

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 068 493

②1 N° d'enregistrement national : 17 55960

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : G 06 F 11/30 (2006.01)

⑫ DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 28.06.17.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 04.01.19 Bulletin 19/01.

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) : AIRBUS OPERATIONS Société par  
actions simplifiée — FR.

⑦2 Inventeur(s) : LAZZERINI REMY.

⑦3 Titulaire(s) : AIRBUS OPERATIONS Société par  
actions simplifiée.

⑦4 Mandataire(s) : BREVALEX.

⑤4 PREDICTION DE PANNES DANS UN AERONEF.

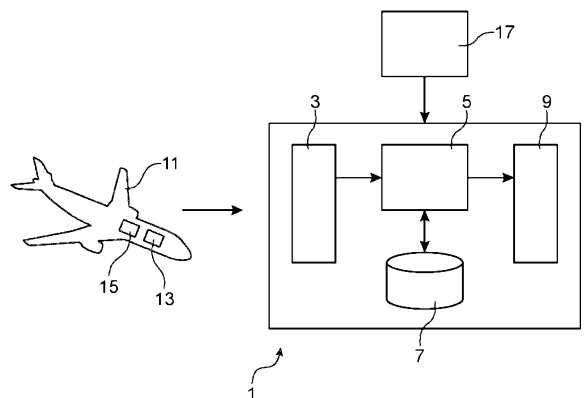
⑤7 L'invention propose un procédé et un système de pré-  
diction d'anomalies dans un aéronef, comportant:

- un module d'acquisition (3) configuré pour recueillir, au  
cours d'un vol dudit aéronef (11), une liste d'évènements  
courants indexés suivant un axe temporel, et

- un processeur (5) configuré pour:

- comparer les évènements courants survenant dans  
une fenêtre temporelle d'observation prédéterminée dudit  
vol à un ensemble d'évènements pertinents liés à au moins  
une anomalie et consignés précédemment dans une base  
de données (17), ladite base de données étant construite  
lors d'une phase préalable d'apprentissage à partir d'une  
pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des vols  
d'un ensemble d'aéronefs, et

- détecter tout évènement courant prédisant l'apparition  
d'une anomalie en identifiant les évènements similaires à  
des évènements pertinents appartenant audit ensemble  
d'évènements pertinents.



FR 3 068 493 - A1



## PRÉDICTION DE PANNES DANS UN AÉRONEF

### DOMAINE DE L'INVENTION

5 La présente invention se rapporte au domaine de prédiction d'anomalies dans un aéronef. En particulier, l'invention concerne un procédé et un système de prédiction d'anomalies ou de pannes permettant de réaliser des opérations de maintenance préventives sur l'aéronef.

10 Chaque aéronef comporte un système de détection de pannes BITE (Built-in Test Equipment) pour détecter et isoler tout équipement en panne ainsi qu'un système de surveillance FWS (Flight Warning System) qui signale toute panne ou anomalie à l'équipage. L'alerte transmise avant le vol par le FWS indique l'impact d'un évènement sur l'opérabilité de l'aéronef permettant à l'équipage de déterminer le statut de mise en service de l'aéronef.

15 Les données transmises par les systèmes BITE et FWS sont acquises et traitées par le système de supervision centralisé CMS (Central Maintenance System) des différents composants de l'aéronef. Les résultats des différents diagnostics réalisés par le CMS sont sauvegardés dans une base de données embarquée et sont également affichés sur une interface de bord via des unités de contrôle et d'affichage. En outre, des messages d'alertes  
20 ou d'anomalies sont transmis aux stations au sol pour être traités dans le cas d'anomalies évidentes et sinon pour être archivés dans des bases de données.

Le système de surveillance CMS fournit ainsi des informations utiles à la maintenance et aux pilotes pour savoir si un aéronef peut être utilisé en toute sécurité ou s'il faut bloquer l'aéronef afin de réaliser des maintenances avant de le mettre en service.

25 Ce système de surveillance est très efficace et procure une sécurité maximale à l'aéronef. Toutefois, dans certains cas, des pilotes peuvent recevoir une alerte de panne inattendue juste avant le vol, pouvant entraîner des retards ou même des annulations de vols.

L'objet de la présente invention est par conséquent de proposer un procédé ou  
30 un système pour identifier des évènements précurseurs à l'apparition d'une anomalie qui

peut avoir un impact sur l'opérabilité d'un aéronef permettant ainsi de réaliser des opérations de maintenance préventives afin d'éviter les problèmes de retards ou annulations de vols.

## 5 **OBJET ET RÉSUMÉ DE L'INVENTION**

La présente invention concerne un procédé de prédiction d'anomalies dans un aéronef, comportant les étapes suivantes :

-recueillir au cours d'un vol dudit aéronef, une liste d'évènements courants indexés suivant un axe temporel,

10 -comparer les évènements courants survenant dans une fenêtre temporelle d'observation prédéterminée dudit vol à un ensemble d'évènements pertinents liés à au moins une anomalie et consignés précédemment dans une base de données, ladite base de données étant construite lors d'une phase préalable d'apprentissage à partir d'une pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des vols d'un ensemble d'aéronefs, et

15 -détecter tout évènement courant prédisant l'apparition d'une anomalie en identifiant les évènements similaires à des évènements pertinents appartenant audit ensemble d'évènements pertinents.

Ceci permet d'identifier des évènements précurseurs d'anomalies ou de pannes permettant ainsi de ne pas être pris de court par une panne inattendue et par conséquent, de réaliser des maintenances préventives. En outre, ce procédé est très simple et ne demande que très peu de temps ou de ressources de calcul.

20

Avantageusement, la construction de ladite base de données lors d'une phase préalable d'apprentissage comporte les étapes suivantes :

25 -recueillir ladite pluralité de listes d'évènements indexés suivant des axes temporels correspondants,

-identifier les anomalies répertoriées dans ladite pluralité de listes d'évènements,

-déterminer un ensemble d'occurrences de chaque type d'anomalie,

30 -placer pour chaque type d'anomalie une première fenêtre temporelle d'apprentissage prédéterminée suivant un premier index temporel déterminé situé avant

chaque occurrence de ladite anomalie définissant ainsi un premier laps de temps entre la première fenêtre temporelle d'apprentissage et chaque occurrence de ladite anomalie,

-calculer pour chaque évènement recueilli, un premier taux d'occurrence dudit évènement dans ladite première fenêtre temporelle d'apprentissage,

5 -calculer un deuxième taux d'occurrence dudit évènement en dehors de l'avènement de ladite anomalie, et

-enregistrer ledit évènement dans la base de données comme étant un évènement pertinent lorsque le quotient entre le premier taux et le deuxième taux est supérieur à un seuil prédéterminé.

10 Ceci permet de déterminer tous les évènements qui ont un lien avec l'anomalie.

### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

D'autres particularités et avantages du dispositif et du procédé selon l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description faite ci-après, à titre indicatif mais non  
15 limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la Fig. 1 illustre de manière schématique un système de prédiction d'anomalies sur un aéronef, selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la Fig. 2 illustre de manière schématique un système de construction d'une base de données à partir d'une pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des  
20 vols d'un ensemble d'aéronefs, selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la Fig. 3 illustre en relation avec la Fig. 2 un procédé de construction de la base de données lors d'une phase préalable d'apprentissage, selon un mode de réalisation de l'invention ;

- les Fig. 4A-4D illustrent un procédé de détermination d'une largeur optimale  
25 d'une fenêtre d'apprentissage, selon un mode de réalisation de l'invention ; et

- la Fig. 5 illustre un exemple d'une fenêtre d'apprentissage placée avant une anomalie, selon un mode de réalisation de l'invention.

## **DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION**

Le principe de l'invention consiste à exploiter les événements d'un très grand nombre de vols d'une pluralité d'aéronefs afin d'identifier les événements pronostiquant l'apparition d'une ou de plusieurs anomalie(s) sur un aéronef.

5 La Fig. 1 illustre de manière schématique un système de prédiction d'anomalies sur un aéronef, selon un mode de réalisation de l'invention.

Le système de prédiction 1 d'anomalies comporte un module d'acquisition 3 de données, un processeur 5, des unités de stockage 7 et une interface 9 d'entrée et de sortie.

10 Le module d'acquisition 3 est configuré pour recueillir au cours d'un vol d'un aéronef une liste d'événements courants indexés suivant un axe temporel.

En effet, au cours de chaque vol, l'aéronef 11 procède à l'enregistrement de différents événements avioniques. Un système d'acquisition centralise et formate tous les événements ou données issues des différents capteurs, calculateurs embarqués, ou d'autres instruments et les transfère à des enregistreurs de vol ou registres de vol 13 (log record) de type PFR, DFDR, DAR et SAR qui répertorient les événements qui ont eu lieu sur l'aéronef 11. Les événements peuvent être discrets (par exemple, des états de détection logique, des indicateurs de dépassement d'une valeur de mesure, des états d'interrupteurs ou relais, etc.) ou analogiques.

20 En outre, un système de supervision centralisé 15 traite les données émises par des systèmes de détection de pannes et de surveillance de l'aéronef 11 et génère des rapports ou messages d'anomalies.

Ainsi, le module d'acquisition 3 est configuré pour récupérer les événements courants (y compris les anomalies) indexés temporellement de manière ordonnée depuis les différents registres de vol 13 et/ou du système de supervision centralisé 15.

25 Le processeur 5 est configuré pour comparer les événements courants survenant dans une fenêtre temporelle d'observation prédéterminée à un ensemble d'événements pertinents ou significatifs liés à au moins une anomalie et consignés précédemment dans une base de données 17. La fenêtre temporelle d'observation est sélectionnée de manière optimale et peut avoir une largeur comprise entre une seconde et une dizaine de minutes.

30

On notera que la base de données 17 est construite lors d'une phase préalable d'apprentissage à partir d'une pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des vols d'un ensemble d'aéronefs.

5 En outre, le processeur 5 est configuré pour détecter tout évènement courant prédisant l'apparition d'une anomalie en identifiant les évènements similaires à des évènements pertinents appartenant à l'ensemble d'évènements pertinents consignés dans la base de données 17.

10 Avantageusement, le processeur 5 est configuré pour estimer un temps d'avertissement avant l'apparition de l'anomalie. En effet, en consultant la base de données 17, le processeur 5 est configuré pour déterminer le laps de temps entre chaque évènement pertinent similaire à l'évènement détecté et l'anomalie d'intérêt prédite par ces évènements pertinents. Le temps d'avertissement estimé par le processeur 5 correspond par exemple à la moyenne des différents laps de temps.

15 Les résultats déterminés par le processeur 5 sont avantageusement affichés sur l'interface 9 et enregistrés dans les unités de stockage 7. En outre, les unités de stockage 7 sont configurées pour sauvegarder des programmes d'ordinateur comportant des codes d'instructions adaptés pour mettre en œuvre le procédé selon l'invention lorsque ces codes sont implémentés par le processeur 5.

20 La Fig. 2 illustre de manière schématique un système de construction d'une base de données à partir d'une pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des vols d'un ensemble d'aéronefs, selon un mode de réalisation de l'invention. La Fig. 3 illustre en relation avec la Fig. 2 un procédé de construction de la base de données lors d'une phase préalable d'apprentissage, selon un mode de réalisation de l'invention.

25 La construction de la base de données 17 consiste à recueillir une pluralité de listes d'évènements issus des vols d'un ensemble d'aéronefs 11 afin d'extraire des évènements pertinents indicatifs de l'occurrence des futures anomalies. Cette base de données 17, une fois construite, peut ensuite être utilisée pour chaque nouveau vol afin de prévoir les anomalies.

De manière analogue au système de prédiction 1 d'anomalie, le système de construction 101 de la base de données 17 comporte un module d'acquisition d'apprentissage 103 et un processeur d'apprentissage 105.

5 A l'étape S1, le module d'acquisition d'apprentissage 103 est configuré pour recueillir une pluralité de listes d'évènements  $E_1-E_n$  issus des vols d'un ensemble d'aéronefs 11. On notera que ces évènements sont indexés suivant des axes temporels correspondants.

10 Chaque liste d'évènements comporte des données temporelles issues d'un registre de vol 13 d'un aéronef 11 correspondant et/ou des messages d'anomalies indexés temporellement issus du système de supervision centralisé 15 de l'aéronef 11 correspondant.

A l'étape S2, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour identifier les anomalies  $A_1-A_m$  répertoriées dans la pluralité de listes d'évènements recueillis à l'étape précédente.

15 A l'étape S3, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour déterminer l'ensemble d'occurrences de chaque type d'anomalie  $A_i$ . Dans la suite, on exposera le procédé pour un type d'anomalie donné (ou d'intérêt)  $A_i$  mais bien entendu, le procédé est le même pour chaque type d'anomalie.

20 A l'étape S4, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour placer pour une anomalie donnée  $A_i$  une première fenêtre temporelle d'apprentissage F1 prédéterminée suivant un premier index temporel déterminé. Ce premier index temporel est situé avant chaque occurrence de l'anomalie  $A_i$  définissant ainsi un premier laps de temps T1 entre la première fenêtre temporelle d'apprentissage F1 et chaque occurrence de cette anomalie  $A_i$ .

25 A l'étape S5, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour calculer pour chaque évènement recueilli, un premier taux d'occurrence  $\tau_1$  de cet évènement dans la première fenêtre temporelle d'apprentissage F1. Plus particulièrement, pour calculer le premier taux d'occurrence  $\tau_1$  d'un évènement donné  $E_j$ , on compte le nombre d'occurrence de l'évènement  $E_j$  dans toutes les premières fenêtres temporelles  
30 d'apprentissage relatives à l'anomalie (voir Figs. 4A et 4B).

A l'étape S6, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour calculer un deuxième taux d'occurrence  $\tau_2$  de l'évènement  $E_j$  en dehors de l'avènement de l'anomalie  $A_i$ . On notera que le deuxième taux d'occurrence  $\tau_2$  peut être normalisé selon une période temporelle égale à la largeur de la première fenêtre temporelle d'apprentissage F1. Pour

5 calculer le deuxième taux d'occurrence  $\tau_2$  de l'évènement donné  $E_j$ , on compte le nombre d'occurrence de l'évènement pendant l'ensemble des vols en dehors de l'apparition de l'anomalie (voir également Figs. 4A et 4B).

A l'étape S7, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour enregistrer l'évènement dans la base de données 17 comme étant un évènement pertinent  $E_p$  (i.e.

10 ayant un lien avec l'anomalie) lorsque le quotient entre le premier taux et le deuxième taux est supérieur à un seuil S prédéterminé qui peut par exemple être de l'ordre de 1,4 ou 1,5.

On notera que les étapes S5-S7 sont répétées pour chaque évènement et les étapes S4-S7 sont répétées pour chaque type d'anomalie.

Afin d'illustrer le procédé de construction de la base de données 17,

15 considérons un capteur de température (non représenté) monté sur l'aéronef 11 et donnant de manière aléatoire une valeur de température erronée d'une zone de l'aéronef. On sait que la valeur donnée par ce capteur défectueux est erronée car le système de supervision centralisé 15 de l'aéronef 11 compare la valeur du capteur à celle de deux autres capteurs adaptés pour également indiquer la température de la même zone de

20 l'aéronef 11. Cette anomalie est consignée dans un fichier du registre 13 (ou log) de l'aéronef qui enregistre également l'heure et la date de son apparition.

Afin d'anticiper et de prédire l'apparition de ce genre d'anomalie, on consulte les enregistrements de vols 13 où cette anomalie a déjà eu lieu. Le processeur d'apprentissage 105 applique les étapes précédentes pour recenser, dans une fenêtre

25 temporelle d'apprentissage précédant cette anomalie, tous les évènements présents dans le fichier du registre 13 de l'aéronef. Chaque occurrence d'un évènement (autre que l'anomalie) ayant eu lieu pendant cette fenêtre temporelle est comptabilisé.

Supposons à titre d'exemple, que sur un ensemble de 10 vols (choisis), l'anomalie (valeur de capteur de température erronée) a été observée 17 fois. En

30 outre, supposons que sur une plage de 20 minutes (d'une fenêtre d'apprentissage) avant

l'apparition de chaque occurrence des 17 anomalies (i.e. pendant une durée totale de 340 minutes), un autre évènement précédant l'anomalie a été observé 12 fois. Cet autre évènement est par exemple le fait qu'un signal électrique binaire (par exemple, défini par deux états de tension 0V et +5V) sur l'aéronef changeait intempestivement d'état. Dans ce cas, le taux d'occurrence d'apparition de cet évènement (changement d'état du signal binaire) avant l'apparition de l'anomalie est  $12 : 340$  qui est à peu près égal à 0,035.

Par ailleurs, supposons que ce même évènement (changement d'état du signal binaire) a été observé 100 fois durant l'ensemble des 10 vols (de 220 minutes chacun) en dehors de l'apparition de l'anomalie (i.e. en retranchant les 20 minutes avant chaque apparition des 17 anomalies). Dans ce cas, le taux d'occurrence d'apparition de cet évènement pendant l'ensemble des 10 vols en dehors de l'apparition de l'anomalie est  $100 : 2200$  qui est à peu près égal à 0,01. Le taux d'occurrence d'apparition de cet évènement (changement d'état du signal binaire) avant l'apparition de l'anomalie (plage de 20 minutes) est alors  $0,035 : 0,01 = 35$ . Ainsi, l'évènement de changement d'état du signal binaire est lié à l'anomalie car il arrivait en moyenne sur une plage temporelle identique 35 fois plus souvent avant l'anomalie du capteur que lorsqu'il n'y avait pas d'anomalie et par conséquent sera considéré comme un évènement pertinent.

En revanche, on notera que tout autre évènement avant l'anomalie ayant un taux d'occurrence très proche du taux d'occurrence en dehors de l'anomalie n'est pas retenu comme étant pertinent.

Avantageusement, le procédé de construction de la base de données comporte des étapes supplémentaires permettant d'évaluer les impacts ou conséquences de l'anomalie sur d'autres systèmes de l'aéronef.

En effet, à l'étape S8, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour placer une deuxième fenêtre temporelle d'apprentissage F2 prédéterminée suivant un deuxième index temporel déterminé. Ce deuxième index temporel est situé après chaque occurrence de l'anomalie  $A_i$  définissant ainsi un deuxième laps de temps T2 entre chaque occurrence de cette anomalie  $A_i$  et la deuxième fenêtre temporelle d'apprentissage F2.

A l'étape S9, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour calculer pour chaque évènement recueilli, un troisième taux d'occurrence  $\tau_3$  d'apparition de l'évènement dans la deuxième fenêtre temporelle d'apprentissage F2.

5 A l'étape S10, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour calculer un quatrième taux d'occurrence  $\tau_4$  d'apparition de l'évènement en dehors de l'apparition de l'anomalie. Le quatrième taux d'occurrence  $\tau_4$  est normalisé selon une période temporelle égale à la deuxième fenêtre temporelle d'apprentissage.

10 A l'étape S11, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour enregistrer l'évènement dans la base de données 17 comme étant un évènement de contrecoup  $E_c$  causé par l'anomalie (ou au moins corrélé avec l'anomalie) lorsque le quotient entre le troisième taux et le quatrième taux est supérieur à un seuil S prédéterminé.

15 A titre d'exemple, l'anomalie du capteur et l'évènement pertinent de changement d'état de l'exemple ci-dessus permettent de mettre en évidence l'impact de l'anomalie sur un autre système de l'aéronef (par exemple, une dégradation d'un câble électrique avec une impédance défectueuse).

Les Fig. 4A-4D illustrent un procédé de détermination d'une largeur optimale d'une fenêtre d'apprentissage, selon un mode de réalisation de l'invention.

20 Plus particulièrement, les Figs. 4A-4D font référence à une fenêtre d'apprentissage F11-F15 située avant une même anomalie  $A_i$  qu'on retrouve à plusieurs moments dans un même vol ou dans plusieurs vols différents. Le procédé est le même pour une fenêtre d'apprentissage située après l'anomalie. En outre, la même largeur optimale peut être utilisée à la fois pour la fenêtre d'apprentissage ainsi que pour la fenêtre d'observation correspondante.

25 Au départ, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour attribuer une largeur minimale (par exemple, 1 s) à la fenêtre d'apprentissage F11-F15. Ensuite, le module d'acquisition d'apprentissage 103 est configuré pour recueillir une liste d'évènements  $E_1, E_2, \dots, E_{10}$  issus d'un même vol ou des vols d'un ensemble d'aéronefs relatifs à une même anomalie et pour placer une fenêtre temporelle d'apprentissage avant chaque occurrence de l'anomalie  $A_i$  comme décrit dans les étapes S1-S4 ci-dessus.

En effet, la Fig. 4A montre une fenêtre d'apprentissage F1 de largeur 1s placée avant une même anomalie  $A_i$  apparue à différentes dates dans un même vol ou dans différents vols. L'axe temporel indique l'ordre d'occurrence des différents évènements et selon cet exemple, la fenêtre F11 comporte seulement l'évènement 5, la fenêtre F12  
5 comporte les évènements 4 et 9, etc.

Ensuite, le processeur d'apprentissage 105 est configuré pour calculer un premier taux d'occurrence de chaque évènement dans la fenêtre temporelle d'apprentissage ainsi qu'un deuxième taux d'occurrence de chaque évènement en dehors de l'avènement de l'anomalie comme décrit dans les étapes S5 et S6 de la Fig. 3.

10 En effet, le diagramme en bâtons vertical de la Fig. 4B illustre pour chaque évènement un rectangle dont la hauteur représente le premier taux d'occurrence de l'évènement et un segment horizontal dont la hauteur représente le deuxième taux d'occurrence de cet évènement.

Le processeur d'apprentissage 105 est ensuite configuré pour calculer le  
15 quotient entre le premier taux et le deuxième taux avant d'augmenter la largeur de la fenêtre d'apprentissage et de recommencer les étapes S1-S6 de la Fig. 3.

La Fig. 4C montre une fenêtre d'apprentissage F11-F15 de largeur 5s placée avant la même anomalie apparue aux différentes dates. En outre, le diagramme de la Fig. 4D illustre pour chaque évènement les premier et deuxième taux d'occurrences de chaque  
20 évènement. En comparant les diagrammes des Figs. 4B et 4D, on voit bien que les taux d'occurrence ont changés. Par exemple, les premier et deuxième taux d'occurrences de l'évènement E6 sur la Fig. 4B sont presque égaux tandis que le premier taux d'occurrences de ce même évènement E6 sur la Fig. 4D est nettement plus grand que le deuxième taux d'occurrences. Ainsi, le quotient entre le premier taux et le deuxième taux a été modifié.  
25 Dans ce cas, les mêmes étapes ci-dessus sont répétées en augmentant à chaque fois la largeur de la fenêtre d'observation de manière récurrente jusqu'à ce que le quotient ne varie quasiment plus indiquant que la largeur optimale de la fenêtre d'apprentissage a été atteinte.

Avantageusement, chacun des premier et deuxième laps de temps prédéterminés est compris entre une seconde et trois heures et de préférence entre une heure et deux heures.

5 La Fig. 5 montre une fenêtre d'apprentissage F1 de largeur 10 minutes placée avant une anomalie  $A_i$  selon un premier laps de temps de 120 minutes. En effet, pour un aéronef, il est avantageux de choisir des laps de temps prédéterminés assez grands (par exemple de l'ordre de deux heures) permettant une fois que l'aéronef est au sol de faire intervenir des techniciens pour réaliser des maintenances préventives avant son redécollage.

## **REVENDEICATIONS**

1. Procédé de prédiction d'anomalies dans un aéronef, caractérisé en ce qu'il  
5 comporte les étapes suivantes :

-recueillir au cours d'un vol dudit aéronef (11), une liste d'évènements courants  
indexés suivant un axe temporel,

-comparer les évènements courants survenant dans une fenêtre temporelle  
d'observation prédéterminée dudit vol à un ensemble d'évènements pertinents liés à au  
10 moins une anomalie et consignés précédemment dans une base de données, (17) ladite  
base de données étant construite lors d'une phase préalable d'apprentissage à partir d'une  
pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des vols d'un ensemble d'aéronefs, et

-détecter tout évènement courant prédisant l'apparition d'une anomalie en  
identifiant les évènements similaires à des évènements pertinents appartenant audit  
15 ensemble d'évènements pertinents.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une  
consultation de ladite base de données (17) pour estimer un temps d'avertissement avant  
l'apparition de l'anomalie.

20

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la construction  
de ladite base de données lors d'une phase préalable d'apprentissage comporte les étapes  
suivantes :

-recueillir ladite pluralité de listes d'évènements indexés suivant des axes  
25 temporels correspondants,

-identifier les anomalies répertoriées dans ladite pluralité de listes  
d'évènements,

-déterminer un ensemble d'occurrences de chaque type d'anomalie,

-placer pour chaque type d'anomalie une première fenêtre temporelle  
30 d'apprentissage (F1) prédéterminée suivant un premier index temporel déterminé situé

avant chaque occurrence de ladite anomalie définissant ainsi un premier laps de temps entre la première fenêtre temporelle d'apprentissage et chaque occurrence de ladite anomalie,

- 5 -calculer pour chaque évènement recueilli, un premier taux d'occurrence dudit évènement dans ladite première fenêtre temporelle d'apprentissage,
- calculer un deuxième taux d'occurrence dudit évènement en dehors de l'avènement de ladite anomalie,
- enregistrer ledit évènement dans la base de données (17) comme étant un évènement pertinent lorsque le quotient entre le premier taux et le deuxième taux est
- 10 supérieur à un seuil prédéterminé.

**4.** Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

- placer une deuxième fenêtre temporelle d'apprentissage (F2) prédéterminée
- 15 suivant un deuxième index temporel déterminé situé après chaque occurrence de ladite anomalie définissant ainsi un deuxième laps de temps entre chaque occurrence de ladite anomalie et la première fenêtre temporelle d'apprentissage,
- calculer pour chaque évènement recueilli un troisième taux d'occurrence d'apparition dudit évènement dans ladite deuxième fenêtre temporelle d'apprentissage,
- 20 -calculer un quatrième taux d'occurrence d'apparition dudit évènement en dehors de l'apparition de ladite anomalie,
- enregistrer ledit évènement dans la base de données (17) comme étant un évènement de contrecoup causé par ladite anomalie lorsque le quotient entre le troisième taux et le quatrième taux est supérieur à un seuil prédéterminé.

25

- 5.** Procédé selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce qu'il comporte en outre une détermination d'une largeur optimale de la première ou deuxième fenêtre d'apprentissage (F1, F2) en augmentant la largeur de la fenêtre d'apprentissage de manière récurrente à partir d'une largeur minimale en calculant ledit quotient à chaque itération,
- 30 la largeur optimale correspondant au cas où ledit quotient ne varie quasiment plus.

6. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que ledit premier laps de temps prédéterminé est compris entre une seconde et trois heures et de préférence entre une heure et deux heures.

5

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite pluralité d'évènements est issue des *enregistreurs de vol* de type PFR, DFDR, DAR, SAR.

10

8. Système de prédiction d'anomalies dans un aéronef, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un module d'acquisition (3) configuré pour recueillir au cours d'un vol dudit aéronef (11), une liste d'évènements courants indexés suivant un axe temporel, et

- un processeur (5) configuré pour :

15

- comparer les évènements courants survenant dans une fenêtre temporelle d'observation prédéterminée dudit vol à un ensemble d'évènements pertinents liés à au moins une anomalie et consignés précédemment dans une base de données (17), ladite base de données étant construite lors d'une phase préalable d'apprentissage à partir d'une pluralité de listes d'évènements recueillies au cours des vols d'un ensemble d'aéronefs, et

20

- détecter tout évènement courant prédisant l'apparition d'une anomalie en identifiant les évènements similaires à des évènements pertinents appartenant audit ensemble d'évènements pertinents.

25

9. Système selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comporte :

- un module d'acquisition d'apprentissage (103) configuré pour recueillir ladite pluralité de listes d'évènements indexés suivant des axes temporels correspondants, et

- un processeur d'apprentissage (105) configuré pour :

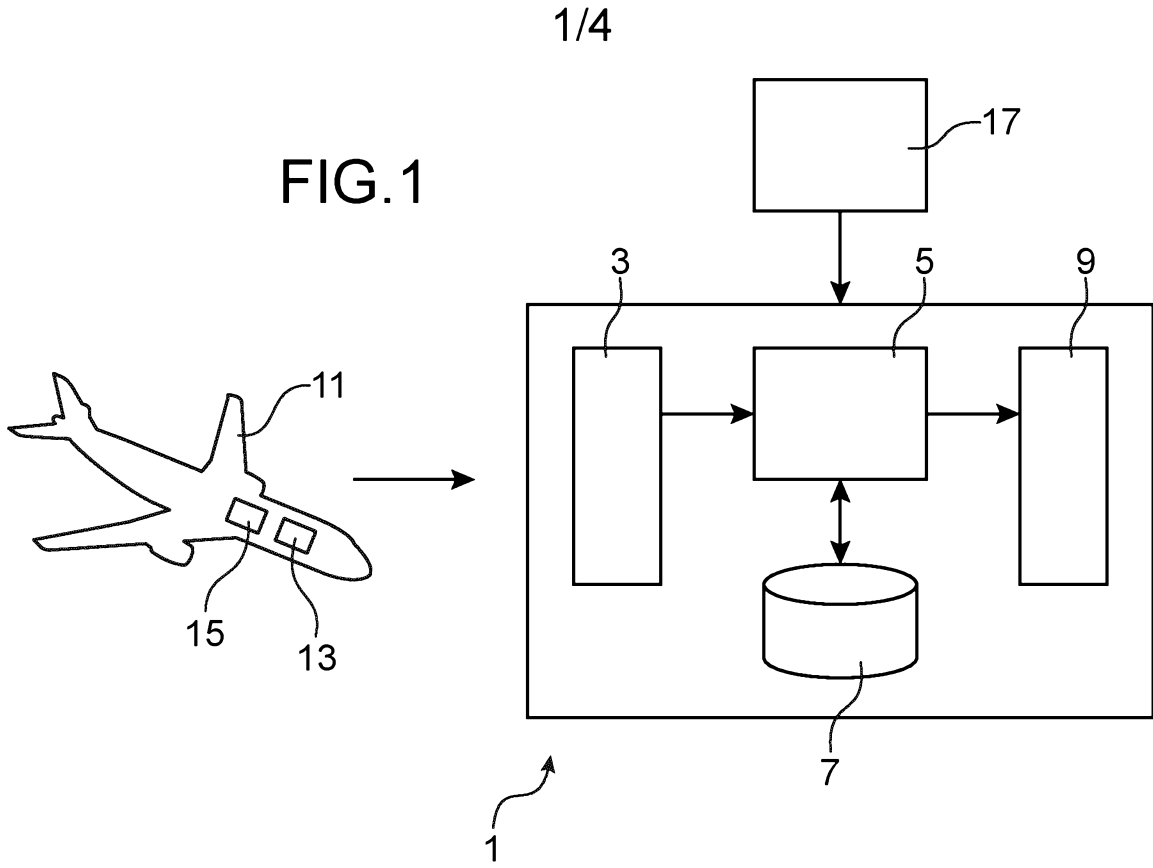
- identifier les anomalies répertoriées dans ladite pluralité de listes

30

d'évènements,

- déterminer un ensemble d'occurrences de chaque type d'anomalie,
- placer pour chaque type d'anomalie une première fenêtre temporelle d'apprentissage prédéterminée suivant un premier index temporel déterminé situé avant chaque occurrence de ladite anomalie définissant ainsi un premier laps de temps entre la
- 5 première fenêtre temporelle d'apprentissage et chaque occurrence de ladite anomalie,
  - calculer pour chaque évènement recueilli un premier taux d'occurrence dudit évènement dans ladite première fenêtre temporelle d'apprentissage,
  - calculer un deuxième taux d'occurrence dudit évènement en dehors de l'avènement de ladite anomalie, et
- 10 -enregistrer ledit évènement dans la base de données comme étant un évènement pertinent lorsque le quotient entre le premier taux et le deuxième taux est supérieur à un seuil prédéterminé.

FIG.1



1/4

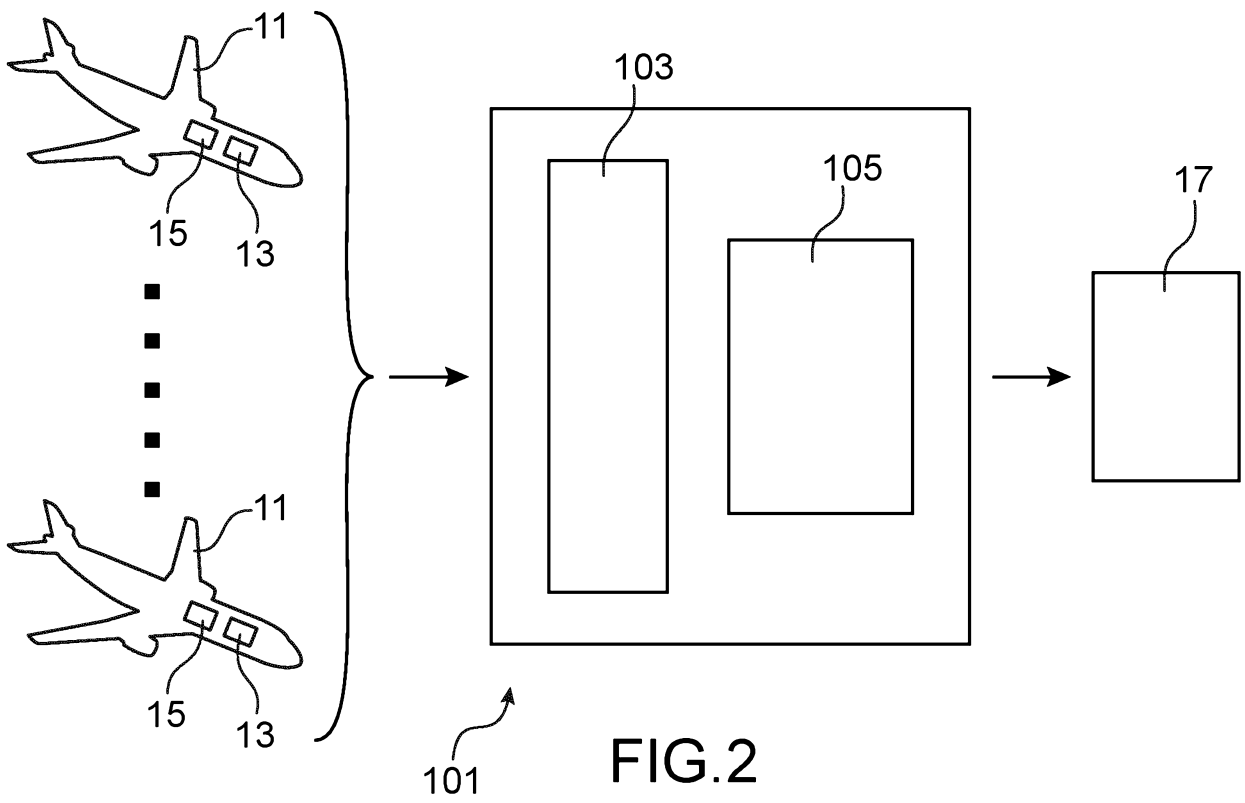
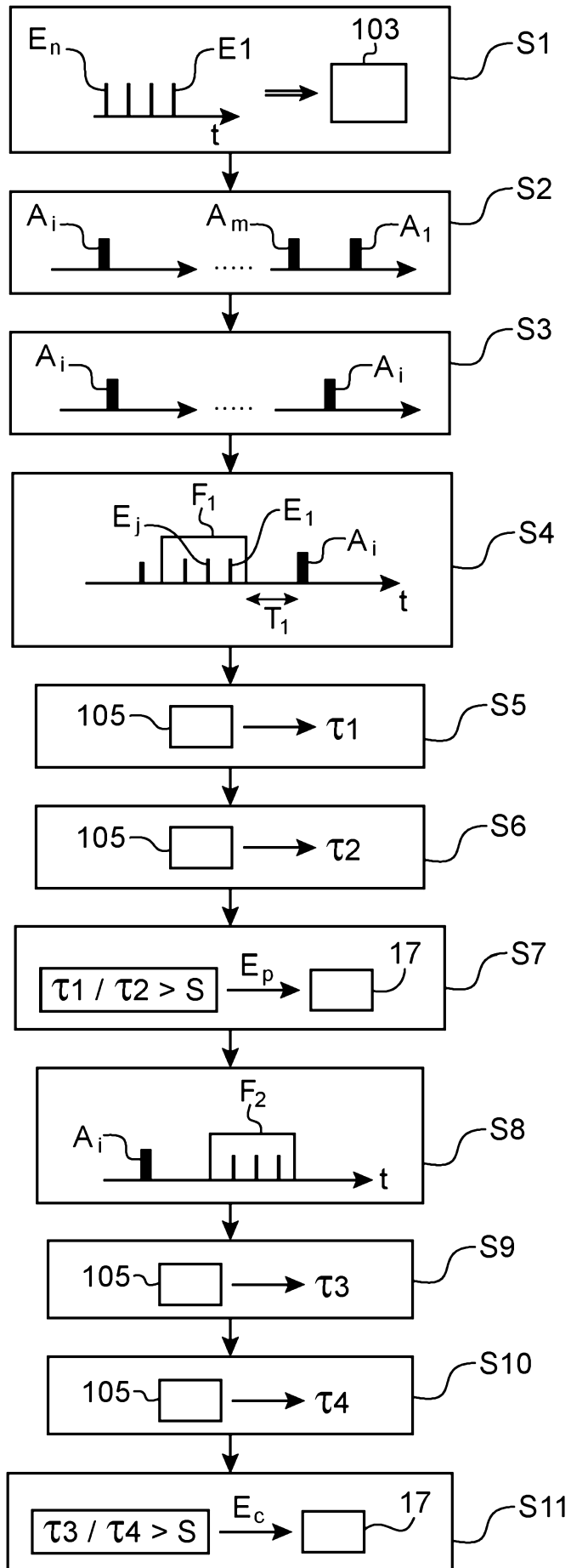


FIG.2

FIG.3



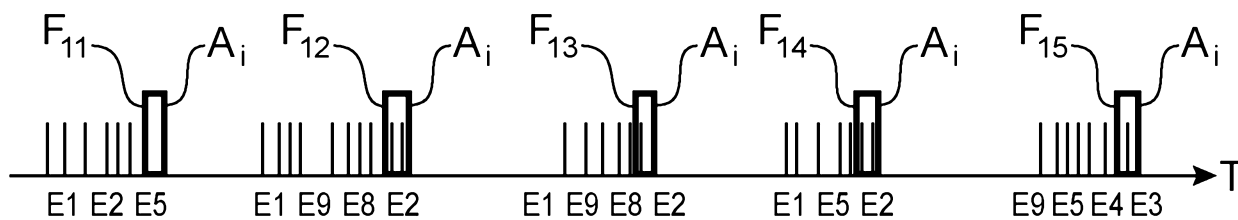


FIG.4A

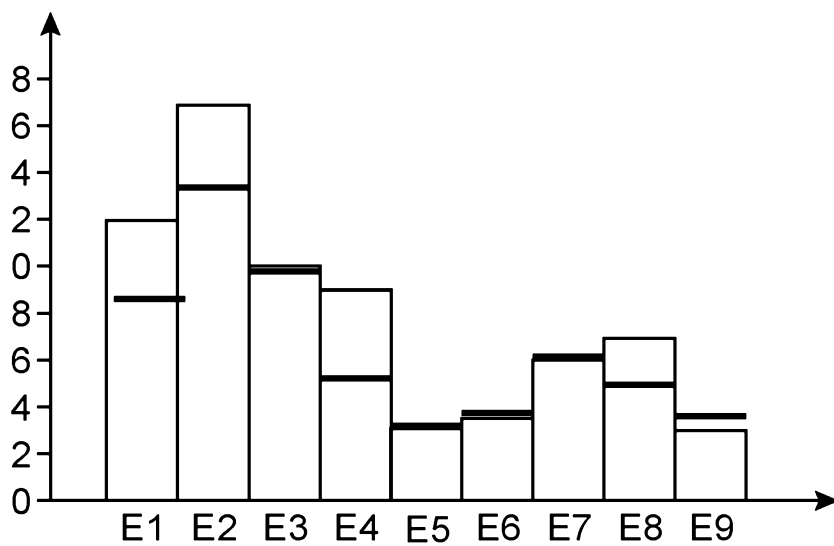


FIG.4B

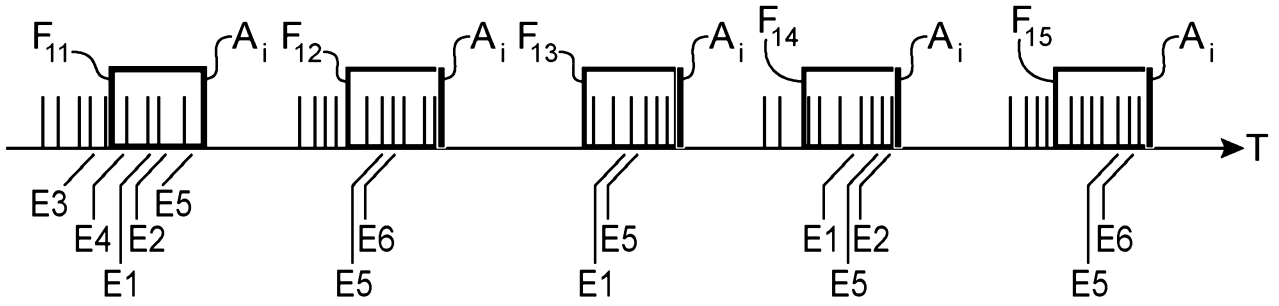


FIG.4C

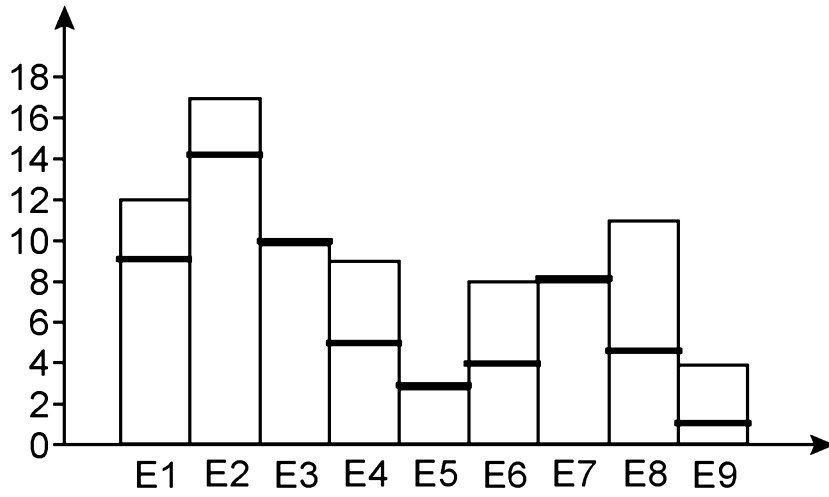


FIG.4D

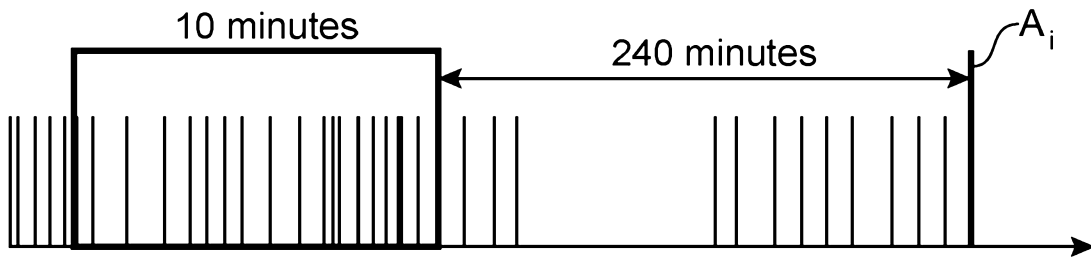


FIG.5

**RAPPORT DE RECHERCHE  
 PRÉLIMINAIRE**

 établi sur la base des dernières revendications  
 déposées avant le commencement de la recherche
N° d'enregistrement  
nationalFA 843871  
FR 1755960

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	US 6 243 628 B1 (BLILEY RICHARD GERALD [US] ET AL) 5 juin 2001 (2001-06-05) * le document en entier *	1-3,6-9	G06F11/30
X	FR 3 009 396 A1 (AIRBUS OPERATIONS SAS [FR]; AIRBUS [FR]) 6 février 2015 (2015-02-06) * le document en entier *	1-3,6-9	
X	J. WANG ET AL: "Predictive maintenance based on event-log analysis: A case study", IBM JOURNAL OF RESEARCH AND DEVELOPMENT., vol. 61, no. 1, 1 janvier 2017 (2017-01-01), pages 11:121-11:132, XP55464914, US ISSN: 0018-8646, DOI: 10.1147/JRD.2017.2648298 * le document en entier *	1-9	
A	US 7 509 537 B1 (JENSEN DAVID W [US] ET AL) 24 mars 2009 (2009-03-24) * le document en entier *	1-9	
A	WO 2014/093670 A1 (UNIV NORTH DAKOTA [US]) 19 juin 2014 (2014-06-19) * le document en entier *	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G05B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 avril 2018		Schriefl, Josef	
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 1755960 FA 843871**

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 **05-04-2018**

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
US 6243628	B1	05-06-2001	AUCUN	
-----				
FR 3009396	A1	06-02-2015	CN 104346430 A	11-02-2015
			FR 3009396 A1	06-02-2015
			US 2015039551 A1	05-02-2015
-----				
US 7509537	B1	24-03-2009	AUCUN	
-----				
WO 2014093670	A1	19-06-2014	AU 2013359159 A1	04-06-2015
			CA 2892538 A1	19-06-2014
			EP 2932197 A1	21-10-2015
			US 2015324501 A1	12-11-2015
			WO 2014093670 A1	19-06-2014
-----				