

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 31.10.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.05.25 Bulletin 25/18.

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 Etablissement principal —
FR.

72 Inventeur(s) : HADJRIA Rafik, D'ALMEIDA Oscar et
GHODHBANE MASMOUDI Raouia.

73 Titulaire(s) : SAFRAN Etablissement principal.

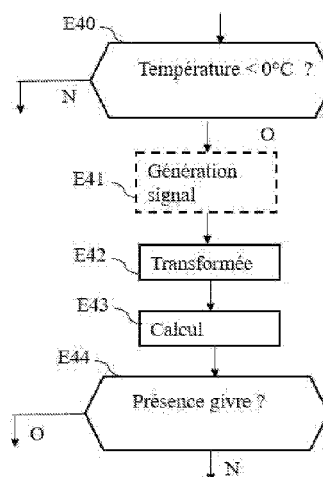
74 Mandataire(s) : LE GUEN & ASSOCIES.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE DETECTION DE LA PRESENCE DE GIVRE SUR UN ELEMENT D'UNE
STRUCTURE D'UN AERONEF.

57 La présente invention concerne un procédé et un dispositif de détection de la présence de givre sur un élément d'une structure d'un aéronef dans laquelle au moins un transducteur piézoélectrique est disposé sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef. Selon l'invention :

- on mesure (E42) un premier et un second signaux électriques reçus du au moins un transducteur piézoélectrique,
- on transpose (E42) la mesure du premier et du second signaux dans le domaine fréquentiel,
- on calcule (E43) une densité spectrale de chaque mesure transposée,
- on calcule (E43) un indicateur à partir des densités spectrales de la mesure du premier et du second signaux transposées,
- on compare (E44) la valeur de l'indicateur à un seuil prédéterminé et on détecte (E44) la présence ou non de givre sur l'élément de la structure de l'aéronef en fonction de la comparaison.

Figure à publier avec l'abrégé : Fig. 4



Description

Titre de l'invention : PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETECTION DE LA PRESENCE DE GIVRE SUR UN ELEMENT D'UNE STRUCTURE D'UN AERONEF

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé et un dispositif de détection de la présence de givre sur un élément d'une structure d'un aéronef.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[0002] Dans le domaine de l'aéronautique, le givrage en vol détruit la circulation normale de l'air, augmentant la traînée tout en diminuant la capacité de la structure à créer de la portance.

[0003] Le givre s'accumule sur toutes les surfaces exposées de l'aéronef.

[0004] Afin de pallier ce phénomène en vol, certains aéronefs sont équipés de systèmes d'antigivrage ou de dégivrage tels que par exemple des systèmes de réchauffage électrique, des systèmes de réchauffage par air, des systèmes mécaniques à base de boudins qui se gonflent sur les bords d'attaques des surfaces portantes pour casser la glace...

[0005] Aujourd'hui, la tendance est à une forte augmentation du diamètre des soufflantes, ce qui va proportionnellement augmenter la demande de puissance d'un dégivrage thermique. L'ensemble des tuyauteries haute pression et haute température va devenir de plus en plus difficile à faire cheminer dans ces nouveaux types de moteurs.

[0006] De plus, l'évolution des moteurs, en particulier la zone chaude, va les rendre de moins en moins aptes à fournir de grandes quantités d'air chaud pour le dégivrage. En conséquence, un système thermique sera difficilement transposable à dégivrer une pièce aéronautique telle qu'une entrée de moteur.

[0007] Afin de réaliser une fonction de dégivrage efficiente, il est important de pouvoir déclencher le système de dégivrage puis de l'arrêter aux moments opportuns.

[0008] Il est notamment souhaitable de fournir une solution qui permette de détecter rapidement l'apparition de givre ainsi que l'absence de givre après un dégivrage de manière à réduire au minimum la consommation énergétique liée à cette fonctionnalité.

Exposé de l'invention

[0009] Il est proposé un procédé de détection de la présence de givre sur un élément d'une structure d'un aéronef caractérisé en ce que au moins un transducteur piézoélectrique est disposé sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef, et en ce que le procédé comporte les étapes de :

[0010] - mesure d'un premier signal électrique reçu du au moins un transducteur piézo-

électrique,

- [0011] - transposition de la mesure du premier signal dans le domaine fréquentiel,
- [0012] - calcul d'une densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- [0013] - mesure d'un second signal électrique reçu du au moins un transducteur piézo-électrique dans une bande de fréquence,
- [0014] - transposition de la mesure du second signal dans le domaine fréquentiel,
- [0015] - calcul d'une densité spectrale de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- [0016] - calcul d'un indicateur à partir de la densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- [0017] - comparaison de la valeur de l'indicateur à un seuil prédéterminé,
- [0018] - détection de la présence ou non de givre sur l'élément de la structure de l'aéronef en fonction de la comparaison.
- [0019] L'invention concerne aussi un dispositif de détection de la présence de givre sur un élément d'une structure d'un aéronef caractérisé en ce que au moins un transducteur piézoélectrique est disposé sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef, et en ce que le dispositif comporte :
- [0020] - des moyens de mesure d'un premier signal électrique reçu du au moins un transducteur piézoélectrique,
- [0021] - des moyens de transposition de la mesure du premier signal dans le domaine fréquentiel,
- [0022] - calcul d'une densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- [0023] - des moyens de mesure d'un second signal électrique reçu du au moins un transducteur piézoélectrique dans une bande de fréquence,
- [0024] - des moyens de transposition de la mesure du second signal dans le domaine fréquentiel,
- [0025] - des moyens de calcul d'une densité spectrale de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- [0026] - des moyens de calcul d'un indicateur à partir de la densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- [0027] - des moyens de comparaison de la valeur de l'indicateur à un seuil prédéterminé,
- [0028] - des moyens de détection de la présence ou non de givre sur l'élément de la structure de l'aéronef en fonction de la comparaison.
- [0029] Ainsi la présente invention permet de détecter rapidement l'apparition de givre ainsi

que l'absence de givre après un dégivrage de manière à réduire au minimum la consommation énergétique liée à cette fonctionnalité. De plus, de par l'utilisation d'au moins un transducteur piézoélectrique, l'encombrement du dispositif de détection est réduit et permet de disposer le dispositif sur des éléments de la structure de l'aéronef pour lesquels les solutions de l'état de la technique ne sont pas adaptées.

- [0030] Selon un mode de réalisation particulier, une pluralité de transducteurs piézoélectriques sont disposés sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef, au moins un transducteur piézoélectrique est excité par un signal électrique dans une bande de fréquence et les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées pour les signaux reçus de chaque transducteur piézoélectrique qui n'est pas excité par le signal électrique dans la bande de fréquence.
- [0031] Ainsi la détection est précise et est adaptée à des éléments de la structure de l'aéronef de taille importante.
- [0032] Selon un mode de réalisation particulier, l'indicateur est calculé selon la formule suivante :

$$ID_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} |S_{y_i y_i}(f)_{TA-1} - S_{y_i y_i}(f)_{TA}|}{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_i y_i}(f)_{TA-1}}$$

- [0033] où $S_{y_i y_i}(f)_{TA-1}$ et $S_{y_i y_i}(f)_{TA}$ sont respectivement les densités spectrales calculées pour la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et pour la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel, f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence, f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence et N est le nombre de transducteurs piézoélectriques.
- [0034] Ainsi la détection est simple et précise.
- [0035] Selon un mode de réalisation particulier, l'indicateur est calculé selon la formule suivante :

$$ID'_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} |H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1} - H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA}|}{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1}}$$

- [0036] où $H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1} = \frac{S_{uy_i}(f)}{S_{uu}(f)}$ avec $S_{uy_i}(f)$ est la densité spectrale du premier signal électrique reçu d'un transducteur piézoélectrique non excité par le signal électrique et $S_{uu}(f)$ est la densité spectrale du premier signal électrique excitant le transducteur piézoélectrique, $H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA} = \frac{S_{uy_i}(f)}{S_{uu}(f)}$ avec $S_{uy_i}(f)$ est la densité spectrale du second signal électrique reçu d'un transducteur piézoélectrique non excité

par le signal électrique et $S_{uu}(f)$ est la densité spectrale du second signal électrique excitant le transducteur piézoélectrique, f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence, f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence et N est le nombre de transducteurs piézoélectriques.

[0037] Selon un mode de réalisation particulier, une pluralité de transducteurs piézo-électriques sont disposés sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef et les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées pour les signaux reçus de chaque transducteur piézoélectrique.

[0038] Ainsi la précision de la détection est augmentée.

[0039] Selon un mode de réalisation particulier, l'indicateur est calculé selon la formule suivante :

$ID_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_{pi}}(f)_{TA-1} - S_{y_{pi}}(f)_{TA} }{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_{pi}}(f)_{TA-1}}$	
--	--

[0040] où $S_{y_{pi}}(f)_{TA-1}$ et $S_{y_{pi}}(f)_{TA}$ sont respectivement les densités spectrales calculées pour la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et pour la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel, f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence, f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence et N est le nombre de transducteurs piézoélectriques.

[0041] Selon un mode de réalisation particulier, les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées avec une périodicité comprise en 1 et 10 minutes.

[0042] Ainsi la précision de la détection est augmentée.

[0043] Selon un mode de réalisation particulier, les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées uniquement si la température mesurée par un capteur de température est négative.

[0044] Ainsi la présente invention est peu énergivore.

[0045] Il est également proposé un programme d'ordinateur qui peut être stocké sur un support et/ou téléchargé d'un réseau de communication, afin d'être lu par un processeur. Ce programme d'ordinateur comprend des instructions pour implémenter le procédé réalisé par une passerelle internet, tel que mentionné ci-dessus, lorsque ledit programme est exécuté par le processeur. L'invention concerne également un support de stockage d'informations stockant un tel programme d'ordinateur.

Brève description des dessins

[0046] Les caractéristiques de l'invention mentionnées ci-dessus, ainsi que d'autres, apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'au moins un exemple

de réalisation, ladite description étant faite en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

- [0047] [Fig.1] illustre un exemple d'un élément d'une structure d'aéronef sur lequel des transducteurs piézoélectriques sont disposés selon la présente invention ;
- [0048] [Fig.2a] illustre un premier mode de réalisation d'un système de détection de la présence ou de l'absence de givre selon la présente invention ;
- [0049] [Fig.2b] illustre un premier mode de réalisation d'un système de détection de la présence ou de l'absence de givre selon la présente invention ;
- [0050] [Fig.3] illustre schématiquement un exemple d'agencement matériel d'un dispositif de traitement selon la présente invention ;
- [0051] [Fig.4] illustre schématiquement un exemple d'algorithme exécuté par un dispositif de traitement selon la présente invention ;
- [0052] [Fig.5] illustre un exemple de mesures de signaux obtenus d'un transducteur piézoélectrique dans le cas où du givre est présent ou non sur un élément El de la structure de l'aéronef.

[0053] EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION

- [0054] La [Fig.1] illustre un exemple d'un élément d'une structure d'aéronef sur lequel des transducteurs piézoélectriques sont disposés selon la présente invention.
- [0055] L'élément El de la structure de l'aéronef est par exemple une lèvre entrée d'air d'un moteur.
- [0056] Sur l'élément El de la structure de l'aéronef sont disposés N transducteurs piézoélectriques Pz1, Pz2 à PzN, où N est un entier.
- [0057] La piézoélectricité est une propriété basée sur la capacité de certains cristaux à générer des charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une déformation mécanique ; c'est l'effet piézoélectrique direct (mode capteur). Par contre, ces mêmes cristaux engendrent une déformation sous l'action d'un champ électrique ; c'est l'effet piézoélectrique inverse (mode actionneur). L'opération par laquelle la céramique est rendue piézoélectrique s'appelle polarisation. Elle consiste à chauffer le matériau au voisinage inférieur de la température de Curie (pour les titano-zirconates de plomb (PZT), cette température est de l'ordre de 200°C). La céramique est ensuite refroidie sous un champ électrique élevé. Cela a pour effet d'aligner les dipôles dans le sens du champ électrique. Finalement, lorsque le champ électrique est ramené à zéro, les dipôles conservent leur position dans chaque domaine cristallin.
- [0058] Les matériaux piézoélectriques les plus employés en industrie sont les céramiques synthétiques PZT en raison de leurs forts couplages électromécaniques, de leurs faibles coûts et de la diversité de leurs formes et volumes. Ainsi, ils sont facilement intégrables sur des pièces aéronautiques sans risque de perturber l'écoulement de l'air dans le moteur.

- [0059] Selon le premier mode de réalisation, au moins un des transducteurs piézoélectriques est dans un mode dit actif, c'est-à-dire que celui-ci est excité par un signal électrique qui engendre des déformations sous l'action d'un champ électrique. Les autres transducteurs piézoélectriques sont dans un mode dit passif, c'est-à-dire que ceux-ci génèrent des charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une déformation mécanique générée par le transducteur piézoélectrique actif.
- [0060] Selon le second mode de réalisation, tous les transducteurs piézoélectriques sont dans un mode dit passif, c'est-à-dire que ceux-ci génèrent des charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une déformation mécanique générée par les éléments mécaniques en mouvement proches de la structure d'aéronef sur lequel des transducteurs piézoélectriques sont disposés.
- [0061] La [Fig.2a] illustre un premier mode de réalisation d'un système de détection de la présence ou de l'absence de givre selon la présente invention.
- [0062] Selon le premier mode de réalisation, un des transducteurs piézoélectriques, par exemple le transducteur piézoélectrique Pz1 est dans le mode dit actif.
- [0063] Les autres transducteurs piézoélectriques Pz2 à PzN sont dans un mode dit passif.
- [0064] Le transducteur piézoélectrique Pz1 est excité par un signal électrique généré par un générateur Gen qui engendre des déformations du transducteur piézoélectrique Pz1 sous l'action d'un champ électrique.
- [0065] Le générateur Gen génère un signal électrique dans une bande de fréquence donnée. Le signal électrique est un signal de balayage en fréquence, par exemple dans une bande de fréquence comprise entre 100 Hz et 5 kHz . Il convient de préciser que le choix de cette bande de fréquence est lié au type de l'élément de la structure de l'aéronef, de sa dynamique vibratoire et de la fréquence d'échantillonnage pour respecter le théorème de Shannon.
- [0066] Les transducteurs piézoélectriques Pz2 à PzN sont dans le mode passif, c'est-à-dire que ceux-ci génèrent des charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une déformation mécanique générée par le transducteur piézoélectrique actif.
- [0067] Les charges électriques générées par chaque transducteur Pz2 à PzN sont traitées par une unité de traitement Trai.
- [0068] Le transducteur piézoélectrique Pz1 est en mode actif et est excité avec un signal électrique noté (u) dans une bande de fréquence déterminée et les transducteurs piézoélectriques Pz2 à PzN captent les vibrations générées par le transducteur piézoélectrique Pz1 et les transforment en signaux électriques notés $(y_i \text{ avec } i = 2 \dots N)$. Le dispositif de traitement Trai reçoit les signaux électriques, les mesurent et mémorise les mesures pour un traitement. Ces mesures sont notées $(y_i \text{ } i = 2 \dots N)$. Les signaux sont mesurés avec une fréquence d'échantillonnage f_e et avec une durée de mesure

définie ainsi :

$t = \frac{1}{f_e} M$	
-----------------------	--

- [0069] où M est le nombre d'échantillons ; définis avec une puissance de 2. Ce choix est lié à l'optimisation de l'algorithme de la transformée de Fourier ; nécessaire à extraire des caractéristiques de fonctionnement.
- [0070] Le dispositif de traitement Trai comporte un module de calcul d'une transformée de fourrier Trans, par exemple un module de calcul de transformée de fourrier rapide noté FFT qui transpose dans le domaine fréquentiel les mesures qui dans un mode particulier ont été filtrées pour ne comprendre que les signaux compris dans la bande de fréquence du signal généré par le générateur Gen.
- [0071] Le module de traitement Trai comporte un capteur de température Temp qui permet de déterminer si la température de l'élément de la structure de l'aéronef est proche de 0°C.
- [0072] Le module de traitement Trai comporte une unité de calcul Cal.
- [0073] L'unité de calcul Cal détermine une densité spectrale pour chaque signal transformé notée $S_{y_i y_i}(f)$.
- [0074] Le module de traitement Trai comporte une unité de décision Dec qui calcule, pour chaque densité spectrale calculée:

$ID_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_i y_i}(f)_{TA-1} - S_{y_i y_i}(f)_{TA} }{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_i y_i}(f)_{TA-1}}$	
---	--

- [0075] où $S_{y_i y_i}(f)_{TA-1}$ et $S_{y_i y_i}(f)_{TA}$ sont respectivement les densités spectrales calculées aux intervalles de temps $(TA - 1)$ et TA , f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence et f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence.
- [0076] L'unité de décision Dec détermine si du givre est présent et si l'indicateur ID_1 est supérieur à un premier seuil prédéterminé. Le seuil prédéterminé est par exemple égal à 0,95. Si à l'itération précédente, aucun givre n'avait été détecté comme présent, le module de décision Dec commande, si l'indicateur ID_1 est supérieur au premier seuil prédéterminé, une procédure de dégivrage de l'élément de la structure de l'aéronef.
- [0077] Si à l'itération précédente, du givre n'avait été détecté comme présent, le module de décision Dec commande, si l'indicateur ID_1 est inférieur au premier seuil prédéterminé l'arrêt de la procédure de dégivrage de l'élément El de la structure de l'aéronef.
- [0078] Un exemple de technique de dégivrage est divulgué dans le brevet EP2209715.
- [0079] Il est à remarquer ici que l'acquisition de mesures et leur traitement est effectuée avec une périodicité de 1mn à 10mn.

[0080] Dans un mode particulier du premier mode de réalisation, l'unité de calcul Cal détermine une densité inter-spectrale pour chaque signal transformé notée $S_{u_i y_i}(f)$.

[0081] L'unité de calcul Cal comporte en mémoire une densité spectrale $S_{uu}(f)$ du signal généré par le générateur Gen.

[0082] L'unité de calcul Cal détermine le rapport $H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f) = \frac{S_{u_i y_i}(f)}{S_{uu}(f)}$

[0083] Où $S_{u_i y_i}(f)$ est la densité inter-spectrale entre le transducteur piézoélectrique Pz1 et le transducteur piézoélectrique Pzi.

[0084] L'unité de décision Dec calcule pour chaque densité spectrale calculée:

$ID'_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} \{H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1} - H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA}\}}{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} H_{nacl \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1}}$	
---	--

[0085] L'unité de décision Dec détermine si du givre est présent et si l'indicateur ID'_1 est supérieur à un second seuil prédéterminé. Le seuil prédéterminé est par exemple égal à 0,95. Si à l'itération précédente, aucun givre n'avait été détecté comme présent, le module de décision Dec commande, si l'indicateur ID'_1 est supérieur au second seuil prédéterminé, une procédure de dégivrage de l'élément El de la structure de l'aéronef.

[0086] Si à l'itération précédente, du givre n'avait été détecté comme présent, le module de décision Dec commande, si l'indicateur ID'_1 est inférieur au second seuil prédéterminé l'arrêt de la procédure de dégivrage de l'élément El de la structure de l'aéronef.

[0087] La [Fig.2b] illustre un second mode de réalisation d'un système de détection de la présence ou de l'absence de givre selon la présente invention.

[0088] Les transducteurs piézoélectriques Pz1 à PzN sont dans le mode passif, c'est-à-dire que ceux-ci génèrent des charges électriques lorsqu'ils sont soumis à une déformation mécanique générée par les éléments mécaniques en mouvement proches de la structure d'aéronef sur lequel des transducteurs piézoélectriques sont disposés.

[0089] Les charges électriques générées par chaque transducteur Pz1 à PzN sont traitées par une unité de traitement Trai.

[0090] Les transducteurs piézoélectriques Pz1 à PzN captent les vibrations liées à l'élément El de structure de l'aéronef et les transforment en signaux électriques notés (y_i avec $i = 1 \dots N$). Le dispositif de traitement Trai reçoit les signaux électriques, les mesurent et mémorise les mesures pour un traitement. Ces mesures sont notées (y_i avec $i = 1 \dots N$). Les signaux sont mesurés avec une fréquence d'échantillonnage f_e et avec une durée de mesure définie ainsi :

$t = \frac{1}{f_e} M$	
-----------------------	--

[0091] où M est le nombre d'échantillons ; définis avec une puissance de 2. Ce choix est lié

à l'optimisation de l'algorithme de la transformée de Fourier ; nécessaire à extraire des caractéristiques de fonctionnement.

- [0092] Le dispositif de traitement Trai comporte un module de calcul Trans d'une transformée de fourrier, par exemple un module de calcul de transformée de fourrier rapide noté FFT qui transpose dans le domaine fréquentiel les mesures qui dans un mode particulier ont été filtrées pour ne comprendre que les signaux compris par exemple dans la bande de fréquence comprise entre 100 Hz et 5 kHz .
- [0093] Le module de traitement Trai comporte un capteur de température Temp qui permet de déterminer si la température de l'élément de la structure de l'aéronef est proche de 0°C .
- [0094] Le module de traitement Trai comporte une unité de calcul Cal.
- [0095] L'unité de calcul Cal détermine une densité spectrale pour chaque signal transformé notée $S_{y_i y_i}(f)$.
- [0096] Le module de traitement Trai comporte une unité de décision Dec qui calcule, pour chaque densité spectrale calculée:

$ID_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_i y_i}(f)_{TA-1} - S_{y_i y_i}(f)_{TA} }{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_i y_i}(f)_{TA-1}}$	
---	--

- [0097] où $S_{y_i y_i}(f)_{TA-1}$ et $S_{y_i y_i}(f)_{TA}$ sont respectivement les densités spectrales calculées aux intervalles de temps $(TA - 1)$ et TA , f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence et f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence.
- [0098] L'unité de décision Dec détermine si du givre est présent et si l'indicateur ID_2 est supérieur à un troisième seuil prédéterminé. Le seuil prédéterminé est par exemple égal à 0,95. Si à l'itération précédente, aucun givre n'avait été détecté comme présent, le module de décision Dec commande, si l'indicateur ID_2 est supérieur au troisième seuil prédéterminé une procédure de dégivrage de l'élément de la structure de l'aéronef.
- [0099] Si à l'itération précédente, du givre n'avait été détecté comme présent, le module de décision Dec commande, si l'indicateur ID_2 est inférieur au second seuil prédéterminé l'arrêt de la procédure de dégivrage de l'élément de la structure de l'aéronef.
- [0100] Un exemple de technique de dégivrage est divulgué dans le brevet EP2209715.
- [0101] Il est à remarquer ici que l'acquisition de mesures et leur traitement sont effectués avec une périodicité de 1mn à 10mn.
- [0102] La [Fig.3] illustre schématiquement un exemple d'agencement matériel d'un dispositif de traitement selon la présente invention.
- [0103] L'exemple d'agencement matériel présenté comporte, reliés par un bus de communication 201 : un processeur Proc 300 ; une mémoire vive RAM (« Random Access

Memory » en anglais) 303 ; une mémoire morte ROM (« Read Only Memory » en anglais) 302 ou une mémoire Flash et une interface entrée/sortie 306.

- [0104] L'interface entrée/sortie 306 permet d'obtenir les signaux des transducteurs piézo-électriques PZ2 à PZN selon le premier mode de réalisation ou des transducteurs piézoélectriques PZ1 à PZN selon le second mode de réalisation.
- [0105] Le processeur CPU 301 est capable d'exécuter des instructions chargées dans la mémoire RAM 303 à partir de la mémoire ROM 302, d'une mémoire externe (telle qu'une carte SD), d'un support de stockage (tel que le disque dur HDD), ou d'un réseau de communication. Lors de la mise sous tension du module de traitement Trai, le processeur Proc 300 est capable de lire dans la mémoire RAM 303 des instructions et de les exécuter. Ces instructions forment un programme d'ordinateur causant la mise en œuvre, par le processeur Proc 300, de tout ou partie des comportements, algorithmes et étapes décrits ici.
- [0106] Ainsi, tout ou partie des algorithmes et étapes décrits ici peut être implémenté sous forme logicielle par exécution d'un ensemble d'instructions par une machine programmable, telle qu'un DSP (« Digital Signal Processor » en anglais) ou un micro-contrôleur ou un processeur. Tout ou partie des algorithmes et étapes décrits ici peut aussi être implémenté sous forme matérielle par une machine ou un composant (« chip » en anglais), tel qu'un FPGA (« Field-Programmable Gate Array » en anglais) ou un ASIC (« Application-Specific Integrated Circuit » en anglais). Ainsi, le contrôleur Proc 300 comporte de la circuiterie électronique adaptée et configurée pour implémenter les comportements, algorithmes et étapes décrits ici.
- [0107] La [Fig.4] illustre schématiquement un exemple d'algorithme exécuté par un dispositif de traitement selon la présente invention.
- [0108] Le présent algorithme est exécuté avec une périodicité comprise entre 1 et 10 minutes.
- [0109] A l'étape E40, le dispositif de traitement Trai vérifie si la température mesurée par le capteur de température Temp est négative.
- [0110] Dans l'affirmative, le dispositif de traitement Trai passe à l'étape E41 selon le premier mode de réalisation ou à l'étape E42 selon le second mode de réalisation. Dans la négative, le dispositif de traitement Trai interrompt le présent algorithme.
- [0111] A l'étape E41, le dispositif de traitement Trai commande le générateur Gen pour que celui-ci génère un signal de balayage dans une bande de fréquence donnée et passe à l'étape E42.
- [0112] A l'étape E42, le dispositif de traitement Trai reçoit les signaux électriques des transducteurs piézoélectriques PZ2 à PZN selon le premier mode de réalisation ou des transducteurs piézoélectriques PZ1 à PZN selon le second mode de réalisation. Les signaux sont mesurés avec une fréquence d'échantillonnage f_e et avec une durée de

mesure définie ainsi :

$t = \frac{1}{f_e} M$	
-----------------------	--

- [0113] Le dispositif de traitement Trai effectue à cette même étape un calcul d'une transformée de fourrier qui transpose dans le domaine fréquentiel les mesures qui dans un mode particulier ont été filtrées pour ne comprendre que les signaux compris dans la bande de fréquence donnée.
- [0114] A l'étape E43, le module de traitement Trai détermine une densité spectrale ou une densité inter-spectrale pour chaque signal transformé comme décrit en référence de la [Fig.2a] ou 2b. et un indicateur ID_1 ou ID'_1 ou ID_2 comme décrit en référence de la [Fig.2a] ou 2b.
- [0115] A l'étape E44, le module de traitement Trai détermine si du givre est présent ou non en comparant l'indicateur ID_1 au premier seuil prédéterminé ou en comparant l'indicateur ID'_1 au second seuil prédéterminé ou en comparant l'indicateur ID_2 au troisième seuil prédéterminé.
- [0116] La [Fig.5] illustre un exemple de mesures de signaux obtenus d'un transducteur piézoélectrique dans le cas où du givre est présent ou non sur un élément El de la structure de l'aéronef.
- [0117] Les mesures sont effectuées dans une bande de fréquence comprise entre 0Hz et 20KHz.
- [0118] Sur l'axes des ordonnées sont représentées les amplitudes des signaux mesurés exprimées en dB.
- [0119] La courbe en traits pointillés représente les signaux mesurés lorsqu'aucun givre n'est présent sur l'élément de la structure de l'aéronef et la courbe en traits pleins représente les signaux mesurés lorsqu'une épaisseur de 2mm de givre est présente sur l'élément de la structure de l'aéronef.
- [0120] Comme le montre ces courbes, les densités spectrales ou inter-spectrales sont différentes dans la bande de fréquence et il est ainsi possible de déterminer si du givre est présent ou non en comparant l'indicateur ID_1 au premier seuil prédéterminé ou en comparant l'indicateur ID'_1 au second seuil prédéterminé ou en comparant l'indicateur ID_2 au troisième seuil prédéterminé.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de détection de la présence de givre sur un élément d'une structure d'un aéronef caractérisé en ce que au moins un transducteur piézoélectrique est disposé sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef, et en ce que le procédé comporte les étapes de :

- mesure (E42) d'un premier signal électrique reçu du au moins un transducteur piézoélectrique,
- transposition (E42) de la mesure du premier signal dans le domaine fréquentiel,
- calcul (E43) d'une densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- mesure (E42) d'un second signal électrique reçu du au moins un transducteur piézoélectrique dans une bande de fréquence,
- transposition (E42) de la mesure du second signal dans le domaine fréquentiel,
- calcul (E43) d'une densité spectrale de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- calcul (E43) d'un indicateur à partir de la densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- comparaison (E44) de la valeur de l'indicateur à un seuil prédéterminé,
- détection (E44) de la présence ou non de givre sur l'élément de la structure de l'aéronef en fonction de la comparaison.

[Revendication 2]

Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une pluralité de transducteurs piézoélectriques sont disposés sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef, au moins un transducteur piézoélectrique est excité par un signal électrique dans une bande de fréquence et en ce que les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées pour les signaux reçus de chaque transducteur piézoélectrique qui n'est pas excité par le signal électrique dans la bande de fréquence.

[Revendication 3]

Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'indicateur est calculé selon la formule suivante :

$ID_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{t=2}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_{N_t}}(f)_{TA-1} - S_{y_{N_t}}(f)_{TA} }{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_{N_t}}(f)_{TA-1}}$	
---	--

où $S_{y_{pi}}(f)_{TA-1}$ et $S_{y_{pi}}(f)(f)_{TA}$ sont respectivement les densités spectrales calculées pour la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et pour la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel, f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence, f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence et N est le nombre de transducteurs piézoélectriques.

[Revendication 4]

Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'indicateur est calculé selon la formule suivante :

$ID'_1 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1} - H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA} }{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} H_{nact \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1}}$	
---	--

où $H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA-1} = \frac{S_{uy_i}(f)}{S_{uu}(f)}$ avec $S_{uy_i}(f)$ est la densité spectrale du

premier signal électrique reçu d'un transducteur piézoélectrique non excité par le signal électrique et $S_{uu}(f)$ est la densité spectrale du premier signal électrique excitant le transducteur piézoélectrique,

$H_{Pz1 \rightarrow Pzi}(f)_{TA} = \frac{S_{uy_i}(f)}{S_{uu}(f)}$ avec $S_{uy_i}(f)$ est la densité spectrale du

second signal électrique reçu d'un transducteur piézoélectrique non excité par le signal électrique et $S_{uu}(f)$ est la densité spectrale du second signal électrique excitant le transducteur piézoélectrique, f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence, f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence et N est le nombre de transducteurs piézoélectriques.

[Revendication 5]

Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une pluralité de transducteurs piézoélectriques sont disposés sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef et en ce que les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées pour les signaux reçus de chaque transducteur piézoélectrique.

[Revendication 6]

Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'indicateur est calculé selon la formule suivante :

$ID_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_{pi}}(f)_{TA-1} - S_{y_{pi}}(f)_{TA} }{\sum_{f_{stop}}^{f_{start}} S_{y_{pi}}(f)_{TA-1}}$	
--	--

où $S_{y_{pi}}(f)_{TA-1}$ et $S_{y_{pi}}(f)(f)_{TA}$ sont respectivement les densités spectrales calculées pour la mesure du premier signal transposée dans le

domaine fréquentiel et pour la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel, f_{start} est la fréquence basse de la bande de fréquence, f_{stop} est la fréquence haute de la bande de fréquence et N est le nombre de transducteurs piézoélectriques.

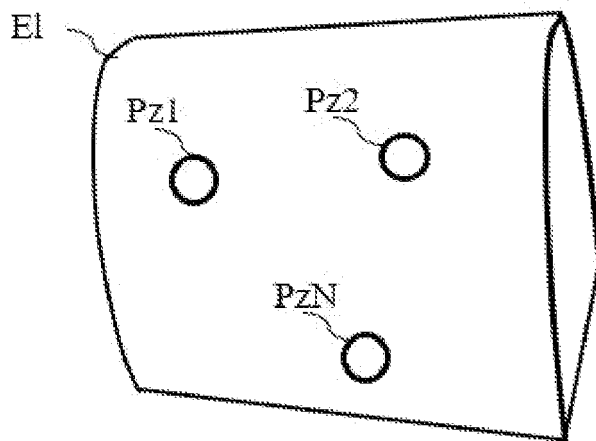
[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées avec une périodicité comprise en 1 et 10 minutes.

[Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les étapes de mesures, de transposition, de calcul, de comparaison et de détection sont effectuées uniquement si la température mesurée par un capteur de température est négative.

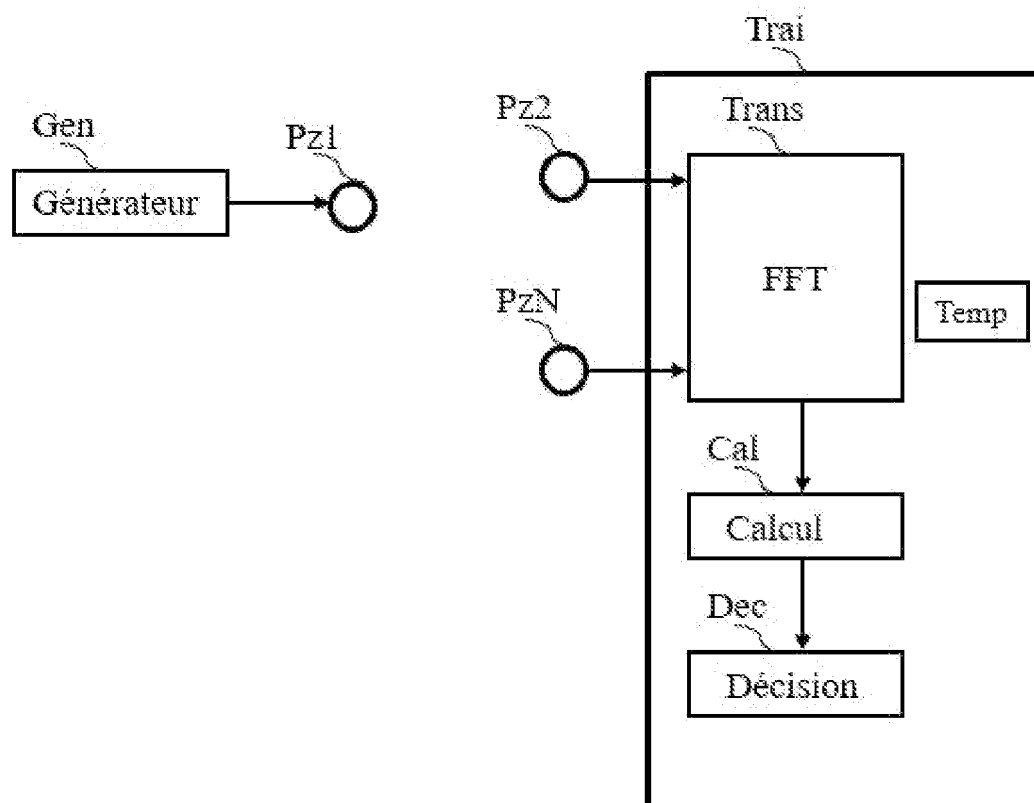
[Revendication 9] Dispositif de détection de la présence de givre sur un élément d'une structure d'un aéronef caractérisé en ce que au moins un transducteur piézoélectrique est disposé sur la surface de l'élément de la structure de l'aéronef, et en ce que le dispositif comporte :

- des moyens de mesure d'un premier signal électrique reçu du au moins un transducteur piézoélectrique,
- des moyens de transposition de la mesure du premier signal dans le domaine fréquentiel,
- calcul d'une densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- des moyens de mesure d'un second signal électrique reçu du au moins un transducteur piézoélectrique dans une bande de fréquence,
- des moyens de transposition de la mesure du second signal dans le domaine fréquentiel,
- des moyens de calcul d'une densité spectrale de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- des moyens de calcul d'un indicateur à partir de la densité spectrale de la mesure du premier signal transposée dans le domaine fréquentiel et de la mesure du second signal transposée dans le domaine fréquentiel,
- des moyens de comparaison de la valeur de l'indicateur à un seuil prédéterminé,
- des moyens de détection de la présence ou non de givre sur l'élément de la structure de l'aéronef en fonction de la comparaison.

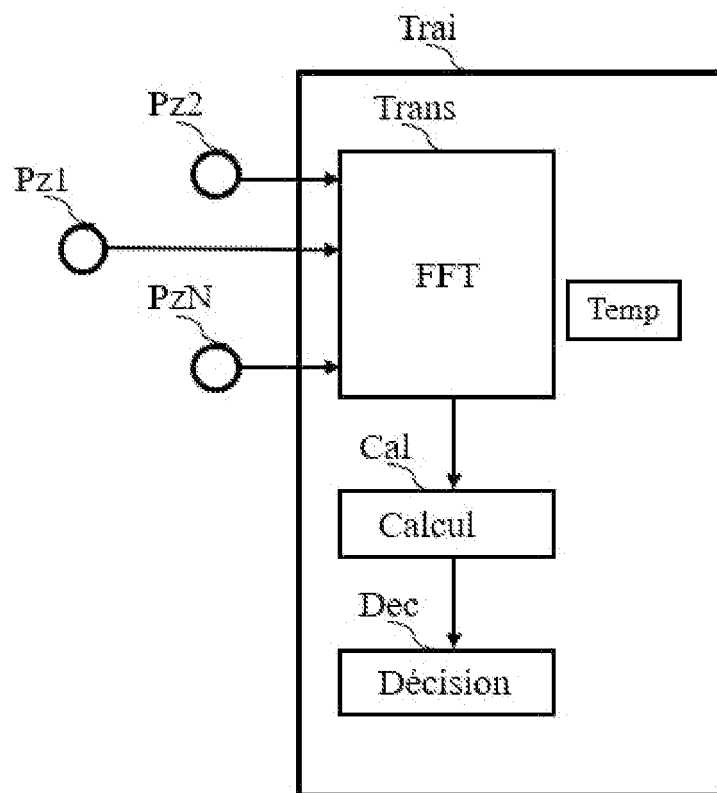
[Fig. 1]



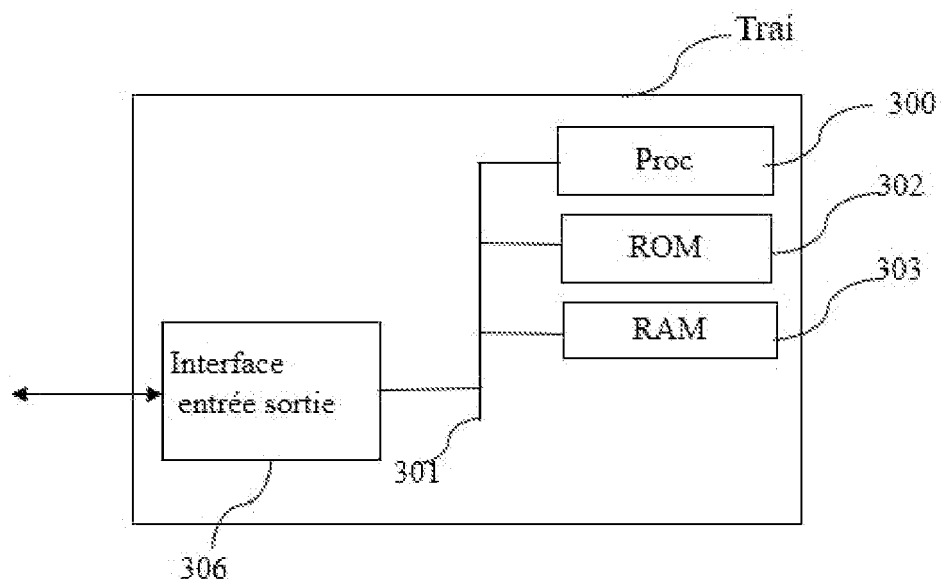
[Fig. 2a]



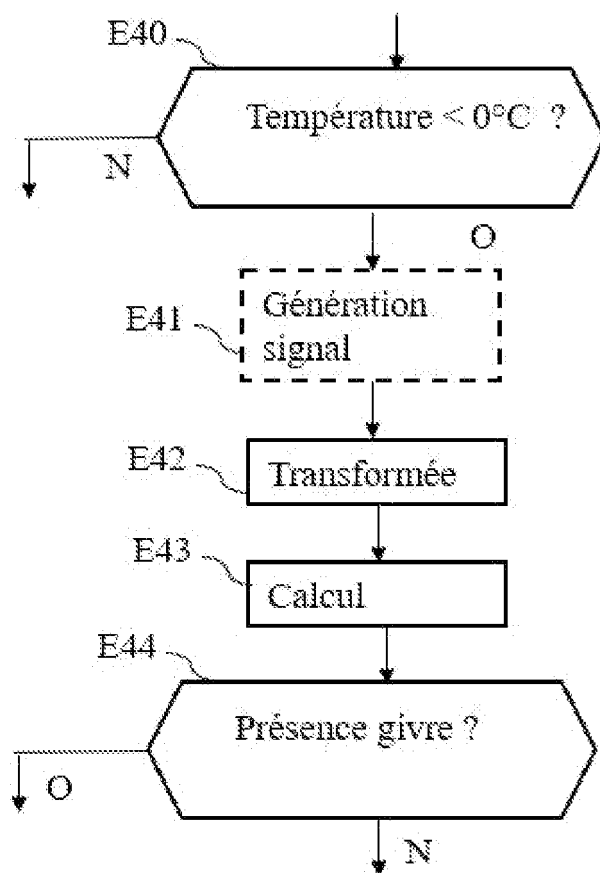
[Fig. 2b]



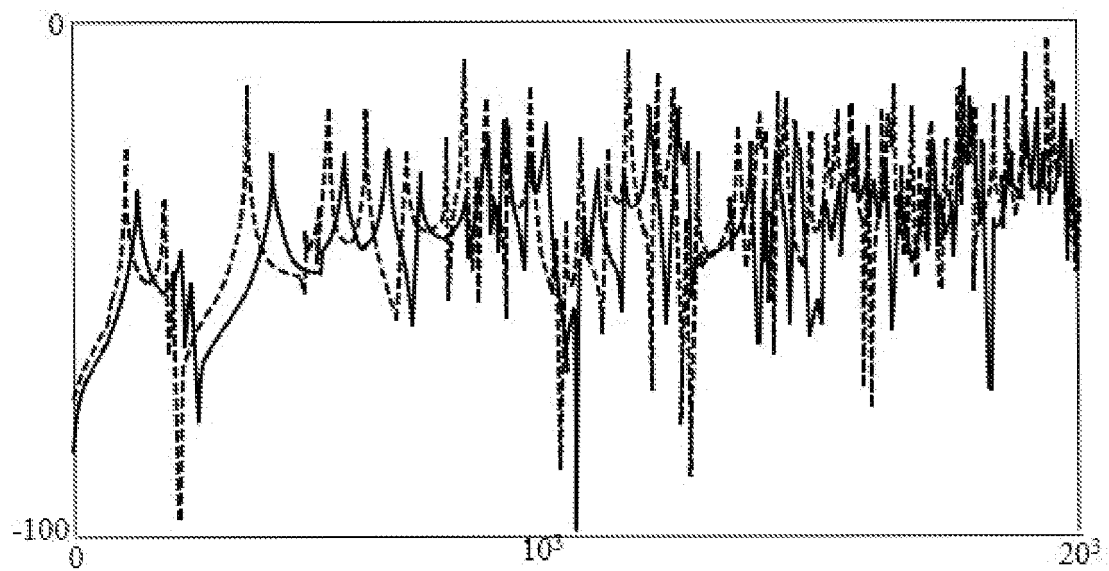
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 924054
FR 2311858

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	CN 115 507 734 A (UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH) 23 décembre 2022 (2022-12-23) * alinéas [0058] - [0096] * -----	1-7, 9	B64D 15/20
X	US 5 195 046 A (GERARDI JOSEPH J [US] ET AL) 16 mars 1993 (1993-03-16) * colonne 3 - colonne 11; figures 1-5, 21 * -----	1-9	
X	US 5 191 791 A (GERARDI JOSEPH J [US] ET AL) 9 mars 1993 (1993-03-09) * figures 19-24 * -----	1, 2, 5, 7-9	
A	CN 113 148 181 A (BEIJING INSTITUTE TECH) 23 juillet 2021 (2021-07-23) * abrégé; figures 1, 2 * -----	1-9	
A	US 5 467 944 A (LUUKKALA MAURI [FI]) 21 novembre 1995 (1995-11-21) * abrégé; figures 1, 2 * -----	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B64D
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
4 avril 2024		Lambert, Brice	
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 2311858 FA 924054**

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 **04-04-2024**
 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
CN 115507734	A	23-12-2022	AUCUN	
US 5195046	A	16-03-1993	AUCUN	
US 5191791	A	09-03-1993	US 5191791 A	09-03-1993
			US 5206806 A	27-04-1993
			WO 9008064 A1	26-07-1990
CN 113148181	A	23-07-2021	AUCUN	
US 5467944	A	21-11-1995	CA 2105713 A1	09-03-1994
			FR 2695373 A1	11-03-1994
			US 5467944 A	21-11-1995