

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 074 590**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **17 61570**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 06 F 11/30** (2018.01), G 05 B 23/02, G 07 C 5/12

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 METHODE DE PREDICTION D'UNE ANOMALIE DE FONCTIONNEMENT D'UN OU PLUSIEURS EQUIPEMENTS D'UN ENSEMBLE.

②2 Date de dépôt : 04.12.17.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 07.06.19 Bulletin 19/23.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 17.03.23 Bulletin 23/11.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : SOCIETE AIR FRANCE Société
anonyme — FR.

⑦2 Inventeur(s) : FORTUNY DIDIER.

⑦3 Titulaire(s) : SOCIETE AIR FRANCE Société
anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : MEYER ET PARTENAIRES.

FR 3 074 590 - B1



METHODE DE PREDICTION D'UNE ANOMALIE DE FONCTIONNEMENT D'UN OU PLUSIEURS EQUIPEMENTS D'UN ENSEMBLE

5 **Objet de l'invention**

[0001] La présente invention se rapporte à une méthode de prédiction du dysfonctionnement d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble, les équipements fonctionnant en parallèle et sensés fonctionner de la même manière, l'équipement ou les équipements étant en particulier des machines tournantes, à savoir des machines comprenant au moins une masse tournante.

Etat de la technique

[0002] Depuis de nombreuses années déjà, la maintenance d'équipements d'ensembles industriels est un enjeu économique majeur, qu'il s'agisse d'installations fixes comme par exemple des usines de production de produits manufacturés ou de production d'énergie, ou qu'il s'agisse d'ensembles mobiles, par exemple dans le domaine des transports, notamment les avions, les autobus, les locomotives, les navires. En effet, la maintenance des équipements représente un cout financier important, du fait d'une part de l'action de maintenance proprement dite, et d'autre part par la perte d'exploitation que représente le nécessaire arrêt complet des installations ou des ensembles dont les équipements font partie, des arrêts qui sont bien souvent imprévus et non anticipés.

[0003] Généralement, la maintenance d'équipements est dite « curative » car elle intervient uniquement après la survenue d'une panne ou d'un dysfonctionnement de l'équipement. Néanmoins, une telle maintenance présente de nombreux inconvénients d'organisation en termes de mobilisation du personnel de maintenance, de disponibilité et d'approvisionnement en pièces détachées, ce qui influence négativement les activités de maintenance.

[0004] La maintenance des équipements peut être « préventive », selon un calendrier fixe ou à des intervalles de fonctionnement déterminés. Elle est règlementaire et donc protectrice. Son coût est élevé car un équipement fonctionnant normalement peut être remplacé inutilement.

[0005] Il a été alors proposé une maintenance dite « prédictive », de manière à pouvoir anticiper les maintenances des équipements et de les planifier au mieux pour qu'elles aient lieu à un moment ayant le moins d'impact négatif possible sur l'exploitation des ensembles industriels. Toutefois, cette maintenance prédictive nécessite l'identification de la panne, ou du dysfonctionnement, bien avant que celle-ci ou celui-ci ne touche l'équipement.

[0006] Il a été proposé de mettre sous surveillance un équipement en mettant en œuvre le suivi, généralement en temps réel, de certains de ces paramètres de fonctionnement, dont l'évolution au court du temps est révélateur d'une dégradation de fonctionnement de l'équipement en question et donc le signe d'une panne imminente. Toutefois, une telle solution n'est pas satisfaisante car elle n'est pas assez anticipative pour être pleinement bénéfique, l'équipement défectueux pouvant mal fonctionner longtemps avant une quelconque détection de défaut, l'installation ou l'équipement comprenant un tel équipement ne fonctionnant pas de façon optimale.

[0007] Pour améliorer l'anticipation de pannes, il a été proposé de suivre la corrélation entre différents paramètres de fonctionnement. Par exemple, pour une installation industrielle comprenant divers équipements rotatifs, tels que turbines ou des moteurs pour la mise en œuvre d'un processus industriel, le document US2005197805 décrit la détermination et le suivi d'un coefficient de corrélation de certaines paires de paramètres du processus industriel, un coefficient de corrélation qui est comparé à celui déterminé pour des conditions normales du processus, et si une différence est identifiée, une alerte d'imminence de panne est générée.

[0008] Généralement, les installations ou ensembles industriels comprennent, et mettent en œuvre, de nombreux équipements, qui peuvent être différents ou identiques entre eux, mais dont certains fonctionnent en parallèle, sensiblement de la même manière. Il a été alors proposé de baser la prédiction de la survenue d'une panne sur le suivi du fonctionnement de deux équipements redondants. Par exemple, pour une installation industrielle d'électrolyse d'aluminium, le document FR 2 981 474 décrit la surveillance d'un paramètre de fonctionnement d'un premier appareil corrélé avec un autre paramètre de fonctionnement d'un second appareil par une prédiction des valeurs du paramètre du premier appareil à partir de la valeur mesurée du deuxième paramètre du second appareil et leur comparaison avec les

valeurs réellement mesurées du paramètre du premier appareil, afin de détecter une erreur de corrélation qui est le signe d'une future panne du premier appareil.

[0009] Des méthodes prédictives ont également été proposées dans le domaine aéronautique, dans lequel la survenue de pannes imprévues, et leur gestion, est plus problématique, en termes logistique, mais également en termes de couts, surtout si les pannes surviennent sur des plateformes lointaines.

[0010] Par exemple, le document US 2013197721 décrit un procédé de génération de messages particuliers liés à la performance d'un aéronef mettant en œuvre une identification des paramètres principaux de fonctionnement de l'aéronef, ceux qui possèdent un niveau de corrélation forte, entre 0,6 et 0,8, et ensuite un calcul de corrélation entre le changement de valeur de ces paramètres principaux et un paramètre indiquant un événement de défaillance.

[0011] Le document FR 3 028 331 décrit la surveillance d'un moteur d'aéronef, pour la planification des opérations de maintenance, qui met en œuvre une normalisation des paramètres endogènes de fonctionnement du moteur en prenant en compte un paramètre endogène du moteur et au moins un paramètre exogène propre à l'environnement d'utilisation du moteur, permettant ainsi de pouvoir comparer les données provenant de vols successifs.

[0012] Le document FR 3 016 710 décrit un procédé de prédiction d'une anomalie de fonctionnement des équipements d'un aéronef dans lequel, au cours des phases de maintenance de l'aéronef, les mesures de fonctionnement et les pannes sont récupérées sur un ordinateur pour former une base de données, et pendant la phase de maintenance, un programme d'analyse de données est exécuté afin de déterminer, en l'absence d'une panne, un ensemble de paires de paramètres qui corrélerent entre eux parmi tous les paramètres disponibles, et, toujours durant la phase de maintenance, un programme d'ordinateur est exécuté afin de calculer des corrélations de Pearson pour les paires de paramètres corrélerent entre-elles et, lorsque la valeur de corrélation calculée d'une paire, pour un vol donné, tombe en dessous d'un seuil de détection prédéterminé, un dysfonctionnement est signalé. Ce procédé présente de nombreux inconvénients. Tout d'abord, afin de déterminer automatiquement quels sont les paramètres qui corrélerent entre-eux, il est nécessaire de collecter la totalité des mesures de la totalité des capteurs de la totalité des

équipements de l'aéronef, créant ainsi un énorme volume de données qu'il est difficile de traiter. De plus, cette méthode n'est pas suffisamment sensible, pas assez fine dans la prédiction d'éventuelles pannes, car elle présente un fort taux de fausses alarmes ou de fausses déclarations de pannes, entraînant des
5 remplacements inutiles d'équipements sans dysfonctionnement.

Buts de l'invention

[0013] La présente invention vise à fournir une solution, en particulier une méthode de prédiction d'une panne d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble qui ne
10 présente pas les inconvénients de l'état de la technique.

[0014] La présente invention vise à fournir une méthode de prédiction d'une panne d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble, qui est plus sensible, plus fiable, et donc présentant une performance améliorée.

[0015] La présente invention vise à fournir une méthode de prédiction d'une panne
15 d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble qui présente un taux de fausses déclarations de pannes réduit.

Résumé de l'invention

[0016] La présente invention porte sur une méthode de prédiction d'une anomalie de
20 fonctionnement d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble, comprenant les étapes de prendre un ensemble, ayant au moins un cycle de fonctionnement, et comprenant une ou plusieurs séries d'équipements comprenant au moins un premier et un second équipement fonctionnant tout les deux en parallèle et sensiblement de la même manière, et comprenant un premier paramètre de fonctionnement qui
25 évolue, au court du temps, d'une manière similaire entre le premier et le second équipement, d'enregistrer et stocker des mesures au cours du temps du premier paramètres pour le premier et le second équipements, pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties du ou des cycles de fonctionnement de l'ensemble, de collecter les mesures durant, ou après l'achèvement d'un ou
30 plusieurs cycles de fonctionnement, ou d'une ou plusieurs parties du ou des cycles de fonctionnement, de traiter les mesures collectées, afin de détecter un possible dysfonctionnement du premier et/ou du second équipement, en établissant un

premier coefficient de détermination entre les mesures du premier paramètres du premier équipement et les mesures du premier paramètres du second équipement, si, pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties du ou des cycles de fonctionnement, le premier coefficient de détermination est inférieur à un premier seuil déterminé, d'émettre une alerte indiquant le dysfonctionnement du et/ou des premier et second équipements et/ou enclencher des étapes supplémentaires de la méthode selon l'invention, et, de préférence, si le premier coefficient de détermination est égal ou supérieur au premier seuil, émettre une alerte indiquant une absence de dysfonctionnement du et/ou des premier et second équipements et/ou ajuster le premier seuil en fonction du premier coefficient de détermination.

[0017] Selon des modes préférés de l'invention, la méthode selon l'invention comprend au moins une, ou une combinaison quelconque appropriée, des caractéristiques suivantes :

- la méthode comprend en outre la sélection préalable de la ou des séries de premier et second équipement de l'ensemble et/ou du premier paramètre de fonctionnement du premier ou du second équipement,
- la méthode comprend en outre les étapes de déterminer l'équation de régression linéaire entre le premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et le premier paramètre de fonctionnement du second équipement pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement de l'ensemble, et déterminer la valeur absolue de la constante de ladite équation, si ladite valeur absolue est inférieure ou égale à une valeur déterminée, établir pour le premier et/ou le second équipements, pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement, un second coefficient de détermination entre ledit premier paramètre de fonctionnement et un second paramètre de fonctionnement, et un troisième coefficient de détermination entre ledit premier paramètre de fonctionnement et un troisième paramètre de fonctionnement, et si lesdits second et troisième coefficients de détermination sont supérieurs ou égaux respectivement à un second et un troisième seuil, émettre une alerte indiquant une absence de dysfonctionnement et/ou ajuster lesdits second et troisième seuils en fonction desdits

second et troisième coefficients de détermination, si ladite valeur absolue est supérieure à la valeur déterminée, d'évaluer le bruit de fonctionnement du premier et/ou du second équipement, si le bruit est supérieur à une gamme déterminée de valeurs, d'émettre une alerte de dysfonctionnement du et/ou des équipements, si ledit

5 bruit est compris dans ladite gamme déterminée, sans la présence de pics de valeur du premier paramètre de fonctionnement, d'émettre une alerte indiquant une absence de dysfonctionnement et/ou d'ajuster ladite gamme déterminée de valeurs pour le bruit de fonctionnement, si le bruit est compris dans une gamme de valeur déterminée, en présence de pics de valeur du premier paramètre de fonctionnement,

10 d'émettre une alerte indiquant un dysfonctionnement du et/ou des équipements,

- le second et le troisième paramètre sont choisis parmi des paramètres de fonctionnement du premier et du second équipement différent du premier paramètre, un ou plusieurs paramètres influençant directement le fonctionnement du premier et/ou du second équipement, un ou plusieurs paramètres de fonctionnement d'un ou

15 plusieurs autres équipements de l'ensemble ou une combinaison de ceux-ci,

- l'étape de détermination bruit de fonctionnement du premier et/ou du second équipement est réalisée en déterminant les écart-types des mesures du premier paramètre de fonctionnement par rapport à la moyenne des mesures sur un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties du ou des cycles de

20 fonctionnement, et en comparant les écart-types à une gamme déterminée de valeurs moyennes limites,

- le premier seuil du premier coefficient de détermination et/ou le second seuil du second coefficient de détermination et/ou le troisième seuil du troisième coefficient de détermination et/ou la valeur absolue de la constante de l'équation de régression

25 linéaire et/ou la gamme déterminée de valeurs moyennes limites des écart-types des mesures du premier paramètre, est ou sont déterminés lors d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement de l'ensemble, ou une ou plusieurs parties du ou des cycles, dans lequel aucun dysfonctionnement du premier et/ou du second équipement n'a été détecté,

30 - la méthode comprend en outre une ou plusieurs représentations graphiques en fonction du ou des cycles de fonctionnement, ou parties du ou des cycles de fonctionnement, des mesures du premier paramètre de fonctionnement du premier

et/ou du second équipement et/ou du second et/ou du troisième paramètre et/ou du premier et/ou second et/ou troisième coefficient de détermination et/ou des écarts-types du premier paramètre et/ou les pics de valeur dans les mesures du premier paramètre,

- 5 - l'équipement est choisi parmi un aéronef, une voiture, un autobus, un camion, une locomotive, un bateau, un navire ou un engin spatial, autonome ou pas, et le premier et le second équipement sont des machines tournantes,
- l'ensemble est un aéronef, le premier et le second équipement sont les pompes de gavage carburant d'un ou plusieurs moteurs et le premier paramètre de
- 10 fonctionnement des pompes de gavage carburant est le courant électrique consommé par chaque pompe de gavage carburant, le second paramètre est la quantité moyenne de carburant mesurée sur le réservoir nourrice, et le troisième paramètre est la quantité moyenne de carburant mesurée dans le réservoir principale.
- 15 **[0018]** La présente invention porte également sur une méthode de maintenance d'un ensemble, comprenant une ou plusieurs séries d'équipements comprenant au moins un premier et un second équipement fonctionnant tout les deux en parallèle et sensiblement de la même manière, mettant en œuvre la méthode selon l'invention.

20 **Brève description des figures**

[0019] La figure 1 est un graphique représentant l'évolution du coefficient de détermination établi pour un premier paramètre de fonctionnement de deux équipements redondants en fonction du nombre de cycle de fonctionnement, avant et après remplacement de l'équipement défectueux, pour un mode de réalisation

25 particulier de l'invention dans lequel l'ensemble est un aéronef, les cycles de fonctionnement sont des vols de l'aéronef, et dans lequel le premier paramètre est l'intensité du courant électrique consommé par deux pompes de gavage carburant.

[0020] La figure 2 est un graphique représentant l'évolution, en fonction du nombre de cycles de fonctionnement, de la valeur de la constante de l'équation de

30 régression, établie pour une multitude de cycles de fonctionnement, entre le premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et le premier paramètre de fonctionnement du second équipement, avant et après remplacement de

l'équipement défectueux, pour le mode de réalisation particulier de l'invention dans lequel l'ensemble, comprenant les équipement redondants, est un aéronef, les cycles de fonctionnement sont des vols, et dans lequel le premier paramètre est l'intensité du courant électrique consommé par deux pompes de gavage carburant.

5 **[0021]** La figure 3 est un graphique représentant l'évolution, en fonction du nombre de cycles de fonctionnement, du second coefficient de détermination établi entre le premier paramètre de fonctionnement d'un des deux équipements redondants et un second paramètre influençant le fonctionnement de l'équipement, avant et après
10 remplacement de l'équipement, pour le mode de réalisation particulier de plusieurs vols d'un aéronef, le premier paramètre étant le courant électrique consommé par une pompe de gavage carburant, le second étant la quantité moyenne de carburant mesurée sur le réservoir nourrice.

[0022] La figure 4 est un graphique représentant l'évolution, en fonction du nombre de cycles de fonctionnement, du troisième coefficient de détermination établi entre le
15 premier paramètre de fonctionnement d'un des deux équipements redondants et un troisième paramètre influençant le fonctionnement de l'équipement, avant et après remplacement de l'équipement, pour le mode de réalisation particulier de plusieurs vols d'un aéronef, le premier paramètre étant le courant électrique consommé par une pompe de gavage carburant, le troisième étant la quantité moyenne de
20 carburant mesurée dans le réservoir principale.

[0023] La figure 5 est un graphique représentant l'évolution, en fonction du nombre de cycles de fonctionnement, du bruit de fonctionnement d'un des deux équipements, avant et après remplacement de l'équipement, pour le mode de
25 réalisation particulier de plusieurs vols d'un aéronef, le premier paramètre étant le courant électrique consommé par une pompe de gavage carburant.

[0024] La figure 6 est un graphique représentant, en fonction du nombre de cycles de fonctionnement, de l'amplitude des fronts montants du premier paramètre de fonctionnement d'un des deux équipements, avant et après remplacement de
30 l'équipement, pour le mode de réalisation particulier de plusieurs vols d'un aéronef, le premier paramètre étant le courant électrique consommé par une pompe de gavage carburant.

Description détaillée de l'invention

[0025] La méthode selon l'invention est une méthode de prédiction d'une anomalie de fonctionnement, ou d'une panne, d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble, qui nécessitent une maintenance, ou qui offre des performances améliorées, ou une plus grande longévité, dès la réalisation de cette maintenance, l'ensemble comprenant une ou plusieurs série d'équipement, chaque série comprenant au moins deux équipements, dits redondants car fonctionnant en parallèle, sensiblement de la même manière, et ayant chacun au moins un premier paramètre de fonctionnement qui évolue, au court du temps, d'une manière similaire entre les deux équipements lors de leur fonctionnement.

[0026] De préférence, le premier paramètre de fonctionnement qui est suivi dans le temps, est au moins du même type pour les deux équipements, avantageusement il s'agit du même paramètre de fonctionnement, comme par exemple la valeur de la consommation électrique de chaque équipement.

[0027] Les équipements en question peuvent être tout système de traitement de données ou des machines, quelque soit leur nature, mécanique et/ou électrique et/ou chimique et/ou électronique et leur degré de complexité, de préférence des machines tournantes, des équipements fonctionnant en continu et/ou par intermittence et pouvant être mis en œuvre dans de nombreux domaines techniques, par exemple pour la fabrication ou la transformation de produits, la production d'énergie ou le transport.

[0028] De préférence, l'ensemble peut faire partie d'un système industriel plus complexe.

[0029] De préférence, l'ensemble dont il est question dans la présente invention est utilisé dans la production d'électricité, de pétrole ou de gaz.

[0030] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, l'ensemble est mis en œuvre pour la production d'électricité et les au moins deux équipements sont des turbines à gaz.

[0031] Sans être limitatif, l'invention va être décrite pour un autre mode de réalisation, dans le domaine des transports, dans lequel l'ensemble est un aéronef, par exemple un avion ou un drone, et les équipements sont des pompes de gavage carburant des moteurs, le premier paramètre de fonctionnement étant le courant

électrique consommé par chaque pompe de gavage ; néanmoins, les équipements en question peuvent être d'autres dispositifs embarqués de l'aéronef, de préférence d'autres machines tournantes, autres que des pompes à carburants. Toutefois, la méthode peut être mise en œuvre plus généralement dans le domaine des transports, comme par exemple les voitures, autobus, ou camions, les locomotives, les navires ou les engins spatiaux, mais également dans le domaine de la robotique, par exemple des robots autonomes.

[0032] La méthode comprend une première étape d'enregistrement et de stockage des mesures, au cours du temps, et donc de l'évolution, d'un ou plusieurs paramètres de fonctionnement des équipements redondants dont une panne doit être prédite, le ou les paramètres étant censés évoluer au court du temps sensiblement de la même manière pour chaque équipement. De préférence, en plus du ou des paramètres des équipements redondants, un enregistrement et un stockage des mesures, au cours du temps, est réalisé pour un ou plusieurs autres paramètres, éventuellement des paramètres de fonctionnement d'autres équipements ou dispositifs de l'ensemble, de préférence également redondants entre eux, et qui sont, de préférence, directement liés au fonctionnement des deux équipements redondants suivis. Par exemple, pour des pompes de gavage carburant des moteurs d'un aéronef, la quantité de kérosène dans un réservoir de fin et la quantité de kérosène dans le réservoir global peuvent également être mesurées, enregistrées et stockés pour un traitement ultérieur.

[0033] L'enregistrement et le stockage des mesures, quelque soit le paramètre de fonctionnement concerné, peuvent être réalisés par les équipements eux-mêmes ou par un dispositif de l'ensemble en question, ou bien encore par un dispositif, ou par un système, externe à l'ensemble en question.

[0034] De préférence, la méthode comprend une étape de collecte des données correspondantes aux mesures du ou des paramètres. Cette collecte peut se faire sur, et à l'aide, d'un dispositif ou système distinct et distant de l'ensemble considéré, et peut être réalisée, soit après l'achèvement de plusieurs cycles de fonctionnement de l'ensemble considéré, soit à la fin d'un seul cycle de fonctionnement, soit de façon continue au cours du temps, de préférence après une période de temps qui

correspond à une ou plusieurs parties d'un cycle de fonctionnement de l'ensemble considéré.

[0035] Par exemple, pour un aéronef, et si l'on considère qu'un cycle de fonctionnement est un vol d'un aéroport de départ à un aéroport de destination, l'enregistrement continu et le stockage du ou des paramètres des deux équipements se fait à l'aide d'un enregistreur de données de vol ou un système de surveillance de l'état de l'aéronef, encore appelé ACMS (acronyme anglais pour « Aircraft Condition Monitoring System »), qui génère des rapports appelés snapshots ou des fichiers plus lourds appelés SAR, acronyme anglais pour « Smart ACMS Recorder », représentant les valeurs du ou des paramètres au cours du temps. Les rapports peuvent être communiqués au cours du vol via le système de communication air/sol, ou ACARS (acronyme anglais pour « Aircraft Communication Addressing And Reporting System »), durant des intervalles de temps déterminés, les SARs pouvant être communiqués après le vol, ou après une série de plusieurs vols successifs, à un dispositif ou système tiers qui les collecte en vue de les traiter.

[0036] Il est particulièrement avantageux que la méthode selon l'invention comprenne une étape préalable de sélection des équipements redondants à surveiller, et éventuellement également du ou des paramètres de fonctionnement à suivre. De préférence, la méthode met en œuvre le suivi d'au moins un paramètre de fonctionnement d'au moins deux équipements redondants déterminés, donc identiques et qui fonctionnent en parallèle, et éventuellement également un ou plusieurs autres paramètres de fonctionnement d'un ou plusieurs dispositifs ou équipements de l'ensemble dont le fonctionnement est directement lié au fonctionnement des deux équipements redondants. Cela présente l'avantage de ne collecter que les données correspondantes au(x) paramètre(s) déterminé(s) pour des équipements déterminés, sans devoir collecter, puis sélectionner et traiter la totalité des données, de la totalité des paramètres de fonctionnement de la totalité des équipements de l'ensemble en question, surtout s'il s'agit d'un aéronef.

[0037] La méthode selon l'invention comprend en outre une étape de traitement des données collectées.

[0038] Pour un premier cycle de fonctionnement de l'ensemble en question, ou des intervalles de temps dans un premier cycle de fonctionnement, par exemple pour un

aéronef, un vol ou les différentes phases du vol, une régression linéaire est établie entre les valeurs, au court du temps, du premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et celles du même paramètre de fonctionnement du second équipement. En effet, les deux équipements fonctionnant en parallèle, et étant censés le faire de façon sensiblement identique au court du temps, une relation linéaire existe donc entre les valeurs de ce premier paramètre qui ont été mesurés pour les deux équipements redondants.

[0039] Un premier coefficient de détermination est alors calculé pour le premier cycle, ou partie du premier cycle, de fonctionnement.

[0040] Contrairement à un coefficient de corrélation, qui permet de déterminer l'intensité de la liaison qui peut exister entre deux valeurs, le coefficient de détermination, qui, pour une régression linéaire, est le carré du coefficient de corrélation, présente l'avantage de dire à quel point l'équation de régression déterminée est adaptée pour décrire la distribution des valeurs des mesures. De plus, pour ce qui concerne un coefficient de corrélation, ce dernier ne peut être utilisé que pour des valeurs symétriques, les mesures d'un équipement pouvant être permutées avec celle de l'autre équipement, alors que le coefficient de détermination permet d'identifier la relation entre les valeurs, que ces dernières soient symétriques ou asymétriques, les mesures d'un équipement étant liées à celles de l'autre équipement, sans pour autant pouvoir être permutées.

[0041] Ainsi, un coefficient de détermination de « 1 » signifie alors que l'équation de la droite de régression est capable de déterminer 100% de la distribution des valeurs, signifiant un pouvoir de prédiction fort, alors qu'un coefficient de détermination de « 0 » signifie que la droite de régression n'explique absolument pas la distribution des valeurs et que les valeurs sont très dispersées, ce qui est le signe d'un pouvoir de prédiction faible.

[0042] Ensuite, une multitude de régressions linéaires sont établies et une multitude de coefficient de détermination sont calculés, entre les valeurs, au court du temps, du premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et celles du même paramètre de fonctionnement du second équipement, pour d'autres cycles de fonctionnement, ou des intervalles de temps d'autres cycles de fonctionnement, qui peuvent être antérieurs et/ou ultérieurs au premier cycle de fonctionnement, afin

d'établir une collection de valeurs pour le premier coefficient de détermination sur une multitude de cycles ou parties d'une multitude de cycles.

[0043] De préférence, le nombre de cycle de fonctionnement pris en considération est compris entre deux et 200 ou plus, avantageusement il est d'environ 40 cycles, un nombre qui représente un bon compromis entre quantité de mesures à traiter et fiabilité de la méthode selon l'invention.

[0044] Dans la présente invention, pour un cycle de fonctionnement donné, ou pour une série de cycles de fonctionnement, si une valeur, de préférence plusieurs des valeurs du premier coefficient de détermination est/sont égales ou se situe(nt) au dessus d'un premier seuil déterminé, entre la valeur de « 1 » et ce premier seuil, cela signifie que les valeurs mesurées pour le premier paramètres du premier équipement sont proches de celles mesurées pour le second équipement et que donc les deux équipements fonctionnent en parallèle d'une façon symétrique ou sensiblement symétrique. Par contre, si une valeur, de préférence plusieurs valeurs du premier coefficient de détermination se situent en dessous d'un premier seuil déterminé alors les deux équipements redondants ne fonctionnent pas d'une façon symétrique. Par conséquent, une première alerte peut être émise pour indiquer le dysfonctionnement ou le bon fonctionnement du et/ou des équipements et déclencher, ou pas, une demande d'inspection, une maintenance ou le remplacement des équipements redondants, soit, et de préférence, pour enclencher des étapes supplémentaire afin d'affiner la méthode selon l'invention.

[0045] Ce premier seuil déterminé est fonction des équipements redondants qui sont suivis. Il est de préférence établi sur la base d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement dans lequel, ou lesquels, aucun des deux équipements redondants n'a subis un dysfonctionnement ou une panne. De préférence, ce premier seuil déterminé est mis à jour en continu, en fonction des premiers coefficients de détermination établis pour des cycles de fonctionnement sans panne.

[0046] Dans l'exemple des mesures du courant électrique consommé par des pompes de gavage carburant des moteurs d'un aéronef, un premier coefficient de détermination égal ou compris entre 0,6 et 1, de préférence entre 0,65 et 0,7, signifie que les pompes de gavage carburant fonctionnent de façon symétrique ou

sensiblement symétrique alors qu'un premier seuil inférieur à 0,6 signifie que les pompes fonctionnent de façon asymétrique (figure 1).

[0047] Afin de réduire, voir éliminer les fausses alarmes ou de fausses déclarations de pannes, la méthode selon l'invention comprend une ou plusieurs étapes supplémentaires, dont la mise en œuvre est de préférence réalisée par le disfonctionnement d'un ou des deux équipements, de préférence à la suite de l'émission de l'alerte signalant ce disfonctionnement.

[0048] De préférence, la méthode met en œuvre une étape d'évaluation de la constante « b » de l'équation de la droite de régression linéaire, du type $Y = aX + b$, qui est déterminée pour le premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et celui du second équipement, pour un cycle de fonctionnement, ou partie de ce cycle, de préférence également pour d'autres cycles, ou parties de cycles, de fonctionnement.

[0049] La valeur absolue de la constante « b » de cette ou ces équations de régression permet d'estimer l'écart entre le premier paramètre de fonctionnement des deux équipements redondants et donc d'estimer avec quel écart les deux équipements redondants fonctionnent. Si la valeur « b » est supérieure ou égale à une valeur déterminée, un seuil qui est fonction des équipements redondants suivis, cela signifie que l'un des deux équipements considérés n'a plus un fonctionnement linéaire, dans un cycle, ou partie de cycle, de fonctionnement ou entre différents cycles de fonctionnement. Dans ce cas, un second et un troisième coefficient de détermination sont calculés et/ou évalués pour l'un des équipements, de préférence les deux équipements redondants afin d'identifier lequel des deux équipements ne fonctionne pas normalement.

[0050] De préférence, cette valeur déterminée de « b » est également établie sur la base d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement dans lequel, ou lesquels, aucun des deux équipements redondants n'a subi un disfonctionnement ou une panne. De préférence, cette valeur déterminée est mise à jour en continu, en fonction des valeurs de constante « b » établies pour des cycles de fonctionnement sans panne, et permet d'ajuster cette valeur déterminée servant de seuil.

[0051] Un second coefficient de détermination est calculé pour un cycle de fonctionnement, ou des intervalles de temps dudit cycles, de préférence une

multitude de cycles de fonctionnement, ou des intervalles de temps desdits cycles, qui est ou sont le ou les cycles ou parties de cycles, durant lequel ou lesquels le premier coefficient de détermination a été effectué. Ce coefficient de détermination est calculé entre le premier paramètre d'un des deux dispositifs redondants et un
5 second paramètre qui est soit un autre paramètre de fonctionnement du dispositif en question, de préférence différent du premier paramètre de fonctionnement, ou un paramètre qui influence directement le fonctionnement de l'équipement évalué ou un paramètre de fonctionnement d'un ou plusieurs autres équipements ou dispositifs de l'ensemble, qui sont, de préférence, directement liés au fonctionnement de
10 l'équipement redondant évalué.

[0052] Un troisième coefficient de détermination est calculé pour un cycle de fonctionnement, ou des intervalles de temps dudit cycles, de préférence une multitude de cycles de fonctionnement, ou des intervalles de temps desdits cycles, entre le premier paramètre d'un des deux dispositifs redondants et un troisième
15 paramètre qui peut être un autre paramètre de fonctionnement du dispositif en question, de préférence différent du premier et du second paramètre de fonctionnement, ou un paramètre qui influence directement le fonctionnement de l'équipement évalué, ou un paramètre de fonctionnement d'un ou plusieurs autres équipements ou dispositifs de l'ensemble qui sont directement liés au
20 fonctionnement de l'équipement redondant évalué.

[0053] De préférence, les second et troisième paramètres sont différents l'un de l'autre.

[0054] Si le second coefficient de détermination est supérieur ou égale à un second seuil, qui est fonction du premier paramètre de fonctionnement de l'équipement et du
25 second paramètre considéré, et que le troisième coefficient de détermination est supérieur ou égale à un troisième seuil, qui est fonction du premier paramètre de fonctionnement de l'équipement et du troisième paramètre considéré, cela signifie que l'équipement évalué fonctionne normalement. Dans le cas contraire, l'équipement évalué souffre d'un dysfonctionnement et une alerte est émise pour le
30 signaler et pour qu'une inspection, une maintenance ou un remplacement soit effectué.

[0055] Le second et le troisième seuil sont déterminés sur la base d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement dans lequel, ou lesquels, aucun des deux équipements redondants n'a subis un dysfonctionnement ou une panne. De préférence, ces second et troisième seuils sont mis à jour en continu.

5 **[0056]** Dans l'exemple de pompes de gavage carburant d'un aéronef, pour une valeur de constante « b » inférieure ou égale à « 3 », un second coefficient de détermination est déterminé, pour un ou plusieurs vols, entre les mesures de consommation de courant électrique d'une des pompes de gavage carburant avec la quantité de kérosène dans un réservoir de fin et un troisième coefficient de
10 détermination déterminé entre les mesures de consommation de courant électrique de la pompes de gavage carburant considéré avec la quantité de kérosène dans le réservoir principal. Si le second coefficient de détermination est supérieur ou égale à 0,7 et que le troisième coefficient de détermination est supérieur ou égal à 0,6, alors la pompe de gavage carburant pour laquelle ces déterminations ont été faites ne
15 souffre pas d'un dysfonctionnement. Dans le cas contraire, la pompe en question est défaillante et une alerte de dysfonctionnement est émise (figures 3 et 4).

[0057] Si la valeur absolue de la constante « b », de la droite de régression établie pour le premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et celui du second équipement, pour un cycle de fonctionnement, ou partie de ce cycle, ou
20 d'autre cycles, ou parties de cycles, de fonctionnement, est supérieure à la valeur déterminée, cela ne signifie pas pour autant que l'un des deux équipements redondants est défectueux. En effet, les deux équipements redondants peuvent avoir un fonctionnement asymétrique, ou de manière décalée, sans être l'objet d'un dysfonctionnement. Pour évaluer cela, la méthode comprend une étape d'évaluation
25 du « bruit » du ou des équipements redondants. Pour cela, les variations de mesures du premier paramètre sont déterminées et comparées à une valeur moyenne déterminée, ou gamme déterminée de valeurs moyennes limites, pour un ou des cycles de fonctionnement en l'absence d'un dysfonctionnement, le bruit est alors représenté par les écart-types du premier paramètre par rapport à la valeur moyenne
30 des mesures. Si un ou plusieurs écart-types sont supérieurs à la valeur, ou gamme, déterminée au préalable pour un ou des cycles sans dysfonctionnement des équipements redondants, alors l'équipement est considéré comme très bruité et

souffrant d'un dysfonctionnement ; une alerte indiquant un dysfonctionnement dudit et/ou desdits équipements est alors émise pour qu'une maintenance ou un remplacement soit effectué. Si les écarts-types sont inférieurs à cette valeur, ou gamme de valeur, prédéterminée, alors une détection de fronts montants, de leur nombre et leur intensité, est effectuée dans les valeurs mesurées pour le premier paramètre, afin d'identifier des pics de valeur, des sursauts, dans les mesures du premier paramètre de fonctionnement. S'il existe des fronts montants, l'équipement évalué est alors considéré, et indiqué par une alerte, comme subissant un dysfonctionnement, pour qu'une maintenance ou un remplacement soit effectué, alors que s'il n'existe pas de fronts montants, l'équipement est considéré et indiqué par une alerte comme ayant un fonctionnement normal.

[0058] Dans l'exemple de pompe de gavage carburant d'un aéronef, si la valeur de la constante « b » de la droite de régression du premier paramètre de fonctionnement des deux équipements redondants pour un cycle, ou parties de cycles, ou des cycles ou parties des cycles de fonctionnement, est supérieure à « 3 », le bruit de fonctionnement de l'équipement évalué est déterminé (figure 5). Si l'écart-type d'une ou plusieurs valeurs du premier paramètre de fonctionnement sont supérieures à 0,1, alors la pompe est signalée comme défectueuse. Si ce dernier est compris entre 0,08 et 0,1, sans présence de pics de valeur, alors la pompe fonctionne normalement, et sera mentionnée comme telle, alors qu'en présence de pics de valeur, par exemple des pics d'intensité du courant électrique supérieure à 150 mA avec une densité d'apparition en moyenne sur 20 vols supérieure à 1,6, alors la pompe est signalée comme défectueuse (figure 6).

[0059] De préférence, les étapes de la méthode selon l'invention se font de manière séquentielle, c'est-à-dire que les résultats de l'évaluation du premier coefficient de détermination, en particulier l'émission de la première alerte mentionnant le dysfonctionnement ou l'absence de dysfonctionnement, déclenchent, ou pas, la mise en œuvre des étapes supplémentaires. Toutefois, il peut être avantageux de réaliser chaque étapes de la méthode selon l'invention pour chaque cycle d'un nombre déterminé de cycles de fonctionnement, et si, pour cette multitude de cycles de fonctionnement, par exemple quarante ou cinquante, l'équipement évalué est

considéré comme défectueux dans plus de la moitié des cas, alors il est considéré comme devant être remplacé, et sera remplacé.

5 **[0060]** De préférence, l'évolution du ou des paramètres de fonctionnement des équipements redondants au court du temps, en particulier d'un ou plusieurs cycles ou parties de cycle de fonctionnement et/ou les coefficients de détermination, éventuellement également les différents seuils et valeur déterminé ou valeur moyenne, peuvent être représentées sous forme graphique.

10 **[0061]** La ou les alertes peuvent être de tout type, visuelles et/ou sonores. De préférence elles sont à destination du tiers devant décider et/ou réaliser la maintenance de l'ensemble comprenant les équipements redondants ; toutefois, il est également envisageable que l'opérateur ou les opérateurs de l'ensemble en question puissent également avoir accès ou être le destinataire de ces alertes.

15 **[0062]** La méthode selon l'invention est de mise en œuvre par un ou plusieurs dispositifs ou un systèmes de prédiction d'une anomalie de fonctionnement d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble fixe ou mobile, ledit ou lesdits dispositifs ou systèmes faisant partie intégrante, ou non, de l'ensemble fixe ou mobile, et comprenant des moyens matériels et/ou logiciels permettant la mise en œuvre de tout ou partie des étapes de la méthode de l'invention. De préférence, il s'agit d'un
20 dispositif ou système distant de l'ensemble considéré ; il comprend alors des moyens de communication avec l'ensemble des deux dispositifs redondants, et éventuellement également avec l'entité devant réaliser la maintenance des équipements de l'ensemble. De préférence, il comprend également des moyens de collection des mesures du ou des paramètres suivis et enregistrés et des moyens d'affichages des différents coefficients de détermination, pour tout ou partie d'un ou
25 plusieurs cycles de fonctionnement de l'ensemble.

REVENDEICATIONS

1. Une méthode de prédiction d'une anomalie de fonctionnement d'un ou plusieurs équipements d'un ensemble, ladite méthode comprenant les étapes suivantes :

- 5 - prendre un ensemble, ayant au moins un cycle de fonctionnement, et comprenant une ou plusieurs séries d'équipements comprenant au moins un premier et un second équipement fonctionnant tout les deux en parallèle, et sensiblement de la même manière, et comprenant un premier paramètre de fonctionnement, ou un premier, un second et un troisième paramètre de fonctionnement chaque paramètres
- 10 évoluant, au court du temps, d'une manière similaire entre ledit premier et ledit second équipement,
- enregistrer et stocker des mesures au cours du temps dudit ou desdits paramètres, pour ledit premier et ledit second équipements, pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de
- 15 fonctionnement dudit ensemble,
- collecter lesdites mesures durant, ou après l'achèvement, d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou d'une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement,
- traiter lesdites mesures collectées, afin de détecter un possible dysfonctionnement
- 20 dudit premier et/ou dudit second équipement, en établissant un premier coefficient de détermination entre les mesures dudit premier paramètres dudit premier équipement et les mesures dudit premier paramètres dudit second équipement,
- si, pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement, ledit premier coefficient de détermination est
- 25 inférieur à un premier seuil déterminé, émettre une alerte indiquant le dysfonctionnement du et/ou desdits premier et second équipements et/ou enclencher des étapes supplémentaires de ladite méthode, et, de préférence, si ledit premier coefficient de détermination est égal ou supérieur audit premier seuil, émettre une alerte indiquant une absence de dysfonctionnement du et/ou desdits premier et
- 30 second équipements et/ou ajuster ledit premier seuil en fonction dudit premier coefficient de détermination.

2. La méthode selon la revendication 1, comprenant en outre la sélection préalable de la ou des séries de premier et second équipement de l'ensemble et/ou du premier paramètre de fonctionnement dudit premier ou dudit second équipement.

- 5 outre les étapes suivantes :
- déterminer l'équation de régression linéaire entre le premier paramètre de fonctionnement du premier équipement et le premier paramètre de fonctionnement du second équipement pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement de l'ensemble, et
 - 10 déterminer la valeur absolue de la constante de ladite équation,
 - si ladite valeur absolue est inférieure ou égale à une valeur déterminée, établir pour le premier et/ou le second équipements, pour un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement, un second coefficient de détermination entre ledit premier paramètre
 - 15 de fonctionnement et un second paramètre de fonctionnement, et un troisième coefficient de détermination entre ledit premier paramètre de fonctionnement et un troisième paramètre de fonctionnement, et si lesdits second et troisième coefficients de détermination sont supérieurs ou égaux respectivement à un second et un troisième seuil, émettre une alerte indiquant une absence de dysfonctionnement et/ou
 - 20 ajuster lesdits second et troisième seuils en fonction desdits second et troisième coefficients de détermination,
 - si ladite valeur absolue est supérieure à ladite valeur déterminée, évaluer le bruit de fonctionnement du premier et/ou du second équipement,
 - si ledit bruit est supérieur à une gamme déterminée de valeurs, émettre une alerte
 - 25 de dysfonctionnement dudit et/ou desdits équipements,
 - si ledit bruit est compris dans ladite gamme déterminée, sans la présence de pics de valeur du premier paramètre de fonctionnement, émettre une alerte indiquant une absence de dysfonctionnement et/ou ajuster ladite gamme déterminée de valeurs pour ledit bruit de fonctionnement,
 - 30 - si ledit bruit est compris dans une gamme de valeur déterminée, en présence de pics de valeur du premier paramètre de fonctionnement, émettre une alerte indiquant un dysfonctionnement dudit et/ou desdits équipements.

4. La méthode selon la revendication précédente, dans laquelle le second et le troisième paramètre sont choisis parmi d'autres paramètres de fonctionnement du premier et du second équipement, différents du premier paramètre de fonctionnement, un ou plusieurs paramètres influençant directement le fonctionnement dudit premier et/ou dudit second équipement, un ou plusieurs paramètres de fonctionnement d'un ou plusieurs autres équipements de l'ensemble ou une combinaison de ceux-ci.

5. La méthode selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, dans laquelle l'étape de détermination bruit de fonctionnement du premier et/ou du second équipement est réalisée en déterminant les écart-types des mesures du premier paramètre de fonctionnement par rapport à la moyenne desdites mesures sur un ou plusieurs cycles de fonctionnement, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement, et en comparant lesdits écart-types à une gamme déterminée de valeurs moyennes limites.

6. Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans laquelle le premier seuil du premier coefficient de détermination est déterminé lors d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement de l'ensemble, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles, dans lequel ou lesquels aucun dysfonctionnement du premier et/ou du second équipement n'a été détecté.

7. Méthode selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans laquelle le second seuil du second coefficient de détermination et/ou le troisième seuil du troisième coefficient de détermination et/ou la valeur absolue de la constante de l'équation de régression linéaire, est ou sont déterminés lors d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement de l'ensemble, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles, dans lequel ou lesquels aucun dysfonctionnement du premier et/ou du second équipement n'a été détecté.

8. Méthode selon la revendication 5, dans laquelle la gamme déterminée de valeurs moyennes limites des écart-types des mesures du premier paramètre, est déterminée lors d'un ou plusieurs cycles de fonctionnement de l'ensemble, ou une ou plusieurs parties dudit ou desdits cycles, dans lequel ou lesquels aucun dysfonctionnement du premier et/ou du second équipement n'a été détecté.

9. Méthode selon l'une quelconque des revendications 1 ou 3, comprenant en outre une ou plusieurs représentations graphiques, en fonction du ou des cycles de fonctionnement, ou parties dudit ou desdits cycles de fonctionnement, des mesures du premier paramètre de fonctionnement du premier et/ou du second équipement
5 et/ou du premier coefficient de détermination, ou dudit premier paramètre de fonctionnement, dudit premier coefficient de détermination et du second et/ou du troisième paramètre et/ou du premier et/ou second et/ou troisième coefficient de détermination et/ou des pics de valeur dans les mesures dudit premier paramètre.

10. Méthode selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans
10 laquelle l'équipement est choisi parmi un aéronef, une voiture, un autobus, un camion, une locomotive, un bateau, un navire ou un engin spatial, autonome ou pas, et le premier et le second équipement sont des machines tournantes.

11. Méthode selon la revendication précédente, dans laquelle l'ensemble est un aéronef, le premier et le second équipement sont les pompes de gavage carburant
15 d'un ou plusieurs moteurs, le premier paramètre de fonctionnement desdites pompes de gavage carburant est le courant électrique consommé par chaque pompe de gavage carburant, le second paramètre est la quantité moyenne de carburant mesurée sur le réservoir nourrice, et le troisième paramètre est la quantité moyenne de carburant mesurée dans le réservoir principale.

20 12. Méthode de maintenance d'un ensemble comprenant une ou plusieurs séries d'équipements comprenant au moins un premier et un second équipement fonctionnant tous les deux en parallèle et sensiblement de la même manière, comprenant une étape de mise en œuvre de la méthode de prédiction selon l'une quelconque des revendications précédentes et au moins une étape de maintenance
25 dudit ou desdits premier et second équipement, ladite étape de maintenance comprenant la réparation et/ou le remplacement dudit ou desdits premier et/ou second équipement.

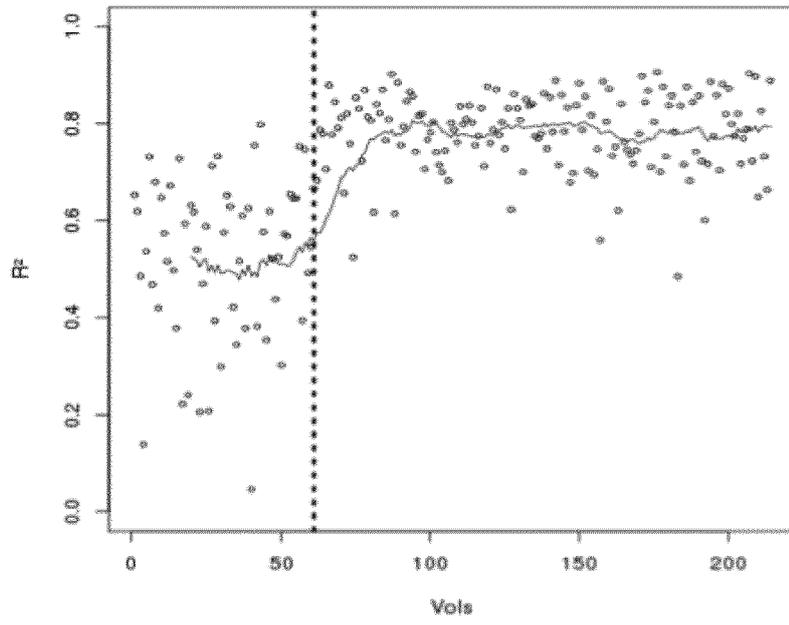


Fig. 1

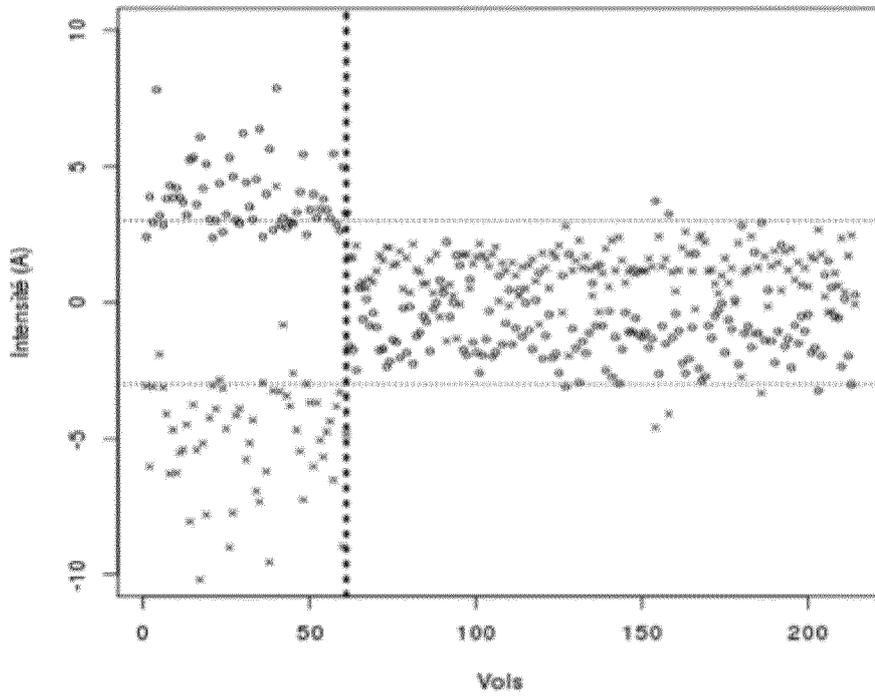


Fig. 2

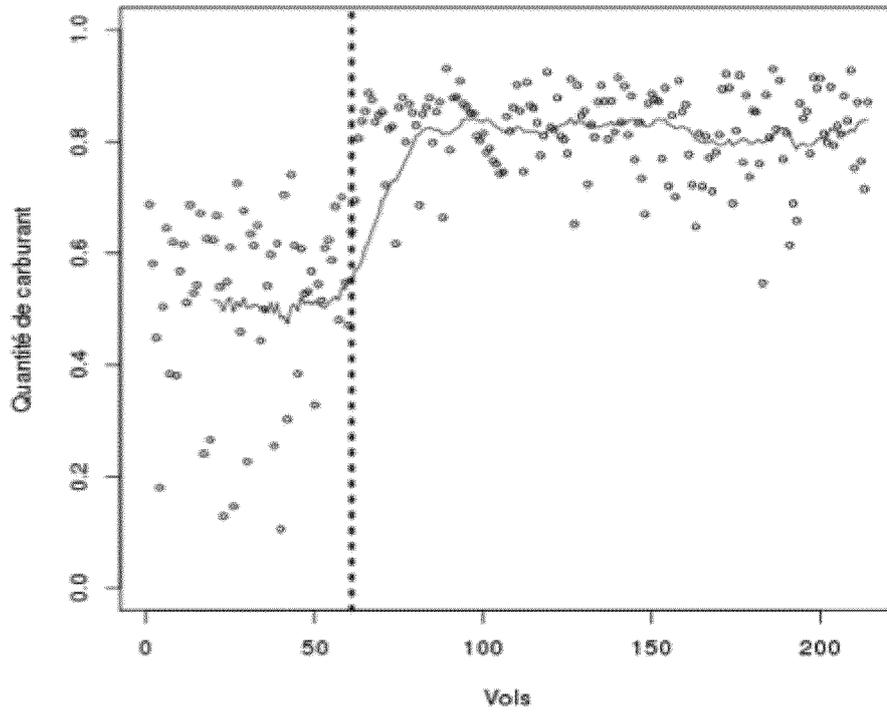


Fig. 3

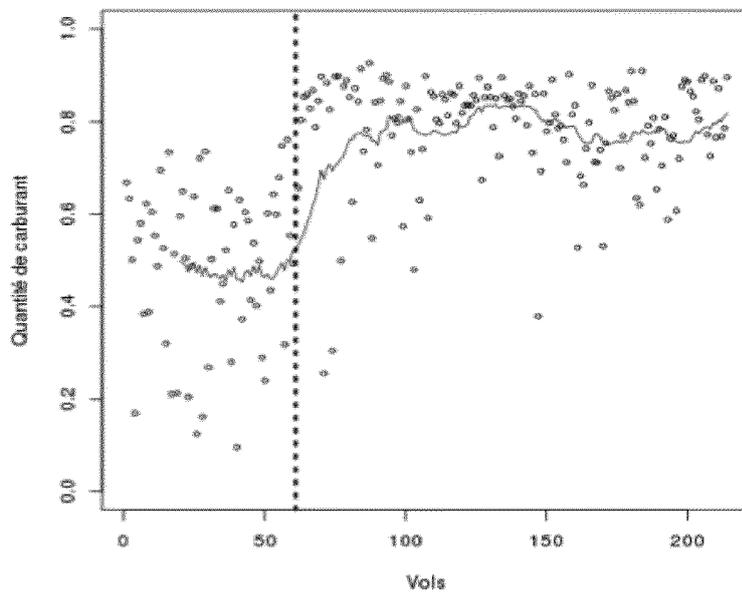


Fig. 4

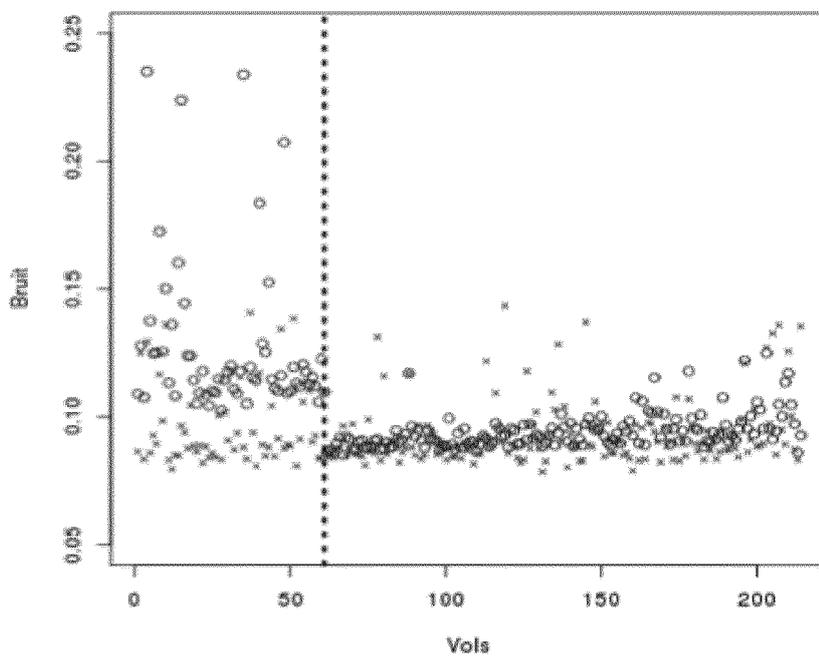


Fig. 5

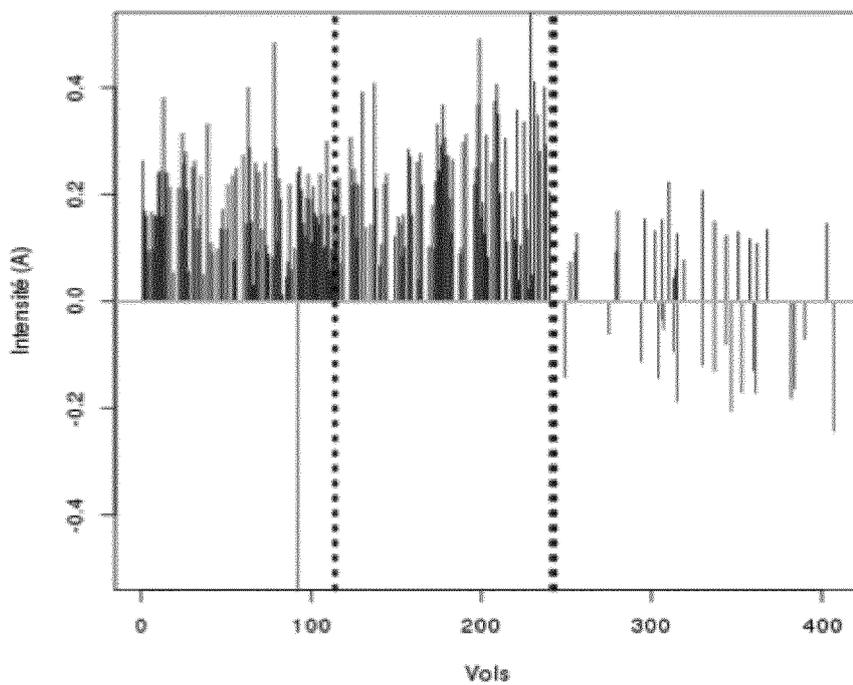


Fig. 6

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

AU 2015 249 207 B2 (GEN ELECTRIC) 2 février 2017 (2017-02-02)

FR 3 016 710 A1 (PETTRE JEAN-HUGUES [FR]) 24 juillet 2015 (2015-07-24)

FR 3 028 331 A1 (SNECMA [FR]) 13 mai 2016 (2016-05-13)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT