



(51) Classification internationale des brevets :
F02C 7/26 (2006.01) *G06F 11/25* (2006.01)
G05B 23/02 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2010/051645

(22) Date de dépôt international :
10 février 2010 (10.02.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0950839 11 février 2009 (11.02.2009) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
SNECMA [FR/FR]; 2, boulevard du Général Martial
Valin, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
AUROUSSEAU, Christian [FR/FR]; 219 rue de la
Vallée, F-77950 Rubelles (FR). AUSLOOS, Alexandre
[FR/FR]; 90 rue Louis Dortée, F-77220 Favieres (FR).
FLANDROIS, Xavier [FR/FR]; 6 rue d'Aulnoy, F-77240
Cesson (FR). MASSE, Jean-Rémi [FR/FR]; 28 rue des
Tennerolles, F-92210 Saint-Cloud (FR). MOUTON,

Pierre, Charles [FR/FR]; 19 rue de la Mare aux Moines,
F-91350 Grigny (FR).

(74) Mandataire : ILGART, Jean-Christophe; Brevalex, 3,
rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM,
TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD FOR MONITORING THE HEALTH STATUS OF DEVICES THAT AFFECT THE STARTING CAPABILITY OF A JET ENGINE

(54) Titre : SURVEILLANCE DE L'ETAT DE SANTE DES EQUIPEMENTS INTERVENANT DANS LA CAPACITE DE DEMARRAGE D'UN TURBOREACTEUR

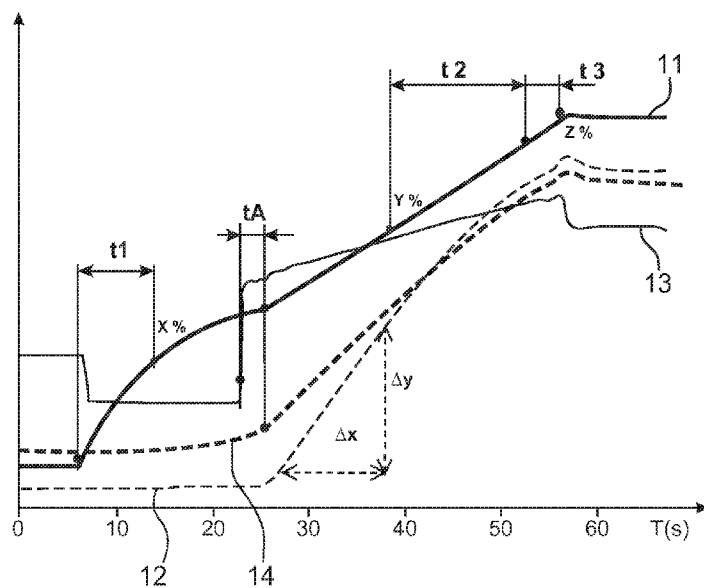


FIG.3

(57) Abstract : The invention relates to a method for monitoring the health status of the modules of the engine and the devices that affect the starting capability of an aircraft engine, including: acquiring engine and aircraft parameter measurements, said parameters affecting the starting capability of the engine, based on measurements acquired; extracting specific indicators selected because they represent the health status of the starting capability; normalising said indicators, which are set according to standard conditions, in other words, indicators in which the influence of context variables has been removed such as only to keep the influence of damage to the aircraft, the engine and the devices thereof; detecting anomalies and positioning said anomalies by means of statistical analysis tools and the knowledge of experts regarding the operation of the aircraft engine.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de surveillance de l'état de santé des modules du moteur et des équipements intervenant dans la capacité

[Suite sur la page suivante]

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))

de démarrage d'un moteur d'avion, comprenant : l'acquisition de mesures des paramètres du moteur et de l'avion, lesdits paramètres intervenant sur la capacité de démarrage du moteur, à partir des mesures acquises, l'extraction d'indicateurs spécifiques choisis pour leur représentativité de l'état de santé de la capacité de démarrage, la normalisation de ces indicateurs pour les mettre dans des conditions standard, c'est-à-dire des indicateurs où l'on a enlevé l'influence des variables de contexte pour ne conserver que l'influence des dégradations de l'avion, du moteur et de ses équipements, la détection d'anomalies et la localisation de ces anomalies grâce à des outils d'analyse statistique et à la connaissance des experts sur le fonctionnement du moteur d'avion.

**SURVEILLANCE DE L'ETAT DE SANTE DES EQUIPEMENTS
INTERVENANT DANS LA CAPACITE DE DEMARRAGE D'UN
TURBOREACTEUR**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

5 L'invention concerne la surveillance de l'état de santé des modules du moteur ou des équipements intervenant dans la capacité de démarrage d'un turboréacteur.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

10 Le démarrage d'un moteur d'avion est une opération qui demande la participation de nombreuses parties du moteur et de ses équipements. Il existe deux types de démarrage : le mode automatique et le mode manuel. La séquence de démarrage est cependant la même
15 dans les deux cas :

- alimentation des canalisations en air :
par une turbine auxiliaire ou APU (pour « Auxiliary Power Unit »), par une intercommunication de l'alimentation (ou « cross bleed » en anglais) ou par
20 une source indépendante,

- ouverture de la vanne SAV (pour « Starter Air Valve » en anglais),

- observation de l'enroulement du compresseur haute pression ou CoHP, par le démarreur
25 via un boîtier à engrenages ou AGB (pour « Auxiliary Gear Box » en anglais),

- alimentation et claquage des bougies,

- ouverture de la vanne HPSOV (pour « high pressure shut-off valve ») et injection du carburant,

- constatation de l'allumage et surveillance de la température des gaz d'échappement du moteur ou EGT,

- fermeture de la vanne SAV au régime d'auto-entraînement (dit « cut-out »),

- confirmation du ralenti,

- arrêt du claquage des bougies.

De nombreux équipements entrent en fonctionnement pendant cette phase de mise en route du moteur et des moyens sont mis en œuvre pour la détection de pannes éventuelles.

Le démarrage est déjà surveillé afin de vérifier son bon déroulement mais également pour préserver les autres organes du moteur en cas de problème (par exemple en cas de surchauffe). Le pilote se doit de contrôler le retour des capteurs lors du démarrage en complément des protections et alarmes automatisées du régulateur automatique à pleine autorité redondante ou FADEC (pour « Full Authority Digital Engine Control » en anglais). Ces informations sont le point de départ du système de surveillance du démarrage ou monitoring.

La mesure des paramètres suivants est envoyée au pilote dans le poste de pilotage :

- le régime du compresseur HP ou CoHP (haute pression) : N2,

- le régime du compresseur BP ou CoBP (basse pression) : N1,

- le débit de carburant : FF,

- la température des gaz d'échappement :
EGT,

- la pression d'huile,
- la position de la vanne SAV,
- 5 - la position de la vanne HPSOV.

Des alertes permettent de signaler si la pression d'huile est basse et si la température EGT est élevée.

Certaines recommandations sont faites au
10 pilote. Ordonner l'allumage prématurément dans la séquence de démarrage (c'est-à-dire si N2 n'est pas assez élevé) peut causer un démarrage « chaud ». Si le commutateur qui contrôle la vanne SAV passe en position fermée avant que le moteur ait atteint le régime
15 d'auto-entraînement (entre 50% et 55% de N2 selon les moteurs), il y a un risque de démarrage « chaud ». Il ne faut pas ordonner la réouverture de la vanne SAV tant que le régime N2 n'est pas en dessous de 20% sinon il y a un risque de casser l'embrayage du démarreur,
20 appelé « crash engagement ».

Les conditions d'interruption du démarrage sont :

- l'absence de rotation du N1 au moment de l'allumage,
- 25 - l'absence d'indication de pression d'huile avant que le moteur soit au ralenti,
- l'absence d'augmentation de l'EGT 10 secondes après l'injection de carburant,
- l'absence ou la très faible augmentation
30 de N1 ou N2 par rapport à l'EGT,

- l'EGT approchant rapidement la limite autorisée au démarrage.

A cela, il faut ajouter qu'il est interdit de fonctionner avec une vanne SAV non fermée et que la
5 batterie disponible pour l'alimentation des bougies doit être branchée à une chaîne d'allumage en état de marche.

Le calculateur FADEC permet un certain nombre de protections.

10 L'alarme dite "Hot Start Alerting" permet de détecter une surchauffe lors du démarrage. Le seuil d'alerte est défini en fonction du régime N2 et de la valeur résiduelle de l'EGT. Cette borne est toujours inférieure à la "Starting EGT limit". En cas de valeur
15 anormalement élevée, l'ECU fait clignoter l'indication EGT pour alerter le pilote et met la variable Hot_start_detected à "True". Cette valeur revient à "False" si le moteur atteint le ralenti ou si la commande de démarrage passe en position "cut off"
20 (c'est-à-dire si le pilote ordonne l'arrêt du moteur).

La protection dite "EGT Start Overtemperature Annunciation" intervient lorsque la valeur de l'EGT au démarrage (c'est-à-dire sous le régime de ralenti) dépasse la valeur de l'EGT "Start
25 Maintenance Limit". La variable correspondante prend alors la valeur "True".

La détection de l'évènement "Starting Overtemperature" est basée sur la définition d'une valeur seuil de l'EGT pendant la phase de démarrage. Si
30 cette limite est dépassée, alors l'ECU coupe l'allumage, ferme le doseur de carburant ou FMV et

maintient cette configuration tant que la commande de démarrage n'est pas positionnée sur "cut off".

La détection de l'évènement "Rollback Overtemperature" intervient lorsque le moteur est au sol et a atteint le ralenti, mais chute à moins de 50% du N2 et l'EGT franchit son seuil limite. L'ECU réagit de la même manière que pour l'évènement "Starting Overtemperature".

La protection dite "Wet Start Protection" intervient si l'allumage n'a pas lieu après un temps considéré comme raisonnable suite à l'injection de carburant. L'ECU coupe alors les bougies et ferme la vanne FMV. Le non-allumage est détecté si, au sol, la tension alimentant les bougies étant disponible, l'EGT n'a pas augmenté plusieurs secondes après avoir commandé l'allumage.

Des modifications ont été apportées pour améliorer la protection du moteur. Premièrement, pour prévenir les surchauffes, il est désormais impossible, au sol, au pilote d'ordonner l'allumage avant d'atteindre une valeur minimum de N2. En cas de dépassement du seuil EGT, qui est fonction du N2, l'ECU ne se contente plus d'avertir le pilote mais, toujours au sol, interrompt le démarrage. Deuxièmement, le précédent logiciel ne possède pas de logique pour les "Stall Start". Dorénavant, si la pression PS3 (pression d'entrée de la chambre de combustion) chute et que l'accélération du N2 passe sous un seuil, l'ECU interrompt le démarrage. Troisièmement, la détection du Rollback est maintenant plus sensible. Elle est active si le régime N2 chute en dessous de 54% au lieu de 50%.

On voit que le démarrage d'un moteur d'avion est complexe. Les compagnies aériennes sont particulièrement intéressées par la prévention des problèmes opérationnels lors du démarrage des moteurs de leurs avions. En effet, les problèmes de démarrage provoquent des retards et annulations de vols à un moment très critique puisque l'avion est immobilisé au sol alors qu'il était prêt à partir avec tous les passagers à bord. En cas de problème de démarrage, il faut alors entreprendre des actions de recherche de panne (dite "troubleshooting" en anglais). Pour cela, des tests sont effectués afin de localiser l'élément défaillant qui empêche le démarrage. Etant donné le nombre important de causes possibles, l'identification de la défaillance est souvent délicate et est à renouveler à chaque incident au démarrage.

EXPOSE DE L'INVENTION

Pour remédier aux inconvénients énumérés ci-dessus, la présente invention a pour objet un procédé de surveillance de l'état de santé des équipements LRU (pour « Line Replaceable Unit ») intervenant dans la capacité de démarrage d'un turboréacteur. Ce procédé a deux missions :

- détecter et localiser les anomalies (diagnostic) afin de minimiser les retards en ciblant immédiatement les actions de maintenance sur les systèmes défaillants, sans perdre de temps dans la recherche de la provenance de la panne,

- anticiper les pannes (pronostic) afin d'éviter les retards et annulations de vols pour non-démarrage ou démarrage anormal.

5 Le procédé proposé présente un réel avantage pour les compagnies aériennes car, en plus d'augmenter la disponibilité de l'avion, il participe à la satisfaction de leurs clients en limitant les retards et annulation de vols.

10 L'invention a donc pour objet un procédé de surveillance de l'état de santé des modules du moteur et des équipements intervenant dans la capacité de démarrage d'un moteur d'avion, comprenant :

15 - l'acquisition de mesure des paramètres du moteur et de l'avion, lesdits paramètres intervenant sur la capacité de démarrage du moteur,

- à partir des mesures acquises, l'extraction d'indicateurs spécifiques choisis pour leur représentativité de l'état de santé de la capacité de démarrage,

20 - la normalisation de ces indicateurs pour les mettre dans des conditions standard, c'est-à-dire des indicateurs où l'on a enlevé l'influence des variables de contexte pour ne conserver que l'influence des dégradations de l'avion, du moteur et de ses équipements,

25 - la détection d'anomalies et la localisation de ces anomalies grâce à des outils d'analyse statistiques et à la connaissance des experts sur le fonctionnement du moteur d'avion,

dans lequel les indicateurs, grâce à l'expertise des utilisateurs, peuvent notamment être choisis parmi les indicateurs suivants :

- 5 - pression d'alimentation d'air du démarreur,
- temps d'ouverture de la vanne de démarrage,
- valeur de l'accélération maximale du compresseur haute pression,
- 10 - temps pour atteindre l'accélération maximale du compresseur haute pression,
- temps de la première phase de démarrage,
- temps d'allumage du moteur,
- temps de la deuxième phase de démarrage,
- 15 - temps de fermeture de la vanne de démarrage,
- temps de la troisième phase de démarrage,
- gradient maximal de la température des gaz d'échappement,
- 20 - gradient moyen de la température des gaz d'échappement,
- régime maximal avant décélération,
- temps d'arrêt du moteur.

Le procédé peut comprendre en outre la
25 mémorisation, vol après vol, des tendances des indicateurs normalisés pour fournir une estimation de la durée de vie d'au moins l'un desdits modules de moteurs et équipements.

La localisation des anomalies peut
30 notamment être est détectée à partir des pannes choisies parmi les pannes suivantes :

- pas de débit du régulateur hydromécanique
ou HMU,
- peu de débit du régulateur
hydromécanique,
- 5 - trop de débit du régulateur
hydromécanique,
- beaucoup trop de débit du régulateur
hydromécanique,
- l'état de « backdriving » du démarreur,
- 10 - la rupture d'arbre du démarreur pendant
le démarrage du moteur,
- une fuite d'huile du démarreur,
- un degré défini d'usure des roulements,
des aubes ou des pignons,
- 15 - pas d'étincelle aux bougies lors de
l'allumage,
- une panne du relais bougies,
- un refus d'ouverture de la vanne SAV,
- un refus de fermeture de la vanne SAV,
- 20 - une ouverture lente de la vanne SAV,
- une fermeture lente de la vanne SAV,
- mauvaise position d'un élément à
géométrie variable,
- légère cockéfaction des injecteurs,
- 25 - bouchage des injecteurs,
- débit insuffisant à l'allumage de la
pompe HP à carburant,
- un degré d'usure interne du boîtier à
engrenages,
- 30 - une absence de pression à la turbine
auxiliaire,

- une pression faible à la turbine auxiliaire,
- un obstacle mécanique dans le compresseur basse pression,
- 5 - une performance insuffisante du compresseur haute pression,
- une baisse de rendement de la pompe principale à carburant,
- un couple résistant trop fort dans la
- 10 chaîne du boîtier à engrenages/arbre radial du rotor haute pression.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est un schéma illustrant le processus mis en œuvre par le procédé de surveillance selon l'invention,

- la figure 2 est un graphique représentant l'amplitude d'un signal issu d'un capteur, en fonction du temps, avant et après filtrage,

25 - la figure 3 est un diagramme illustrant la construction d'indicateurs utiles pour la présente invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Le système de surveillance selon l'invention reçoit en entrée les mesures relevées par les détecteurs ainsi que les paramètres du moteur (ou des moteurs). Il suit, en fonction des données entrées, l'état de dégradation de l'ensemble des équipements et du moteur intervenant dans la phase de démarrage dans une optique d'aide à la maintenance. Le système délivre en sortie une estimation de l'état de santé des équipements et du moteur, un pronostic sur leur durée de vie restante si une dégradation est détectée et un degré de confiance de la décision prise.

La figure 1 est un schéma illustrant le processus mis en œuvre par le système de surveillance selon l'invention.

Dans ce qui suit, on va présenter l'architecture fonctionnelle de l'algorithme.

1- Acquisitions des mesures

La première étape de l'algorithme est l'acquisition des informations qui permettront d'estimer l'état de santé des modules du moteur et de ses équipements entrant en jeu dans la capacité à démarrer.

Les données d'entrées de cette phase peuvent être les signaux de capteurs (comme des températures, des pressions, des régimes, ...) ou des discrets donnant l'information de franchissement de seuil (comme la commutation (ou switch) d'une vanne, la confirmation de l'allumage, l'obtention du régime de Cut Out) ou encore des informations sur la

configuration du démarrage (comme l'activation du mode automatique, la position de la commande des bougies). D'une manière générale, toutes les informations mesurables peuvent servir de données d'entrées.

5 Le tableau 1 donne un exemple des mesures à acquérir :

Référence	Mesures	Type
M1	Type de démarrage	Discret
M2	Bougie sélectionnée	Discret
M3	Température d'huile	Réel
M4	Température extérieure	Réel
M5	Pression extérieure	Réel
M6	Demande SAV	Discret
M7	Switch SAV	Discret
M8	Pression d'alimentation du démarreur	Réel
M9	Régime HP	Réel
M10	Régime BP	Réel
M11	Master lever	Discret
M12	Débit carburant	Réel
M13	Température des gaz échappements	Réel
M14	Pression de la chambre de combustion	Réel

Tableau 1

10 1.1- Outils d'acquisition des mesures

Concernant la validité de la base de données d'entrée, seule la base d'entrée est actuellement vérifiée, les erreurs survenant lors des calculs ayant été considérées inexistantes.

15 Une opération de sur-échantillonnage permet d'obtenir une base de temps (et une base indicielle) commune à toutes les données, cela permettant un traitement plus fiable.

20 Dans le cadre de cet algorithme, il est considéré que l'ensemble des données présentes dans le boîtier sera acquis à la fréquence d'échantillonnage

maximale du FADEC, soit toutes les HTR, avec 1 HTR = 15 millisecondes.

Une étape de filtrage des données est nécessaire pour réduire les bruits d'acquisition de certaines données et ainsi limiter les erreurs de détection et augmenter la précision comme l'illustre la figure 2. Cette figure représente l'amplitude A d'un signal issu d'un capteur, en fonction du temps t, avant filtrage (courbe 1) et après filtrage (courbe 2).

Les données nécessitant cette opération sont les suivantes : Régime HP moteur, Température EGT et pression de sortie du compresseur HP PS3. Le filtre utilisé est un outil générique. Les réglages de l'ordre du filtre et de la fréquence de coupure sont personnalisés à chaque donnée. Ils ont été définis dans l'étude de l'outil de lissage en fonction du besoin.

L'utilisation de la dérivée de certains signaux est nécessaire pour la détection d'évolution dans les signaux. Les données nécessitant cette opération sont les suivantes : Régime HP moteur, Pression de sortie du compresseur HP, Température EGT. Le vecteur dérivé doit être de dimension équivalente au vecteur d'origine. De plus, le traitement doit prendre en compte le décalage produit par l'opération de dérivation, en recopiant la première valeur du vecteur dérivé en première position.

1.2- Enregistrement des mesures

La base de données brute ainsi que les résultats d'extraction et d'estimation sont sauvegardés. Les mesures non déterminables (par

exemple : le temps t2 dans le cas d'un démarrage avorté avant la fermeture de la vanne) sont notées « NaN » pour « Not a Number ».

Les données de sorties sont des signaux, filtrés ou non, dérivés ou non, qui vont permettre l'extraction des indicateurs.

2- Extraction des indicateurs

Les données d'entrées spécifiées ici sont les données de sortie de la partie « Acquisition des mesures ».

Les données de sorties sont des indicateurs qui permettront d'évaluer l'état de santé du moteur. Ces indicateurs ont été définis avec les experts du comportement moteur de manière à pouvoir détecter les différentes dégradations qui peuvent empêcher le démarrage. Chaque indicateur est significatif de l'état de santé d'un ou plusieurs modules du moteur et de ses équipements.

Le tableau 2 ci-dessous donne une liste non exhaustive des indicateurs en tant que données de sortie.

Référence Indicateurs	Significations indicateurs
I1	Pression d'alimentation d'air du démarreur
I2	Temps « ouverture » de la vanne de démarrage
I3	Valeur de l'accélération maximale du Co HP
I4	Temps pour atteindre accélération max du Co HP
I5	Temps 1 ^{ère} phase de démarrage
I6	Temps d'allumage du moteur
I7	Temps 2 ^{ème} phase de démarrage

I8	Temps de fermeture de la vanne de démarrage
I9	Temps 3 ^{ème} phase de démarrage
I10	Gradient maximal de la température des gaz d'échappement
I11	Gradient moyen de la température des gaz d'échappement
I12	Régime maximal avant décélération
I13	Temps d'arrêt du moteur
Ix	Indicateurs d'autres fonctions

Tableau 2

Les indicateurs fournissent les informations suivantes (les seuils proposés pour définir les indicateurs sont donnés à titre d'exemple) :

- I1 - La pression d'alimentation d'air :

Elle donne la puissance au démarreur. Le couple du démarreur est donc lié à cette valeur. Elle sert à détecter des problèmes d'APU mais aussi de prévenir des ruptures d'arbre démarreur. En effet, des oscillations de pression provoquent des à-coups au niveau de l'arbre qui se fatigue alors plus vite.

- I2 - Le temps pour vaincre la marge d'effort à l'ouverture de la vanne SAV :

Il peut être défini entre l'ordre d'ouverture et le moment où le capteur de position passe à Vrai. Il détecte des problèmes de pression d'alimentation d'air ou d'ouverture vanne de démarrage.

- I3 et I4 - Le point de coordonnée de l'accélération maximale du moteur :

Cet instant a lieu au début du démarrage et sert à détecter des problèmes de pression d'alimentation d'air ou d'ouverture de vanne.

- I5 - Le temps "t1" de la phase de démarrage :

5 Défini par exemple de 0 à 20% du régime maximal du Co HP, ce temps est significatif de la phase avant l'allumage. Il sert donc à détecter des problèmes de pression d'air, de vanne de démarrage, de démarreur et de compresseur HP.

10 • I6 - Le temps d'allumage :

Il peut être défini entre l'injection de carburant et la détection de l'élévation de pression dans la chambre ou entre l'injection et la rupture de pente du régime du Co HP. Ce temps surveille l'état de
15 santé des bougies et des injecteurs.

- I7 - Le temps "t2" de la phase de démarrage :

Défini par exemple de 30% du régime HP et la Cut Out, ce temps correspond à la phase où le démarreur et la combustion participent à l'accélération
20 du moteur. Il détecte donc des problèmes d'alimentation d'air, de démarreur, de compresseur HP, de géométries variables et de circuit carburant comme le régulateur hydromécanique ou HMU (pour « HydroMechanical Unit »).

- I8 - Le temps de fermeture de la vanne SAV :

25 Défini entre l'instant où le N2 a atteint le régime de Cut Out et l'indication "fermé" de la vanne SAV. Il détecte des problèmes de fermeture de vanne SAV.

- I9 - Le temps "t3" de la phase de démarrage :

30 Défini de la Cut Out à un régime de sous ralenti (par exemple 98% du ralenti minimal), cette

phase correspond à la fin du démarrage. A la Cut Out, le démarreur se désaccouple et ne participe plus à l'entraînement du moteur. Il sert à détecter des problèmes de circuit carburant et de compresseur HP.

5 • I10 et I11 - Les gradients de température :

La température des gaz d'échappement dépend du rapport Carburant/ Air. A un régime donné, le flux d'air est constant. Donc, si l'on diminue le débit carburant l'EGT sera plus faible et inversement si l'on
10 augmente le débit l'EGT sera plus élevée. Si le débit carburant est vraiment trop important, le moteur ne fonctionnera pas correctement et le flux d'air sera plus faible. La température s'envole alors.

• I12 - Régime maximal avant décélération :

15 Cet indicateur permet de savoir à quel régime le moteur a eu un problème qui l'a fait stagner ou décélérer.

• I13 - Le temps d'arrêt du moteur :

Défini entre le moment où le pilote donne
20 l'ordre de couper le moteur et un seuil bas sur le régime HP (exemple : 5% ou 2%), ce temps sert à estimer le couple résistant du compresseur HP.

D'autres indicateurs, définis pour la
25 surveillance d'autres fonctions que la capacité à démarrer peuvent néanmoins être utilisés pour la localisation et la prédiction d'incidents au démarrage. Voici un exemple de nouveaux indicateurs :

• Le régime HP à l'ouverture de la HPSOV :

30 Permet de surveiller le rendement de la pompe à carburant principale. Cet indicateur est

surtout utile pour garantir le redémarrage en vol mais une pompe dégradée peut aussi empêcher le démarrage au sol. On peut se référer à ce sujet à la demande de brevet français déposée sous le numéro d'enregistrement
5 07 08099 et intitulée « Surveillance d'une pompe haute pression dans un circuit d'alimentation en carburant d'une turbomachine ».

- Les vibrations du démarreur via le capteur de l'AGB

10 L'accéléromètre donnera des indications sur la transmission de puissance (AGB, TGB) mais aussi sur les vibrations du démarreur. Elles permettent de détecter des dégradations internes (perte d'aube, usure de roulement, pignons abîmés, usure embrayage).

- 15 • La consommation d'huile

Dans les lubrifications partagées, une fuite d'huile du démarreur se traduit par une fuite d'huile du moteur. La surveillance de la consommation d'huile moteur permet donc de détecter un problème
20 d'étanchéité du démarreur, en plus des problèmes d'huile moteur.

- La position des géométries variables

Permet de détecter des problèmes de géométrie variables en les surveillant tout au long du
25 vol. Par exemple, une mauvaise position des VSV au démarrage peut engendrer un démarrage chaud.

- Les températures des sondes EGT

Permet de détecter des problèmes d'injecteurs. En cas de cokéfaction, la répartition de
30 la température ne sera plus homogène sur les quatre sondes. La sonde en face de l'injecteur cokéfié sera

plus froide que d'habitude et les trois autres un peu plus chaudes.

La majorité des indicateurs I_i sont
5 sensibles aux paramètres environnants comme la température extérieure, la température d'huile ou encore la pression extérieure. Pour une meilleure détection, il est donc utile de normaliser ces indicateurs, c'est-à-dire, les mettre dans des
10 conditions standard.

Les normalisations sont faites à l'aide de modèles qui peuvent être de nature physique. Un modèle physique de prévision utilisé est basé sur la pression d'alimentation relative. Il existe aussi un abaque,
15 établi pour le turboréacteur CFM56-5C, donnant en fonction de la pression et de la température ambiante ainsi que du degré d'usure, les pressions absolues et températures attendues en sortie d'APU. Les autres modèles sont de nature statistique. Ils sont obtenus
20 par régression des indicateurs en fonction des autres indicateurs et de paramètres d'environnement :

M_PAS_tarD : pression d'alimentation du démarreur,

m_Pamb : pression ambiante,

25 m_Tamb : température ambiante dite OAT (pour « Outside Air Temperature »),

m_dToil_{_dem} : température d'huile au démarrage.

30 2.1 Normalisation des indicateurs :

La normalisation sert à pouvoir comparer les indicateurs vols après vols dans les mêmes conditions.

Un indicateur normalisé est défini comme un écart, appelé résidu, entre les mesures réelles de ces indicateurs et leurs estimations à l'aide d'un modèle. On notera par la suite I_i l'indicateur I_i normalisé.

La méthode de détermination des indicateurs comprend les particularités suivantes :

- les indicateurs Régime de décélération moteur et Régime maximal avant décélération ne subissent aucune modification par rapport aux données d'entrée.

L'ensemble des données de sortie est sauvegardé.

3- Détection d'anomalies et localisation

Les données d'entrée spécifiées ici sont les données de sortie de la partie « Extraction des indicateurs ». Ces données d'entrées constituent l'information pour juger de l'état de santé du moteur et de ses équipements.

Les données de sortie sont :

- l'état de détection,
- la confiance de la détection,
- La probabilité de panne de chaque équipement (localisation).

Les caractéristiques des données de sortie sont données par l'outil générique FDI pour « Failure

Detection and Identification ». On peut se référer à ce sujet à la demande de brevet français déposée sous le numéro d'enregistrement 08 58609 et intitulée « Identification de défaillance dans un moteur d'aéronef ». Le tableau 3 ci-dessous expose les principales défaillances surveillées par l'algorithme de monitoring. Ces dégradations sont les incidents les plus fréquents qui impactent la capacité à démarrage d'un turboréacteur.

10

N° de Panne	Equipements	Modes de défaillance
P1	HMU	Pas de débit
P2	HMU	Peu de débit
P3	HMU	Trop de débit
P4	HMU	Beaucoup trop de débit
P5	Démarrreur	Backdriving
P6 à 9	Démarrreur	Rupture d'arbre pendant le démarrage
P10	Démarrreur	Fuite d'huile du démarrreur
P11	Démarrreur	Usure roulements, aubes, pignons
P12	Allumage	Pas d'étincelle aux bougies
P13	Allumage	Panne de Relais bougies
P14	Vanne SAV	Refus d'ouverture
P15	Vanne SAV	Refus de fermeture
P16	Vanne SAV	Ouverture lente
P17	Vanne SAV	Fermeture lente
P18	Géométries variables	Mauvaise position
P19	Injecteurs	Légère cockéfaction
P20	Injecteurs	Injecteurs bouchés
P21	Pompe HP à carburant	Débit insuffisant à l'allumage
P22	AGB	Usure interne (roulement, pignons)
P23	Compresseur APU	Pas de pression
P24	Compresseur APU	Pression faible
P25	Turbine BP	Obstacle mécanique dans le Co BP
P26	Compresseur HP	Performances insuffisantes
P27	Chaine AGB Arbre radial Rotor HP	Couple résistant trop fort

Tableau 3

La détection/localisation de défaillance utilise l'outil générique FDI. La localisation des défaillances se base sur la matrice ci dessous, définie avec des experts du comportement moteur. Cette matrice permet de faire le lien entre les indicateurs et les dégradations possibles. Elle donne les signatures de chaque panne surveillée. A titre d'exemple on pourrait obtenir la matrice suivante sur les 10 premiers indicateurs et les 15 premières pannes :

N° de Panne	I'1	I'2	I'3	I'4	I'5	I'6	I'7	I'8	I'9	I'10
P1	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN
P2	0	0	0	0	0	+	+	0	+	-
P3	0	0	0	0	0	0	-	0	-	+
P4	0	0	0	0	0	-	-	0	-	+
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P6	0	0	0	0	NaN	NaN	NaN	0	NaN	NaN
P7	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN
P8	0	0	0	0	0	0	NaN	0	NaN	NaN
P9	0	0	0	0	0	0	+	0	0	-
P10	0	0	0	0	+	NaN	NaN	0	NaN	NaN
P11	0	0	-	+	+	0	+	0	0	-
P12	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN
P13	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN
P14	0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
P15	0	0	0	0	0	0	0	NaN	-	0

Tableau 4

Les signes du tableau 4 représentent une estimation de l'indicateur normalisé i en cas de panne j . 0 signifie que l'indicateur n'est pas affecté par cette dégradation. Le signe «+» (respectivement «-») signifie que la dégradation fait que l'indicateur

nomalisé est supérieur (respectivement inférieur) à sa valeur attendue.

Le résultat produit par l'indicateur « Régime de décélération moteur » est utilisé pour confirmer des cas de non-démarrage ou de rupture d'arbre démarreur.

L'ensemble des données est sauvegardé.

4- Décision et pronostic

Les données d'entrées spécifiées ici sont les données de sortie de la partie « Détection d'anomalie et localisation ».

Les données de sortie sont les données spécifiées :

- la vitesse d'évolution de cette probabilité,
- le pronostic du temps de vie restant estimé,
- la précision du pronostic (intervalle de confiance à 99%).

L'outil de décision utilisé doit retourner les données spécifiées en données de sortie. La défaillance est confirmée lorsqu'un ou plusieurs seuils de décision sont atteints.

5- Exemple d'application de l'invention à un turboréacteur

Dans cet exemple d'application, on va considérer des URL (Unités Remplaçables en Ligne appelées « Line Replaceable Units » ou LRU en anglais)

susceptibles de contribuer au nouveau démarrage d'un turboréacteur. Le tableau 5, ci-dessous, regroupe un certain nombre d'URL. D'autres URL ou modules moteur pourraient contribuer au non-démarrage, mais elles ne figurent pas dans ce tableau. C'est le cas notamment de la pompe principale à carburant, des boucles locales et de la cinématique AGB-Core HP (question : comment peut-on traduire core HP en français ?). Cependant, les causes de non-démarrage indiquées dans le tableau 5 en regard des URL retenues représentent environ 80% des occurrences de non-démarrage observées en service.

URL	Causes de non-démarrage
APU	Pas assez de pression pour enrouler jusqu'à l'allumage
APU	Pas assez de pression pour enrouler jusqu'à la « cut out »
Démarrreur	Rupture d'arbre
Démarrreur	Usure roulement, aubes, pignons
Démarrreur	Non-débrayage
Démarrreur	Fuite huile
HMU	Pas assez de débit
HMU	Trop de débit
HMU	Pas de débit
Allumage	Pas d'étincelle aux bougies
Allumage	Pannes de relais bougies
SAV	Non-ouverture
SAV	Non-fermeture
Injecteurs	Injecteurs bouchés

Tableau 5

Certaines de ces pannes peuvent être anticipées grâce à des signes avant coureurs ou

prémices. Celles-ci figurent dans le tableau n°6. Quant aux autres il n'est pas possible de les détecter avant occurrence de non-démarrage.

URL	Causes de non-démarrage	Dégradations prémices
APU	Pas assez de pression	Pression faible
Démarreur	Rupture d'arbre	Pas de prémices sauf peut-être si la rupture a lieu après t1 (entre 52% et 55% de N2) ce qui est peu probable car en général la rupture a lieu dès l'ouverture de la SAV. Dans ce cas très restrictif, le démarrage pourra se terminer avec détection de prémices de non-démarrage au vol suivant.
Démarreur	Usure roulement pignons	Contamination de l'huile *
Démarreur	Usure ou rupture aubes	Balourd (détectable par accéléromètre) *
HMU	Pas assez de débit	Moins de débit que commandé
HMU	Trop de débit	Plus de débit que commandé
HMU	Trop de débit	Beaucoup plus de débit que commandé
SAV	Non-ouverture	Ouverture lente
SAV	Non-fermeture	Fermeture lente
Injecteur	Injecteurs bouchés	Légère cokéfaction

* Très peu d'effet sur les performances et les indicateurs envisagés ci-dessous.

Tableau 6

Des indicateurs permettent de détecter les prémices de non-démarrage ou, s'il n'existe pas de prémices décelables par ces indicateurs, de localiser les causes de non-démarrage avéré.

- I1 - Pression d'alimentation d'air :

Elle donne la puissance au démarreur. Le couple du démarreur est donc lié à cette valeur. Elle

sert à détecter des problèmes d'APU mais aussi de prévenir des ruptures d'arbre démarreur. En effet, des oscillations de pression provoquent des à-coups au niveau de l'arbre qui se fatigue alors plus vite.

5

- I2 - Temps pour vaincre la marge d'effort à l'ouverture de la vanne SAV :

Il peut être défini entre l'ordre d'ouverture et le moment où le capteur de position passe à Vrai. Il détecte des problèmes de pression d'alimentation d'air ou d'ouverture de la vanne de démarrage.

- I3 et I4 - Point de coordonnée de l'accélération maximale du moteur :

15

Cet instant a lieu au début du démarrage et sert à détecter des problèmes de pression d'alimentation d'air ou d'ouverture de vanne.

- I5 - Durée de la phase "t1" de démarrage, dite temps d'autorotation :

20

Défini par exemple de 0 à 20% du régime maximal du Co HP, cette durée est significative de la phase avant l'allumage. Elle sert donc à détecter des problèmes de pression d'air, de vanne de démarrage, de démarreur et de couple résistant dans la chaîne cinématique démarreur - AGB - compresseur HP. Cependant, le seul couple résistant significatif est celui de l'AGB. La variation de la durée "t1" d'autorotation ne permet pas d'estimer le couple ou la performance du compresseur, mais celui de l'AGB. Des

25

30

variations de fonctionnement du compresseur ne sont pas discernables avant l'allumage. La température "s'envole" mais aussi un pompage CHP (pompe haute pression) peut se produire.

5

- I6 - Temps d'allumage :

Il peut être défini comme la durée entre l'injection de carburant et la détection de l'élévation de pression dans la chambre ou entre l'injection et la rupture de pente du régime du Co HP. Ce temps surveille l'état de santé des bougies et des injecteurs. Cependant ce temps peut-être perturbé par la présence d'air dans le circuit carburant, ce qui se rencontre notamment à la première mise au banc du moteur, au premier avionnage, après l'échange d'un URL carburant, voire après un arrêt très prolongé du moteur (destockage).

- I7 - Durée de la phase "t2" de démarrage :

Définie par exemple de 30% du régime HP et la "Cut Out" (débrayage du démarreur), cette durée correspond à la phase où le démarreur et la combustion participent à l'accélération du moteur. Elle permet donc de détecter des problèmes d'alimentation d'air, de démarreur, de compresseur HP, de géométries variables et de circuit carburant comme le HMU (régulateur hydromécanique).

- I8 - Temps de fermeture de la vanne SAV :

Défini par la durée entre l'instant où le N2 a atteint le régime de "Cut Out" et l'indication

"fermé" de la vanne SAV. Il permet de détecter des problèmes de fermeture de vanne SAV.

- I9 - Durée de la phase "t3" de démarrage :

5 Définie par la durée entre la "Cut Out" et l'atteinte d'un régime de sous-ralenti (par exemple 98% du ralenti minimal), cette phase correspond à la fin du démarrage. A la "Cut Out", le démarreur se désaccouple et ne participe plus à l'entraînement du
10 moteur. I9 sert à détecter des problèmes de circuit carburant et de compresseur HP.

- I10 et I11 - Gradients maximal et moyen de température :

15 La température des gaz d'échappement dépend du rapport Carburant/ Air. A un régime donné, le flux d'air est constant. Donc, si l'on diminue le débit carburant l'EGT sera plus faible et, inversement, si l'on augmente le débit l'EGT sera plus élevée. Si le
20 débit carburant est vraiment trop important, le moteur ne fonctionnera pas correctement et le flux d'air sera plus faible. La température "s'envole" alors.

- I12 - Temps d'arrêt du moteur :

25 Défini par la durée entre le moment où le pilote donne l'ordre de couper le moteur et un seuil bas sur le régime HP (exemple : 5% ou 2%), ce temps sert à estimer le couple résistant du compresseur HP.

 Les indicateurs sont résumés dans le
30 tableau 7 ci-dessous :

Référence Indicateurs	Signification indicateurs
I1	Pression d'alimentation d'air du démarreur
I2	Temps « ouverture » de la vanne de démarrage
I3	Valeur de l'accélération maximale du Co HP
I4	Temps pour atteindre accélération max du Co HP
I5	Durée 1 ^{ère} phase de démarrage
I6	Temps d'allumage du moteur
I7	Durée 2 ^{ème} phase de démarrage
I8	Temps de fermeture de la vanne de démarrage
I9	Durée 3 ^{ème} phase de démarrage
I10	Gradient maximal de la température des gaz d'échappement
I11	Gradient moyen de la température des gaz d'échappement
I12	Temps d'arrêt du moteur

Tableau 7

La figure 3 est un diagramme illustrant la construction des indicateurs. L'axe des abscisses représente le temps T en secondes. La courbe 11 montre l'évolution de la vitesse N2 du compresseur HP. La courbe 12 montre l'évolution de la température des gaz d'échappement (ou EGT). La courbe montre l'évolution du débit de carburant envoyé aux injecteurs et contrôlé par le doseur de carburant ou FMV (pour « Fuel Metering Valve »). La courbe 14 montre l'évolution de la pression PS3 (pression d'entrée de la chambre de combustion).

Les phases t1, t2 et t3 définies plus haut son indiquées sur le diagramme de la figure 3. Le temps d'allumage tA est également indiqué.

Les deux tableaux qui suivent sont relatifs à deux utilisations des indicateurs. Le tableau 8 se rapporte à des causes de non-démarrage avec prémices. Le tableau 9 se rapporte à des causes de non-démarrage sans prémices. Un indicateur normalisé (appelé I'1, I'2,... I'12) est défini comme un écart, appelé résidu,

entre les mesures réelles (I1, I2, ... I12) de ces indicateurs et leur prévision à l'aide d'un modèle.

LRU	Causes de Non-démarrage	%	Prémices	Indicateurs normalisés											
				I'1	I'2	I'3	I'4	I'5	I'6	I'7	I'8	I'9	I'10	I'11	I'12
APU	Pas assez de pression	60%	Pression faible	-	+	-	+	+	0	+	-*	0	-	-	0
Démarreur	Rupture d'arbre	0%	Rupture de l'arbre après t1 (entre 52% et 55% de N2)	0	0	0	0	0	0	+	0	0	-	-	0
Démarreur	Usure roulement, aubes, pignons		l'usure des roulements aubes, pignons ou rupture d'aube n'augmentera pas le couple résistant												
HMU	Pas assez de débit	7%	Peu de débit	0	0	0	0	0	+	+	0	+	-	-	0
HMU	Trop de débit	7%	Plus de débit que commandé	0	0	0	0	0	0	-	0	-	+	+	0
HMU	Trop de débit		Beaucoup plus de débit que commandé.	0	0	0	0	0	-	-	0	-	+	+	0
SAV	Non-ouverture	3%	Ouverture lente	0	+	+	-	+	0	0	0	0	0	0	0
SAV	Non-fermeture	3%	Fermeture lente	0	0	0	0	0	0	0	+	-	0	0	0
Injecteur	Injecteurs bouchés	2%	Légère cokéfaction												
		82%													

* à iso-température

LRU	Causes de Non-démarrage	%	Autres conséquences	Indicateurs normalisés											
				I'1	I'2	I'3	I'4	I'5	I'6	I'7	I'8	I'9	I'10	I'11	I'12
APU	Pas assez de pression pour enrouler jusqu'à l'allumage	60%	/	-	+	-	+	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0
APU	Pas assez de pression pour enrouler jusqu'à la cut out		/	-	+	-	+	+	0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0
Démarrreur	Rupture d'arbre du démarrage	9%	/	0	0	0	0	NaN	NaN	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
Démarrreur	Rupture d'arbre du démarrage		/	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
Démarrreur	Rupture d'arbre du démarrage		/	0	0	0	0	0	0	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
Démarrreur	Non débrayage		Un découpleur rend le prochain démarrage impossible	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Démarrreur	Fuite huile		N'empêche pas le démarrage mais "no start" cf: conso huile	0	0	0	0	+	NaN	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
HMU	Pas de débit	7%	/	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
Allumage	Pas d'étincelle aux bougies	5%	Pas vraiment un "no start" car changement de voie	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
Allumage	Pannes de relais bougies	3%	Pas vraiment un "no start" car changement de voie	0	0	0	0	0	NaN	NaN	0	NaN	NaN	NaN	0
SAV	Non-ouverture	3%	/	0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0
SAV	Non-fermeture	3%	/	0	0	0	0	0	0	0	NaN	-	0	0	0
Injecteur	Injecteurs bouchés	2%	/												
		92%													

Tableau 9

Les signes des tableaux 8 et 9 représentent une évolution de l'indicateur I par rapport à la valeur prévue en cas de dégradation. 0 signifie que l'indicateur n'est pas affecté par cette dégradation. Le signe «+» (respectivement «-») signifie que la dégradation fait que l'indicateur est supérieur (respectivement inférieur) à sa valeur prévue.

Les mesures non déterminables (par exemple : le temps t2 dans le cas d'un démarrage avorté

avant la fermeture de la vanne) sont notées « NaN »
pour « Not a Number ».

REVENDICATIONS

1. Procédé de surveillance de l'état de santé des modules du moteur et des équipements intervenant dans la capacité de démarrage d'un moteur d'avion, comprenant :

- l'acquisition de mesures des paramètres du moteur et de l'avion, lesdits paramètres intervenant sur la capacité de démarrage du moteur,

- à partir des mesures acquises, l'extraction d'indicateurs spécifiques choisis pour leur représentativité de l'état de santé de la capacité de démarrage,

- la normalisation de ces indicateurs pour les mettre dans des conditions standard, c'est-à-dire des indicateurs où l'on a enlevé l'influence des variables de contexte pour ne conserver que l'influence des dégradations de l'avion, du moteur et de ses équipements,

- la détection d'anomalies et la localisation de ces anomalies grâce à des outils d'analyse statistique et à la connaissance des experts sur le fonctionnement du moteur d'avion,

dans lequel lesdits indicateurs sont choisis parmi les indicateurs suivants :

- pression d'alimentation d'air du démarreur,

- temps d'ouverture de la vanne de démarrage,

- valeur de l'accélération maximale du compresseur haute pression,

- temps pour atteindre l'accélération maximale du compresseur haute pression,
- temps de la première phase de démarrage,
- temps d'allumage du moteur,
- 5 - temps de la deuxième phase de démarrage,
- temps de fermeture de la vanne de démarrage,
- temps de la troisième phase de démarrage,
- gradient maximal de la température des
- 10 gaz d'échappement,
- gradient moyen de la température des gaz d'échappement,
- régime maximal avant décélération,
- temps d'arrêt du moteur.

15

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre la mémorisation, vol après vol, des tendances des indicateurs normalisés pour fournir une estimation de la durée de vie d'au moins l'un desdits

20 modules de moteurs et équipements.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la localisation des anomalies est détectée à partir de pannes qui peuvent avoir un impact

25 sur la capacité à démarrer et choisies parmi les pannes suivantes :

- pas de débit du régulateur hydromécanique ou HMU,
- peu de débit du régulateur
- 30 hydromécanique,

- trop de débit du régulateur hydromécanique,
- beaucoup trop de débit du régulateur hydromécanique,
- 5 - l'état de « backdriving » du démarreur,
- la rupture d'arbre du démarreur pendant le démarrage du moteur,
- une fuite d'huile du démarreur,
- un degré défini d'usure des roulements,
- 10 des aubes ou des pignons,
- pas d'étincelle aux bougies lors de l'allumage,
- une panne du relais bougies,
- un refus d'ouverture de la vanne SAV,
- 15 - un refus de fermeture de la vanne SAV,
- une ouverture lente de la vanne SAV,
- une fermeture lente de la vanne SAV,
- mauvaise position d'un élément à géométrie variable,
- 20 - légère cockéfaction des injecteurs,
- bouchage des injecteurs,
- débit insuffisant à l'allumage de la pompe HP à carburant,
- un degré d'usure interne du boîtier à
- 25 engrenages,
- une absence de pression à la turbine auxiliaire,
- une pression faible à la turbine auxiliaire,
- 30 - un obstacle mécanique dans le compresseur basse pression,

- une performance insuffisante du compresseur haute pression,

- un couple résistant trop fort dans la chaîne du boîtier à engrenages/arbre radial du rotor

5 haute pression.

1 / 2

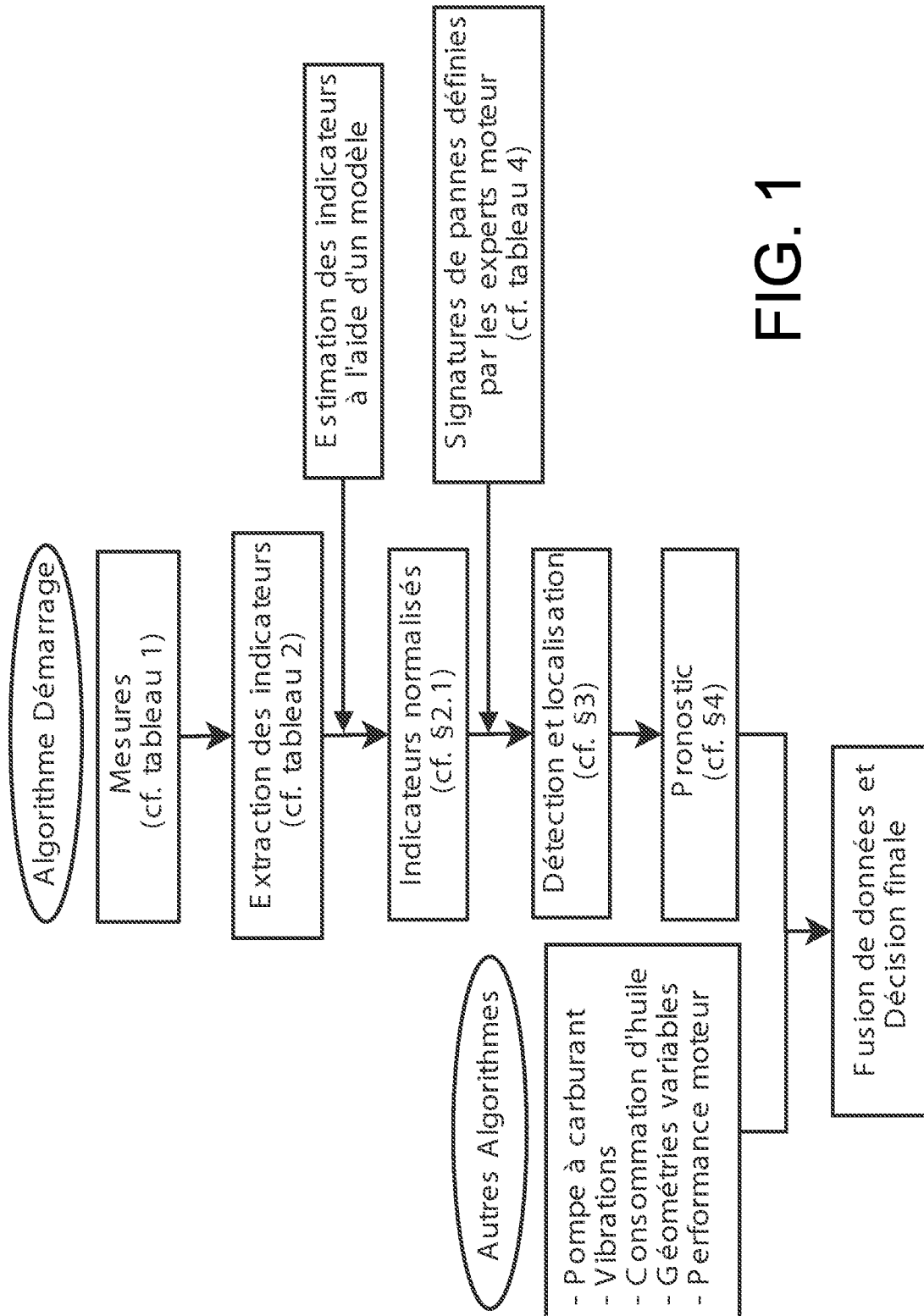


FIG. 1

2 / 2

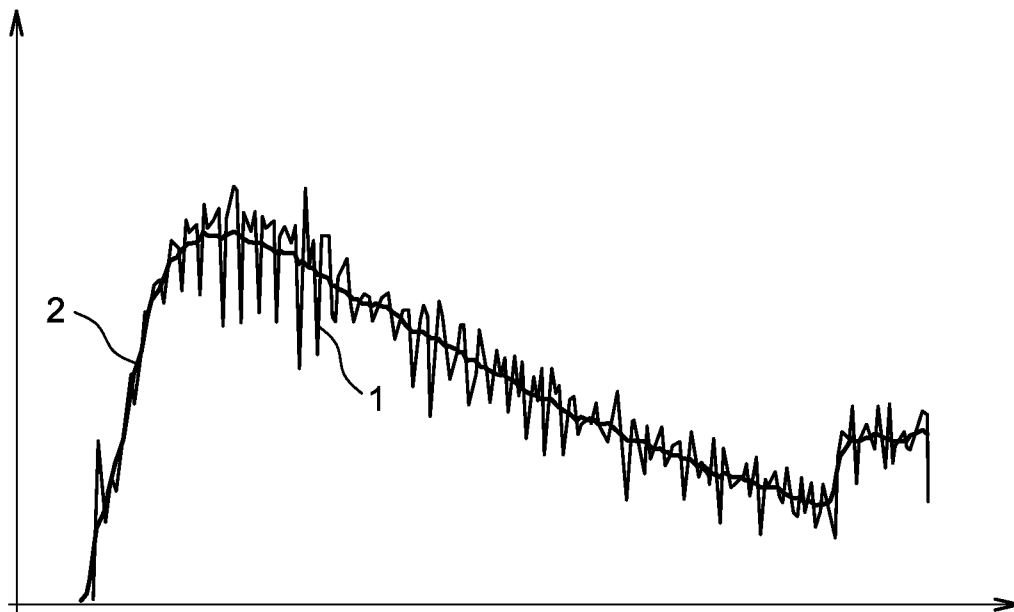


FIG. 2

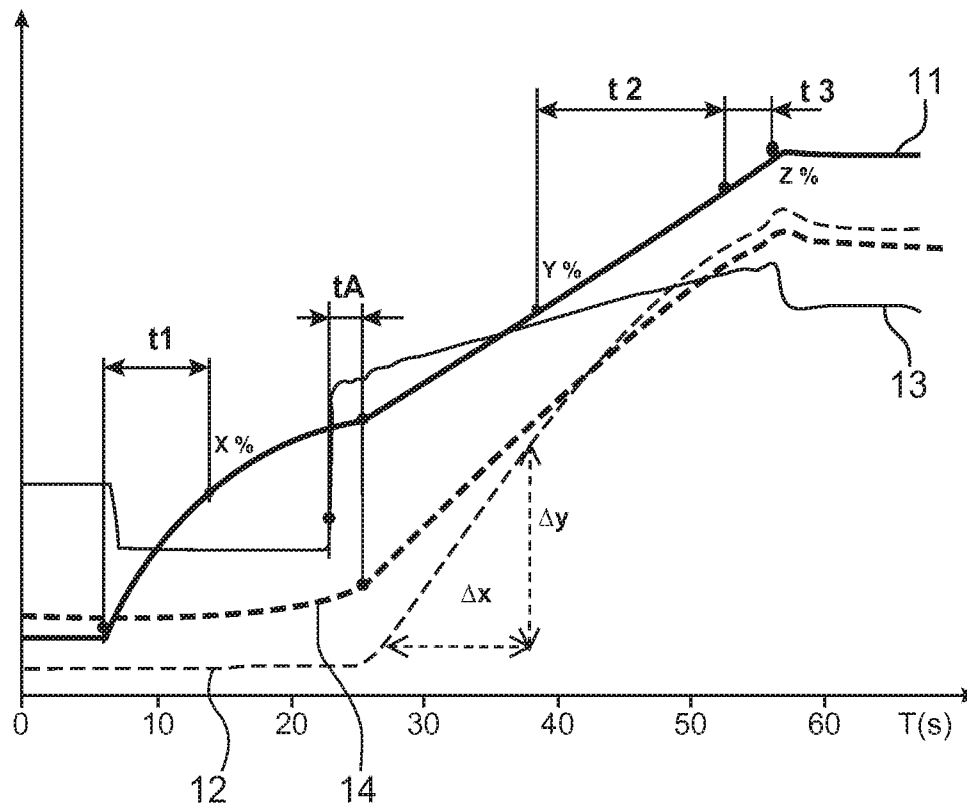


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/051645

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. F02C7/26 G05B23/02 G06F11/25
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 748 500 A (QUENTIN GEORGE HEINZ [US] ET AL) 5 May 1998 (1998-05-05) column 2, line 47 - column 3, line 42 column 7, line 22 - column 15, line 56 figures 3-8	1-3
A	US 2007/234734 A1 (ULUYOL ONDER [US] ET AL) 11 October 2007 (2007-10-11) paragraphs [0009], [0010], [0019], [0040], [0041], [0049] figures 1-4	1-3
A	US 2004/176879 A1 (MENON SUNIL K [US] ET AL) 9 September 2004 (2004-09-09) paragraphs [0018], [0046] - [0053] figures 4,5,10,11	1-3
	----- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"G" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 May 2010

Date of mailing of the international search report

07/06/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Gebker, Ulrich

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/051645

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 10 2007 010978 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 11 September 2008 (2008-09-11) abstract paragraphs [0008] - [0021] figure 1 -----	1
A	DETROJA K P ET AL: "A possibilistic clustering approach to novel fault detection and isolation" JOURNAL OF PROCESS CONTROL, OXFORD, GB, vol. 16, no. 10, 1 December 2006 (2006-12-01), pages 1055-1073, XP024963587 ISSN: 0959-1524 [retrieved on 2006-12-01] the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/051645

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5748500	A	05-05-1998	NONE	
US 2007234734	A1	11-10-2007	NONE	
US 2004176879	A1	09-09-2004	NONE	
DE 102007010978	A1	11-09-2008	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/051645

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. F02C7/26 G05B23/02 G06F11/25
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
F02C

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 748 500 A (QUENTIN GEORGE HEINZ [US] ET AL) 5 mai 1998 (1998-05-05) colonne 2, ligne 47 - colonne 3, ligne 42 colonne 7, ligne 22 - colonne 15, ligne 56 figures 3-8	1-3
A	US 2007/234734 A1 (ULUYOL ONDER [US] ET AL) 11 octobre 2007 (2007-10-11) alinéas [0009], [0010], [0019], [0040], [0041], [0049] figures 1-4	1-3
A	US 2004/176879 A1 (MENON SUNIL K [US] ET AL) 9 septembre 2004 (2004-09-09) alinéas [0018], [0046] - [0053] figures 4,5,10,11	1-3
	----- -/-- -----	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

25 mai 2010

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

07/06/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5318 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Gebker, Ulrich

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/051645

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	DE 10 2007 010978 A1 (VOLKSWAGEN AG [DE]) 11 septembre 2008 (2008-09-11) abrégé alinéas [0008] - [0021] figure 1	1
A	----- DETROJA K P ET AL: "A possibilistic clustering approach to novel fault detection and isolation" JOURNAL OF PROCESS CONTROL, OXFORD, GB, vol. 16, no. 10, 1 décembre 2006 (2006-12-01), pages 1055-1073, XP024963587 ISSN: 0959-1524 [extrait le 2006-12-01] le document en entier -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2010/051645

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5748500	A	05-05-1998	AUCUN	
US 2007234734	A1	11-10-2007	AUCUN	
US 2004176879	A1	09-09-2004	AUCUN	
DE 102007010978	A1	11-09-2008	AUCUN	