(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 973 902**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **11 01038**

(51) Int Cl[8] : ***G 06 F 11/30*** *(2012.01), B 64 F 5/00*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 06.04.11.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 12.10.12 Bulletin 12/41.

(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 :**

(71) **Demandeur(s) :** *DASSAULT AVIATION* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** TURBAN LAURENT et TURCO WALTER.

(73) **Titulaire(s) :** DASSAULT AVIATION.

(74) **Mandataire(s) :** CABINET LAVOIX.

(54) PROCEDE D'ANALYSE DE PANNES PRESENTES SUR UNE PLATEFORME ET SYSTEME ASSOCIE.

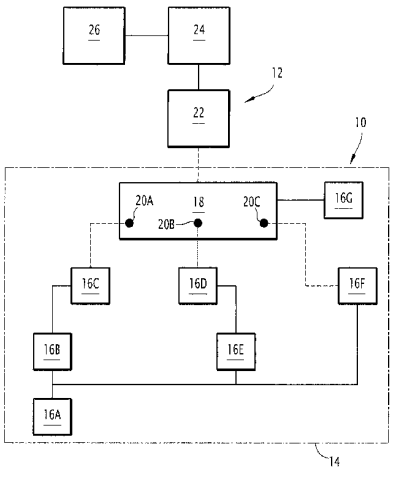
(57) Ce procédé comporte les étapes suivantes:

(a) fourniture d'une table de correspondance entre une pluralité de symptômes observables sur la plateforme (10) et les modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme observable;

(b) mesure des symptômes observables présents sur la plateforme (10);

(c) établissement d'au moins une famille de pannes, comportant la détermination d'une liste de modes de défaillances susceptibles d'engendrer seuls ou en combinaison, tous les symptômes présents sélectionnés, le placement de chaque mode de défaillance donné du groupe dans une famille de pannes et le regroupement de tous les modes de défaillance susceptibles d'engendrer au moins un symptôme présent sélectionné commun avec le mode de défaillance donné dans la même famille de pannes que le mode de défaillance donné.

Application à l'analyse de pannes sur un aéronef.



FR 2 973 902 - A1

Procédé d'analyse de pannes présentes sur une plateforme et système associé

La présente invention concerne un procédé d'analyse d'au moins une panne présente sur une plateforme.

La plateforme est avantageusement un aéronef, tel qu'un avion civil ou militaire. Une plateforme de ce type présente un grand nombre de systèmes fonctionnels mécaniques, électriques et électroniques distincts. Ces systèmes sont souvent interconnectés.

De tels systèmes sont donc susceptibles d'engendrer une multitude de pannes distinctes qui résultent en une pluralité de symptômes observables sur la plateforme.

Les symptômes observables sont par exemple des messages numériques de pannes (ou « Fault Code ») qui identifient notamment les résultats d'autotest, les résultats de tests d'intégrité de chaînes électriques, ou encore les résultats de tests de capteurs et d'actionneurs. D'autres données, telles que l'état de l'aéronef, la position d'une vanne, peuvent être mesurées et prises en compte en tant que symptômes pour identifier la configuration détaillée de l'aéronef et le contexte de l'évènement engendrant les symptômes observés.

Dans certains cas, le nombre et la variété des symptômes observés rend extrêmement complexe la détermination du ou des systèmes en panne susceptibles d'engendrer les symptômes.

Par suite, les procédures de maintenance à effectuer sur l'appareil peuvent être très compliquées et requérir un temps d'analyse important.

Pour pallier partiellement ce problème, il est connu d'associer à un ensemble de symptômes une pluralité d'équations qui déterminent, en fonction de la signature de symptômes captés, si cette signature correspond à une signature théorique d'une panne définie, sur la base d'équations.

Les méthodes d'analyse par équation sont limitées quant à leur simplicité de mise en œuvre et à la pertinence des résultats obtenus. En effet, dès lors que la signature captée ne correspond pas à la signature théorique, l'origine de la panne est difficilement déterminable. Les équations de définition de la signature sont par ailleurs par nature complexes, dès lors que le système fonctionnel est de structure compliquée.

Ce type de méthode ne donne donc pas entière satisfaction, puisque ces méthodes conduisent parfois à remplacer des équipements qui sont supposés être incriminés, et qui, une fois remplacés, ne résolvent pas la panne. Dans certains cas, un grand nombre d'équipements incriminés doit être remplacé pour résoudre la panne.

Toutes ces pannes non facilement résolvables conduisent à des immobilisations non souhaitées de l'aéronef, voire à des interventions du constructeur.

Un but de l'invention est donc d'obtenir un procédé d'analyse qui permette de déterminer, de manière globale et rapide, l'origine de pannes complexes présentes sur un aéronef, sans l'utilisation de modèles mathématiques complexes.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé du type précité, du type comprenant les étapes suivantes :

(a) fourniture d'une table de correspondance entre une pluralité de symptômes observables sur la plateforme et les modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme observable;

(b) mesure des symptômes présents sur la plateforme et sélection d'au moins une partie des symptômes présents mesurés;

(c) établissement d'au moins une famille de pannes, l'étape d'établissement comportant, les phases suivantes :

- obtention, à partir de la table de correspondance d'une liste de modes de défaillances susceptibles d'engendrer seuls ou en combinaison, tous les symptômes présents sélectionnés ; et, pour chaque mode de défaillance donné de ladite liste :

- placement du mode de défaillance donné dans une famille de pannes ;

- regroupement dans la même famille de pannes que le mode de défaillance donné de tous les modes de défaillance de ladite liste susceptibles d'engendrer au moins un symptôme présent sélectionné commun avec le mode de défaillance donné.

Le procédé selon l'invention peut comprendre l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prise(s) isolément ou suivant toute combinaison techniquement possible :

- la phase de regroupement comprend le pointage de chaque symptôme présent sélectionné susceptible d'être engendré par le mode de défaillance donné et le placement dans ladite famille de pannes de tous les modes de défaillances de ladite liste susceptibles d'être engendré par chaque symptôme pointé.

- l'étape (c) engendre une famille de pannes unique, la famille de pannes unique comprenant au moins un mode de défaillance, le ou chaque mode de défaillance de la famille de pannes étant susceptible d'engendrer chaque symptôme présent sélectionné à l'étape (b).

- l'étape (c) engendre une pluralité de familles de pannes disjointes, chaque mode de défaillance d'une première famille de pannes ne présentant aucun symptôme présent sélectionné commun avec chaque mode de défaillance d'une deuxième famille de pannes.

- l'étape (c) comporte les phases suivantes :

(c1) balayage de chaque mode de défaillance listé dans la liste de modes de défaillances pour déterminer si le mode de défaillance balayé appartient déjà à une famille de pannes ;

(c2) si le mode de défaillance balayé n'appartient pas déjà à une famille de pannes, création d'une nouvelle famille de pannes comportant le mode de défaillance balayé ;

(c3) balayage de tous les symptômes présents sélectionnés susceptibles d'être engendrés par le mode de défaillance balayé de la nouvelle famille de pannes ;

(c4) pointage, sur la base de la table de correspondance, des autres modes de défaillance susceptibles d'engendrer ledit symptôme présent sélectionné ;

(c5) détermination, pour chaque autre mode de défaillance pointé si ce mode de défaillance appartient à une autre famille de pannes.

- à l'étape (c5), si le mode de défaillance appartient à une autre famille de pannes, le procédé comporte la fusion de l'autre famille de pannes avec la famille de panne nouvellement crée, et sinon, le procédé comporte l'intégration du mode de défaillance pointé dans la famille en cours.

- il comporte, entre l'étape (b) et l'étape (c), la séparation des modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme présent sélectionné en un premier groupe de modes de défaillance potentiellement actif et en un deuxième groupe de modes de défaillance potentiellement inactifs, la liste de modes de défaillances déterminés à l'étape (c) comprenant uniquement des modes de défaillance potentiellement actifs.

- la table de correspondance comprend pour chaque mode de défaillance, l'attribution à chaque symptôme associé à ce mode de défaillance d'un critère déterministe du symptôme, pour répartir les symptômes de ce mode de défaillance entre au moins un premier groupe de symptômes systématiques et éventuellement en au moins un deuxième groupe de symptômes non systématiques,

l'étape de séparation comprenant le classement dans le deuxième groupe de modes de défaillance potentiellement inactifs de chaque mode de défaillance ne comprenant pas tous les symptômes systématiques parmi la liste des symptômes présents mesurés à l'étape (b).

- il comporte une étape de calcul de la vraisemblance globale de chaque mode de défaillance associé à au moins un symptôme présent sélectionné à l'étape (b), sur la base d'une valeur représentative prédéterminée d'occurrence d'apparition du mode de défaillance et d'un vecteur représentatif du nombre de symptômes présents sélectionnés

à l'étape (b) parmi les symptômes associés au mode de défaillance dans la table de correspondance.

- il comporte, pour chaque famille de pannes, une étape de détermination du ou de chaque sous-ensemble de modes de défaillance minimaux susceptibles d'engendrer à eux seuls l'ensemble des symptômes présents sélectionnés de la famille de pannes.

- l'étape de détermination comprend les sous-étapes suivantes :

- création d'une pluralité de sous-ensembles initiaux, chaque sous-ensemble contenant au moins un mode de défaillance associé à un symptôme présent sélectionné de la famille ;

- intersection itérative des sous-ensembles initiaux pour déterminer les modes de défaillance communs entre les sous-ensembles ;

- élimination des sous-ensembles redondants présentant des modes de défaillance communs.

- il comporte, pour chaque sous-ensemble, le calcul d'une probabilité d'occurrence de chacun des modes de défaillances présent dans le sous-ensemble en fonction d'une valeur prédéterminée d'occurrence de chaque mode de défaillance.

- il comporte une première phase d'établissement d'au moins une première famille de pannes, sur la base d'un premier jeu de symptômes présents sélectionnés à l'étape (b) et de la table de correspondance; puis une deuxième phase d'établissement d'au moins une deuxième famille de pannes sur la base de la table de correspondance et d'un deuxième jeu de symptômes présents sélectionnés comprenant une partie des symptômes du premier jeu de symptômes présents sélectionnés, le deuxième jeu de symptômes présents étant distinct du premier jeu de symptômes présents sélectionnés.

- il comporte la réalisation d'une étape de maintenance sur la plateforme sur la base de la ou de chaque famille de pannes obtenue à l'étape (c).

L'invention a également pour objet un système d'analyse de pannes du type comprenant :

- des moyens de stockage d'une table de correspondance entre une pluralité de symptômes observables sur la plateforme et les modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme observable;

- des moyens de mesure des symptômes observables présents sur la plateforme et de sélection d'au moins une partie des symptômes présents mesurés;

- des moyens d'établissement d'au moins une famille de pannes, les moyens d'établissement comportant :

* des moyens d'obtention, à partir de la table de correspondance, d'une liste de modes de défaillances susceptibles d'engendrer seuls ou en combinaison, tous les symptômes présents sélectionnés ;

* des moyens de placement de chaque mode de défaillance donné de ladite liste dans une famille de pannes ;

* des moyens de regroupement dans la même famille de pannes que le mode de défaillance donné, de tous les modes de défaillance de la liste susceptibles d'engendrer au moins un symptôme présent sélectionné commun avec le mode de défaillance donné.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple, et faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue schématique d'un ensemble fonctionnel d'aéronef muni d'un système d'analyse de pannes selon l'invention ;

- la Figure 2 est un schéma synoptique représentant les différentes étapes d'un premier procédé d'analyse selon l'invention ;

- la Figure 3 est un schéma synoptique analogue à celui de la Figure 2 représentant les différentes phases d'une première étape de prétraitement des modes de défaillance ;

- la Figure 4 est une table illustrant le classement des symptômes observés en fonction de leur pertinence et de leur validité ;

- la Figure 5 est un schéma synoptique analogue à celui de la Figure 3 représentant les différentes phases de l'étape de détermination de la vraisemblance globale des modes de défaillance ;

- la Figure 6 est une vue analogue à la Figure 2 représentant les différentes phases de l'étape de détermination des familles de pannes ;

- la Figure 7 est un tableau illustrant le contenu d'une famille de pannes ;

- la Figure 8 représente un tableau illustrant les vraisemblances globales calculées pour les différents modes de défaillance ;

- la Figure 9 illustre une table de correspondance entre une pluralité de symptômes et les modes de défaillance susceptibles d'engendrer ces symptômes pour la mise en œuvre de l'étape de détermination des familles de pannes ;

- la Figure 10 est un schéma analogue à celui de la Figure 2 illustrant la phase de listage des modes de défaillance potentiellement actifs associés à chaque famille ;

- la Figure 11 est une vue analogue à la Figure 10 illustrant la phase de détermination de la liste minimale des modes de défaillance de chaque famille ;

- la Figure 12 est une vue analogue à la Figure 2 illustrant l'étape de détermination des sous-ensembles minimaux ;

- la Figure 13 est une vue schématique illustrant un exemple de mise en œuvre de l'étape de détermination des sous-ensembles dans laquelle un sous-ensemble unique est obtenu ; et

- la Figure 14 est une vue analogue à la Figure 13 dans laquelle plusieurs sous-ensembles distincts sont obtenus.

En référence à la Figure 1, un premier procédé selon l'invention est destiné à analyser les pannes présentes sur une plateforme 10 à l'aide d'un système 12 de mise en œuvre.

La plateforme 10 est avantageusement un aéronef. La plateforme comporte une pluralité d'ensembles fonctionnels 14 destinés au fonctionnement de la plateforme. Dans le cas d'un aéronef, les ensembles fonctionnels 14 sont notamment destinés au pilotage du déplacement de la plateforme au sol, ou lors d'un vol.

L'ensemble fonctionnel 14 comprend généralement une pluralité d'équipements marqués 16A à 16F dans l'exemple de la Figure 1, et une unité 18 de commande et de détection raccordée aux équipements16A à 16F.

Les divers équipements 16A à 16F sont raccordés mécaniquement, électriquement et/ou hydrauliquement entre eux et/ou à l'unité 18 pour être pilotés par l'unité 18 sous l'action d'au moins un organe de commande 16G.

L'unité 18 est avantageusement munie de détecteurs 20A, 20B, 20C, propres à détecter des symptômes de pannes présentes sur les équipements 16A à 16F.

Dans un exemple particulier donné à titre d'illustration, l'organe de commande 16G est par exemple un organe de commande du freinage de l'aéronef. L'équipement 16A est par exemple un générateur hydraulique, et les équipements 16B et 16E sont des électro robinets pilotés par le calculateur 18. Dans cet exemple particulier, les équipements 16C, 16D et 16F sont des manomètres contacteurs raccordés respectivement au frein gauche, au frein droit et au générateur hydraulique, et les détecteurs 20A, 20B, 20C sont aptes respectivement à mesurer la présence d'une pression au niveau des manomètres 16C, 16D, 16F.

Le système d'analyse 12 comprend un calculateur 22 comportant des moyens de mise en œuvre du procédé incluant un processeur et une mémoire susceptible de contenir au moins une base de données.

Le calculateur 22 est par exemple embarqué sur la plateforme 10. En variante ou en complément, le calculateur 22 est disposé à l'écart de la plateforme 10 au sol et est susceptible d'être raccordé à la plateforme.

Le calculateur 22 est raccordé à chaque unité de commande 18 d'un ensemble fonctionnel 14 ou/et à chaque équipement 16A à 16G par des moyens de transmission filaire ou/et par des moyens de transmission sans fil, par exemple au moyen d'un bus numérique.

Le calculateur 22 comporte une interface utilisateur, notamment un dispositif d'affichage 24 et un périphérique d'entrée 26.

Dans le cas où le calculateur 22 est embarqué sur la plateforme 10, l'afficheur 24 est par exemple présent dans le cockpit de commande de la plateforme 10, pour être accessible par le pilote de la plateforme 10.

Comme on le verra plus bas, l'ensemble des équipements 16A à 16G est susceptible de présenter une ou plusieurs pannes élémentaires qui seront désignées par le terme « mode de défaillance ». Chaque mode de défaillance est associé à un équipement particulier. Il est susceptible d'engendrer un ou plusieurs symptômes observables sur la plateforme, les symptômes pouvant être communs à plusieurs modes de défaillance d'un équipement donné ou encore à plusieurs modes de défaillance de plusieurs équipements distincts.

La présence de chacun des symptômes observables doit donc être mesurée pour tenter de déterminer l'origine de la panne et par suite le ou les modes de défaillance potentiellement incriminés.

Chaque symptôme peut être un symptôme observable au niveau des données numériques véhiculées au sein de la plateforme, comme par exemple une donnée obtenue à partir d'un détecteur 20A à 20C, tel qu'un mano-contacteur, ou une grandeur physique mesurée sur un équipement telle qu'une pression hydraulique.

En variante ou en addition, certains symptômes sont des symptômes observables ou mesurables par un opérateur extérieur, comme par exemple la présence d'une fumée, d'un suintement, ou la confirmation par l'opérateur du bon fonctionnement d'un équipement donné, notamment lorsque cet équipement a été remplacé.

En référence à la Figure 2, le procédé selon l'invention comporte au moins une étape 40 de fourniture d'une table de correspondance 60 (visible sur la Figure 9) entre une pluralité de symptômes Si à observer et les modes de défaillance MDi susceptibles d'engendrer chaque symptôme à observer Si, et une étape 42 de mesure des symptômes Si présents sur la plateforme. Selon l'invention, le procédé comporte une étape 44 d'établissement d'au moins une famille de pannes FPi, chaque famille de pannes comprenant au moins un mode de défaillance MDk présentant un ou plusieurs symptômes présents. La famille de pannes regroupe, pour chaque mode de défaillance MDk, tous les modes de défaillance MDi associés à chaque symptôme présent du mode

de défaillance MDk, l'établissement de la famille étant effectué sur la base des symptômes présents mesurés Sk et de la table de correspondance 60.

Avantageusement, le procédé comporte en outre, avant l'étape 44 d'établissement des familles de pannes, une étape 46 de pré-traitement des symptômes observés pour sélectionner uniquement les symptômes déterminés comme effectivement présents.

Le procédé comporte également une étape 48 de détermination des sous-ensembles de pannes minimales susceptibles à elles-seules d'engendrer l'ensemble des symptômes associés à l'ensemble des modes de défaillance faisant partie de la même famille de pannes.

Le procédé selon l'invention peut enfin comprendre une étape 50 d'exploitation des données obtenues lors des étapes précédentes, en vue d'effectuer une résolution de pannes.

A l'étape de fourniture 40, une table 60 de correspondance, dont un exemple est représenté sur la Figure 9, est établie entre chaque mode de défaillance MD1 à MD12 recensé pour tous les équipements de l'ensemble fonctionnel 14 et les symptômes associés S1 à S7 respectivement à chacun des modes de défaillance MD1 à MD12 observés.

Ainsi, comme l'illustre la Figure 9, la table 60 liste (suivant ses lignes sur la Figure 9), pour chaque mode de défaillance MD1 à MD12 particulier associé à l'ensemble fonctionnel 14, les symptômes observables S1 à S7 associés à ce mode de défaillance particulier.

De même, la table 60 liste (suivant ses colonnes sur la Figure 9) pour chaque symptôme observable S1 à S7, le ou chaque mode de défaillance susceptible d'engendrer le symptôme S1 à S7.

Avantageusement, la table 60 comporte en outre, pour chaque couple (Si / MDj) de symptôme / mode de défaillance, une qualification du caractère systématique ou non systématique du symptôme Si lorsque le mode de défaillance MDj est présent.

La table 60 ou une autre table analogue comporte éventuellement une pondération (représentée entre parenthèses sur la Figure 9) du poids individuel de chaque symptôme Si parmi les symptômes susceptibles d'engendrer un mode de défaillance donné.

Comme on l'a vu plus haut, les différents modes de défaillance MD1 à MD12 sont chacun associés à un équipement 16A à 16F particulier. Ainsi, dans l'exemple représenté sur la Figure 9, les deux premiers modes de défaillance MD1 et MD2 sont associés à un premier équipement 16C, les modes de défaillance MD3 et MD4 à un deuxième équipement 16D et ainsi de suite.

Dans l'exemple décrit plus haut, les modes de défaillance MD1 et MD2 sont notamment associés au manomètre contacteur gauche du système de freinage. Les modes MD1 et MD2 sont par exemple respectivement un « manomètre contacteur gauche bloqué fermé » et un « manomètre contacteur gauche bloqué ouvert ». Ils sont susceptibles d'engendrer respectivement les symptômes S1 et S2 suivants : « pression frein gauche présente alors que le freinage n'est pas commandé par le calculateur » et « pression frein gauche nulle alors que le freinage est commandé par le calculateur ».

Comme on peut le voir sur la Figure 9, le même symptôme Si peut être associé à plusieurs modes de défaillance.

Ainsi, dans l'exemple ci-dessus, le symptôme S1 « pression frein gauche présente alors que le freinage n'est pas commandé par le calculateur » est associé au mode de défaillance MD1 décrit plus haut et au mode de défaillance MD5 « électrovanne robinet gauche bloqué ouvert »

En outre, certains symptômes, comme notamment les symptômes S1 et S2 décrits plus haut, sont marqués comme systématiques, ce qui est représenté par des croix sur la Figure 9.

Les symptômes qui sont marqués comme non-systématiques sont représentés par des ronds dans l'exemple de la Figure 9. Dans l'exemple représenté plus haut, ces symptômes S1 à S6 sont non systématiques dans le mode de défaillance MD12 qui correspond à une déficience de l'unité de commande 18.

La pondération du poids individuel de chaque symptôme pour un mode de défaillance donné est représenté par un nombre entre parenthèses sur la Figure 9. Ce nombre est par exemple déterminé en pourcentage. Ainsi, la somme des vraisemblances de l'ensemble des symptômes associés à un mode de défaillance particulier (sur une ligne donnée du Tableau de la Figure 9) est égale à 100.

La table 60 est avantageusement stockée dans la mémoire du calculateur 22.

A l'étape de mesure, le calculateur 22 reçoit des mesures des différents symptômes observables, soit directement par transmission des données des détecteurs 20A, 20B, 20C à travers le bus numérique, soit par entrée manuelle d'un opérateur à l'aide de l'interface 24 ou par un autre moyen de transmission au calculateur.

Chaque symptôme mesuré est alors classé suivant une valeur égale à « vrai » ou à « faux » représentative de la présence brute du symptôme, et, est avantageusement associé à un critère de validité ou d'invalidité du symptôme.

Comme l'illustre la Figure 4, chaque symptôme observable est ainsi mesuré et est mis en forme indépendamment des autres symptômes par une équation aussi simple que possible qui n'intègre pas si possible de traitement de combinatoire. L'aspect temporel et

les aspects de logique déterministes complexes sont implémentés dans l'équation du symptôme elle-même.

Ainsi, en fonction de l'état de l'ensemble fonctionnel 14, chaque symptôme est mesuré comme présentant une valeur « vrai » ou « faux », représentée respectivement par des carrés et par des cercles barrés sur la Figure 4.

En outre, un critère de validité du symptôme observé est avantageusement associé à chaque symptôme mesuré en fonction du contexte de la mesure. Ce critère est par exemple « valide » (« V » sur le tableau Figure 4) ou « non valide » (« NV » sur le tableau Figure 4). Un symptôme est qualifié de « non valide » par le calculateur 22 ou par l'opérateur lorsque le contexte d'apparition du symptôme est improbable. A défaut, chaque symptôme est considéré comme « valide ».

Lorsque le symptôme est valide et vrai, le symptôme est alors déterminé comme « présent » par le calculateur 22. A l'inverse, si le symptôme est faux et valide, il est considéré comme « absent ».

L'étape de mesure 42 permet donc au calculateur 22 de déterminer un premier groupe de symptômes « présents », qui seront utilisés pour l'analyse ultérieure et éventuellement un deuxième groupe de symptômes « absents ».

Dans l'exemple représenté sur la Figure 4, le symptôme S1 décrit plus haut est valide est vrai, de même que les symptômes S3 (« pression frein droit présente alors que freinage non commandé » et S7 (« je déclare l'unité 18 non fonctionnelle »). Chacun des symptômes S1 à S3 est donc déclaré « présent ». Les symptômes S2, S5 et S6 sont non valides.

Ensuite, lorsqu'elle est présente, l'étape de prétraitement 46 est mise en œuvre.

Cette étape 46 comporte une phase 70 d'élaboration des modes de défaillance potentiellement incriminés (Figure 3), et avantageusement, une phase 72 d'élaboration de la vraisemblance globale des modes de défaillances présents (Figure 5).

Lors de la phase 70, les modes de défaillance sont classés par le calculateur 22 parmi un premier groupe de modes de défaillance dit « potentiellement actifs », un deuxième groupe de modes de défaillance « potentiellement inactifs », et un troisième groupe de modes de défaillance d' « état inconnu » en fonction de la valeur et de la validité des symptômes obtenus à l'étape de mesure 42, de la liste des modes de défaillance pointés par chaque symptôme dans la table 60, et du type de lien de dépendance du symptôme dans chaque mode de défaillance (« systématique » ou « non systématique »), tels qu'ils sont listés dans la table 60.

A cet effet, dans une sous-étape initiale 80, le calculateur 22 place l'ensemble des modes de défaillance dans l'état inconnu. Puis, lors d'une sous-étape de traitement 82, tous les symptômes « présents » sont isolés.

Pour chaque symptôme « présent » Si, l'ensemble des modes de défaillance susceptibles d'engendrer le symptôme Si sont répartis entre l'état « potentiellement actif », et l'état « potentiellement inactif ».

A cet égard, chaque mode de défaillance MDj susceptible d'engendrer le symptôme présent Si est tout d'abord déclaré « potentiellement actif » (sous-étape 84).

Puis, tous les symptômes Sj relatifs à ce mode de défaillance MDj « potentiellement actif » sont balayés. S'il existe un symptôme Sj classé comme systématique dans la table 60 et qui est classé comme « absent » à l'étape de mesure 42, le mode de défaillance MDj est classé comme « potentiellement inactif » (étape 86).

Au contraire, si tous les symptômes Sj marqués comme systématiques dans la table 60 sont déterminés présents à l'étape de mesure, le mode de défaillance MDj est maintenu comme « potentiellement actif ».

Ainsi, dans l'exemple représenté sur les Figures, le symptôme S1 « pression frein gauche présente alors que le freinage n'est pas commandé par le calculateur » est systématique et constitue le seul symptôme systématique du mode de défaillance MD1 (« Manomètre contacteur gauche bloqué fermé »). Le symptôme S1 est donc classé potentiellement actif.

La phase 70 permet donc d'éliminer de l'analyse ultérieure les modes de défaillance dont au moins un des symptômes systématiquement engendrés par ce mode de défaillance est absent lors de l'étape de mesure 42.

Une liste de symptômes potentiellement actifs, parmi les symptômes mesurés est donc sélectionnée par le calculateur 22, en vue de l'analyse ultérieure des familles de pannes et des sous ensembles de pannes minimales au sein de chaque famille de pannes.

En référence à la Figure 5, lors de la phase 72 d'élaboration de la vraisemblance globale des modes de défaillance, un critère de vraisemblance globale de la présence de chaque mode de défaillance dans l'ensemble fonctionnel 14 est calculé par le calculateur 22.

A cet effet, comme l'illustre la Figure 5, la vraisemblance de chaque mode de défaillance est calculée, en fonction croissante du nombre de symptômes présents observés à l'étape de mesure 42 susceptibles d'être engendrés par le mode de défaillance en question.

Ainsi, cette phase 72 permet de déterminer qu'un mode de défaillance est 100% vraisemblant si l'ensemble des symptômes qu'il engendre sont présents.

Avantageusement, cette phase 72 comporte en outre une étape de pondération des vraisemblances observées au moyen d'une table d'occurrence prédéterminée d'apparition de chaque mode de défaillance sur chaque équipement en fonction du temps d'utilisation de l'ensemble fonctionnel 14.

Cette table (non-représentée) liste par exemple pour chaque mode de défaillance de chaque équipement 16A à 16F et 18 de l'ensemble fonctionnel 14, une valeur d'occurrence temporelle prédéterminée de ce mode de défaillance, tel qu'il est généralement observé sur la plateforme 10 ou sur d'autres plateformes du même type.

Cette valeur d'occurrence correspond au nombre de fois où le mode de défaillance est observé pour un nombre prédéterminé d'heures de vol de l'aéronef.

La phase 72 comporte une sous-étape 90 d'établissement par le calculateur 22 d'un vecteur de pondération construit sur la base de l'ensemble des symptômes listés dans la table 60. A cet effet, un symptôme présent à l'étape de mesure 42 est associé à une première valeur, notamment égale à 1 et un symptôme absent, est associé à une deuxième valeur du vecteur de pondération, notamment égale à 0.

Lors de la sous étape 92, le vecteur de pondération est multiplié par la matrice formée par l'ensemble des pondérations du poids individuel de chaque symptôme dans la table 60 pour donner un vecteur de vraisemblance globale brut des modes de défaillance.

Puis, un vecteur de vraisemblance globale est avantageusement calculé par le calculateur 22, en multipliant chaque valeur individuelle du vecteur de vraisemblance globale associée à un mode de défaillance donné par la valeur d'occurrence d'apparition prédéterminée de ce mode de défaillance tel qu'il est défini dans la table d'occurrence d'apparition.

Le vecteur de vraisemblance globale peut alors être affiché sur l'interface 24 en étant associé à chaque mode de défaillance listé, comme l'illustre la Figure 8 (sous étape 94).

Cet affichage illustre, pour chaque mode de défaillance MD1 à MD12, la vraisemblance globale d'occurrence du mode de défaillance, qui est exprimée par un nombre représentatif d'occurrences par heure de vol. Dans l'exemple représenté sur la Figure 8, seuls les modes de défaillance MD1, MD3, MD5, MD7 et MD12 ont une vraisemblance globale non nulle.

La vraisemblance globale du mode de défaillance MD12 (« unité de commande défaillante ») est supérieure à celle de chaque autre mode de défaillance MD1, MD3, MD5, et MD7.

Par ailleurs, les modes de défaillances associés au blocage en position fermée d'un manomètre gauche ou droit (MD1 et MD3) ont une vraisemblance inférieure aux modes de défaillance associés au blocage en position ouvert d'une électrovanne gauche ou droite (MD5 et MD7).

Il est donc possible de guider l'opérateur de maintenance dans sa résolution de pannes.

L'étape 44 d'établissement d'au moins une famille de pannes est illustrée schématiquement par la Figure 6.

Cette étape comprend la détermination d'au moins une famille de pannes FPi qui regroupe l'ensemble des modes de défaillance qui ont en commun au moins un symptôme présent.

La famille de pannes peut comprendre un mode de défaillance unique si aucun autre mode de défaillance ne comporte un symptôme présent commun avec le ou les symptômes susceptibles d'être engendrés par le mode de défaillance unique.

Au contraire, chaque famille de pannes présentant plusieurs modes de défaillance comporte au moins un symptôme commun à chaque paire de modes de défaillance de la famille. Néanmoins, aucun symptôme relatif à un mode de défaillance d'une première famille de pannes n'est commun à un mode de défaillance d'une deuxième famille de pannes. A cet effet, chaque mode de défaillance appartient à une famille unique et chaque symptôme est associé à un ou plusieurs modes de défaillance d'une famille unique.

L'étape 44 permet donc d'établir la liste des modes de défaillance potentiellement actifs associés à chaque famille de pannes, et la famille de chaque mode de défaillance potentiellement actif.

De même, l'étape 44 permet d'obtenir la liste des symptômes présents mesurés associés à chaque famille de pannes et la famille de chaque symptôme présents mesuré à l'étape de mesure 42.

Cet établissement est réalisé sur la base de la table 60, et notamment sur la base de la liste des modes de défaillance pointés par chaque symptôme donné, et de la liste des symptômes susceptibles d'être engendrés par chaque mode de défaillance. Elle est en outre engendrée à partir de la liste des modes de défaillance potentiellement actifs déterminés à l'étape de prétraitement sur la base de la valeur et de la validité des symptômes.

La famille de pannes peut être représentée schématiquement par le tableau 98 sur la Figure 7. Chaque famille de pannes FPi comprend une liste de mode de défaillances MDi et une liste de symptômes Si, chacun des modes de défaillance MDi présentant au

moins un symptôme commun avec un autre mode de défaillance, la famille FPi comprenant l'ensemble des modes de défaillances susceptibles d'engendrer un symptôme de la famille donnée.

Dans l'exemple représenté sur la Figure 7, la famille FP1 regroupe les modes de défaillance MD1 (« manomètre contacteur gauche bloqué fermé »), MD5 (« électrovanne robinet gauche bloqué ouvert ») et MD12 (« calculateur déficient ») qui ont en commun le symptôme présent potentiellement actif S1 (« pression frein gauche présente alors que freinage non commandé »).

En outre, le mode MD12 est susceptible d'engendrer le symptôme présent potentiellement actif S3 (« pression frein droit présente alors que freinage non commandé »). La famille FP1 regroupe donc aussi tous les modes de défaillances susceptibles d'engendrer ce symptôme présent potentiellement actif S3, à savoir le mode MD3 « manomètre contacteur droit bloqué fermé ») et le mode MD7 (« électrovanne robinet droit bloqué ouvert »).

Pour obtenir chaque famille, l'étape 44, mise en œuvre par le calculateur 22, comprend une phase 100 d'initialisation, puis une boucle 102 d'itération balayant l'ensemble des modes de défaillances potentiellement actifs afin d'obtenir dans une phase finale 104, l'ensemble des familles.

Lors de la phase d'initialisation 100, tous les modes de défaillance potentiellement actifs sont définis comme n'appartenant à aucune famille de pannes.

De même, les symptômes présents sont initialisés comme n'appartenant à aucune famille de pannes.

La boucle 102 est ensuite démarrée pour balayer successivement tous les modes de défaillance potentiellement actifs détectés précédemment.

Pour chaque mode de défaillance potentiellement actif pointé MDi, la liste des symptômes susceptibles d'être engendrés par ce mode de défaillance MDi est tout d'abord recensée lors de la phase 106, sur la base de la table 60.

Si le mode de défaillance MDi n'appartient pas déjà à une autre famille de pannes, une nouvelle famille de pannes FPj est créée (phase 108).

Au contraire si le mode de défaillance MDi appartient déjà à une famille de pannes FPk, aucune famille de pannes n'est créée (phase 110).

Lors de la phase 112, la liste des symptômes présents susceptibles d'être engendrés par le mode de défaillance MDi est obtenue.

Puis, pour chaque symptôme relatif au mode MDi pointé à l'étape 112, le calculateur 22 détermine l'ensemble des modes de défaillance MDk autres que le mode MDi susceptibles d'être engendrés par ce symptôme. Pour chaque mode de défaillance

MDk potentiellement actif, le calculateur 22 détermine si le mode de défaillance MDk appartient déjà à une autre famille de panne.

Lors de la phase 114, si le mode de défaillance MDk n'appartient à aucune famille de pannes, le calculateur place le mode de défaillance MDk dans la famille de panne FPj actuellement en cours et mémorise que la famille en cours FPj contient ce mode de défaillance MDk.

Au contraire, lors de la phase 116, si ce mode de défaillance MDk appartient déjà à une autre famille de pannes FPm, différente de la famille de panne FPj en cours, les deux familles de pannes FPj et FPm sont fusionnées pour créer une nouvelle famille de pannes FPj en cours à l'étape 118.

Puis, la boucle d'itération 102 se poursuit jusqu'à ce que l'ensemble des modes de défaillance potentiellement actifs aient été balayés.

La détermination des familles de pannes FPi permet donc de mettre en évidence la présence de pannes indépendantes, puisque chaque famille FPi recouvre un ou plusieurs modes de défaillance indépendants des modes de défaillances de chaque autre famille. Il est ensuite possible de discriminer entre différents modes de défaillances au sein de chaque famille de pannes.

Les actions de maintenance qui sont effectuées sur la plateforme 10 sont donc simplifiées pour traiter indépendamment les différentes familles de pannes.

A l'étape 48, le calculateur 22 détermine, pour chaque famille de pannes, le ou les sous-ensembles de modes de défaillance minimaux qui, à eux seuls, pourraient expliquer l'ensemble des symptômes associés à tous les modes de défaillance faisant partie de la même famille de panne.

Dans une première variante, cette détermination peut conduire à l'obtention d'un sous-ensemble unique contenant un seul mode de défaillance susceptible d'expliquer l'ensemble des symptômes.

Comme on le verra plus bas, ceci est le cas dans l'exemple représenté sur les Figures 1 à 13, où la famille de pannes FP1 comprend un sous ensemble unique formé d'un seul mode de défaillance MD12 (« calculateur déficient ») susceptible d'expliquer à lui seul l'ensemble des symptômes observés S1 et S3.

Dans une deuxième variante, la détermination conduit à un sous-ensemble N-Ui de modes de défaillances si l'ensemble des symptômes présents ne permet pas de lever l'ambigüité entre les modes de défaillance de ce sous-ensemble.

Dans une troisième variante, la détermination conduit à l'obtention d'une pluralité de sous-ensembles disjoints, chaque sous-ensemble contenant un ou plusieurs modes de défaillance.

Le ou les sous ensembles obtenus sont aussi désignés par le terme « N-Uplet ».

L'étape 48 comprend ainsi avantageusement, pour chaque famille de pannes FPi, une première phase 120 de sélection des modes de défaillance potentiellement actifs susceptibles d'engendrer chaque symptôme présent associé à la famille de pannes FPi (Figure 10), puis avantageusement une phase 122 de détermination de la liste minimale des symptômes présents associés à cette famille FPi (Figure 11).

L'étape 48 comprend ensuite une phase 124 d'établissement de la liste, pour chaque famille de panne FPi, des sous-ensemble de modes de défaillance qui sont susceptibles d'engendrer à eux seuls l'ensemble des symptômes présents de la famille de pannes (Figure 12), cet établissement étant effectué par l'intersection entre l'ensemble des modes de défaillance potentiellement actifs engendrés par chaque symptôme présent de la famille de pannes.

En référence à la Figure 10, la phase 120 comporte l'établissement, par le calculateur 22, de la liste de tous les modes de défaillance potentiellement actifs susceptibles d'avoir engendré un symptôme présent dans la famille de pannes FPi.

A cet effet, lors de la sous étape 130, la liste des modes de défaillance associés à chaque famille et à chaque symptôme associé à la famille est obtenue. A l'étape 132, seuls les modes de défaillance potentiellement actifs sont retenus. A l'étape 134, la liste des modes de défaillance potentiellement actifs de chaque symptôme présent est alors mémorisée pour chaque famille.

Lors de la phase 122 d'établissement de la liste minimale des symptômes associés à chaque famille, le calculateur 22 isole le ou les seuls symptômes présents parmi tous les symptômes présents qui sont susceptibles d'engendrer la même liste de modes de défaillance potentiellement actifs.

De plus, la phase 122 comprend l'isolation des symptômes présents, susceptibles d'être engendrés par une liste de modes de défaillance potentiellement actifs qui n'est pas une sur liste de modes de défaillance potentiellement actifs associés à un autre symptôme.

En particulier, un symptôme S1 qui est susceptible d'avoir été engendré par un mode de défaillance MD1, un mode de défaillance MD2, ou un mode de défaillance MD3, n'apporte aucune information supplémentaire vis-à-vis d'un autre symptôme S2 qui est susceptible d'avoir été engendré par le mode de défaillance MD1 ou le mode de défaillance MD2. Par suite, le symptôme S1 n'est pas conservé à l'issue de cette étape.

Pour ce faire, après une phase d'initialisation dans laquelle la liste des modes de défaillance potentiellement actifs de chaque symptôme de chaque famille est établie (sous-étape 136), une première boucle 138 d'itérations est effectuée pour balayer chaque

famille FPk et une deuxième boucle d'itérations 140 est effectuée pour balayer chaque symptôme Sk de la famille de panne analysée FPk.

Chaque symptôme Sk de la famille de pannes analysée FPk est comparé à chaque autre symptôme Sm de la famille de panne FPk à l'étape 142 pour déterminer si la liste des modes de défaillance potentiellement actifs engendrés par l'autre symptôme Sm contient, ou est égale à la liste des modes de défaillance potentiellement actifs du symptôme Sk considéré de la famille de pannes FPk.

Dans ce cas, l'autre symptôme Sm est supprimé de la famille de panne en cours puisque le premier symptôme Sk apporte assez d'informations.

A l'étape 144, une liste minimale de symptômes Sk associée à chaque famille FPk est donc obtenue.

La Figure 12 illustre un schéma synoptique de mise en œuvre de la phase 124 d'établissement du ou des sous-ensembles de modes de défaillance susceptibles d'engendrer à eux seuls l'ensemble des symptômes présents de la famille.

Cette phase est réalisée en déterminant l'intersection jusqu'à convergence des modes de défaillance potentiellement actifs pointés en vue d'obtenir soit un sous-ensemble unique de modes de défaillance pouvant expliquer à eux seuls l'ensemble des symptômes, ce sous-ensemble unique pouvant comprendre un ou plusieurs modes de défaillance, soit une pluralité de sous-ensembles qui, chacun, peuvent expliquer l'ensemble des symptômes observés, chaque sous-ensemble comprenant un ou plusieurs modes de défaillance.

Cette intersection est obtenue à partir de la liste minimale des symptômes présents associés à chaque famille de pannes telle qu'elle a été triée lors de la phase 122. Elle est obtenue aussi à partir de la liste des modes de défaillance potentiellement actifs de chaque symptôme présent dans chaque famille de panne, telle qu'elle a été obtenue lors de la phase 120.

Ces deux listes sont tout d'abord reprises par le calculateur lors de la sous-étape 150. Puis, une première boucle itérative 152 est lancée pour balayer chaque famille de panne.

Cette boucle comporte tout d'abord une sous-étape 154 d'initialisation d'une pluralité de sous-ensembles N-U(init)i égal au nombre de symptômes présents dans la liste minimale des symptômes présents associés à la famille (sous-étape 154).

Chaque sous-ensemble N-U(init)i créé lors de l'étape d'initialisation 154 comprend les modes de défaillance MDj d'un symptôme particulier Sj.

Puis, le calculateur 22 met en œuvre une deuxième boucle d'itérations 156 pour procéder à l'intersection deux à deux des sous-ensembles ainsi initialisés.

A chaque cycle de la deuxième boucle 156, l'intersection entre les sous-ensembles N-U(p)i obtenus au cycle précédent p est réalisée deux à deux pour créer les sous-ensembles N-U(p+1)i du cycle en cours.

A cet effet, comme l'illustre la Figure 12, une sous-étape d'initialisation des sous-ensembles du cycle en cours N-U(p+1)i est tout d'abord réalisée (sous-étape 158) . Ces sous ensembles sont initialement vides.

De même, un critère de convergence de la deuxième boucle est tout d'abord initialisé à une valeur égale à « convergence obtenue » qui correspond à l'absence d'intersection possible entre les différents sous-ensembles.

Puis, une troisième boucle d'itérations 160 est lancée pour balayer chaque sous-ensemble du cycle précédent N-U(p)i de rang en cours i, et une quatrième boucle 162 d'itération est mise en œuvre à chaque itération de la troisième boucle 160 pour réaliser l'intersection du sous-ensemble du cycle précédent N-U(p)i de rang en cours i avec chaque sous-ensemble du cycle précédent N-U(p) de rang supérieur i + 1 balayé dans la quatrième boucle 162.

A cet effet, le ou chaque mode de défaillance du sous-ensemble N-U(p)i de rang en cours i balayé dans la troisième boucle 160 est comparé successivement au ou à chaque mode de défaillance du sous-ensemble de rang supérieur N-U(p)i+1.

Si un des modes de défaillance MDj est commun entre les sous ensembles N-U(p)i et N-U(p)i+1, le sous-ensemble N-U(p+1)i du cycle en cours intègre ce mode de défaillance et l'indicateur de convergence passe de l'état « convergence obtenue » à un état « convergence non obtenue ».

Cette opération est réalisée successivement pour tous les sous-ensembles N-U(p)i+1 de rang supérieur au rang i du sous-ensemble considéré N-U(p)i.

Dans le cas où aucune intersection n'est obtenue, c'est-à-dire lorsque le sous-ensemble du cycle en cours N-U(p)i n'intègre aucun mode de défaillance, puisqu'aucun mode de défaillance du sous-ensemble N-U(p)i du cycle précédent de rang i n'est commun avec un mode de défaillance d'un sous-ensemble de rang supérieur N-U(p)i+1, la valeur du sous-ensemble N-U(p+1)i du cycle en cours p+1 est alors égalisée à la valeur du sous-ensemble N-U(p)i du cycle précédent, sauf si ce sous-ensemble N-U(p)i a déjà été mémorisé (sous-étape 166).

Puis, si le sous-ensemble de rang z le plus élevé du cycle précédent N-U(p)z n'a jamais été intersecté avec succès avec un autre sous ensemble du cycle précédent de rang inférieur, c'est-à-dire qu'il ne comporte aucun mode de défaillance commun avec un sous-ensemble de rang moins élevé, la sous-étape 168 est mise en œuvre.

Dans cette sous-étape, si le sous-ensemble de cycle précédent N-U(p)z de rang en cours n'a pas de sous-ensemble de cycle précédent de rang supérieur, et qu'il n'a pas été en tant que sous-ensemble de rang supérieur, à l'origine de la création d'un sous-ensemble N-U(p+1)i du cycle en cours, alors un nouveau sous-ensemble du cycle en cours N-U(p+1)z est créé avec un contenu identique au sous ensemble N-U(p)z du cycle précédent.

Puis, les boucles 160, 162 sont poursuivies pour balayer tous les sous-ensembles du cycle précédent et construire le ou les sous ensembles N-U(p+1)i du cycle en cours p+1.

Ensuite, lors de la sous-étape 170, les doublons parmi les sous-ensembles N-U(p+1)i du cycle en cours p+1 sont éliminés. Ainsi, lors de la sous-étape 172, chaque sous-ensemble N-U(p+1)i du cycle en cours de rang en cours i, est comparé à chaque sous-ensemble du cycle en cours N-U(p+1)i+1 de rang supérieur i + 1.

La liste des modes de défaillance du sous-ensemble N-U(p+1)i du rang en cours i est comparée à la liste des modes de défaillance du sous-ensemble de rang supérieur N-U(p+1)i+1.

Si ces listes sont identiques, le sous-ensemble de rang supérieur N-U(p+1)i+1 est supprimé de la liste des sous-ensembles du cycle en cours.

Par ailleurs, si la liste des modes de défaillance potentiellement actifs du sous-ensemble de rang supérieur N-U(p+1)i+1 contient ou est égale à la liste des modes de défaillance potentiellement actifs du mode de défaillance de rang en cours N-U(p+1)i, le sous-ensemble de rang supérieur examiné du cycle en cours N-U(p+1)i+1 est supprimé, puisque le sous-ensemble de rang en cours N-U(p+1)i apporte assez d'informations.

Puis, si au moins une intersection entre deux sous-ensembles a été réalisée lors de l'itération en cours de la deuxième boucle, et que l'indicateur de convergence indique que la convergence est « non obtenue », un nouveau cycle d'établissement de sous-ensembles suivant la deuxième boucle 156 est réalisé.

Lorsque la convergence est atteinte sur la deuxième boucle 156, le ou les sous-ensembles finaux N-U(final)i susceptibles d'expliquer tous les symptômes présents de la famille de pannes sont mémorisés par le calculateur 22 lors de la sous étape 176.

Puis, lorsque chaque famille de pannes a été balayée et que le critère de convergence a été atteint pour chaque famille de pannes, le calculateur 22 mémorise la liste des sous-ensembles N-U(final)i obtenus pour chaque famille de pannes

Des exemples d'obtention de sous-ensembles sont illustrés par les Figures 13 et 14 pour deux familles de pannes distinctes.

Sur la Figure 13, trois symptômes présents S1, S3, S7 correspondent initialement respectivement à différents jeux de modes de défaillances qui constituent les trois sous ensembles N-U(p)i initiaux.

L'intersection (représentée par des flèches 177A) entre chaque sous-ensemble N-U(p)i de cycle précédent, et les sous-ensembles de rangs supérieurs N-U(p)i+1 et N-U(p)i+2 de cycle précédent conduit à l'obtention du mode de défaillance unique MD12 dans le sous ensemble N-U(p+1)i de cycle en cours .

L'intersection (représentée par des flèches 177B) entre le sous-ensemble N-U(p)i+1 de cycle précédent et le sous-ensemble N-U(p)i+2 de cycle précédent de rang supérieur i+2 conduit également à l'obtention du mode de défaillance unique MD12.

Le sous-ensemble de rang N-U(p)i+2 ayant fait l'objet d'une intersection avec l'un au moins des sous-ensembles de rangs supérieurs, il n'est pas conservé.

Deux sous-ensembles N-U(p+1)i et N-U(p+1)i+1 identiques sont obtenus. Comme les listes de modes de défaillance de ces deux sous ensembles sont identiques, seule la liste N-U(p+1)i avec le mode de défaillance unique MD12.

Le procédé selon l'invention fait donc apparaître dans ce cas un seul sous-ensemble N-U(final)i susceptible d'expliquer l'ensemble des symptômes observés, ce sous-ensemble contenant dans cet exemple un mode de défaillance unique MD12.

Dans l'exemple particulier décrit plus haut, ce mode MD12 correspond à une déficience de l'unité de commande 18 qui doit donc être changée.

A l'inverse, dans l'exemple de la Figure 14, l'intersection entre les cinq sous-ensembles N-U(p)k initiés lors du cycle précédent p permet d'obtenir au cycle p+1 cinq sous-ensembles de cycle en cours, notamment puisque le sous-ensemble N-U(p+1)i+5 qui comporte le mode de défaillance MD7 n'a fait l'objet d'aucune intersection avec un sous-ensemble de rang supérieur.

Lors de l'étape de suppression des doublons, le sous-ensemble N-U(p+1)i+1 est identique au sous-ensemble N-U(p+1)i+2 n'est donc pas conservé.

Par ailleurs, la liste des modes de défaillance du sous-ensemble N-U(p+1)i+3 de rang supérieur au mode de défaillance N-U(p+1)i+2 contient la liste des modes de défaillance potentiellement actifs du mode de défaillance N-U(p+1)i+2. Le sous-ensemble N-U(p+1)i+3 n'est pas conservé.

Au final, après convergence, trois sous-ensembles N-U(final)k sont obtenus, ce qui signifie que la famille de pannes comporte plusieurs pannes susceptibles d'expliquer l'ensemble des symptômes.

Par ailleurs, au sein d'au moins un sous-ensemble N-U(final)i, une pluralité de modes de défaillance sont obtenus, ce qui signifie que la panne associée à ce mode de

défaillance est ambiguë et que l'opérateur doit discriminer entre les deux modes de défaillance MD1, MD2 observés.

Postérieurement à l'étape d'obtention des différents sous-ensembles, une étape d'analyse probabiliste peut alors être réalisée par le calculateur 22.

Cette analyse permet d'obtenir l'occurrence, par exemple en pourcentage, des différents modes de défaillance associés à chaque famille, et/ou l'occurrence, notamment en pourcentage, des modes de défaillance associés à chaque mode de défaillance au sein de chaque sous-ensemble N-U(final)i de chaque famille.

L'analyse est effectuée à partir de la liste des modes de défaillance associés à chaque famille obtenue à l'issue de l'étape 44, et de la liste des sous-ensembles de chaque famille obtenue à l'issue de l'étape 48.

Elle se fonde également sur une table d'occurrence d'apparition de chaque mode de défaillance de chaque équipement définissant, pour chaque mode de défaillance, une valeur prédéterminée d'occurrence élémentaire par unité de temps. Cette valeur peut être par exemple calculée en nombre d'occurrences par unité de temps, notamment par unité de temps d'utilisation de la plateforme 10, avantageusement en nombre d'occurrences par heure de vol.

Lors de la mise en œuvre de l'étape d'analyse, la liste des modes de défaillance potentiellement actifs associés à chaque famille est balayée. Pour chaque mode de défaillance potentiellement actif de la famille, la probabilité d'occurrence du mode de défaillance potentiellement actif est calculée en divisant la valeur élémentaire obtenue à partir de la table d'occurrences pour ce mode de défaillance par la somme des probabilités élémentaires des modes de défaillance potentiellement actifs de la famille.

De même, la liste des modes de défaillance potentiellement actifs associés à chaque sous-ensemble est balayée. Pour chaque mode de défaillance potentiellement actif du sous-ensemble, la probabilité d'occurrence du mode de défaillance potentiellement actif est calculée en divisant la valeur élémentaire obtenue à partir de la table d'occurrences pour ce mode de défaillance par la somme des probabilités élémentaires des modes de défaillance potentiellement actifs du sous-ensemble.

Puis, lors de l'étape d'exploitation 50, l'ensemble des résultats obtenus par le calculateur 22 est avantageusement affiché par l'interface 24 pour être utilisé en vue de réaliser une opération de maintenance.

Ainsi, l'un et/ou l'autre des résultats suivants peuvent être affichés :

(i) liste des modes de défaillance potentiellement actifs (obtenus à l'issue de l'étape 46) ;

(ii) liste des modes de défaillance potentiellement inactifs (obtenus à l'issue de l'étape 46) ;

(iii) liste des modes de défaillance d'état inconnu (obtenus à l'issue de l'étape 46) ;

(iv) vraisemblance globale des modes de défaillance, tels qu'obtenus à l'issue de l'étape 46.

(v) liste des modes de défaillance associés à chaque famille (obtenus à l'issue de l'étape 44) ;

(vi) famille de chaque mode de défaillance potentiellement actif (obtenus à l'issue de l'étape 44) ;

(vii) liste des sous-ensembles de chaque famille susceptible d'expliquer l'ensemble des symptômes présents de chaque famille (obtenus à l'issue de l'étape 48) ;

(viii) occurrence en pourcentage des modes de défaillance associés à chaque famille ;

(ix) occurrence en pourcentage des modes de défaillance associés à chaque sous-ensemble.

Les résultats (i), (ii), et (iii) sont susceptibles de permettre à l'opérateur de déterminer quelles sont les pannes possibles. La liste des modes de défaillance potentiellement inactifs permet de dédouaner éventuellement certaines pannes.

Lorsque la panne est réellement complexe, le résultat (iv) permet d'isoler des équipements qui semblent fonctionner, mais qui doivent être vérifiés pour une panne peu courante.

Le classement en familles, tel qu'il est obtenu par le procédé selon l'invention, permet de discriminer si une seule panne peut être à l'origine de l'ensemble des symptômes observés, ou si l'ensemble fonctionnel 14 de la plateforme 10 subit plusieurs pannes à priori indépendantes.

Par le classement des modes de défaillance en familles (résultats (v) et (vi)), il est possible de se consacrer spécifiquement à la résolution de pannes sur les modes de défaillances associés à la famille.

Par ailleurs, au sein de chaque famille, la liste des sous-ensembles permet, comme on l'a vu plus haut, de déterminer si un ou plusieurs mode de défaillance sont susceptibles d'expliquer l'ensemble des symptômes ou si plusieurs sous-ensembles sont nécessaires pour expliquer l'ensemble des symptômes, chaque sous-ensemble pouvant comprendre un ou plusieurs modes de défaillance possibles.

Les résultats obtenus sont quantifiés grâce aux sorties (viii) et (ix).

L'analyse effectuée à l'aide du procédé selon l'invention peut être itérative. Ainsi, une fois un équipement remplacé, il est possible de désactiver les modes de défaillance

relatifs à cet équipement et de remettre en œuvre les étapes 40 à 50 précitées, en éliminant de la table de correspondance 60 un certain nombre de modes de défaillance associés à l'équipement en question.

Par suite, la première mise en œuvre de l'étape 46 est effectuée à l'aide d'un premier jeu de symptômes mesurés, la deuxième mise en œuvre est effectuée à l'aide d'un deuxième jeu de symptômes plus réduits.

Dans un exemple, une première phase de mise en œuvre des étapes 40 à 50 du procédé selon l'invention permet de déterminer qu'un seul équipement 16A à 16F est susceptible d'être incriminé. Puis, lorsque la panne persiste malgré le remplacement de cet équipement, le procédé est mis en œuvre une nouvelle fois pour déterminer quels sont les autres équipements susceptibles d'être incriminés en ne tenant plus compte des modes de défaillance associés à l'équipement remplacé.

Dans l'exemple représenté sur les Figures, le procédé peut être mis en œuvre une première fois avec le symptôme S7 « je déclare l'unité de commande non fonctionnelle » présent, en plus des symptômes S1 et S3. Ceci conduit alors à l'obtention d'une famille de pannes unique FP1 comprenant un sous ensemble unique MD12 («unité de commande déficiente »).

Une fois l'unité de commande remplacée, le procédé est mis en œuvre une deuxième fois en déclarant le symptôme S7 absent. Le procédé conduit à l'obtention de deux familles de pannes FP2, FP3 comprenant respectivement les modes de défaillance MD1 (« manomètre contacteur gauche bloqué fermé ») et MD5 (« électrovanne robinet gauche bloqué ouvert ») pour FP2 et MD3 (« manomètre contacteur droit bloqué fermé ») et MD7 (« électrovanne robinet droit bloqué ouvert ») pour FP3. Les sous ensembles déterminés dans chaque famille FP2 et FP3 comprennent chacun deux modes de défaillance respectivement MD1, MD5 et MD3, MD7 constituant la famille FP2, FP3. Deux groupes de pannes indépendantes sont donc détectés sans qu'il soit possible de discriminer, au sein de chaque groupe, la source de chaque panne.

L'utilisation du procédé selon l'invention, et notamment la répartition des pannes en familles par l'intermédiaire d'une analyse globale des symptômes obtenus, puis éventuellement l'intersection dynamique des modes de défaillance de chaque famille de panne obtenues pour identifier l'ensemble minimal des pannes non discriminables permet de s'affranchir de l'approche classique, dans laquelle une panne est modélisée sous forme d'équation figées, au profit d'une analyse globale de vraisemblance.

Ceci pallie le problème de pannes qui ne sont pas totalement modélisées, et dont la signature captée est différente d'une signature théorique pour lesquelles les symptômes observés ne correspondent à aucune signature complète connue.

Cette approche globale simplifie grandement le traitement des pannes et tient compte d'un plus grand nombre de données, sans augmenter la complexité du système.

Le procédé selon l'invention est donc particulièrement efficace pour déterminer des pannes complexes, et également des pannes plus simples.

REVENDICATIONS

1.- Procédé d'analyse de pannes présentes sur une plateforme (10), notamment sur un aéronef, comprenant les étapes suivantes :

(a) fourniture (40) d'une table (60) de correspondance entre une pluralité de symptômes observables sur la plateforme (10) et les modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme observable;

(b) mesure (42) des symptômes présents sur la plateforme (10) et sélection d'au moins une partie des symptômes présents mesurés;

(c) établissement (44) d'au moins une famille de pannes, l'étape d'établissement comportant, les phases suivantes :

- obtention (100), à partir de la table de correspondance (60) d'une liste de modes de défaillances susceptibles d'engendrer seuls ou en combinaison, tous les symptômes présents sélectionnés ; et, pour chaque mode de défaillance donné de ladite liste :

- placement (108, 110) du mode de défaillance donné dans une famille de pannes ;

- regroupement (114, 116) dans la même famille de pannes que le mode de défaillance donné de tous les modes de défaillance de ladite liste susceptibles d'engendrer au moins un symptôme présent sélectionné commun avec le mode de défaillance donné.

2.- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la phase de regroupement comprend le pointage (112) de chaque symptôme présent sélectionné susceptible d'être engendré par le mode de défaillance donné et le placement dans ladite famille de pannes de tous les modes de défaillances de ladite liste susceptibles d'être engendré par chaque symptôme pointé.

3. - Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'étape (c) engendre une famille de pannes unique, la famille de pannes unique comprenant au moins un mode de défaillance, le ou chaque mode de défaillance de la famille de pannes étant susceptible d'engendrer chaque symptôme présent sélectionné à l'étape (b).

4.- Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'étape (c) engendre une pluralité de familles de pannes disjointes, chaque mode de défaillance d'une première famille de pannes ne présentant aucun symptôme présent sélectionné commun avec chaque mode de défaillance d'une deuxième famille de pannes.

5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'étape (c) comporte les phases suivantes :

(c1) balayage (102) de chaque mode de défaillance listé dans la liste de modes de défaillances pour déterminer si le mode de défaillance balayé appartient déjà à une famille de pannes ;

(c2) si le mode de défaillance balayé n'appartient pas déjà à une famille de pannes, création (108) d'une nouvelle famille de pannes comportant le mode de défaillance balayé ;

(c3) balayage (112) de tous les symptômes présents sélectionnés susceptibles d'être engendrés par le mode de défaillance balayé de la nouvelle famille de pannes ;

(c4) pointage, sur la base de la table de correspondance, des autres modes de défaillance susceptibles d'engendrer ledit symptôme présent sélectionné ;

(c5) détermination (114, 116), pour chaque autre mode de défaillance pointé si ce mode de défaillance appartient à une autre famille de pannes.

6.- Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'à l'étape (c5), si le mode de défaillance appartient à une autre famille de pannes, le procédé comporte la fusion (116) de l'autre famille de pannes avec la famille de panne nouvellement crée, et sinon, le procédé comporte l'intégration du mode de défaillance pointé dans la famille en cours.

7.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte, entre l'étape (b) et l'étape (c), la séparation (70) des modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme présent sélectionné en un premier groupe de modes de défaillance potentiellement actif et en un deuxième groupe de modes de défaillance potentiellement inactifs, la liste de modes de défaillances déterminés à l'étape (c) comprenant uniquement des modes de défaillance potentiellement actifs.

8.- Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que la table de correspondance (60) comprend pour chaque mode de défaillance, l'attribution à chaque symptôme associé à ce mode de défaillance d'un critère déterministe du symptôme, pour répartir les symptômes de ce mode de défaillance entre au moins un premier groupe de symptômes systématiques et éventuellement en au moins un deuxième groupe de symptômes non systématiques,

l'étape de séparation (70) comprenant le classement dans le deuxième groupe de modes de défaillance potentiellement inactifs de chaque mode de défaillance ne comprenant pas tous les symptômes systématiques parmi la liste des symptômes présents mesurés à l'étape (b).

9.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une étape (72) de calcul de la vraisemblance globale de chaque mode de défaillance associé à au moins un symptôme présent sélectionné à l'étape (b),

sur la base d'une valeur représentative prédéterminée d'occurrence d'apparition du mode de défaillance et d'un vecteur représentatif du nombre de symptômes présents sélectionnés à l'étape (b) parmi les symptômes associés au mode de défaillance dans la table de correspondance (60).

10.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte, pour chaque famille de pannes, une étape (48) de détermination du ou de chaque sous-ensemble de modes de défaillance minimaux susceptibles d'engendrer à eux seuls l'ensemble des symptômes présents sélectionnés de la famille de pannes.

11.- Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'étape de détermination (48) comprend les sous-étapes suivantes :

- création (154) d'une pluralité de sous-ensembles initiaux, chaque sous-ensemble contenant au moins un mode de défaillance associé à un symptôme présent sélectionné de la famille ;
- intersection (156, 160) itérative des sous-ensembles initiaux pour déterminer les modes de défaillance communs entre les sous-ensembles ;
- élimination (170) des sous-ensembles redondants présentant des modes de défaillance communs.

12.- Procédé selon la revendication 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comporte, pour chaque sous-ensemble, le calcul d'une probabilité d'occurrence de chacun des modes de défaillances présent dans le sous-ensemble en fonction d'une valeur prédéterminée d'occurrence de chaque mode de défaillance.

13.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte une première phase d'établissement d'au moins une première famille de pannes, sur la base d'un premier jeu de symptômes présents sélectionnés à l'étape (b) et de la table de correspondance (60); puis une deuxième phase d'établissement d'au moins une deuxième famille de pannes sur la base de la table de correspondance et d'un deuxième jeu de symptômes présents sélectionnés comprenant une partie des symptômes du premier jeu de symptômes présents sélectionnés, le deuxième jeu de symptômes présents étant distinct du premier jeu de symptômes présents sélectionnés.

14.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte la réalisation d'une étape de maintenance sur la plateforme sur la base de la ou de chaque famille de pannes obtenue à l'étape (c).

15.- Système (12) d'analyse de pannes présentes sur une plateforme, comprenant :

- des moyens (22) de stockage d'une table de correspondance (60) entre une pluralité de symptômes observables sur la plateforme (10) et les modes de défaillance susceptibles d'engendrer chaque symptôme observable;

- des moyens (20A à 20C) de mesure des symptômes observables présents sur la plateforme (10) et de sélection d'au moins une partie des symptômes présents mesurés;

- des moyens (22) d'établissement d'au moins une famille de pannes, les moyens d'établissement comportant :

* des moyens d'obtention, à partir de la table de correspondance (60), d'une liste de modes de défaillances susceptibles d'engendrer seuls ou en combinaison, tous les symptômes présents sélectionnés ;

* des moyens de placement de chaque mode de défaillance donné de ladite liste dans une famille de pannes ;

* des moyens de regroupement dans la même famille de pannes que le mode de défaillance donné, de tous les modes de défaillance de la liste susceptibles d'engendrer au moins un symptôme présent sélectionné commun avec le mode de défaillance donné.

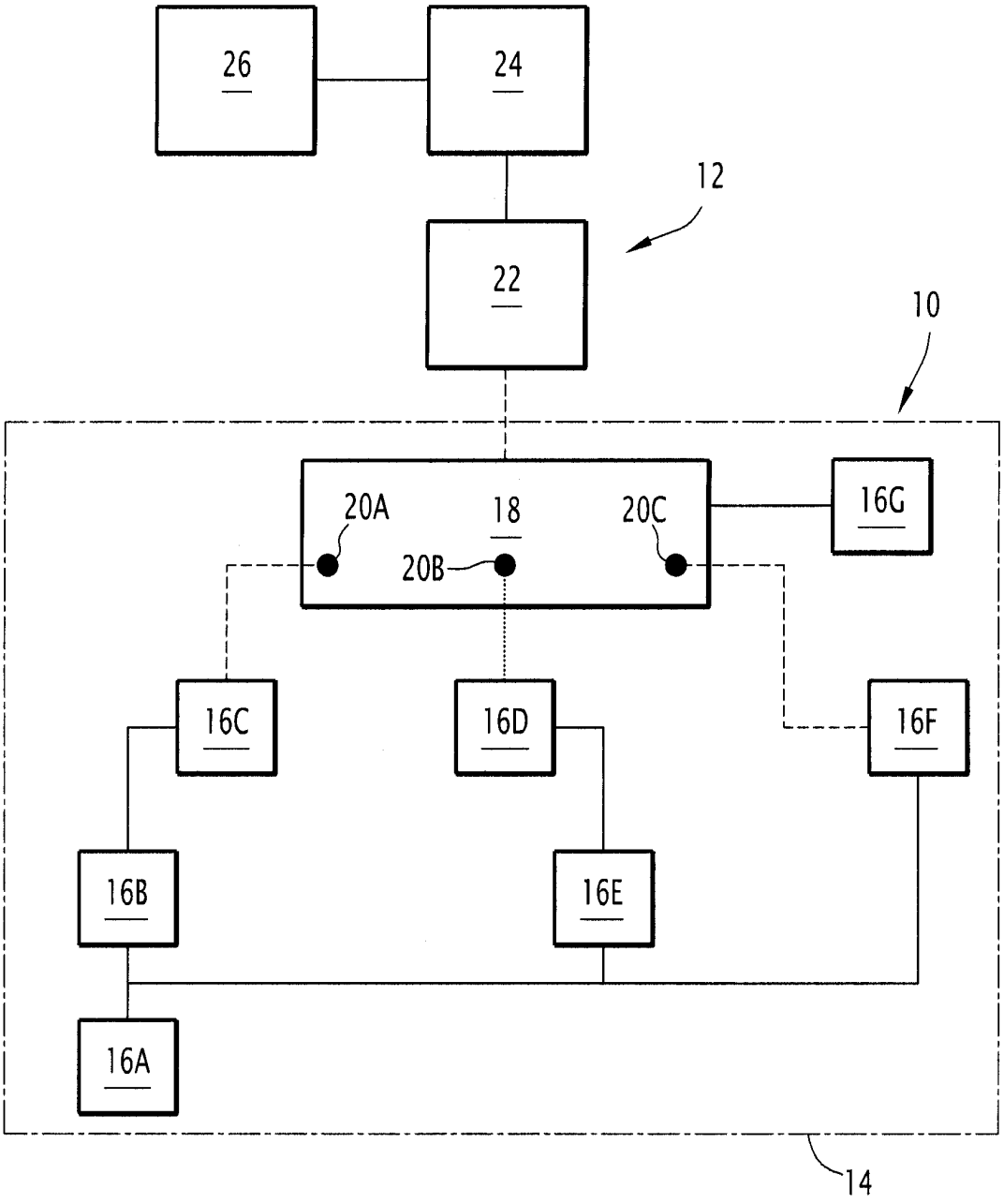


FIG.1

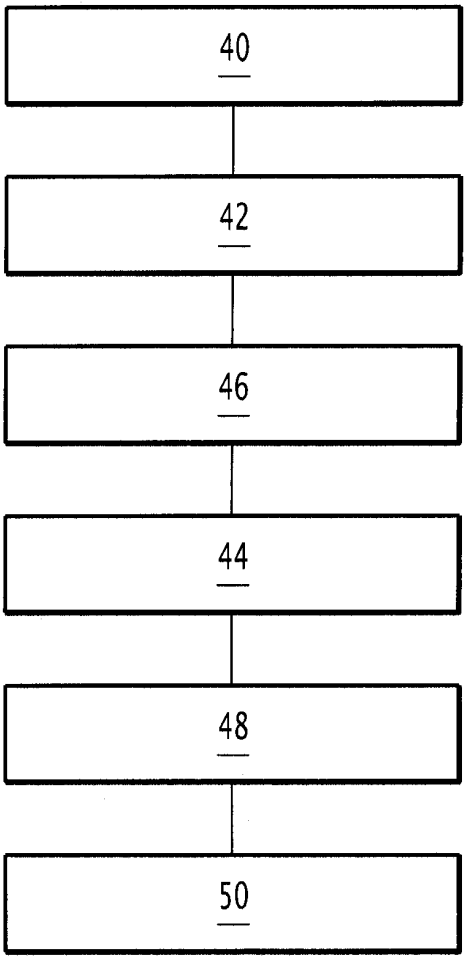


FIG.2

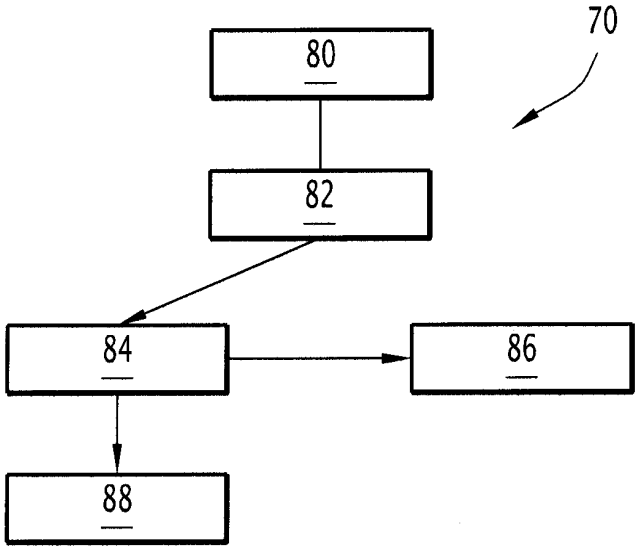


FIG.3

S1	▭	V	P
S2	∅	NV	
S3	▭	V	P
S4	∅	NV	
S5	∅	NV	
S6	∅	NV	
S7	▭	V	P

FIG.4

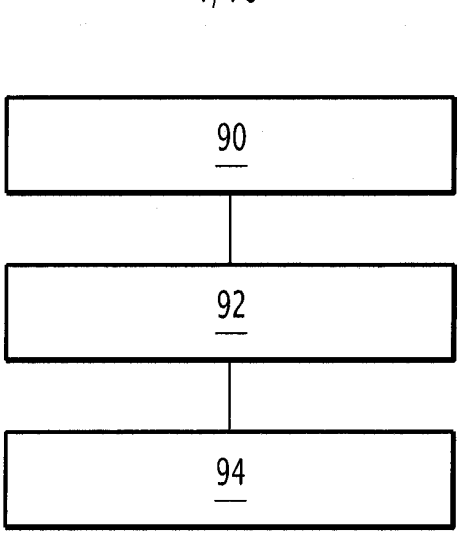


FIG.5

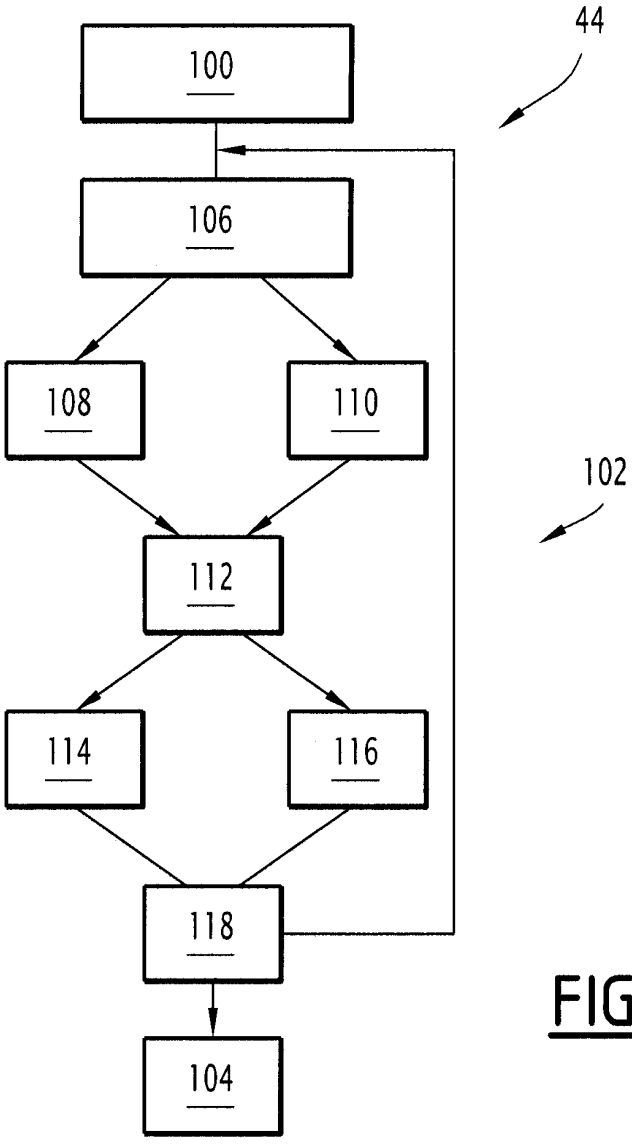


FIG.6

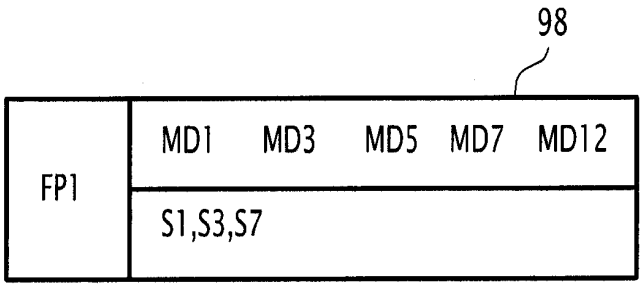


FIG.7

Mode de défaillance	Vraisemblance globale (par heure de vol)
MD1	0,02
MD2	0
MD3	0,02
MD4	0
MD5	0,1
MD6	0
MD7	0,1
MD8	0
MD9	0
MD10	0
MD11	0
MD12	0,32

FIG.8

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
MD1	X(100)						
MD2		X(100)					
MD3			X(100)				
MD4				X(100)			
MD5	X(100)						
MD6		X(100)					
MD7			X(100)				
MD8				X(100)			
MD9					X(100)		
MD10						X(100)	
MD11		X(33)		X(34)		X(33)	
MD12	O(14)	O(15)	O(14)	O(14)	O(15)	O(14)	X(14)

60

FIG.9

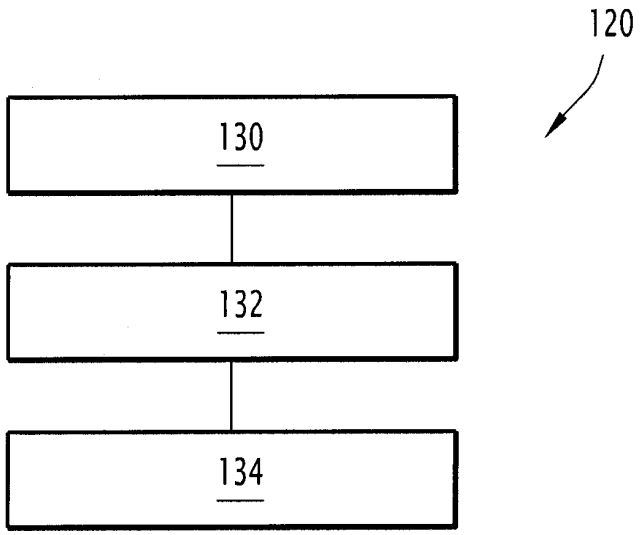


FIG.10

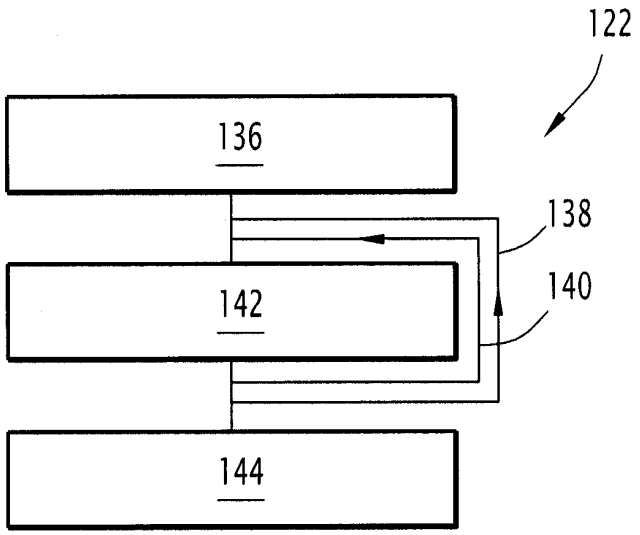


FIG.11

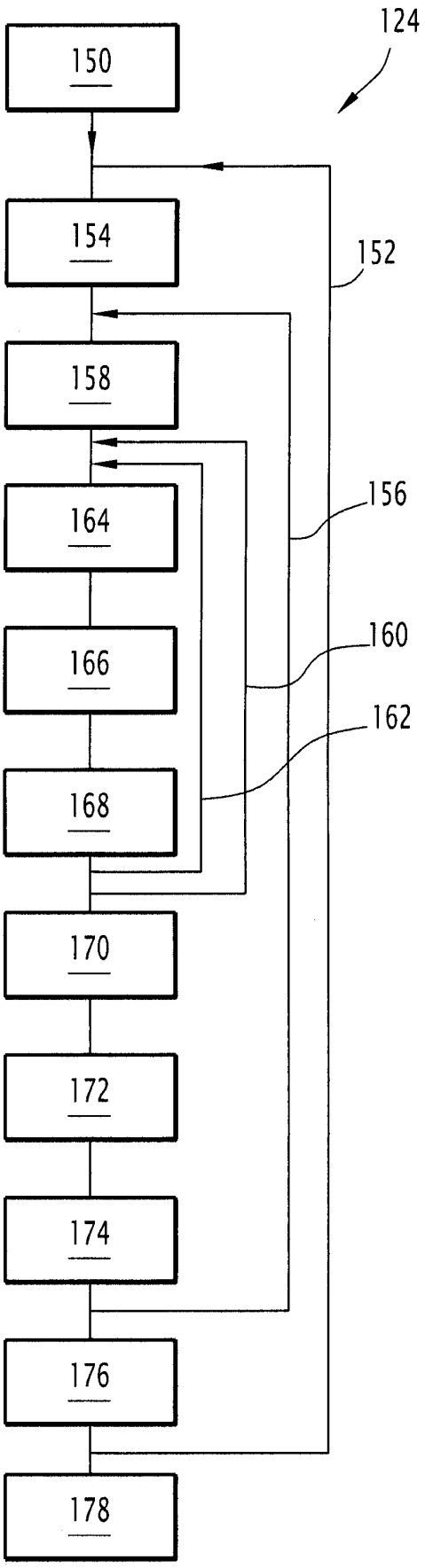


FIG.12

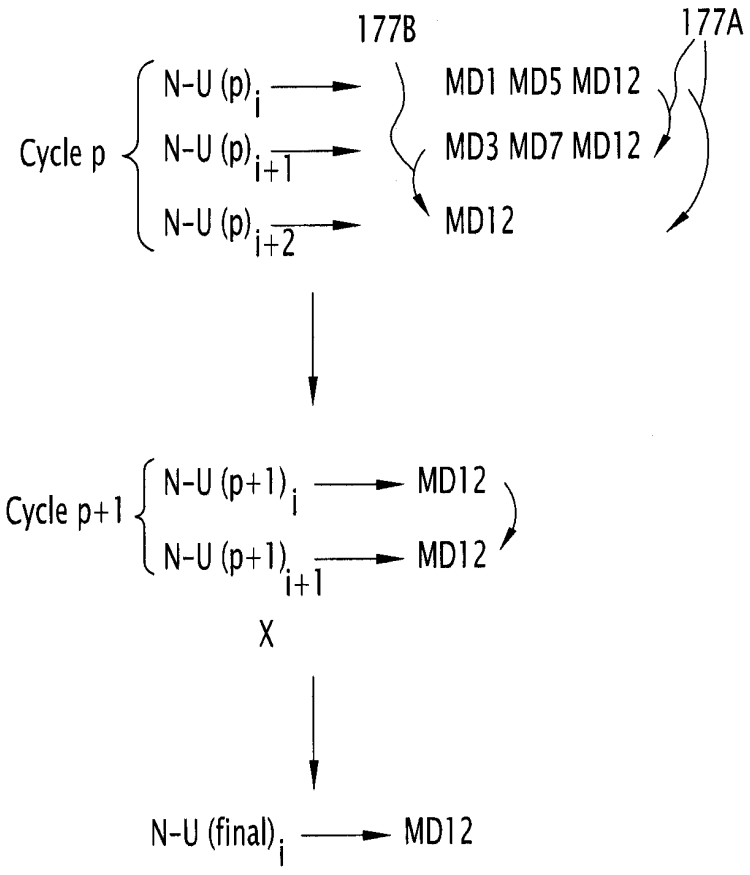

177B
177A
Cycle p
N-U (p)i
N-U (p)i+1
N-U (p)i+2
MD1 MD5 MD12
MD3 MD7 MD12
MD12
Cycle p+1
N-U (p+1)i
N-U (p+1)i+1
MD12
MD12
X
N-U (final)i
MD12

FIG.13

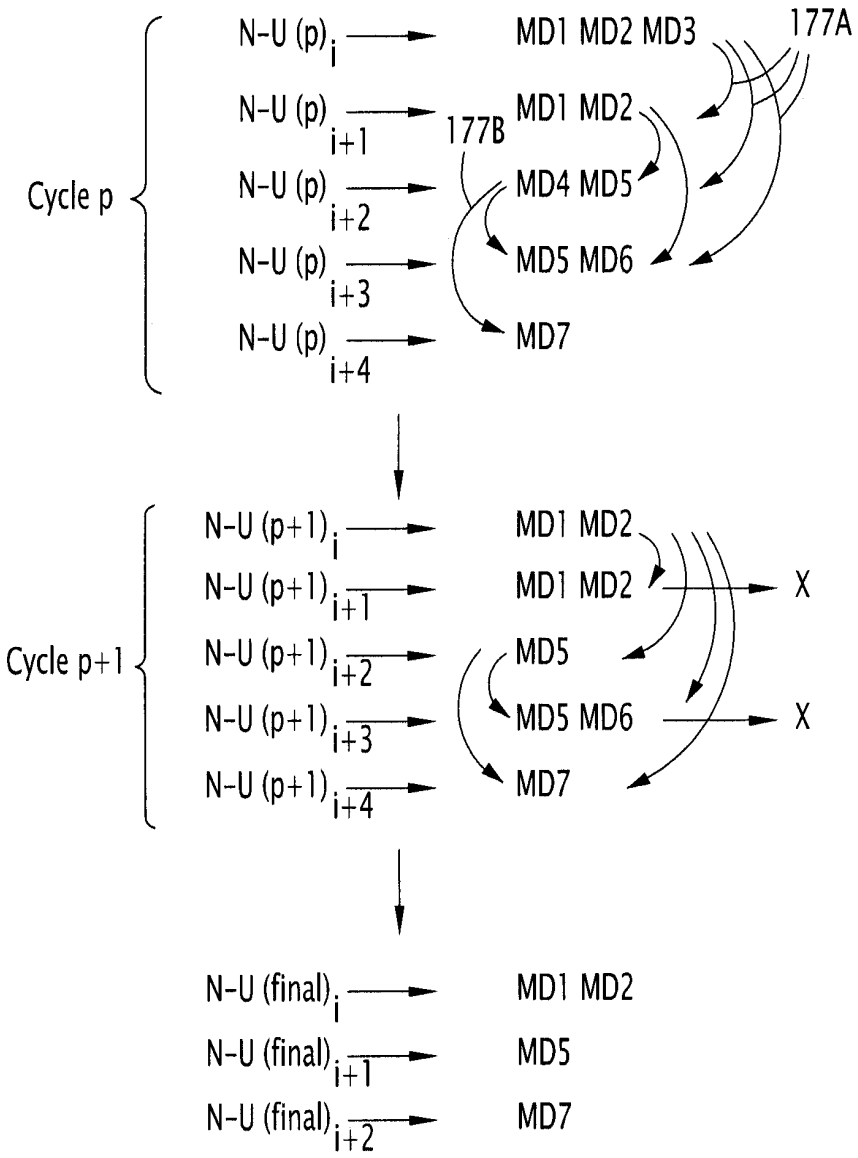

Cycle p
N-U (p)i
N-U (p)i+1
N-U (p)i+2
N-U (p)i+3
N-U (p)i+4
MD1 MD2 MD3
MD1 MD2
MD4 MD5
MD5 MD6
MD7
177A
177B
Cycle p+1
N-U (p+1)i
N-U (p+1)i+1
N-U (p+1)i+2
N-U (p+1)i+3
N-U (p+1)i+4
MD1 MD2
MD1 MD2
MD5
MD5 MD6
MD7
X
X
N-U (final)i
N-U (final)i+1
N-U (final)i+2
MD1 MD2
MD5
MD7

FIG.14

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 754682
FR 1101038

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 1 236 986 A2 (BOEING CO [US]) 4 septembre 2002 (2002-09-04) * abrégé; figures 1,2,5D,5E,6 * * alinéa [0001] * * alinéa [0031] - alinéa [0052] * -----	1-15	G06F11/30 B64F5/00
X	WO 2009/097435 A1 (TELCORDIA TECH INC [US]; KRISHNAN KOMANDUR R [US]; LUSS HANAN [US]; SH) 6 août 2009 (2009-08-06) * abrégé; figures 1,4 * * page 1, ligne 11 - ligne 17 * * page 8, ligne 24 - page 11, ligne 18 * -----	1,2,4, 14,15	
X	US 2007/226540 A1 (KONIECZNY MARTIN [DE]) 27 septembre 2007 (2007-09-27) * abrégé; figures 1,7 * * alinéa [0048] - alinéa [0070] * * alinéa [0080] - alinéa [0093] * -----	1-15	
X	US 2009/024356 A1 (PLATT JOHN C [US] ET AL) 22 janvier 2009 (2009-01-22) * abrégé; figures 3,5 * * alinéa [0043] - alinéa [0046] * * alinéa [0031] - alinéa [0040] * -----	1,15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G06F G05B

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
25 novembre 2011	Rousset, Antoine

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1101038 FA 754682

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 25-11-2011
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
EP 1236986 A2	04-09-2002	EP 1236986 A2	04-09-2002
		US 2002138184 A1	26-09-2002
		US 2003167111 A1	04-09-2003
WO 2009097435 A1	06-08-2009	CA 2713736 A1	06-08-2009
		EP 2238537 A1	13-10-2010
		WO 2009097435 A1	06-08-2009
US 2007226540 A1	27-09-2007	DE 102004024262 A1	01-12-2005
		EP 1751637 A1	14-02-2007
		US 2007226540 A1	27-09-2007
		WO 2005111752 A1	24-11-2005
US 2009024356 A1	22-01-2009	AUCUN	

EPO FORM P0465