

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**3 145 745**

②1 N° d'enregistrement national : **23 01227**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **B 64 D 15/22 (2023.01)**

⑫

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 09.02.23.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.08.24 Bulletin 24/33.

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) : **SAFRAN AEROSYSTEMS Société par actions simplifiée à associé unique — FR.**

⑦2 Inventeur(s) : **LE GARREC Stéphane, THILLAYS Bruno Pierre Louis, MARTINACHÉ Fiona Marie Joëlle, PORTIER Philippe et ORAZZO Annagrazia.**

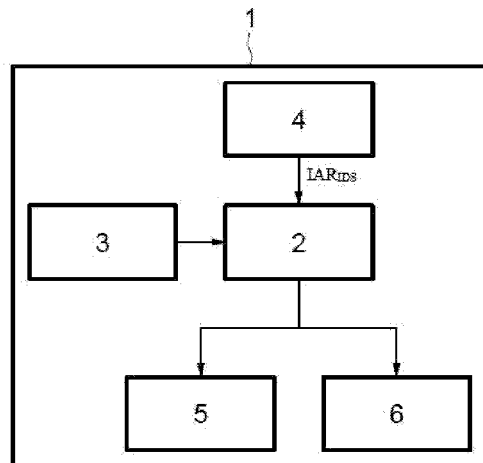
⑦3 Titulaire(s) : **SAFRAN AEROSYSTEMS Société par actions simplifiée à associé unique.**

⑦4 Mandataire(s) : **CASALONGA.**

⑤4 Procédé de commande de moyens de lutte contre le givre dans un aéronef en fonction du taux d'accrétion de givre et système correspondant.

⑤7 Procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre protégeant au moins une surface extérieure d'un aéronef le dispositif étant muni d'au moins un moyen (5,6) de lutte contre le givre et d'un moyen de mesure (4) du taux d'accrétion de givre, comprenant des étapes de détermination d'au moins un paramètre d'activation du au moins un moyen (5,6) de lutte contre le givre en fonction du taux d'accrétion de givre déterminé par le moyen de mesure (4), afin de prévenir l'accrétion de givre sur la au moins une surface extérieure à protéger ou afin de réduire l'épaisseur de givre accrété sur la au moins une surface extérieure à protéger.

Figure pour l'abrégié : Fig 1



**FR 3 145 745 - A1**



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de commande de moyens de lutte contre le givre dans un aéronef en fonction du taux d'accrétion de givre et système correspondant.**

#### **Domaine technique**

[0001] L'invention a pour domaine technique un dispositif de commande de moyens de lutte contre le givre, et plus particulièrement, un tel dispositif de commande couplé à un dispositif de détection de conditions givrantes.

#### **Techniques antérieures**

[0002] Un aéronef peut être soumis à des phénomènes givrants lorsqu'il évolue dans certaines conditions atmosphériques, notamment à des températures proches et inférieures de la température de solidification de l'eau et dans une atmosphère humide. Cette dernière condition est remplie notamment lorsque l'aéronef traverse certains types de nuages.

[0003] La formation de givre peut bloquer les surfaces mobiles de l'aéronef tels que les bords d'attaques, volets et dérives, et réduire les performances des moteurs de l'aéronef voire détériorer ses composants.

[0004] La formation de givre peut également mener à une perte de portance et une augmentation de traînée, éventuellement critique pour l'aéronef.

[0005] Pour éviter de telles conséquences, des moyens de lutte contre le givre ont été développés. Il s'agit notamment d'éléments thermiques disposés au niveau des surfaces à protéger. Ils peuvent être employés de façon préventive, autrement dit en mode « anti-givrage », en maintenant la température de ces surfaces au-dessus du point de fusion de l'eau. Ils peuvent être employés de façon curative, en mode « dégivrage », en chauffant par intermittence les surfaces concernées pour permettre le décollement du givre accumulé. Les éléments thermiques peuvent être de type électrique, utilisant l'effet Joule, mais sont plus fréquemment des éléments thermiques à circulation d'air chaud, utilisant l'air chaud issu des moteurs. Ce type d'éléments thermiques utilisant la circulation d'air chaud est utilisé uniquement en mode « anti-givrage ». Cela est efficace contre le givre, mais ne peut être piloté de manière précise et ciblée et s'accompagne d'une perte importante de chaleur, et en conséquence d'une surconsommation de carburant.

[0006] Pour ce qui concerne les systèmes qui utilisent des éléments électriques, ils peuvent être utilisés dans les deux modes, « anti-givrage » et « dégivrage », sur un même aéronef.

[0007] Les moyens de lutte contre le givre peuvent également comprendre des moyens mé-

caniques par exemple sous la forme de boudins gonflables, disposés sur la surface à protéger, et gonflés périodiquement afin de briser mécaniquement le givre accumulé.

- [0008] Par ailleurs, différents détecteurs de givre ont été développés au cours des années. Alors que la plupart des détecteurs de givre émettent un résultat binaire de détection (présence ou absence de condition givrante), les détecteurs les plus perfectionnés sont capables de fournir une information sur l'intensité des conditions givrantes rencontrées en mesurant la vitesse d'accrétion de givre IAR (Acronyme anglophone pour « Ice Accretion Rate »). Le document US8704181B2, au nom de la demanderesse, divulgue un tel détecteur.
- [0009] Les moyens de prévention du givre et de lutte contre le givre sont activés par le pilote de l'aéronef, dès que le détecteur indique une condition givrante. Ces activations ne tiennent ainsi pas vraiment compte du taux d'accrétion de givre, et appliquent indifféremment l'énergie nécessaire à une protection maximale.
- [0010] Un tel fonctionnement n'est pas optimisé, surtout dans un contexte d'économie d'énergie et de longévité des moyens de lutte contre le givre. L'activation des éléments thermiques, en particulier, est notablement énergivore.
- [0011] Le changement climatique est une préoccupation majeure pour de nombreux organes législatifs et de régulation à travers le monde. En effet, diverses restrictions sur les émissions de carbone ont été, sont ou seront adoptées par divers états. En particulier, une norme ambitieuse s'applique à la fois aux nouveaux types d'avions mais aussi ceux en circulation nécessitant de devoir mettre en œuvre des solutions technologiques afin de les rendre conformes aux réglementations en vigueur. L'aviation civile se mobilise depuis maintenant plusieurs années pour apporter une contribution à la lutte contre le changement climatique.
- [0012] Les efforts de recherche technologique ont déjà permis d'améliorer de manière très significative les performances environnementales des avions. La Déposante prend en considération les facteurs impactant dans toutes les phases de conception et de développement pour obtenir des composants et des produits aéronautiques moins énergivores, plus respectueux de l'environnement et dont l'intégration et l'utilisation dans l'aviation civile ont des conséquences environnementales modérées dans un but d'amélioration de l'efficacité énergétique des avions.
- [0013] Par voie de conséquence, la Déposante travaille en permanence à la réduction de son incidence climatique négative par l'emploi de méthodes et l'exploitation de procédés de développement et de fabrication vertueux et minimisant les émissions de gaz à effet de serre au minimum possible pour réduire de l'empreinte environnementale de son activité.
- [0014] Ces travaux de recherche et de développement soutenus portent à la fois sur les nouvelles générations de moteurs d'avions, l'allègement des appareils, notamment par

les matériaux employés et les équipements embarqués allégés, le développement de l'emploi des technologies électriques pour assurer la propulsion, et, indispensables compléments aux progrès technologiques, les biocarburants aéronautiques.

[0015] A cet effet, l'invention est le résultat des recherches technologiques visant à améliorer de manière très significative les performances des avions à travers des économies d'énergie et, en ce sens, contribue à la réduction de l'impact environnemental des avions.

[0016] Il existe donc un besoin pour un système de commande de moyens de lutte contre le givre capable d'activer lesdits systèmes en fonction du taux d'accrétion de givre.

### **Exposé de l'invention**

[0017] L'invention a pour objet un procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre protégeant au moins une surface extérieure d'un aéronef, le dispositif étant muni d'au moins un moyen de lutte contre le givre et d'un moyen de mesure du taux d'accrétion de givre, comprenant des étapes de détermination d'au moins un paramètre d'activation du au moins un moyen de lutte contre le givre en fonction du taux d'accrétion de givre déterminé par le moyen de mesure afin de prévenir l'accrétion de givre sur la au moins une surface extérieure à protéger ou afin de réduire l'épaisseur de givre accrété sur la au moins une surface extérieure à protéger.

[0018] Le au moins un moyen de lutte contre le givre comprenant au moins un moyen de lutte contre le givre à élément chauffant, le procédé de commande peut comprendre les étapes suivantes :

[0019] - détermination d'une densité de puissance fonction du taux d'accrétion de givre, de l'attitude de l'aéronef, de la vitesse d'écoulement et de l'air de la température environnementale totale reçus d'un calculateur de vol, et d'une consigne de température prédéterminée, et

[0020] - commande d'un actionneur du au moins un moyen de lutte contre le givre à élément chauffant de sorte qu'une puissance fonction de la densité de puissance déterminée soit transmise au moyen de lutte contre le givre à élément chauffant de sorte à prévenir la formation de givre sur le moyen de lutte contre le givre à élément chauffant.

[0021] Le au moins un moyen de lutte contre le givre comprenant au moins un moyen de lutte contre le givre à élément chauffant et/ou au moins un moyen de lutte contre le givre à élément mécanique, le procédé de commande peut comprendre les étapes suivantes :

[0022] - détermination d'une durée entre deux activations fonction du taux d'accrétion de givre, d'un facteur de corrélation entre le taux d'accrétion de givre mesuré par la mesure du taux d'accrétion de givre et le taux d'accrétion de givre au niveau de la surface extérieure à protéger et de l'épaisseur de givre maximum tolérée,

- [0023] - commande d'un actionneur d'un moyen de lutte contre le givre chaque fois que la durée déterminée entre deux activations est écoulée, de sorte à réduire l'épaisseur de givre formé sur la au moins une surface extérieure à protéger.
- [0024] Le facteur de corrélation peut dépendre de l'attitude de l'aéronef, de la vitesse d'écoulement de l'air, de la température environnementale statique, de la vitesse de rotation du propulseur et de la vitesse vraie de l'aéronef.
- [0025] La vitesse d'écoulement de l'air peut être égale à la vitesse vraie de l'aéronef lorsque le moyen de lutte contre le givre est disposé sur un bord d'attaque d'aile ou sur un empennage arrière d'un aéronef ou dépend de la vitesse vraie de l'aéronef et de la vitesse de rotation du propulseur lorsque le moyen de lutte contre le givre est disposé sur une entrée d'air moteur, une pale d'un moteur ou une pale de voilure tournante.
- [0026] L'invention a également pour objet un système de commande d'un dispositif de lutte contre le givre protégeant au moins une surface extérieure d'un aéronef, le dispositif étant muni d'au moins un moyen de lutte contre le givre et d'un moyen de mesure du taux d'accrétion de givre, le système de commande comprenant un moyen de commande connecté en entrée à un calculateur de vol, ledit calculateur de vol étant connecté à un ensemble de moyens de mesure, comprenant notamment un moyen de mesure du taux d'accrétion de givre, ledit calculateur de vol étant connecté en sortie à au moins un desdits moyens de lutte contre le givre, le moyen de commande étant apte à exécuter le procédé de commande tel que décrit ci-dessus.
- [0027] Un moyen de lutte contre le givre peut être choisi parmi un moyen de lutte contre le givre à élément chauffant et un moyen de lutte contre le givre à élément mécanique.

### **Brève description des dessins**

- [0028] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0029] - la figure [Fig.1] illustre les principaux éléments d'un système de commande des moyens de dégivrage selon l'invention,
- [0030] - la figure [Fig.2] illustre la durée entre deux activations d'un moyen de lutte contre le givre,
- [0031] - la figure [Fig.3] illustre l'évolution de l'épaisseur de givre en fonction du temps et la durée entre deux activations d'un moyen de lutte contre le givre, et
- [0032] - la figure [Fig.4] illustre la différence entre l'écoulement d'air au niveau du moyen de mesure du taux d'accrétion de givre et l'écoulement au niveau de la zone à protéger.

### **Description détaillée**

- [0033] Un système de commande des moyens de dégivrage 1 selon l'invention comprend un moyen de commande 2 connecté en entrée à un calculateur de vol 3 et à un moyen de

mesure 4 du taux d'accrétion de givre, et en sortie à au moins un moyen de lutte contre le givre 5,6.

[0034] Les moyens 5,6 de lutte contre le givre comprennent au moins l'un parmi un moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant, et un moyen 6 de lutte contre le givre à élément mécanique.

[0035] La figure [Fig.1] illustre un tel système de commande des moyens de dégivrage.

[0036] Dans un mode de fonctionnement, le moyen de commande 2 commande un moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant en mode « antigivrage ». En d'autres termes, on cherche à prévenir la formation de givre.

[0037] Dans ce mode de commande « antigivrage », on détermine une densité de puissance  $dP$  suffisante à appliquer, prenant en compte une information de taux d'accrétion de sorte à optimiser, c'est-à-dire ajuster réduire la puissance électrique à utiliser (consommer) de manière à produire un échauffement suffisant pour empêcher la formation de givre sur la surface extérieure de l'aéronef à protéger. Cette température à atteindre, et donc la puissance à fournir, dépendront du type d'antigivrage souhaité, c'est-à-dire ruisselant, les gouttes impactantes restant liquides, ou bien évaporatif, les gouttes étant évaporées lors de l'impact

[0038] Pour réaliser cela, le moyen de commande 2 détermine la puissance  $P$  à fournir par le moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant, en fonction des données reçues du calculateur de vol 3 et du moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre.

[0039] La puissance  $P$  est le produit de la superficie  $S$  de la surface à protéger par la densité de puissance  $dP$ , donnée par application de l'équation suivante :

[0040] [Math.1]

$$dP = Q_{conv} + Q_{evp} + Q_{sens} - Q_{kaero} - Q_{kdrop}$$

[0041] Où :

- $Q_{conv}$  : la chaleur échangée par convection entre la surface protégée et l'écoulement d'air au contact de cette surface et du moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre ;
- $Q_{evp}$  : la chaleur due à l'évaporation des gouttes d'eau au contact de la surface protégée ;
- $Q_{sens}$  : la chaleur nécessaire pour changer la température de l'eau au contact de la surface protégée ;
- $Q_{kaero}$  : la chaleur due à l'échauffement aérodynamique de l'écoulement sur la surface protégée ;
- $Q_{kdrop}$  : la chaleur due à l'énergie cinétique des gouttes au contact de la surface protégée.

[0042] Le document Meier & Scholz. « A Handbook method for the estimation of power re-

quirements for electrical de-icing systems. » DLRK, Hamburg, 31. August - 02. September 2010 décrit des méthodes d'évaluation des termes du bilan d'énergie de l'équation [Math 1]. En première approche, cette densité de puissance  $dP$  est déterminée en fonction des paramètres suivants :

[0043] [Math.2]

$$dP = f(LWC_{\infty}, \beta_{loc}, Alt, ATT, V_e, Temp, T_{surf\_target})$$

[0044] Avec:

- $dP$  : Densité de puissance en  $W/cm^2$  ;
- $LWC_{\infty}$  : *Liquid Water Content* ou concentration en eau du nuage rencontré par l'aéronef ( $g/m^3$ ) ;
- $\beta_{loc}$  : Coefficient de captation de la zone à protéger lié à sa forme géométrique, la taille de gouttes présentes dans le nuage rencontré et la vitesse et l'attitude de l'aéronef. Sans dimension compris entre 0 et 1 ;
- ATT : Attitude de l'aéronef, Incidence ou phase de vol, influent sur la zone de captation en direct ;
- $V_e$  : Vitesse d'écoulement de l'air
- Temp : Température environnementale totale (TAT) ou statique (SAT) ;
- $T_{surf\_target}$  : Seuil de température de surface à atteindre pour obtenir l'effet d'antigivrage selon qu'il sera ruisselant ou évaporatif.

[0045] Il est à noter que la vitesse d'écoulement de l'air  $V_e$  peut être définie en fonction de de l'emplacement du moyen de lutte contre le givre.

[0046] La vitesse d'écoulement de l'air  $V_e$  est égale à la vitesse vraie de l'aéronef TAS (acronyme anglophone pour « True Air Speed ») pour les bords d'attaque des ailes et les empennages arrière.

[0047] La vitesse d'écoulement de l'air  $V_e$  est égale à une combinaison de la vitesse vraie de l'aéronef TAS et de la vitesse de rotation du propulseur ER (acronyme pour « Engine Round per minute ») pour les entrées d'air moteur, les pales d'un moteur ou la voilure tournante d'un hélicoptère.

[0048] Afin de résoudre l'équation de bilan d'énergie, il faut connaître la valeur  $LWC_{\infty}$  de concentration en eau du nuage et le coefficient de captation  $\beta_{loc}$ . Les autres paramètres sont donnés par les systèmes avioniques, à l'exception du seuil de température de surface  $T_{surf\_target}$ , une valeur constante choisie au moment de la conception du moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant.

[0049] L'information  $IAR_{IDS}$  de taux d'accrétion de givre peut être obtenue analytiquement par l'intermédiaire de l'équation suivante :

[0050] IAR du détecteur est analytiquement donné par l'équation suivante :

[0051] [Math.3]

$$IAR_{IDS} = \frac{TAS \cdot LWC_{IDS} \cdot \beta_{IDS} \cdot \eta_{IDS}}{\rho_i}$$

[0052] Où

[0053] TAS = *True Air Speed* ou vitesse vraie de l'aéronef (m/s)

[0054] LWC = *Liquid Water Content* ou concentration en eau en proximité du détecteur (g/m<sup>3</sup>)

[0055]  $\beta_{IDS}$  = coefficient de captation sur la surface de référence du détecteur de givre

[0056]  $\eta_{IDS}$  = *Freezing Fraction* (FF) ou fraction gelante, qui est un coefficient sans dimension, compris entre 0 et 1, indiquant la portion d'eau qui va givrer sur la surface du détecteur.

[0057]  $\rho_i$  = masse volumique du givre (g/m<sup>3</sup>), généralement  $\rho_i=917000$  g/m<sup>3</sup>

[0058] Le coefficient  $\beta_{IDS}$  de captation sur la surface de référence du détecteur de givre est fonction de la géométrie de la surface, du diamètre de gouttes présentes dans le nuage givrant et de leur trajectoire (i.e. fonction donc de la vitesse et de la force de trainée exercée sur les gouttes). C'est un coefficient sans dimensions compris entre 0 et 1 qui indique la surface d'impact de gouttelettes là où on peut avoir une accréation de givre.

[0059] Ce coefficient  $\beta_{IDS}$  peut être évalué avec des simulations numériques de captation d'eau sur la surface de référence du détecteur et la fraction gelante  $\eta_{IDS}$  grâce à des simulations d'accréation de givre basées sur la résolution des équations de bilan de Messinger (Messinger, B. L. (1953). « *Equilibrium Temperature of an Unheated Icing Surface as a Function of Air Speed* ». Journal of the Aeronautical Sciences, 20(1), 29-42. doi: 10.2514/8.2520).

[0060] Le détecteur de givre, en suivant les directives données par l'ED103revB (EUROCAE ED103. « *Minimum Operational Performance Standard for Inflight Icing Detection Systems* ». Revision B, Avril 2022) et l'Appendice K de l'AC 20-73A (FAA « *Advisory Circular 20-73A. Aircraft Ice Protection* ») datée du 16 avril 2006, doit être installé sur l'aéronef dans une position qui lui permette de mesurer un IAR représentatif de l' $IAR_{\infty}$  de l'écoulement infini amont, où

[0061] [Math.4]

$$IAR_{\infty} = (TAS \cdot LWC_{\infty}) / \rho_i$$

[0062] Avec  $IAR_{\infty}$  exprimé en m/s

[0063] Lorsque la valeur  $IAR_{IDS}$  tend vers la valeur  $IAR_{\infty}$ , la valeur  $\eta_{IDS}$  tend vers 1, la valeur  $\beta_{IDS}$  tend vers 1 également et la valeur LWC tend vers la valeur  $LWC_{\infty}$ .

[0064] Comme défini dans l'ED103revB, le détecteur de givre doit être capable de fournir une mesure d'IAR avec la précision suivante :

[0065] [Math.5]

$$IAR_{IDS} = IAR_{\infty} \pm 30\% IAR_{\infty}$$

[0066] L'information donnée par le moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre permet de déduire la valeur  $LWC_{\infty}$  de concentration en eau du nuage à utiliser pour le bilan d'énergie :

[0067] [Math.6]

$$LWC_{\infty} \approx \frac{IAR_{IDS} \rho_i}{TAS}$$

[0068] Le coefficient de captation  $\beta_{loc}$  peut être considéré égal à 1 afin d'être conservatif.

[0069] Cette valeur de LWC peut ainsi être utilisée par la formule [Math 2] pour déduire la densité de puissance minimale à appliquer sur la surface à protéger.

[0070] Une densité de puissance dP est ainsi déterminée en continu ainsi qu'il vient d'être exposé, en fonction de la mesure d'IAR, qui est transmise en entrée de commande des actionneurs des moyens de lutte contre le givre à élément chauffant 5, et cela tant que la valeur d'IAR n'est pas nulle.

[0071] Le mode de commande « anti-givrage » reste, par principe, très consommateur d'énergie.

[0072] Un autre mode de commande, dit mode de commande « dégivrage », permet de réduire cette consommation si l'on tolère l'accrétion d'une certaine épaisseur de givre. Cette épaisseur doit être définie par l'avionneur. On prévoit ainsi que le moyen de commande 2 commande un moyen 5,6 de lutte contre le givre en mode dégivrage.

[0073] Le mode de commande « dégivrage » autorise un dépôt ou accrétion de givre, d'une épaisseur compatible avec la sécurité du vol. Le givre ainsi accru est éliminé de façon périodique avant que son épaisseur maximale admissible ne soit atteinte.

[0074] Le mode « dégivrage » peut en effet :

[0075] - utiliser des moyens 5 de lutte contre le givre à élément chauffant, tels que ceux utilisés dans le mode de commande « anti-givrage » exposé précédemment, mais avec une activation cyclique, intense, et/ou

[0076] - utiliser des moyens 6 de lutte contre le givre à élément mécanique, avec une activation également cyclique afin de briser la glace accrétée.

[0077] Les moyens 6 de lutte contre le givre à élément mécanique sont notamment des actionneurs de type à « boudin gonflable.

[0078] On propose, dans la présente invention, d'optimiser cette activation cyclique, en déterminant l'intervalle de temps dT entre deux activations A comme illustré sur la figure [Fig.2].

[0079] La figure [Fig.2] illustre l'intervalle de temps dt entre deux activations A d'un moyen de lutte contre le givre 5, 6 en mode « dégivrage ». Cet intervalle de temps dt, également appelé durée dt entre deux activations est défini par l'équation suivante :

[0080] [Math.7]

$$dt = \frac{\tau}{IAR_{loc}} (s)$$

- $\tau$  : épaisseur de givre (en m).
- $IAR_{loc}$  : Taux d'accrétion du givre de la surface à protéger (en m/s).

[0081] On note que l'épaisseur de givre  $\tau$  doit être comprise entre un minimum d'épaisseur requis pour un dégivrage efficace et un maximum d'épaisseur tolérable pour la sécurité et garantissant des performances optimales du moyen de lutte contre le givre.

[0082] La connaissance du taux d'accrétion de givre permet de déclencher le moyen de lutte contre le givre à élément chauffant dans une fenêtre temporelle telle que l'épaisseur du dépôt de givre se situe entre ce seuil minimal (le minimum d'épaisseur requis pour un dégivrage efficace, notamment 2mm) et ce seuil maximal admissible pour la sécurité de l'aéronef (le maximum d'épaisseur tolérable, notamment 5mm). Le rythme des activations (e.g. des dégivrages) devient ainsi dépendant du taux d'accrétion de givre.

[0083] La figure [Fig.3] illustre l'évolution de l'épaisseur  $e$  de givre en fonction du temps, l'épaisseur minimale de givre  $e_{min}$ , l'épaisseur maximale de givre  $e_{max}$ , ainsi que la durée  $dt$  entre deux activations A du moyen de lutte contre le givre. A chaque activation du moyen de lutte contre le givre, l'épaisseur de givre est réduite à une valeur négligeable. Les courbes de tendance de l'accrétion de givre sont également représentées sur la figure [Fig.3]. Du fait de la croissance progressive du givre, on comprend que la durée d'intercycle  $dt$ , c'est-à-dire l'intervalle de temps entre deux activations, varie entre une valeur minimale  $dt_{min}$  lorsque la deuxième activation a lieu dès que l'épaisseur de givre est égale à la valeur minimale  $e_{min}$  et une valeur maximale  $dt_{max}$  lorsque la deuxième activation a lieu lorsque l'épaisseur de givre atteint la valeur maximale  $e_{max}$ . La durée  $dt$  entre deux activations du moyen de lutte contre le givre doit donc être choisie entre cette valeur minimale  $dt_{min}$  et la valeur maximale  $dt_{max}$ . Ce réglage de la durée  $dt$  résulte d'une stratégie qui permet d'optimiser la performance énergétique, sans compromettre la sécurité et les performances aérodynamiques de l'aéronef.

[0084] L'équation [Math 7] ci-dessus ne tient pas compte de la durée d'activation du moyen de lutte contre le givre. Cette durée d'activation devra être nettement inférieure à la durée  $dt$  de l'intercycle, (quelques secondes au maximum), de manière à limiter le nombre d'actionneurs activés en simultané sur l'ensemble de l'aéronef et conserver le gain énergétique apporté par le mode « dégivrage ». Il est à noter que la durée d'activation du moyen de lutte contre le givre n'a pas de lien avec l'IAR. De plus, cette durée est très dépendante de la technologie du moyen de lutte contre le givre.

[0085] La figure [Fig.4] illustre la différence entre la position 8 d'un moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre et la position 9 d'une surface à protéger. L'écoulement d'air

commun au moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre et à la surface à protéger est également illustré et référencé 10.

[0086] Comme le moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre  $IAR_{IDS}$  est installé dans une zone différente de la surface à protéger, il faut corrélérer la mesure du taux d'accrétion de givre  $IAR_{IDS}$  reçu du moyen de mesure 4 avec la valeur du taux d'accrétion de givre  $IAR_{loc}$  au niveau de la surface à protéger à appliquer dans l'équation [Math 7]. C'est ce qui permet de déterminer la durée d'intercycle dt la plus adaptée, c'est-à-dire l'intervalle de temps dt (ou) entre deux activations A du moyen de lutte contre le givre 5, 6, le plus adapté. L'équation suivante rend compte de cette corrélation.

[0087] [Math.8]

$$IAR_{loc} = C \cdot IAR_{IDS}$$

[0088] Le coefficient de corrélation  $C$  est donné par l'équation suivante :

[0089] [Math.9]

$$C = f(V_e, ATT, SAT)$$

[0090] Afin de déterminer la fonction  $f$  qui permet d'évaluer le coefficient  $C$ , les étapes de procédé suivantes peuvent être réalisées :

1. Identifier au moins une condition de vol les plus critiques pour l'aéronef,
2. Pour chaque condition de vol critique, réaliser une simulation aérodynamique et des simulations de captation d'eau de l'aéronef avec le moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre installé. Par simulation de captation d'eau, on entend une simulation diphasique dans un champ aérodynamique dans lequel on injecte une distribution de gouttes représentant un nuage givrant rencontré par l'aéronef.
3. Pour chaque condition de vol analysée et chaque simulation de captation, évaluer le taux d'accrétion de givre  $IAR_{IDS}$  mesuré par le moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre et le taux d'accrétion de givre  $IAR_{loc}$  de la surface à protéger. Pour l'évaluation du taux d'accrétion de la surface à protéger, on peut utiliser des formules analytiques telles que décrites dans la publication Messinger précitée (B. L. (1953). « *Equilibrium Temperature of an Unheated Icing Surface as a Function of Air Speed* ». Journal of the Aeronautical Sciences, 20(1), 29-42. doi: 10.2514/8.2520), ou réaliser des simulations d'accrétion de givre avec des outils dédiés.
4. Sur la base des résultats de ces simulations, utiliser une approche de type régression linéaire afin de déterminer une approximation polynomiale du coefficient  $C$ . L'équation suivante rend compte d'une telle régression linéaire :

[0091] [Math.10]

$$C = \frac{IAR_{loc}}{IAR_{IDS}} = b_0 + b_1TAS + b_2SAT + b_3ER + b_4ATT$$

- [0092] Les coefficients  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$  trouvés avec la méthodologie décrite ci-dessus sont valables uniquement pour l'aéronef analysé et la surface à protéger prise en considération.
- [0093] Connaissant le facteur de corrélation C, on peut déterminer la durée d'inter-cycle dt en fonction de la valeur du taux d'accrétion de givre  $IAR_{IDS}$  reçue du moyen de mesure 4 du taux d'accrétion de givre par application de l'équation suivante :
- [0094] [Math.11]  

$$dt = \frac{\tau}{C \cdot IAR_{IDS}}$$
- [0095] Comme indiqué précédemment, cette durée d'intercycle dt, entre deux activations du moyen de lutte contre le givre 5, 6, est comprise entre une durée minimale nécessaire pour qu'une épaisseur minimale de givre soit accumulée et une durée maximale correspondant à l'épaisseur maximale de givre acceptable pour la zone protégée.
- [0096] L'épaisseur minimale de givre correspond à l'épaisseur minimale nécessaire afin que l'actionneur soit dans son domaine d'efficacité. Notamment, lorsque le moyen de lutte contre le givre est un procédé mécanique, il est fréquent que son efficacité ne s'exerce qu'au-delà d'une épaisseur minimale de givre.
- [0097] L'épaisseur maximale de givre correspond à l'épaisseur maximale pouvant être traitée par le moyen de lutte contre le givre, au-delà de laquelle le moyen de lutte contre le givre n'a plus d'efficacité. Cependant, l'épaisseur maximale de givre correspond généralement à la valeur maximale tolérable par l'aéronef, pour une raison technique, de sécurité ou réglementaire.
- [0098] Dans un mode de réalisation, le moyen de commande 2 commande périodiquement un moyen 6 de lutte contre le givre à élément mécanique, dans un mode de commande « dégivrage », afin de briser le givre présent sur la surface protégée. La commande de tels moyens peut être employée seule ou en combinaison avec la commande de moyens 5 de lutte contre le givre à élément chauffant. Les morceaux de givre brisé sont ensuite emportés par l'écoulement d'air.
- [0099] Pour réaliser cela, le moyen de commande 2 détermine une durée d'intercycle dt, entre deux activations, par application de l'équation [Math 7] ci-dessus, de façon similaire à la détermination de la durée entre deux activations pour un moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant. La durée d'intercycle dt ainsi déterminée dépend alors des caractéristiques propres au moyen 6 de lutte contre le givre à élément mécanique, notamment les épaisseurs minimales et maximales de givre avec lesquelles le moyen 6 de lutte contre le givre à élément mécanique peut fonctionner. La durée dt ainsi déterminée, s'écoulant entre deux activations du moyen 6 de lutte contre le givre à élément mécanique peut ainsi être différente de la durée dt déterminée, s'écoulant entre deux activations d'un moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant. En

effet, par rapport à la détermination de la durée d'intercycle  $dt$  entre deux activations d'un moyen 5 de lutte contre le givre à élément chauffant, la taille des morceaux de givre brisé doit être prise en compte. Afin de limiter la taille des morceaux de givre ainsi emportés par l'action du moyen 6 de lutte contre le givre à élément mécanique, il convient de limiter la durée d'intercycle  $dt$  en fonction de l'IAR, de sorte que l'épaisseur de la glace brisée ne dépasse pas la limite autorisée.

## Revendications

- [Revendication 1] Procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre protégeant au moins une surface extérieure d'un aéronef, le dispositif étant muni d'au moins un moyen (5,6) de lutte contre le givre et d'un moyen de mesure (4) du taux d'accrétion de givre, comprenant des étapes de détermination d'au moins un paramètre d'activation du au moins un moyen (5,6) de lutte contre le givre en fonction du taux d'accrétion de givre déterminé par le moyen de mesure (4) afin de prévenir l'accrétion de givre sur la au moins une surface extérieure à protéger ou afin de réduire l'épaisseur de givre accrété sur la au moins une surface extérieure à protéger.
- [Revendication 2] Procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre dans un aéronef selon la revendication 1, le au moins un moyen de lutte contre le givre comprenant au moins un moyen (5) de lutte contre le givre à élément chauffant, le procédé de commande comprenant les étapes suivantes :
- détermination d'une densité de puissance dP fonction du taux d'accrétion de givre, de l'attitude de l'aéronef, de la vitesse d'écoulement et de l'air de la température environnementale totale reçus d'un calculateur de vol, et d'une consigne de température prédéterminée, et
  - commande d'un actionneur du au moins un moyen (5) de lutte contre le givre à élément chauffant de sorte qu'une puissance fonction de la densité de puissance déterminée soit transmise au moyen (5) de lutte contre le givre à élément chauffant de sorte à prévenir la formation de givre sur le moyen (5) de lutte contre le givre à élément chauffant.
- [Revendication 3] Procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre dans un aéronef selon la revendication 1 ou 2, le au moins un moyen de lutte contre le givre comprenant au moins un moyen (5) de lutte contre le givre à élément chauffant et/ou au moins un moyen (6) de lutte contre le givre à élément mécanique, le procédé de commande comprenant les étapes suivantes :
- Détermination d'une durée dt entre deux activations fonction du taux d'accrétion de givre, d'un facteur de corrélation entre

le taux d'accrétion de givre mesuré par la mesure (4) du taux d'accrétion de givre et le taux d'accrétion de givre au niveau de la surface extérieure à protéger, et de l'épaisseur de givre maximum tolérée,

- commande d'un actionneur d'un moyen de lutte contre le givre chaque fois que la durée dt déterminée entre deux activations est écoulée, de sorte à réduire l'épaisseur de givre formé sur la au moins une surface extérieure à protéger.

[Revendication 4] Procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre dans un aéronef selon l'une quelconque des revendication 1 à 3, dans lequel le facteur de corrélation dépend de l'attitude de l'aéronef, de la vitesse d'écoulement de l'air, de la température environnementale statique, de la vitesse de rotation du propulseur et de la vitesse vraie de l'aéronef.

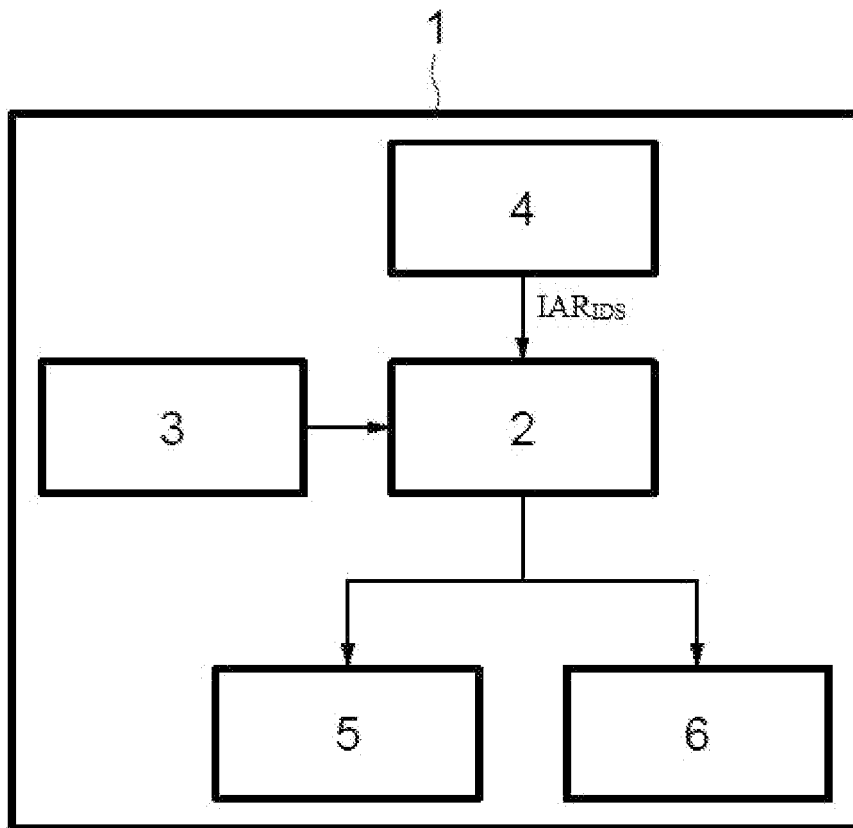
[Revendication 5] Procédé de commande d'un dispositif de lutte contre le givre dans un aéronef selon l'une quelconque des revendication 1 à 4, dans lequel la vitesse d'écoulement de l'air est égale à la vitesse vraie de l'aéronef lorsque le moyen de lutte contre le givre est disposé sur un bord d'attaque d'aile ou sur un empennage arrière d'un aéronef ou dépend de la vitesse vraie de l'aéronef et de la vitesse de rotation du propulseur lorsque le moyen de lutte contre le givre est disposé sur une entrée d'air moteur, une pale d'un moteur ou une pale de voilure tournante.

[Revendication 6] Système de commande d'un dispositif de lutte contre le givre protégeant au moins une surface extérieure d'un aéronef, le dispositif étant muni d'au moins un moyen (5,6) de lutte contre le givre et d'un moyen de mesure (4) du taux d'accrétion de givre, le système de commande comprenant un moyen de commande (2) connecté en entrée à un calculateur de vol (3), ledit calculateur de vol (3) étant connecté à un ensemble de moyens de mesure, comprenant notamment un moyen de mesure (4) du taux d'accrétion de givre, ledit calculateur de vol (3) étant connecté en sortie à au moins un desdits moyens (5,6) de lutte contre le givre, caractérisé en ce que le moyen de commande (2) est apte à exécuter le procédé de commande selon l'une quelconque des revendications 1 à 5.

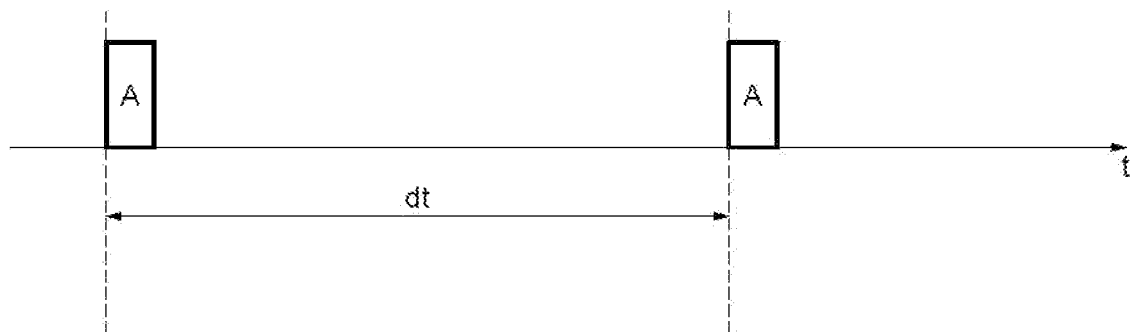
[Revendication 7] Système de commande selon la revendication 6, dans lequel un moyen (5,6) de lutte contre le givre est choisi parmi un moyen (5) de lutte contre le givre à élément chauffant et un moyen (6) de lutte contre le

givre à élément mécanique.

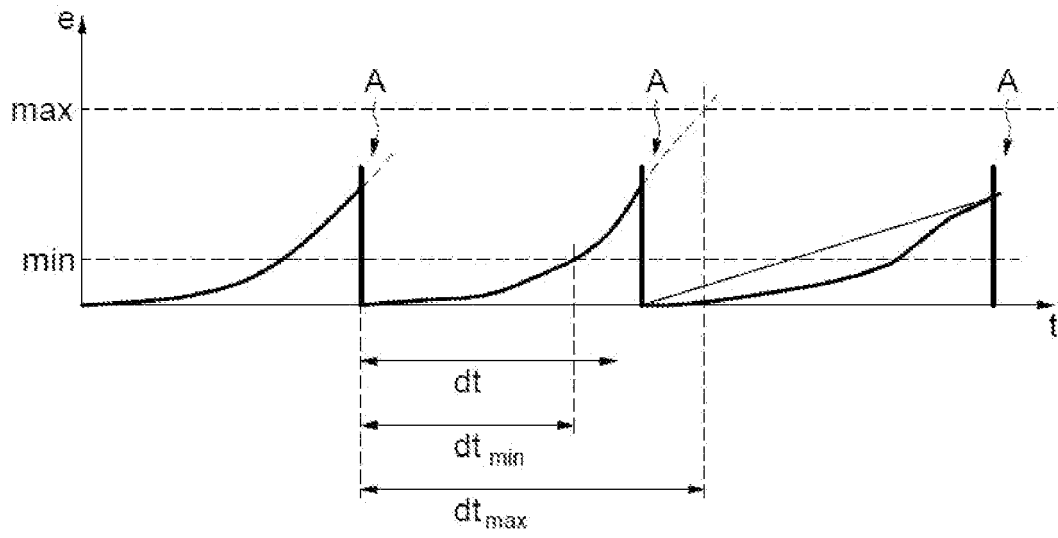
[Fig. 1]



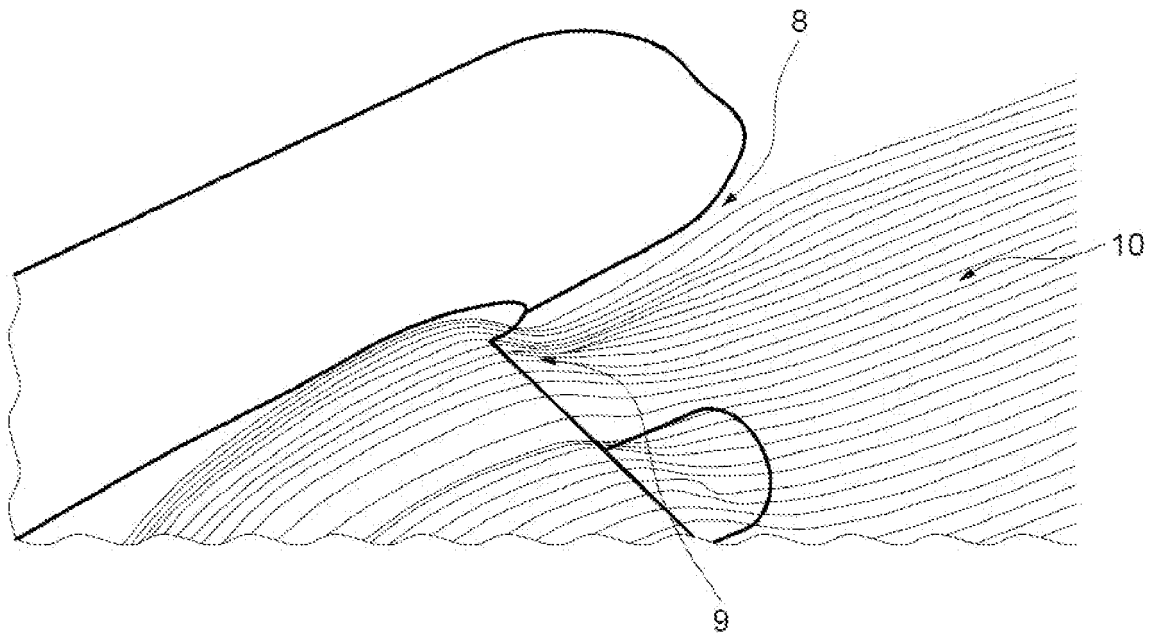
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 917384**  
**FR 2301227**

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	EP 1 968 854 B1 (COX & COMPANY INC [US]) 4 mai 2011 (2011-05-04)	1,3-7	B64D 15/22
Y	* alinéas [0014] - [0054]; figures 1-3, 6 *	2	
Y	----- US 2017/194545 A1 (DE ROCHEMONT L PIERRE [US]) 6 juillet 2017 (2017-07-06) * alinéas [0121] - [0125] *	2	
A	EP 2 657 133 A2 (GOODRICH CORP [US]) 30 octobre 2013 (2013-10-30) * alinéas [0014] - [0016]; figures 1-12 *	4,5	
A	US 2014/037446 A1 (GARNETT HAROLD E [US] ET AL) 6 février 2014 (2014-02-06) * alinéas [0033] - [0035]; figures 4, 5 *	4,5	
X	US 2019/061958 A1 (ROMAN JAMISON K [US] ET AL) 28 février 2019 (2019-02-28) * alinéas [0021], [0023] *	1,6,7	
X	FR 2 712 981 A1 (SEXTANT AVIONIQUE [FR]) 2 juin 1995 (1995-06-02) * le document en entier *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
X	US 3 621 714 A (PUCCINELLI ALFRED R) 23 novembre 1971 (1971-11-23) * le document en entier *	1	B64D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 août 2023		Dorpema, Huijb	
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 2301227 FA 917384**

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 **30-08-2023**  
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
<b>EP 1968854</b>	<b>B1</b>	<b>04-05-2011</b>	<b>AT 508047 T</b>	<b>15-05-2011</b>
			<b>CA 2615166 A1</b>	<b>30-08-2007</b>
			<b>EP 1968854 A2</b>	<b>17-09-2008</b>
			<b>US 2007170312 A1</b>	<b>26-07-2007</b>
			<b>US 2009072091 A1</b>	<b>19-03-2009</b>
			<b>WO 2007097772 A2</b>	<b>30-08-2007</b>
-----				
<b>US 2017194545</b>	<b>A1</b>	<b>06-07-2017</b>	<b>US 2013061605 A1</b>	<b>14-03-2013</b>
			<b>US 2017194545 A1</b>	<b>06-07-2017</b>
			<b>WO 2013033654 A1</b>	<b>07-03-2013</b>
-----				
<b>EP 2657133</b>	<b>A2</b>	<b>30-10-2013</b>	<b>BR 102013010356 A2</b>	<b>30-06-2015</b>
			<b>CA 2814061 A1</b>	<b>27-10-2013</b>
			<b>CN 103448912 A</b>	<b>18-12-2013</b>
			<b>EP 2657133 A2</b>	<b>30-10-2013</b>
			<b>US 2013284856 A1</b>	<b>31-10-2013</b>
-----				
<b>US 2014037446</b>	<b>A1</b>	<b>06-02-2014</b>	<b>BR 102013019800 A2</b>	<b>08-09-2015</b>
			<b>CA 2822652 A1</b>	<b>02-02-2014</b>
			<b>CN 103569366 A</b>	<b>12-02-2014</b>
			<b>EP 2692643 A2</b>	<b>05-02-2014</b>
			<b>US 2014037446 A1</b>	<b>06-02-2014</b>
			<b>US 2020391874 A1</b>	<b>17-12-2020</b>
-----				
<b>US 2019061958</b>	<b>A1</b>	<b>28-02-2019</b>	<b>EP 3460466 A2</b>	<b>27-03-2019</b>
			<b>EP 3567369 A1</b>	<b>13-11-2019</b>
			<b>KR 20190024696 A</b>	<b>08-03-2019</b>
			<b>US 2019061958 A1</b>	<b>28-02-2019</b>
-----				
<b>FR 2712981</b>	<b>A1</b>	<b>02-06-1995</b>	<b>CA 2135570 A1</b>	<b>26-05-1995</b>
			<b>FR 2712981 A1</b>	<b>02-06-1995</b>
			<b>GB 2284266 A</b>	<b>31-05-1995</b>
			<b>US 5575440 A</b>	<b>19-11-1996</b>
-----				
<b>US 3621714</b>	<b>A</b>	<b>23-11-1971</b>	<b>GB 1260089 A</b>	<b>12-01-1972</b>
			<b>US 3621714 A</b>	<b>23-11-1971</b>
-----				