électrique uniforme sur toute sa

surface. Il est à noter que, par « isopotentiel », on entend un potentiel électrique uniforme vis-à-vis des potentiels de charges à plusieurs dizaines de kV, de telle sorte que tous les potentiels électriques compris entre 0V et 500V seront considérés comme uniformes vis-à-vis des dizaines de kV des potentiels de charges (typiquement, sur la couche à isopotentiel, un potentiel de 200V sera ainsi considéré équivalent à un potentiel de 0V).

- [0030] La couche à isopotentiel se retrouve encapsulée à l'intérieur du vitrage feuilleté, elle n'est donc pas sensible à l'érosion, à la dissolution ou à la rayure. Cette moindre sensibilité permet de considérer des couches plus minces qui peuvent être plus simples à déposer ou présentant un impact optique moindre.
- [0031] La présente invention permet ainsi d'obtenir une solution durable (non soumise à l'érosion de la couche antistatique) pour l'élimination des risques de casse ou perforation du pli chauffant de vitrage aéronautique présentant une zone de chauffage réduite par rupture diélectrique dans l'épaisseur de la feuille externe en environnement chargeant.
- [0032] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'au moins un système de chauffage électrique est appliqué sur la couche à isopotentiel et présente une première résistivité électrique de surface réelle ou équivalente, la couche à isopotentiel présentant une seconde résistivité électrique de surface réelle ou équivalente qui est supérieure à la première résistivité électrique de surface réelle ou équivalente.
- [0033] Etant donné que la couche à isopotentiel appliquée sur la face interne de la première feuille côté extérieur jusqu'aux bords du vitrage (éventuellement à l'exception d'un bord périphérique) possède une résistivité électrique de surface supérieure à celle de l'au moins un système de chauffage électrique appliqué sur la couche à isopotentiel, la couche à isopotentiel est ainsi sensiblement moins conductrice que l'au moins un système de chauffage électrique, de telle sorte qu'elle ne perturbe pas l'écoulement des courants chauffants dans le système de chauffage électrique. L'interposition de la couche à isopotentiel entre le système de chauffage électrique et la surface interne du vitrage permet d'écranter les hauts potentiels de la surface externe du vitrage (qu'ils proviennent des chargements triboélectriques ou de la foudre) et donc d'éliminer les concentrations de champs au sein de la première feuille côté extérieur liées aux effets de pointe du système de chauffage électrique.
- [0034] Dans le cas où un arc électrique impacte le côté extérieur du vitrage feuilleté, son potentiel de surface monte et l'arc électrique s'accroche rapidement à la structure. Cette montée rapide de potentiel peut engendrer en bord de système de chauffage électrique un risque de concentration de champ électrique engendrant une rupture diélectrique dans la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté. En appliquant une couche à isopotentiel significativement plus résistive, on assure ainsi l'élimination de

ces concentrations de champ, sans perturber le chauffage.

- [0035] La couche à isopotential permet d'assurer que l'ensemble de la face interne de la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté soit maintenu au potentiel de la masse de l'aéronef (à quelques centaines de volts près).
- [0036] Ainsi, on bénéficie de trois effets empêchant l'occurrence de ruptures diélectriques dans la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté :
 - [0037] - favorisation des décharges de surface ;
 - [0038] - dans le cas où le système de chauffage électrique est du type couche résistive chauffante, élimination de l'effet de pointe électrostatique en bordure de surface chauffante étant donné que la couche voisine est à un potentiel très proche ;
 - [0039] - dans le cas où le système de chauffage électrique est du type réseau de fils minces résistifs chauffants, élimination de l'effet de pointe autour de chaque fil fin.
- [0040] Il est pertinent de comparer les résistivités équivalentes du système de chauffage électrique et de la couche à isopotential vis-à-vis des risques de court-circuit des courants chauffants par la couche à isopotential. La notion de résistivité de surface n'est rigoureusement définie que pour une couche conductrice homogène et correspond pour un carré homogène de couche conductrice à la résistance entre deux électrodes qui seraient placées sur deux côtés opposés du carré. On définit alors la résistivité de surface équivalente comme la résistivité d'une couche homogène qui relierait deux électrodes. Ainsi, un système de chauffage à fils, dont les fils relient deux électrodes, peut alors être décrit comme une couche homogène équivalente. De même, une couche globalement homogène discontinue peut induire par tortuosité de l'écoulement du courant une résistivité équivalente supérieure à la résistivité de la même couche là où elle est continue. Enfin, en cas d'ouverture totale du chemin électrique continu reliant les deux électrodes, la résistivité équivalente tend vers l'infini.
- [0041] Selon une caractéristique particulière de l'invention, le rapport entre la seconde résistivité électrique de surface réelle ou équivalente et la première résistivité électrique de surface réelle ou équivalente est supérieur ou égal à 10, de préférence supérieur ou égal à 100.
- [0042] Ainsi, ce rapport important permet de ne pas court-circuiter l'au moins un système de chauffage électrique par la couche à isopotential.
- [0043] La couche à isopotential présente ainsi une résistivité de surface ou résistivité de surface apparente (obtenue par exemple par ablation partielle de cette couche) significativement supérieure à celle du système de chauffage électrique.
- [0044] Selon une caractéristique particulière de l'invention, la couche à isopotential est une couche conductrice transparente configurée pour être reliée directement ou indirectement à la masse d'une structure de montage du vitrage feuilleté aéronautique.
- [0045] Ainsi, la couche conductrice transparente à isopotential et à forte résistivité est reliée

à la masse de l'aéronef sur lequel est installé le vitrage feuilleté, soit directement par l'intermédiaire de moyens électriques tels que des fils, une sérigraphie, une brasure, un collage conducteur, etc., soit indirectement par l'intermédiaire d'une impédance. La liaison à la masse peut également se faire par l'intermédiaire de l'au moins un système de chauffage électrique.

- [0046] Selon une caractéristique particulière de l'invention, la couche conductrice transparente est en l'un parmi de l'oxyde dopé tel que l'oxyde d'indium-étain ou de l'oxyde d'aluminium-zinc, de l'oxyde non stœchiométrique tel que du dioxyde d'étain, du carbone de type diamant, et de l'argent.
- [0047] Selon une caractéristique particulière de l'invention, l'au moins un système de chauffage électrique est l'un parmi au moins un réseau de fils résistifs chauffants agencé entre au moins deux électrodes d'alimentation et au moins une couche résistive chauffante agencée entre au moins deux électrodes d'alimentation.
- [0048] Ainsi, l'au moins un réseau de fils résistifs chauffants ou l'au moins une couche résistive chauffante permet au vitrage feuilleté d'avoir une fonction antigivre en apportant du chauffage par effet Joule lorsqu'il/elle est traversé(e) par un courant électrique provenant des au moins deux électrodes d'alimentation.
- [0049] Le vitrage feuilleté peut, par exemple, comprendre un seul système de chauffage électrique (réseau de fils résistifs ou couche résistive) agencé entre deux électrodes d'alimentation dans le cas d'une alimentation monophasée.
- [0050] Le vitrage feuilleté peut également comprendre trois systèmes de chauffage électrique (réseaux de fils résistifs ou couches résistives) agencés de manière adjacente entre quatre électrodes d'alimentation dans le cas d'une alimentation triphasée, chaque système de chauffage électrique étant agencé entre une paire respective d'électrodes d'alimentation parmi les quatre électrodes d'alimentation.
- [0051] Chaque électrode d'alimentation électrique est, en pratique, un élément suffisamment conducteur vis-à-vis des éléments électriques qui lui sont connectés pour considérer que le potentiel est constant sur toute cette électrode.
- [0052] Dans le cas d'un réseau de fils résistifs chauffants, il est à noter que la première résistivité électrique de surface ne sera pas isotrope, mais sera une résistivité électrique de surface apparente ou équivalente. En effet, un réseau de fils résistifs peut être assimilé à une couche conductrice avec une conductivité électrique si on considère l'écoulement de courant dans le sens électrode d'alimentation à électrode d'alimentation. Dans le sens orthogonal, il n'y a pas de conductivité électrique.
- [0053] La mise à la masse aéronef de la couche à isopotential peut se faire directement par un fil électrique (éventuellement avec une impédance d'isolation assurant l'isopotentialité sans capacité de drainer de forts courants), ou indirectement par l'intermédiaire d'une électrode d'alimentation du système de chauffage électrique, ou

encore par l'intermédiaire de contacts entre le système de chauffage électrique et la couche à isopotential.

- [0054] Dans le cas d'un système de chauffage électrique de type réseau de fils résistifs chauffants, la couche à isopotential devra avoir une résistivité significativement supérieure à celle du réseau de fils. Les réseaux de fils étant généralement très peu résistifs (0,1 à quelques Ohms par carré), une couche à isopotential ayant une résistivité de 100 Ohms par carré à 1 méga Ohms par carré peut être considérée. Le réseau de fils résistifs est appliqué au contact de la couche à isopotential qui forme un écran électrique vis-à-vis du potentiel des fils résistifs, de telle sorte que les effets de pointe associés soit au bord du réseau chauffant, soit à la taille des fils (quelques dizaines de microns) ne génèrent pas d'intensification de champ électrique par effet de pointe dans la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté.
- [0055] Dans le cas d'un système de chauffage électrique de type couche résistive chauffante, la couche à isopotential devra avoir une résistivité significativement supérieure à celle de la couche résistive chauffante. Les couches habituellement à base d'ITO peuvent présenter des résistivités de quelques Ohms par carré à quelques centaines d'Ohms par carré. Une couche à isopotential ayant une résistivité de quelques dizaines de kOhms par carré à une fraction de méga Ohms par carré pourra ainsi être considérée. La couche à isopotential assurera ainsi une continuité des potentiels électriques dans le plan de la couche résistive chauffante sans court-circuiter cette dernière.
- [0056] Etant donné que la couche à isopotential et la couche résistive chauffante se retrouvent sur la même face interne de la première feuille côté extérieur du vitrage feuilleté, elles peuvent ainsi être déposées durant la même étape de procédé, ce qui réduit les coûts de fabrication et supprime la complexité technique associée au dépôt de couches sur les deux faces de la première feuille du vitrage feuilleté (en particulier risque de rayures).
- [0057] Selon un autre mode de réalisation de l'invention, l'au moins un système de chauffage électrique est au moins une couche résistive chauffante, ayant une forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple, agencée entre au moins deux électrodes d'alimentation et appliquée sur une partie de la face interne de la première feuille, et la couche à isopotential est appliquée sur la partie restante de la face interne de la première feuille et réalisée en la même matière que l'au moins une couche résistive chauffante.
- [0058] Dans cet autre mode de réalisation, la couche à isopotential est appliquée sur les zones de la face interne de la première feuille non en regard de l'au moins une couche résistive chauffante, et permet ainsi une gestion des champs électriques présents en bord de couche résistive chauffante.
- [0059] Selon une caractéristique particulière de cet autre mode de réalisation de l'invention,

la couche à isopotential est en l'un parmi de l'oxyde d'indium-étain, de l'or, de l'argent et de l'oxyde de zinc dopé en aluminium, (tout comme l'au moins une couche résistive chauffante).

- [0060] Selon une première variante de cet autre mode de réalisation, la couche à isopotential est constituée d'au moins l'un parmi : au moins une bande en zigzag agencée entre les au moins deux électrodes d'alimentation ; et au moins un agencement en forme de peigne, ladite couche à isopotential étant réalisée en la même matière que l'au moins une couche résistive chauffante et étant reliée électriquement à l'au moins une couche résistive chauffante.
- [0061] Ainsi, on utilise, en tant que couche à isopotential, une couche de même nature que la couche résistive chauffante mais en augmentant artificiellement sa résistivité apparente par texturation (en zigzag ou en peigne).
- [0062] Par exemple, la couche à isopotential, qui est liée électriquement à la couche résistive chauffante, peut être ablatée (par exemple au moyen d'un laser) pour en accroître sensiblement sa résistance électrique.
- [0063] Selon une caractéristique particulière de cette première variante, l'au moins une couche résistive chauffante, ayant une forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple, et la couche à isopotential sont créées sur la face interne de la première feuille par :
 - [0064] - application d'une couche conductrice sur la face interne de la première feuille ;
 - [0065] - définition d'au moins une zone de chauffage ayant une forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple sur la couche conductrice ;
 - [0066] - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice de manière à former, en tant que couche résistive chauffante, l'au moins une zone de chauffage définie ; et
 - [0067] - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice en dehors de l'au moins une zone de chauffage formée, de manière à former, en tant que couche à isopotential, au moins l'un parmi au moins une bande en zigzag et au moins un agencement en forme de peigne hors de l'au moins une zone de chauffage formée, de telle sorte que la résistivité électrique équivalente de la couche à isopotential est supérieure à celle de la zone de chauffage formée.
- [0068] Ainsi, après application de la couche conductrice sur toute la surface de la face interne de la première feuille du vitrage feuilleté (éventuellement à l'exception d'un bord périphérique), on crée par des stratégies d'ablation (ou de masquage préalable au dépôt) une couche résistive chauffante uniforme, ainsi qu'une couche à isopotential texturée au niveau des bords du vitrage.
- [0069] L'ablation laser ne change pas la résistivité de surface de la couche conductrice. En revanche, la texturation/tortuosité de la couche à isopotential impose un chemin plus long et donc une résistance plus élevée d'électrode d'alimentation à électrode

d'alimentation. Cette zone en devient équivalente à une couche de résistivité plus élevée.

- [0070] Selon une seconde variante de cet autre mode de réalisation, la couche à isopotential est isolée électriquement de l'au moins une couche résistive chauffante et configurée pour être reliée directement ou indirectement à la masse d'une structure de montage du vitrage feuilleté aéronautique, et par le fait que l'au moins une couche résistive chauffante et la couche à isopotential sont créées sur la face interne de la première feuille par ablation, notamment ablation laser, d'une couche conductrice appliquée sur la face interne de la première feuille.
- [0071] Ainsi, après application de la couche conductrice sur toute la surface de la face interne de la première feuille du vitrage feuilleté (éventuellement à l'exception d'un bord périphérique), on ménage une isolation électrique entre la couche résistive chauffante et la couche à isopotential par des stratégies d'ablation (ou de masquage préalable au dépôt). La couche à isopotential en bord de vitrage peut ensuite être reliée à la masse de l'aéronef par l'intermédiaire de moyens électriques tels que des fils, une sérigraphie, une brasure, un collage conducteur, etc.
- [0072] La présente invention a également pour objet l'utilisation d'un vitrage feuilleté aéronautique tel que décrit ci-dessus comme vitrage de cockpit d'aéronef, notamment pare-brise, notamment d'aéronef commercial moyen et long courrier, aéronef d'affaire ou de tourisme.
- [0073] La présente invention a en outre pour objet un aéronef, tel qu'un avion ou un hélicoptère, dont le vitrage de cockpit est un vitrage feuilleté aéronautique tel que décrit ci-dessus.
- [0074] Pour mieux illustrer l'objet de la présente invention, on va en décrire ci-après, à titre illustratif et non limitatif, des modes de réalisations préférés, avec référence aux dessins annexés.
- [0075] Sur ces dessins :
- [0076] [Fig.1] est une vue en coupe d'un vitrage feuilleté aéronautique selon un premier mode de réalisation de la présente invention ;
- [0077] [Fig.2] est une vue en coupe d'un vitrage feuilleté aéronautique selon un second mode de réalisation de la présente invention ;
- [0078] [Fig.3] est une vue en coupe d'un vitrage feuilleté aéronautique selon un troisième mode de réalisation de la présente invention ;
- [0079] [Fig.4] est une vue de la face interne de la première feuille de verre d'un vitrage feuilleté aéronautique selon un quatrième mode de réalisation de la présente invention ;
- [0080] [Fig.5] est une vue de la face interne de la première feuille de verre d'un vitrage feuilleté aéronautique selon un cinquième mode de réalisation de la présente invention ;

- [0081] [Fig.6] est une vue de face d'un ensemble système de chauffage électrique à alimentation triphasée en montage triangle ;
- [0082] [Fig.7] est une vue de face d'un ensemble système de chauffage électrique à alimentation triphasée en montage étoile ; et
- [0083] [Fig.8] est une vue schématique d'un aéronef équipé d'un vitrage feuilleté aéronautique selon l'invention.
- [0084] Si l'on se réfère à la [Fig.1], on peut voir qu'il y est représenté un vitrage feuilleté aéronautique 1 selon un premier mode de réalisation de la présente invention.
- [0085] Le vitrage feuilleté aéronautique 1 peut être utilisé comme vitrage de cockpit d'aéronef, et comprend une première feuille 2 agencée côté extérieur vis-à-vis de l'aéronef, deux secondes feuilles structurales 3a, 3b agencées côté intérieur vis-à-vis de l'aéronef, une couche intermédiaire adhésive 4 de type intercalaire disposée entre la première feuille 2 et la seconde feuille structurale 3a, et une autre couche intermédiaire adhésive 5 de type intercalaire disposée entre les deux secondes feuilles structurales 3a et 3b.
- [0086] Il est à noter que le vitrage feuilleté aéronautique 1 pourrait également comprendre une seule seconde feuille structurale ou au moins trois secondes feuilles structurales, sans s'écarter du cadre de la présente invention.
- [0087] L'épaisseur de la première feuille 2 peut être comprise entre 1 et 5 mm.
- [0088] L'épaisseur de chacune des secondes feuilles 3a, 3b peut être comprise entre 4 et 20 mm (en pratique, entre 4 et 8 mm pour du verre minéral, et entre 6 et 20 mm pour du verre organique).
- [0089] Ainsi, la première feuille 2, dont la face externe est en contact avec l'environnement extérieur de l'aéronef, est une feuille de surfacage relativement fine, au contraire des secondes feuilles 3a et 3b, constituant le bloc structural du vitrage feuilleté 1, qui sont relativement épaisses de manière à garantir les propriétés mécaniques requises pour le vitrage feuilleté 1, en particulier dans le cas où celui-ci doit délimiter un volume pressurisé à l'intérieur de l'aéronef. Il est à noter que, lorsque le bloc structural ne comprend qu'une seule seconde feuille de verre 3a, on considère que celle-ci est structurale à condition que son module élastique soit au moins égal à 1500 MPa par exemple.
- [0090] Chacune de la première feuille 2 et des secondes feuilles structurales 3a, 3b peuvent être soit en verre minéral (par exemple, sodocalcique, borosilicate, aluminosilicate, etc.), soit en verre organique (par exemple, PMMA (poly(méthacrylate de méthyle), PC (polycarbonate), etc.). Il est à noter que les secondes feuilles structurales 3a, 3b pourraient également être en verre organique de type film de PET (polytéréphtalate d'éthylène), sans s'écarter du cadre de la présente invention.
- [0091] Chacune de la couche intermédiaire adhésive de type intercalaire 4 et de l'autre

couche intermédiaire adhésive 5 de type intercalaire peut être réalisée en un polymère thermoplastique parmi : poly(butylal vinylique) (PVB), polyuréthane thermoplastique (TPU), copolymère éthylène – acétate de vinyle (EVA), résine de coulée et résine ionomère.

- [0092] L'épaisseur de la couche intermédiaire adhésive 4 de type intercalaire peut être comprise entre 2 et 10 mm, de préférence entre 3 et 8 mm (cette épaisseur dépendant de la stratégie d'attachement de l'avionneur et de l'épaisseur du pli externe).
- [0093] L'épaisseur de l'autre couche intermédiaire adhésive 5 de type intercalaire peut être comprise entre 0,5 et 6 mm, de préférence au plus égale à 3 mm.
- [0094] Le vitrage feuilleté 1 est en appui contre un reteneur intérieur 6', qui peut être la structure de l'aéronef, avec interposition d'une cale 7. Le vitrage feuilleté 1 est fixé à la structure de montage de l'aéronef par un reteneur extérieur 6 constitué d'un presse-glace qui, en étant boulonné à la structure de l'aéronef, exerce une pression sur le bord du bloc structural 3a, 3b par l'intermédiaire d'un joint en silicone 8.
- [0095] Le vitrage feuilleté aéronautique 1 comprend en outre un système de chauffage électrique de type couche résistive chauffante 9 agencé entre la face interne de la première feuille 2 et la couche intermédiaire 4.
- [0096] La couche résistive chauffante 9 est disposée entre deux électrodes d'alimentation (non visibles sur la [Fig.1]) et recouvre une partie (centrale) de la face interne de la première feuille 2. La couche résistive chauffante 9 permet ainsi au vitrage feuilleté 1 d'avoir une fonction antigivre en apportant du chauffage par effet Joule lorsqu'elle est traversée par un courant électrique provenant des deux électrodes d'alimentation.
- [0097] La couche résistive chauffante 9, qui est en l'un parmi de l'oxyde d'indium-étain (ITO), de l'or, de l'argent et de l'oxyde de zinc dopé en aluminium, présente une première résistivité électrique de surface réelle.
- [0098] La couche résistive chauffante 9 peut avoir une épaisseur comprise entre 10 et 200 nm, et une résistivité électrique de surface comprise entre 1 et 500 Ohms par carré.
- [0099] Le vitrage feuilleté aéronautique 1 comprend en outre une couche à isopotential 10 appliquée sur les zones (périphériques) de la face interne de la première feuille 2 non en regard du système de chauffage électrique de type couche résistive chauffante 9.
- [0100] La couche à isopotential 10 se retrouve ainsi encapsulée à l'intérieur du vitrage feuilleté 1 et n'est donc pas sensible à l'érosion, à la dissolution ou à la rayure.
- [0101] La couche à isopotential 10, qui est une couche conductrice de même nature que la couche résistive chauffante 9 (les deux couches 9 et 10 ayant ainsi la même résistivité électrique de surface réelle), est complètement isolée électriquement de la couche résistive chauffante 9 et reliée électriquement à la masse de la structure de montage d'aéronef par l'intermédiaire de fils électriques 11 (éventuellement avec une impédance d'isolation assurant l'isopotentialité sans capacité de drainer de forts

courants).

- [0102] Il est à noter que la couche à isopotential 10 pourrait également être reliée à la masse de l'aéronef, soit directement par l'intermédiaire d'autres moyens électriques tels qu'une sérigraphie, une brasure, un collage conducteur, etc., soit indirectement par l'intermédiaire d'une impédance, sans s'écarter du cadre de la présente invention. La liaison à la masse pourrait également se faire par l'intermédiaire de l'une des deux électrodes d'alimentation reliées à la couche résistive chauffante 9.
- [0103] Etant donné que la couche à isopotential 10 et la couche résistive chauffante 9 se retrouvent sur la même face interne de la première feuille 2 du vitrage feuilleté 1, elles peuvent être déposées durant la même étape de procédé, ce qui réduit les coûts de fabrication et supprime la complexité technique associée au dépôt de couches sur les deux faces de la première feuille 2 du vitrage feuilleté 1.
- [0104] La couche résistive chauffante 9 et la couche à isopotential 10 peuvent être déposées sur la face interne de la première feuille 2 au moyen d'un dépôt physique en phase vapeur, par exemple par pulvérisation cathodique assistée par champ magnétique – magnétron sous pression réduite, ou par voie liquide, par exemple sol – gel.
- [0105] En pratique, une unique couche conductrice est déposée sur la face interne de la première feuille 2, puis la couche à isopotential 10 et la couche résistive chauffante 9 sont créées, par ablation de la couche conductrice déposée, de manière à ce que la couche à isopotential 10 soit complètement isolée de la couche résistive chauffante 9.
- [0106] La couche à isopotential 10 présente, sur toute sa surface, un potentiel électrique uniforme vis-à-vis des potentiels de charges à plusieurs dizaines de kV.
- [0107] Si l'on se réfère à la [Fig.2], on peut voir qu'il y est représenté un vitrage feuilleté aéronautique 12 selon un deuxième mode de réalisation de la présente invention.
- [0108] Les éléments communs entre le premier mode de réalisation de l'invention sur la [Fig.1] et ce second mode de réalisation de l'invention portent le même chiffre de référence, et ne seront pas décrits plus en détail ici lorsqu'ils sont de structures identiques.
- [0109] Le vitrage feuilleté aéronautique 12 selon le second mode de réalisation est identique au vitrage feuilleté aéronautique 1 selon le premier mode de réalisation, à l'exception du fait que la couche à isopotential 10 est une couche conductrice transparente appliquée sur l'intégralité de la face interne de la première feuille 2 (éventuellement à l'exception d'une bande périphérique), et permet d'assurer que l'ensemble de la face interne de la première feuille 2 soit maintenu au potentiel de la masse de l'aéronef (à quelques centaines de volts près), la couche résistive chauffante 9 étant appliquée sur une partie (centrale) de la couche à isopotential 10.
- [0110] En outre, dans ce deuxième mode de réalisation, la couche à isopotential de type couche conductrice transparente 10, qui est en l'un parmi de l'oxyde dopé tel que

l'oxyde d'indium-étain ou de l'oxyde d'aluminium-zinc, de l'oxyde non stœchiométrique tel que du dioxyde d'étain, du carbone de type diamant, et de l'argent, présente une seconde résistivité électrique de surface réelle supérieure à la première résistivité électrique de surface réelle de la couche résistive chauffante 9.

- [0111] Le rapport entre la seconde résistivité électrique de surface réelle et la première résistivité électrique de surface réelle est supérieur ou égal à 10, de préférence supérieur ou égal à 100.
- [0112] La couche à isopotential de type couche conductrice transparente 10 peut avoir une épaisseur comprise entre 10 et 100 nm.
- [0113] Etant donné que la couche à isopotential 10 possède une résistivité électrique de surface supérieure à celle de la couche résistive chauffante 9, la couche à isopotential 10 est ainsi sensiblement moins conductrice que la couche résistive chauffante 9, de telle sorte que la couche à isopotential 10 assure une continuité des potentiels électriques dans le plan de la couche résistive chauffante 9 sans court-circuiter cette dernière, et permet d'amorcer des décharges de surface de toute la périphérie du vitrage et d'éliminer les effets de pointe en limite de la couche résistive chauffante 9 favorisant les ruptures diélectriques dans la première feuille 2 du vitrage feuilleté 1.
- [0114] Si l'on se réfère à la [Fig.3], on peut voir qu'il y est représenté un vitrage feuilleté aéronautique 13 selon un troisième mode de réalisation de la présente invention.
- [0115] Les éléments communs entre le deuxième mode de réalisation de l'invention sur la [Fig.2] et ce troisième mode de réalisation de l'invention portent le même chiffre de référence, et ne seront pas décrits plus en détail ici lorsqu'ils sont de structures identiques.
- [0116] Le vitrage feuilleté aéronautique 13 selon le troisième mode de réalisation est identique au vitrage feuilleté aéronautique 12 selon le deuxième mode de réalisation, à l'exception du fait que le système de chauffage électrique de type couche résistive chauffante 9 est remplacé par un système de chauffage électrique de type réseau de fils résistifs chauffants 9' appliqué sur la couche conductrice transparente à isopotential 10. Le réseau de fils résistifs chauffants 9' est agencé entre deux électrodes d'alimentation (non visibles sur la [Fig.3]), et permet au vitrage feuilleté 13 d'avoir une fonction antigivre en apportant du chauffage par effet Joule lorsque ses fils résistifs sont traversés par un courant électrique provenant des deux électrodes d'alimentation. A titre d'exemple, l'une des deux électrodes d'alimentation peut être à un potentiel de 0V et l'autre des deux électrodes d'alimentation peut être à un potentiel de 28V.
- [0117] Il est à noter que la résistivité électrique de surface du réseau de fils résistifs chauffants 9' ne sera pas isotrope, mais sera considérée comme une résistivité électrique de surface apparente ou équivalente dont la valeur sera sensiblement inférieure à la résistivité électrique de surface de la couche à isopotential 10. Le réseau

de fils résistifs chauffants 9' sera en effet assimilé à une couche conductrice avec une conductivité électrique si l'on considère l'écoulement de courant dans le sens électrode d'alimentation à électrode d'alimentation. En revanche, dans le sens orthogonal, il n'y aura pas de conductivité électrique.

- [0118] Un réseau de fils résistifs 9' étant généralement très peu résistif (1 à quelques Ohms par carré), une couche à isopotential 10 ayant une résistivité électrique de surface allant de 100 Ohms par carré à 1 méga Ohms par carré pourra être choisie.
- [0119] Le réseau de fils résistifs 9' est appliqué au contact de la couche à isopotential 10 qui forme un écran électrique vis-à-vis du potentiel de ses fils résistifs, de telle sorte que les effets de pointe associés soit au bord du réseau chauffant 9', soit à la taille des fils (quelques dizaines de microns) ne génèrent pas d'intensification de champ électrique par effet de pointe dans la première feuille 2 du vitrage feuilleté 13.
- [0120] Si l'on se réfère à la [Fig.4], on peut voir qu'il y est représenté un vitrage feuilleté aéronautique 14 selon un quatrième mode de réalisation de la présente invention.
- [0121] Les éléments communs entre le premier mode de réalisation de l'invention sur la [Fig.1] et ce quatrième mode de réalisation de l'invention portent le même chiffre de référence, et ne seront pas décrits plus en détail ici lorsqu'ils sont de structures identiques.
- [0122] De manière similaire au premier mode de réalisation, le vitrage feuilleté aéronautique 14 selon le quatrième mode de réalisation comprend une couche résistive chauffante 9 en forme de polygone simple appliquée sur une partie (centrale) de la face interne de la première feuille 2 du vitrage feuilleté 14 et agencée entre deux électrodes d'alimentation monophasée 15a et 15b appliquées en parties supérieure et inférieure, respectivement, de la face interne de la première feuille 2 du vitrage feuilleté 14.
- [0123] Il est à noter que la couche résistive chauffante 9 pourrait également avoir une quelconque autre forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple, sans s'écarter du cadre de la présente invention.
- [0124] Chacune des deux électrodes d'alimentation 15a et 15b est, en pratique, un élément en forme de barre suffisamment conducteur vis-à-vis des éléments électriques qui lui sont connectés pour considérer que le potentiel est constant sur toute cette électrode.
- [0125] En outre, dans ce quatrième mode de réalisation, la couche à isopotential 10 est appliquée sur la partie restante de la face interne de la première feuille 2 (à l'exception d'un bord périphérique de la face interne de la première feuille 2) et est constituée de deux bandes continues en zigzag (ou serpent) 16a et 16b agencées entre les deux électrodes d'alimentation 15a et 15b, de part et d'autre de la couche résistive chauffante 9, et formant un chemin continu entre les électrodes d'alimentation 15a et 15b, plus long en distance que le chemin entre les deux électrodes d'alimentation 15a et 15b au niveau de la couche résistive chauffante 9 et donc de résistivité plus grande.

Il est bien entendu que ce mode de réalisation ne constitue pas la seule manière de former un chemin de plus grande résistivité par la couche à isopotential et que d'autres modes de réalisation sont envisagés dans la présente invention, par exemple une couche différente ou supplémentaire modifiant la résistivité de la couche à isopotential par rapport à la couche résistive chauffante.

- [0126] Les deux bandes en zigzag 16a et 16b formant la couche à isopotential 10 sont réalisées en la même matière que la couche résistive chauffante 9 (à savoir, l'un parmi de l'oxyde d'indium-étain, de l'or, de l'argent et de l'oxyde de zinc dopé en aluminium) et sont reliées électriquement à la couche résistive chauffante 9.
- [0127] Ainsi, dans ce quatrième mode de réalisation, on utilise, en tant que couche à isopotential 10, une couche de même nature que la couche résistive chauffante 9 mais en augmentant artificiellement sa résistivité apparente par texturation en zigzag.
- [0128] En pratique, la couche résistive chauffante 9 et la couche à isopotential texturée 10 peuvent être créées sur la face interne de la première feuille 2 par :
- [0129] - application d'une couche conductrice sur la face interne de la première feuille 2 ;
- [0130] - définition d'une zone de chauffage (correspondant à la future couche résistive chauffante 9) sur la couche conductrice appliquée ;
- [0131] - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice de manière à former, en tant que couche résistive chauffante 9, la zone de chauffage définie ; et
- [0132] - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice en dehors de la zone de chauffage formée, de manière à former, en tant que couche à isopotential 10, les deux bandes en zigzag 16a et 16b de part et d'autre de la couche résistive chauffante 9, de telle sorte que la résistivité électrique équivalente des bandes en zigzag 16a et 16b est supérieure à celle de la couche résistive chauffante 9.
- [0133] Ainsi, une isolation électrique totale ou partielle entre la couche résistive chauffante 9 et la couche à isopotential 10 (à savoir, les deux bandes en zigzag 16a et 16b) est ménagée par ablation laser de la couche conductrice initiale.
- [0134] L'ablation laser ne change pas la résistivité de surface de la couche conductrice. En revanche, la tortuosité (forme en zigzag) impose un chemin plus long et donc une résistance plus élevée d'électrode d'alimentation 15a à électrode d'alimentation 15b pour la couche à isopotential 10 qui devient ainsi équivalente à une couche de résistivité plus élevée.
- [0135] Si l'on se réfère à la [Fig.5], on peut voir qu'il y est représenté un vitrage feuilleté aéronautique 17 selon un cinquième mode de réalisation de la présente invention.
- [0136] Les éléments communs entre le quatrième mode de réalisation de l'invention sur la [Fig.4] et ce cinquième mode de réalisation de l'invention portent le même chiffre de référence, et ne seront pas décrits plus en détail ici lorsqu'ils sont de structures identiques.

- [0137] Dans ce cinquième mode de réalisation, la couche à isopotential texturée 10 n'est plus constituée des deux bandes en zigzag 16a et 16b, mais plutôt de deux agencements en forme de peigne 18a et 18b s'étendant de part et d'autre de la couche résistive chauffante 9, la couche à isopotential 10 texturée en forme de peigne étant ainsi équivalente à une couche de résistivité plus élevée.
- [0138] En pratique, la couche à isopotential texturée 10 peut être créée sur la face interne de la première feuille 2 par :
- [0139] - application d'une couche conductrice sur la face interne de la première feuille 2 ;
- [0140] - définition d'une zone de chauffage (correspondant à la future couche résistive chauffante 9) sur la couche conductrice appliquée ; et
- [0141] - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice en dehors de la zone de chauffage définie, de manière à former, en tant que couche à isopotential 10, les deux agencements en forme de peigne 18a et 18b s'étendant de part et d'autre de la couche résistive chauffante 9, de telle sorte que la résistivité électrique équivalente des agencements en forme de peigne 18a et 18b est supérieure à celle de la couche résistive chauffante 9.
- [0142] Bien que, dans chacun des premier au cinquième modes de réalisation représentés sur les Figures 1 à 5, un unique système de chauffage électrique 9 ou 9' à alimentation monophasée ait été représenté, chacun de ces modes de réalisation pourraient également comprendre plusieurs systèmes de chauffage électrique (de type couche résistive chauffante 9 ou réseau de fils résistifs chauffants 9') à alimentation triphasée, sans s'écarter du cadre de la présente invention.
- [0143] A titre d'exemple, la [Fig.6] représente un tel ensemble système de chauffage électrique à alimentation triphasée 19 en montage triangle comprenant trois systèmes de chauffage électrique 9a, 9b et 9c (par exemple, trois couches résistives chauffantes) agencés de manière adjacente entre quatre électrodes d'alimentation 20a, 20b, 20c et 20d.
- [0144] La première électrode 20a est reliée à la partie inférieure du premier système de chauffage électrique 9a. La deuxième électrode 20b est reliée aux parties supérieures des premier et deuxième systèmes de chauffage électrique 9a et 9b. La troisième électrode 20c est reliée aux parties inférieures des deuxième et troisième systèmes de chauffage électrique 9b et 9c. La quatrième électrode 20d est reliée à la partie supérieure du troisième système de chauffage électrique 9c. Et, la première électrode et la quatrième électrode sont reliées électriquement par un fil électrique 21.
- [0145] Egalement à titre d'exemple, la [Fig.7] représente un autre ensemble système de chauffage électrique à alimentation triphasée 22 en montage étoile comprenant trois systèmes de chauffage électrique 9a, 9b et 9c (par exemple, trois couches résistives chauffantes) agencés de manière adjacente entre quatre électrodes d'alimentation 23a,

23b, 23c et 23d.

- [0146] La première électrode 23a est reliée à la partie inférieure du premier système de chauffage électrique 9a. La deuxième électrode 23b est reliée à la partie inférieure du deuxième système de chauffage électrique 9b. La troisième électrode 23c est reliée à la partie inférieure du troisième système de chauffage électrique 9c. Et, la quatrième électrode 23d est reliée aux parties supérieures des trois systèmes de chauffage électrique 9a, 9b et 9c.
- [0147] La présente invention a également pour objet l'utilisation de l'un des vitrages feuilletés aéronautiques 1, 12, 13, 14 et 17 décrits ci-dessus comme vitrage de cockpit d'aéronef, notamment pare-brise, notamment d'aéronef commercial moyen et long courrier, aéronef d'affaire ou de tourisme.
- [0148] La présente invention a en outre pour objet un aéronef, tel qu'un avion ou un hélicoptère, dont le vitrage de cockpit est l'un des vitrages feuilletés aéronautiques 1, 12, 13, 14 et 17 décrits ci-dessus.
- [0149] La [Fig.8] représente schématiquement un aéronef 24 (ici un avion mais l'invention est aussi applicable à des hélicoptères) équipé d'un vitrage feuilleté 1 selon l'invention au niveau de son pare-brise.
- [0150] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée à cet égard et le vitrage feuilleté selon l'invention peut trouver à s'appliquer sur une ou plusieurs des ouvertures (pare-brise, hublots, fenêtres de portes) ou optiques (feux) de l'aéronef sans s'éloigner du cadre de l'invention.
- [0151] Il est bien entendu que les modes de réalisations particuliers qui viennent d'être décrits ont été donnés à titre indicatif et non limitatif, et que des modifications peuvent être apportées sans que l'on s'écarte pour autant de la présente invention.

Revendications

- [Revendication 1] Vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 12 ; 13 ; 14 ; 17) comprenant une première feuille (2) côté extérieur, au moins une seconde feuille structurale (3a, 3b) côté intérieur et une couche intermédiaire (4) disposée entre la première feuille (2) et l'au moins une seconde feuille structurale (3a, 3b), la première feuille (2) et l'au moins une seconde feuille structurale (3a, 3b) étant en au moins l'un parmi un verre minéral et un verre organique, le vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 12 ; 13 ; 14 ; 17) comprenant en outre au moins un système de chauffage électrique (9 ; 9') agencé en regard de la face interne de la première feuille (2), caractérisé par le fait que le vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 12 ; 13 ; 14 ; 17) comprend en outre une couche à isopotential (10) appliquée sur la face interne de la première feuille (2).
- [Revendication 2] Vitrage feuilleté aéronautique (12 ; 13) selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'au moins un système de chauffage électrique (9 ; 9') est appliqué sur la couche à isopotential (10) et présente une première résistivité électrique de surface réelle ou équivalente, la couche à isopotential (10) présentant une seconde résistivité électrique de surface réelle ou équivalente qui est supérieure à la première résistivité électrique de surface réelle ou équivalente.
- [Revendication 3] Vitrage feuilleté aéronautique (12 ; 13) selon la revendication 2, caractérisé par le fait que le rapport entre la seconde résistivité électrique de surface réelle ou équivalente et la première résistivité électrique de surface réelle ou équivalente est supérieur ou égal à 10, de préférence supérieur ou égal à 100.
- [Revendication 4] Vitrage feuilleté aéronautique (12 ; 13) selon l'une des revendications 2 et 3, caractérisé par le fait que la couche à isopotential (10) est une couche conductrice transparente configurée pour être reliée directement ou indirectement à la masse d'une structure de montage du vitrage feuilleté aéronautique (12 ; 13).
- [Revendication 5] Vitrage feuilleté aéronautique (12 ; 13) selon la revendication 4, caractérisé par le fait que la couche conductrice transparente est en l'un parmi de l'oxyde dopé tel que l'oxyde d'indium-étain ou de l'oxyde d'aluminium-zinc, de l'oxyde non stœchiométrique tel que du dioxyde d'étain, du carbone de type diamant, et de l'argent.
- [Revendication 6] Vitrage feuilleté aéronautique (12 ; 13) selon l'une des revendications 2 à 5, caractérisé par le fait que l'au moins un système de chauffage

électrique est l'un parmi au moins un réseau de fils résistifs chauffants (9') agencé entre au moins deux électrodes d'alimentation (15a, 15b) et au moins une couche résistive chauffante (9) agencée entre au moins deux électrodes d'alimentation (15a, 15b).

- [Revendication 7] Vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 14 ; 17) selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'au moins un système de chauffage électrique est au moins une couche résistive chauffante (9), ayant une forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple, agencée entre au moins deux électrodes d'alimentation (15a, 15b) et appliquée sur une partie de la face interne de la première feuille (2), et la couche à isopotential (10) est appliquée sur la partie restante de la face interne de la première feuille (2) et réalisée en la même matière que l'au moins une couche résistive chauffante (9).
- [Revendication 8] Vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 14 ; 17) selon la revendication 7, caractérisé par le fait que la couche à isopotential (10) est en l'un parmi de l'oxyde d'indium-étain, de l'or, de l'argent et de l'oxyde de zinc dopé en aluminium.
- [Revendication 9] Vitrage feuilleté aéronautique (14 ; 17) selon la revendication 7 ou 8, caractérisé par le fait que la couche à isopotential (10) est constituée d'au moins l'un parmi : au moins une bande en zigzag (16a, 16b) agencée entre les au moins deux électrodes d'alimentation (15a, 15b) ; et au moins un agencement en forme de peigne (18a, 18b), ladite couche à isopotential (10) étant reliée électriquement à l'au moins une couche résistive chauffante (9).
- [Revendication 10] Vitrage feuilleté aéronautique (14 ; 17) selon la revendication 9, caractérisé par le fait que l'au moins une couche résistive chauffante (9), ayant une forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple, et la couche à isopotential (10) sont créées sur la face interne de la première feuille (2) par :
- application d'une couche conductrice sur la face interne de la première feuille (2) ;
 - définition d'au moins une zone de chauffage ayant une forme géométrique plane dont la périphérie forme une courbe fermée simple sur la couche conductrice ;
 - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice de manière à former, en tant que couche résistive chauffante (9), l'au moins une zone de chauffage définie ; et
 - ablation, notamment ablation laser, de la couche conductrice en dehors

de l'au moins une zone de chauffage formée, de manière à former, en tant que couche à isopotential (10), au moins l'un parmi au moins une bande en zigzag (16a, 16b) et au moins un agencement en forme de peigne (18a, 18b) hors de l'au moins une zone de chauffage formée, de telle sorte que la résistivité électrique équivalente de la couche à isopotential (10) est supérieure à celle de la zone de chauffage formée.

- [Revendication 11] Vitrage feuilleté aéronautique (1) selon la revendication 7 ou 8, caractérisé par le fait que la couche à isopotential (10) est isolée électriquement de l'au moins une couche résistive chauffante (9) et configurée pour être reliée directement ou indirectement à la masse d'une structure de montage du vitrage feuilleté aéronautique (1), et par le fait que l'au moins une couche résistive chauffante (9) et la couche à isopotential (10) sont créées sur la face interne de la première feuille (2) par ablation, notamment ablation laser, d'une couche conductrice appliquée sur la face interne de la première feuille (2).
- [Revendication 12] Utilisation d'un vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 12 ; 13 ; 14 ; 17) selon l'une des revendications 1 à 11 comme vitrage de cockpit d'aéronef, notamment pare-brise, notamment d'aéronef commercial moyen et long courrier, aéronef d'affaire ou de tourisme.
- [Revendication 13] Aéronef dont le vitrage de cockpit est un vitrage feuilleté aéronautique (1 ; 12 ; 13 ; 14 ; 17) selon l'une des revendications 1 à 11.

[Fig. 1]

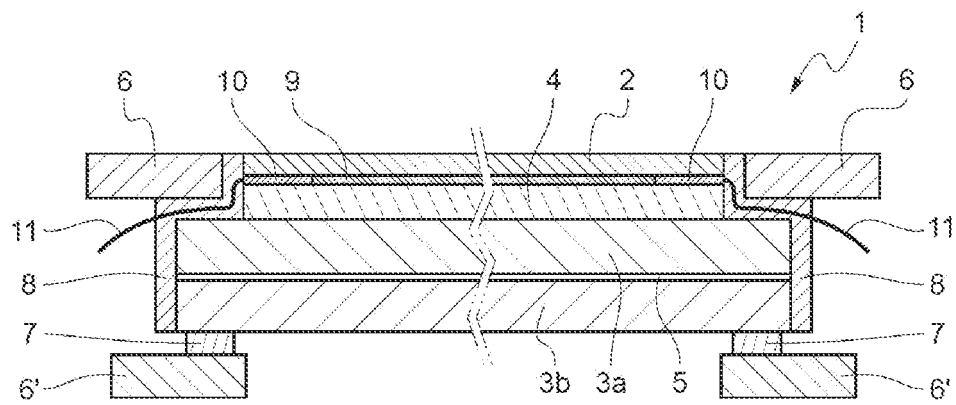


Fig. 1

[Fig. 2]

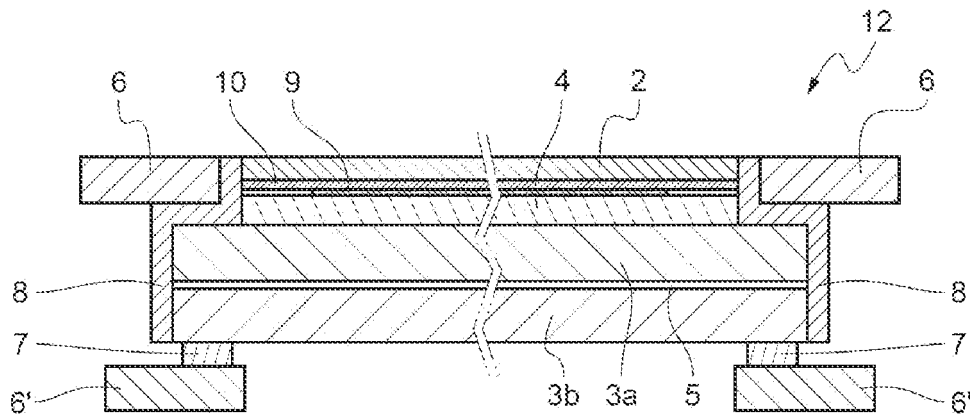


Fig.2

[Fig. 3]

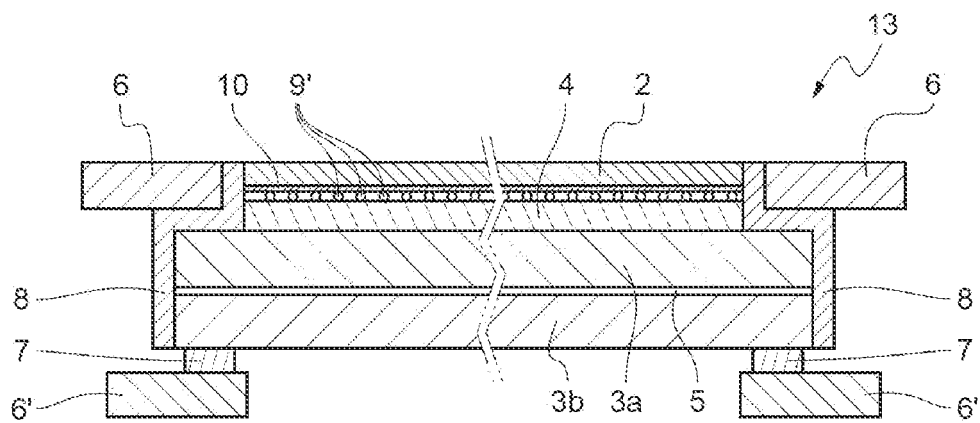


Fig.3

[Fig. 4]

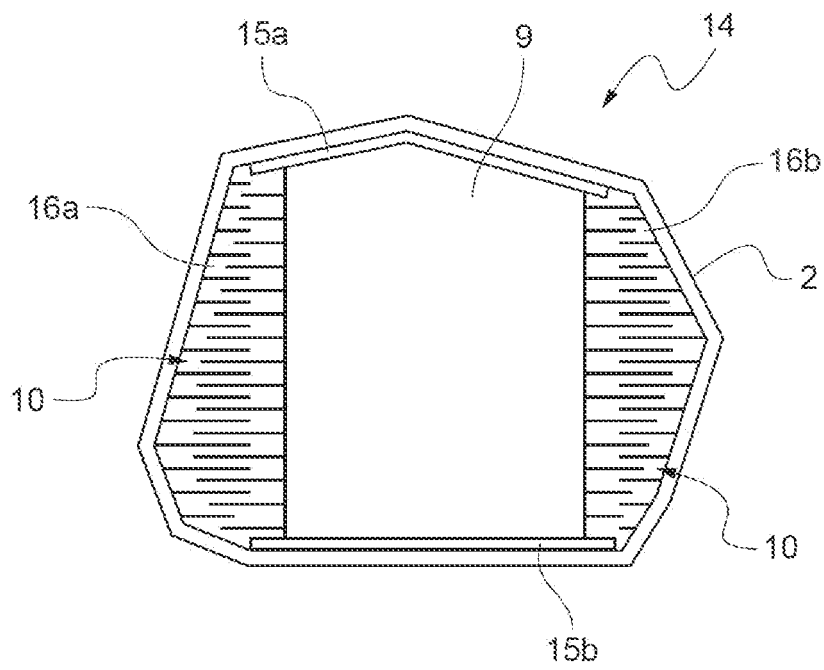


Fig.4

[Fig. 5]

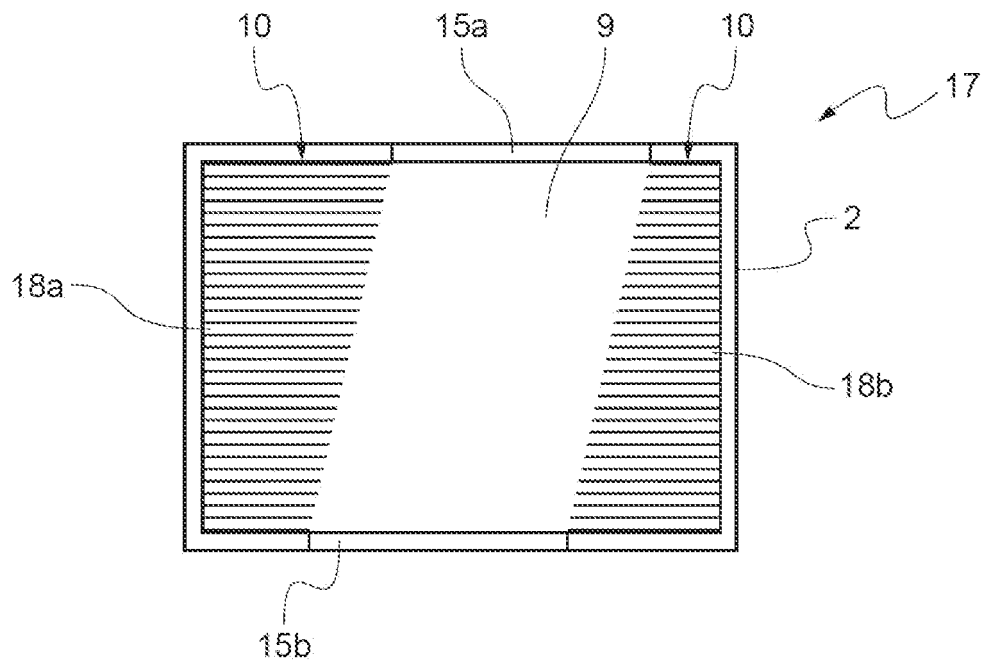


Fig.5

[Fig. 6]

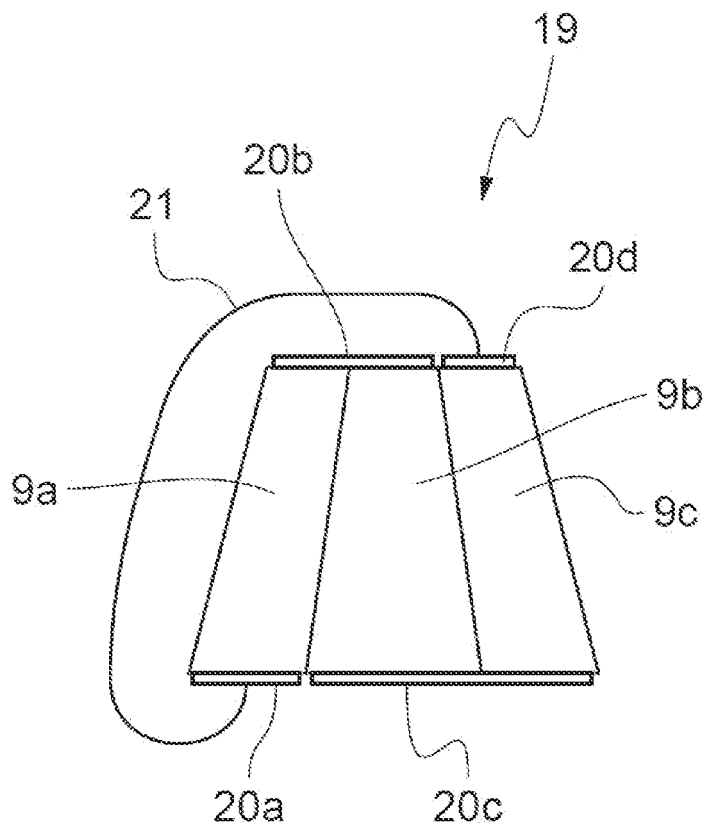


Fig.6

[Fig. 7]

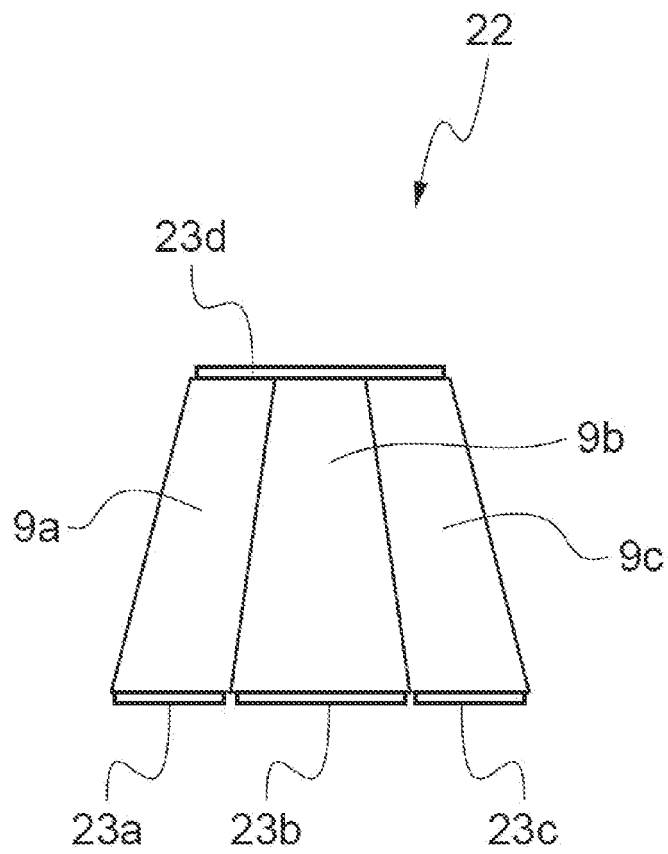


Fig.7

[Fig. 8]

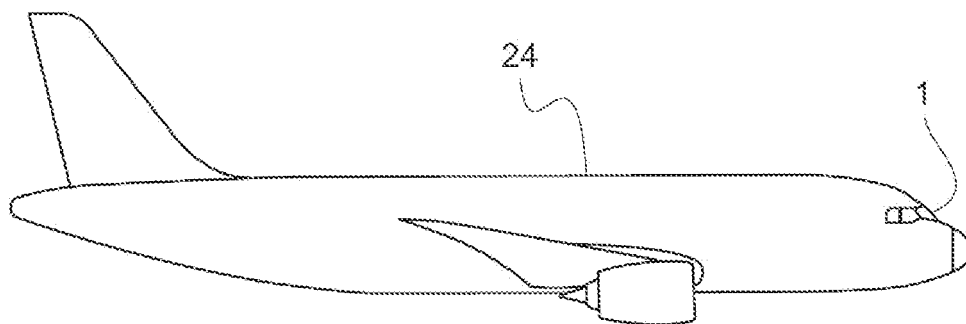


Fig.8

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 917677
FR 2302743

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	WO 2019/008290 A1 (SAINT GOBAIN [FR]) 10 janvier 2019 (2019-01-10) * page 1, ligne 5 – ligne 10 * * page 1, ligne 22 – page 2, ligne 25 * * page 4, ligne 31 – page 6, ligne 19 * * revendications 1-3,14 * * figures 1-3 * -----	1	B32B 17/10 B60J 1/02 B64C 1/14 B64D 45/00
A	US 3 297 281 A (JOSEPH FELICI NOEL JEAN OLIVIE) 10 janvier 1967 (1967-01-10) * colonne 1, ligne 13 – ligne 18 * * colonne 1, ligne 71 – colonne 2, ligne 17 * * colonne 2, ligne 31 – ligne 37 * * colonne 3, ligne 68 – colonne 4, ligne 49 * * revendications 1-11 * -----	1-13	
A	US 4 278 875 A (BAIN PETER H) 14 juillet 1981 (1981-07-14) * colonne 2, ligne 51 – colonne 3, ligne 35 * * page 3, ligne 52 – page 4, ligne 34 * * colonne 4, ligne 59 – colonne 5, ligne 2 * * * colonne 5, ligne 23 – ligne 44 * * revendications 1-9 * * figures 1-4 * -----	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B32B B64C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 septembre 2023		Girard, Sarah	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2302743 FA 917677**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **22-09-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2019008290	A1	10-01-2019	BR 112019027743 A2	15-09-2020
			CA 3068913 A1	10-01-2019
			CN 110914054 A	24-03-2020
			EP 3648972 A1	13-05-2020
			FR 3068857 A1	11-01-2019
			IL 271599 A	27-02-2020
			KR 20200007053 A	21-01-2020
			PL 3648972 T3	25-10-2021
			RU 2723030 C1	08-06-2020
			US 2020223528 A1	16-07-2020
			WO 2019008290 A1	10-01-2019

US 3297281	A	10-01-1967	DE 1466075 A1	16-03-1972
			FR 1390315 A	26-02-1965
			GB 1080582 A	23-08-1967
			US 3297281 A	10-01-1967

US 4278875	A	14-07-1981	AUCUN	
