

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

3 012 245

21 N° d'enregistrement national : 13 02433

51 Int Cl⁸ : G 08 G 5/00 (2013.01), G 01 C 23/00

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 21.10.13.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 24.04.15 Bulletin 15/17.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : THALES Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : SACLE JEROME, GOUTELARD
HERVE et DELPY PATRICK.

73 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

74 Mandataire(s) : CABINET LAVOIX Société par actions
simplifiée.

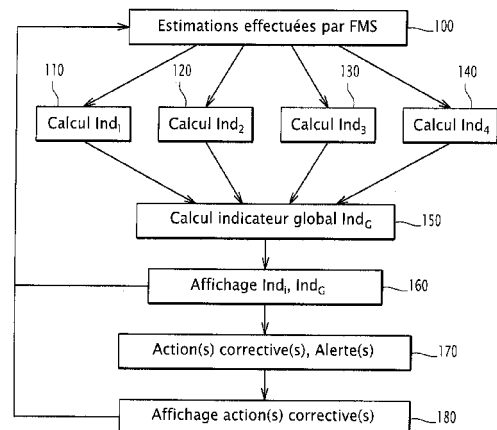
54 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION D'UNE PLURALITE D'INDICATEURS DE PERFORMANCE
RELATIFS AU VOL D'UN AERONEF, ET PRODUIT PROGRAMME D'ORDINATEUR ASSOCIE.

57 Ce procédé de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance (Ind_1) relatifs au vol d'un aéronef à destination d'un lieu d'arrivée est mis en oeuvre par un dispositif électronique, l'aéronef comprenant une mémoire apte à stocker un plan de vol de l'aéronef et une valeur prédéterminée d'une quantité prévue de carburant consommé pendant le vol, le plan de vol comportant un instant prévu d'arrivée au lieu d'arrivée.

Le procédé comprend le calcul (110) d'un premier indicateur de performance (Ind_1) en fonction d'un instant estimé d'arrivée de l'aéronef au lieu d'arrivée, d'un temps estimé de vol de l'aéronef depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et d'une quantité estimée de carburant consommé par l'aéronef jusqu'au lieu d'arrivée.

Le procédé comprend en outre le calcul (120, 130) d'au moins un autre indicateur de performance parmi des deuxième (Ind_2) et troisième (Ind_3) indicateurs de performance, le deuxième indicateur de performance (Ind_2) étant calculé en fonction d'un écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu, et le troisième indicateur de performance (Ind_3) étant calculé en fonction d'un écart de consommation entre la quantité de carburant consommé estimée et la quantité de carburant consommé prévue et

d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en: un niveau du bruit généré par l'aéronef et une durée d'utilisation d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par des turbines de l'aéronef.



FR 3 012 245 - A1



Procédé et dispositif de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance relatifs au vol d'un aéronef, et produit programme d'ordinateur associé

5 La présente invention concerne un procédé de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance relatifs au vol d'un aéronef à destination d'un lieu d'arrivée. Le procédé est mis en œuvre par un dispositif électronique comprenant une mémoire apte à stocker un plan de vol de l'aéronef et une valeur prédéterminée d'une quantité prévue de carburant consommé pendant le vol, le plan de vol comportant un instant prévu d'arrivée au lieu d'arrivée.

10 Le procédé comprend le calcul d'un premier indicateur de performance en fonction d'un instant estimé d'arrivée de l'aéronef au lieu d'arrivée, d'un temps estimé de vol de l'aéronef depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et d'une quantité estimée de carburant consommé par l'aéronef jusqu'au lieu d'arrivée.

15 L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont mises en œuvre par un ordinateur, mettent en œuvre un tel procédé de détermination.

L'invention concerne aussi un dispositif électronique de détermination de la pluralité d'indicateurs de performance relatifs au vol de l'aéronef.

20 On entend par aéronef tout engin susceptible de voler au sein de l'atmosphère terrestre, tel qu'un avion ou encore un aéronef piloté à distance, également appelé drone.

Dans le domaine de la gestion du vol de l'aéronef, un enjeu permanent consiste à fournir au pilote de l'avion, ou bien à l'opérateur pilotant le drone à distance, des indicateurs permettant d'optimiser la gestion du vol en fonction d'un certain nombre de grandeurs mesurées et de contraintes prédéterminées.

25 On connaît du document US 7,606,658 B2 un procédé du type précité. Ce procédé consiste à calculer un indicateur de coût en fonction d'une évolution de la trajectoire de l'avion à partir d'un point déterminé du plan de vol. Cet indicateur calculé est ensuite affiché sur un écran afin d'être pris en compte par l'équipage de l'avion. L'indicateur de coût est calculé en fonction d'une estimation d'une quantité de carburant consommé par l'avion jusqu'à sa destination finale et également en fonction de paramètres économiques, tels que le coût de l'équipage, le coût d'exploitation par unité de temps.

Toutefois, l'indicateur déterminé par un tel procédé n'est pas optimal, et prend essentiellement en compte des contraintes économiques.

35 Le but de l'invention est donc de proposer un procédé et un dispositif de détermination d'une pluralité d'indicateurs permettant d'améliorer la pertinence des indicateurs calculés afin d'optimiser la gestion du vol de l'aéronef.

À cet effet, l'invention a pour objet un procédé du type précité, dans lequel le procédé comprend en outre le calcul d'au moins un autre indicateur de performance parmi des deuxième et troisième indicateurs de performance,

le deuxième indicateur de performance étant calculé en fonction d'un écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu, et

le troisième indicateur de performance étant calculé en fonction d'un écart de consommation entre la quantité de carburant consommé estimée et la quantité de carburant consommé prévue et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : un niveau du bruit généré par l'aéronef et une durée d'utilisation d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par des turbines de l'aéronef.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de détermination comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- ledit procédé comprend le calcul de chacun des indicateurs de performance parmi les deuxième et troisième indicateurs de performance ;

- le dispositif électronique comprend en outre un écran d'affichage, et le procédé comprend en outre l'affichage à l'écran d'au moins une information relative à chacun des indicateurs de performance calculés ;

- l'aéronef est un avion comportant une cabine, et le procédé comprend en outre le calcul d'un quatrième indicateur de performance en fonction de l'écart temporel et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : une durée cumulée de traversée de zones de turbulences et une valeur mesurée de la pression à l'intérieur de la cabine ;

- ledit procédé comprend en outre le calcul d'un indicateur global à partir des différents indicateurs de performance calculés ;

- lors de l'étape de calcul de l'indicateur global, chaque indicateur de performance calculé est en outre multiplié par un coefficient de pondération respectif, et l'indicateur global vérifie alors les équations suivantes :

$$Ind_G = \sum_{i=1}^N \alpha_i \times Ind_i$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$$

où i est un indice de l'indicateur de performance calculé,
 N représente le nombre d'indicateurs de performance calculés,
 Ind_G représente l'indicateur global,
 Ind_i représente l'indicateur de performance calculé d'indice i , et

α_i représente le coefficient de pondération de l'indicateur de performance calculé d'indice i.

- ledit procédé comprend en outre la génération d'une alerte lorsqu'au moins un indicateur de performance parmi les différents indicateurs de performance calculés est en dehors d'une plage de valeurs prédéterminée ; et

- le dispositif électronique comprend en outre un écran d'affichage, et le procédé comprend la détermination d'au moins une action corrective d'amélioration d'au moins un indicateur de performance calculé, et l'affichage à l'écran de la ou chaque action corrective déterminée.

L'invention a également pour objet un produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont mises en œuvre par un ordinateur, mettent en œuvre un procédé tel que défini ci-dessus.

L'invention a également pour objet un dispositif électronique de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance relatifs au vol d'un aéronef à destination d'un lieu d'arrivée,

l'aéronef comprenant une mémoire apte à stocker un plan de vol de l'aéronef et une valeur prédéterminée d'une quantité prévue de carburant consommé pendant le vol, le plan de vol comportant un instant prévu d'arrivée au lieu d'arrivée,

l'aéronef comprenant des premiers moyens d'estimation d'un instant d'arrivée de l'aéronef au lieu d'arrivée, des deuxièmes moyens d'estimation d'un temps de vol de l'aéronef depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et des troisièmes moyens d'estimation d'une quantité de carburant consommé par l'aéronef jusqu'au lieu d'arrivée,

le dispositif comprenant :

- des premiers moyens de calcul d'un premier indicateur de performance en fonction de l'instant d'arrivée estimé, du temps de vol estimé, et de la quantité de carburant consommé estimée,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de calcul d'au moins un autre indicateur de performance parmi des deuxième et troisième indicateurs de performance,

le deuxième indicateur de performance étant calculé en fonction d'un écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu, et

le troisième indicateur de performance étant calculé en fonction de l'écart de consommation et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : un niveau du bruit généré par l'aéronef et une durée d'utilisation d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par des turbines de l'aéronef.

Ces caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

5 - la figure 1 est une représentation schématique d'un aéronef comprenant un système de gestion du vol et un dispositif de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance selon l'invention,

- la figure 2 est une représentation schématique du dispositif de détermination et du système de gestion du vol de la figure 1,

10 - la figure 3 est un organigramme d'un procédé de détermination de la pluralité d'indicateurs de performance selon l'invention,

- les figures 4 à 6 représentent des courbes de fonction permettant de calculer des indicateurs élémentaires utilisés pour déterminer les indicateurs de performance,

- la figure 7 est une représentation schématique de l'affichage sur un écran des indicateurs de performance calculés et d'un indicateur global, et

15 - la figure 8 est une représentation schématique de l'affichage sur l'écran d'informations détaillées relatives à un indicateur de performance donné.

Sur la figure 1, un aéronef 10 est en phase de vol au sein de l'atmosphère terrestre et à destination d'un lieu d'arrivée, non représenté. L'aéronef 10 comprend un système 12 de gestion du vol de l'aéronef, également appelé FMS (de l'anglais *Flight Management System*), un dispositif de pilotage automatique 14, un dispositif électronique 16 de détermination d'une pluralité N d'indicateurs de performance Ind_i relatifs au vol de l'aéronef 10.

25 Dans l'exemple de réalisation de la figure 1, l'aéronef 10 est un avion et comporte une cabine, non représentée, à l'intérieur de laquelle la pression est généralement différente de la pression à l'extérieur de l'aéronef 10. Un équipage 17, visible sur la figure 2, et des passagers, non représentés, sont installés à l'intérieur de la cabine.

Dans la suite de la description, i est un indice de l'indicateur de performance calculé Ind_i correspondant, et N représente le nombre d'indicateurs de performance calculés Ind_i .

30 Le système de gestion du vol 12 est connecté est relié à une pluralité d'organes de mesure, non représentés et connus en soi, tels qu'une référence inertielle comportant des accéléromètres et des gyroscopes, un radioaltimètre, un système de géolocalisation. Le système de gestion du vol est propre à déterminer la trajectoire de l'aéronef 10 et à estimer différentes grandeurs, telles que l'altitude, la vitesse, à partir des mesures effectuées par les organes de mesure.

35

Le système de gestion du vol 12 comporte une première unité de traitement 18, formée par exemple d'un premier processeur 20 et d'une première mémoire 22 associée au premier processeur 20.

5 Le dispositif de pilotage automatique 14 est connu en soi, et n'est pas décrit plus en détail.

Le dispositif de détermination 16 comporte une deuxième unité de traitement 24, formée par exemple d'un deuxième processeur 26 et d'une deuxième mémoire 28 associée au deuxième processeur 26. En complément, le dispositif de détermination 16 comporte en outre un écran d'affichage 30, notamment destiné à afficher des informations
10 relatives aux indicateurs de performance Ind_i calculés.

La première mémoire 22 est apte à stocker un plan de vol de l'aéronef 10 et une valeur prédéterminée d'une quantité prévue de carburant consommé pendant le vol, le plan de vol comportant un instant prévu d'arrivée au lieu d'arrivée.

15 La première mémoire 22 est apte à stocker un premier logiciel 32 d'estimation d'un instant d'arrivée de l'aéronef au lieu d'arrivée, un deuxième logiciel 34 d'estimation d'un temps de vol de l'aéronef depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et un troisième logiciel 36 d'estimation d'une quantité de carburant consommé par l'aéronef jusqu'au lieu d'arrivée.

20 En variante, les premiers moyens d'estimation 32, les deuxièmes moyens d'estimation 34 et les troisièmes moyens d'estimation 36 sont réalisés sous forme de composants logiques programmables, ou encore sous forme de circuits intégrés dédiés.

La deuxième mémoire 28 est apte à stocker un premier logiciel 38 de calcul d'un premier indicateur Ind_1 de performance de l'aéronef 10 en fonction de l'instant d'arrivée estimé, du temps de vol estimé, et de la quantité de carburant consommé estimée.

25 Selon invention, la deuxième mémoire 28 est en outre apte à stocker au moins un autre logiciel parmi un deuxième logiciel 40 de calcul d'un deuxième indicateur Ind_2 de performance de l'aéronef et un troisième logiciel 42 de calcul d'un troisième indicateur Ind_3 de performance de l'aéronef.

30 Le deuxième indicateur de performance Ind_2 est calculé en fonction d'un écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu.

Le troisième indicateur de performance Ind_3 est calculé en fonction de l'écart de consommation et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : un niveau du bruit généré par l'aéronef et une durée d'utilisation d'un moteur électrique auxiliaire, non représenté, alimenté par des turbines, non représentées, de
35 l'aéronef.

En complément, la deuxième mémoire 28 est apte à stocker un quatrième logiciel 44 de calcul d'un quatrième indicateur Ind_4 de performance de l'aéronef.

Le quatrième indicateur de performance Ind_4 est calculé en fonction de l'écart temporel et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : une durée cumulée de traversée de zones de turbulences et une valeur mesurée de la pression à l'intérieur de la cabine.

La deuxième mémoire 28 est apte à stocker un cinquième logiciel 46 de calcul d'un indicateur global Ind_G à partir des différents indicateurs de performance Ind_i calculés.

Pour le calcul de l'indicateur global Ind_G , chaque indicateur de performance Ind_i est de préférence multiplié par un coefficient de pondération α_i respectif. La somme des coefficients de pondération α_i est égale à 1. L'indicateur global Ind_G vérifie alors les équations suivantes :

$$Ind_G = \sum_{i=1}^N \alpha_i \times Ind_i \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1 \quad (2)$$

où Ind_i représente l'indicateur de performance calculé d'indice i , et α_i représente le coefficient de pondération de l'indicateur de performance calculé d'indice i .

La deuxième mémoire 28 est apte à stocker un logiciel 48 d'affichage à l'écran 30 d'au moins une information relative aux indicateurs de performance calculés Ind_i , Ind_G .

La deuxième mémoire 28 est apte à stocker un logiciel 50 de détermination d'au moins une action corrective d'amélioration d'au moins un indicateur de performance calculé Ind_i , Ind_G , la ou chaque action corrective déterminée étant propre à être affichée à l'écran 30 par le logiciel d'affichage 48.

En complément, la deuxième mémoire 28 est apte à stocker un logiciel 52 de génération d'une alerte lorsqu'au moins un indicateur de performance Ind_i , Ind_G parmi les différents indicateurs de performance calculés est en dehors d'une plage de valeurs prédéterminée.

En variante, les premiers moyens de calcul 38, les deuxièmes moyens de calcul 48, les troisièmes moyens de calcul 42, les quatrièmes moyens de calcul 44, les cinquièmes moyens de calcul 46, les moyens d'affichage 48, les moyens de détermination 50 et les moyens de génération 52 sont réalisés sous forme de composants logiques programmables, ou encore sous forme de circuits intégrés dédiés.

Le fonctionnement du dispositif de détermination 16 va désormais être expliqué à l'aide de la figure 3 représentant un organigramme du procédé de détermination selon l'invention.

Lors d'une étape initiale 100, le système de gestion du vol 12 effectue des estimations, de manière connue en soi, de grandeur relative au vol de l'aéronef 10, telles qu'un instant d'arrivée de l'aéronef 10 au lieu d'arrivée, également noté ETA (de l'anglais *Estimated Time of Arrival*), un temps de vol de l'aéronef 10 depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et une quantité de carburant consommé par l'aéronef 10 jusqu'à son lieu d'arrivée.

Lorsque l'aéronef 10 est un avion, le système de gestion du vol 12 estime également un instant d'arrivée de l'avion 10 au parking, également noté GETA (de l'anglais *Gate Estimated Time of Arrival*). L'instant d'arrivée GETA est, par exemple, égale à la somme de l'instant d'arrivée ETA, correspondant à l'instant auquel l'avion 10 a atterri, et de la durée du roulage entre le lieu du posé et le parking.

Cette étape d'estimation des grandeurs relatives au vol de l'aéronef est effectuée périodiquement par le système de gestion du vol 12, notamment à l'aide des premier, deuxième et troisième logiciels d'estimation 32, 34, 36.

Le dispositif de détermination 16 calcule ensuite, respectivement lors des étapes 110, 120, 130, 140, respectivement à l'aide de son premier logiciel de calcul 38, de son deuxième logiciel de calcul 40, de son troisième logiciel de calcul 42 et de son quatrième logiciel de calcul 44, le premier indicateur de performance Ind_1 , le deuxième indicateur de performance Ind_2 , le troisième indicateur de performance Ind_3 et respectivement le quatrième indicateur de performance Ind_4 .

Les étapes 110, 120, 130, 140 sont effectuées en parallèle par le dispositif de détermination 16 à partir des estimations des différentes grandeurs effectuées lors de l'étape 100, sans que les instants de début de chacune de ces étapes 110, 120, 130, 140 ne soient pour autant nécessairement synchronisés.

Chaque indicateur de performance $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ est, par exemple, calculé en fonction d'indicateurs élémentaires $Ind_{i_{el_j}}$, où j est un indice de l'indicateur élémentaire et i est l'indice de l'indicateur de performance correspondant.

Chaque indicateur élémentaire $Ind_{i_{el_j}}$ est de préférence calculé en fonction d'une seule grandeur parmi les différentes grandeurs prises en compte pour le calcul de l'indicateur de performance $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ correspondant. Chaque indicateur de performance $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ est de préférence égal à une somme pondérée de ces indicateurs élémentaires $Ind_{i_{el_j}}$.

Chaque indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$, est de préférence exprimé sous forme d'un pourcentage. L'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ correspondant est, par exemple, égal à 100% lorsque la valeur estimée de la grandeur prise en compte est égale à la valeur prévue de cette grandeur, l'indicateur étant supérieur à 100% lorsque la valeur estimée est meilleure que la valeur prévue et inférieure à 100% lorsque la valeur estimée est moins bonne que la valeur prévue. Chaque indicateur de performance $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ est de préférence également exprimé sous forme d'un pourcentage.

La valeur de l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ est de préférence une fonction affine par morceaux de la valeur estimée de la grandeur prise en compte, comme représenté sur la figure 4. Sur la figure 4, la valeur de l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ en fonction de la grandeur X prise en compte est représentée par la courbe 142 qui est en forme d'une succession de segments. Autrement dit, pour un intervalle donné de valeurs de la grandeur estimée X par rapport à la valeur prévue X_0 , la valeur de l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ est une fonction affine de la grandeur estimée X .

Dans l'exemple de réalisation de la figure 4, l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ est égal à 100% lorsque la valeur de la grandeur estimée X est dans l'intervalle $[X_0 - \delta_2 ; X_0 + \delta_1]$ autour de la valeur prévue X_0 , la valeur de l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ décroît linéairement de 100% jusqu'à 30% lorsque la valeur de la grandeur estimée X est supérieure à $X_0 + \delta_1$, la valeur de l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ augmente linéairement de 100% jusqu'à 120% lorsque la valeur de la grandeur estimée X varie de $X_0 - \delta_2$ jusqu'à $X_0 - \delta_3$, et la valeur de l'indicateur élémentaire $Ind_{i_el_j}$ est égale à 120 % lorsque la valeur de la grandeur estimée X est inférieure à $X_0 - \delta_3$, où δ_1, δ_2 et δ_3 sont des écarts de valeurs exprimés dans la même unité que la dite grandeur avec $\delta_2 < \delta_3$.

Lors de l'étape 110, le dispositif de détermination 16 calcule, à l'aide de son premier logiciel de calcul 38, le premier indicateur de performance Ind_1 en fonction de l'instant d'arrivée estimé ETA, GETA, du temps de vol estimé et de la quantité de carburant consommé estimé.

Le premier indicateur de performance Ind_1 est également appelé indicateur de coût, la quantité de carburant consommé estimée permettant de calculer un coût de carburant et un coût de taxe carbone, le temps de vol estimé permettant de calculer un coût de maintenance et un coût de l'équipage 17, et l'instant d'arrivée estimé permettant de calculer le montant d'une taxe d'atterrissage, et éventuellement le montant d'une amende de bruit et d'une prime pour l'équipage 17.

Lors de l'étape 120, le dispositif de détermination 16 calcule, à l'aide de son deuxième logiciel de calcul 40, le deuxième indicateur de performance Ind_2 en fonction de l'écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu.

La valeur du deuxième indicateur de performance Ind_2 est de préférence une fonction affine par morceaux de l'écart temporel, comme représenté sur la figure 5 où l'écart temporel est noté Δt et la courbe 144 qui représente cette valeur du deuxième indicateur de performance Ind_2 est en forme d'une succession de segments. Dans l'exemple de réalisation de la figure 5, le deuxième indicateur de performance Ind_2 présente une valeur faible, comprise entre 0% et 20%, dès que l'écart temporel Δt par rapport à l'instant d'arrivée prévu ETA, GETA est, en valeur absolue, supérieur à 15 minutes.

Le deuxième indicateur de performance Ind_2 est également appelé indicateur de temps, étant donné qu'il traduit directement l'impact d'un delta de temps par rapport à l'instant d'arrivée prévu.

Lors de l'étape 130, le dispositif de détermination 16 calcule, à l'aide de son troisième logiciel de calcul 42, le troisième indicateur de performance Ind_3 en fonction de l'écart de consommation et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : un niveau du bruit généré par l'aéronef et une durée d'utilisation du moteur électrique auxiliaire alimenté par les turbines de l'aéronef.

Le troisième indicateur de performance Ind_3 est de préférence calculé en fonction de trois indicateurs élémentaires $Ind_{3_el_1}$, $Ind_{3_el_2}$ et $Ind_{3_el_3}$ distincts.

Dans l'exemple de réalisation décrit, le premier indicateur élémentaire $Ind_{3_el_1}$ associé au troisième indicateur de performance est calculé uniquement en fonction de l'écart de consommation, le deuxième indicateur élémentaire $Ind_{3_el_2}$ associé au troisième indicateur de performance est calculé uniquement en fonction du niveau du bruit généré par l'aéronef 10, et le troisième indicateur élémentaire $Ind_{3_el_3}$ associé au troisième indicateur de performance est calculé uniquement en fonction de la durée d'utilisation du moteur électrique auxiliaire de l'aéronef 10.

Pour le calcul du troisième indicateur de performance Ind_3 , chaque indicateur élémentaire $Ind_{3_el_j}$ est de préférence multiplié par un coefficient de pondération β_j respectif. La somme des coefficients de pondération β_j est égale à 1. Le troisième indicateur de performance Ind_3 vérifie alors les équations suivantes :

$$Ind_3 = \sum_{j=1}^J \beta_j \times Ind_{3_el_j} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J \beta_j = 1 \quad (4)$$

où $Ind_{3_el_j}$ représente l'indicateur élémentaire d'indice j pour le troisième indicateur de performance Ind_3 , et

β_j représente le coefficient de pondération de l'indicateur élémentaire d'indice j .

La valeur premier indicateur élémentaire $Ind_3_{el_1}$ associé au troisième indicateur de performance est de préférence une fonction affine par morceaux de la quantité de carburant consommé estimée, comme représenté sur la figure 6 où la quantité de carburant consommé estimée est notée $X1$ et la courbe 146 qui représente cette valeur du premier indicateur élémentaire $Ind_3_{el_1}$ est en forme d'une succession de segments.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 6, le premier indicateur élémentaire $Ind_3_{el_1}$ présente une valeur égale à 100% pour un écart de consommation inférieur à 1% par rapport à la quantité de carburant consommé prévue, notée $X1_0$. Le premier indicateur élémentaire $Ind_3_{el_1}$ présente une valeur qui décroît fortement dès que la quantité de carburant consommé estimée dépasse de plus d'1% la quantité de carburant consommé prévue, la valeur du premier indicateur élémentaire étant nulle dès que la quantité de carburant consommé estimée est supérieure à 108 % de la quantité de carburant consommé prévue. Inversement, le premier indicateur élémentaire $Ind_3_{el_1}$ présente une valeur qui croît fortement dès que la quantité de carburant consommé estimée est inférieure à 99% de la quantité de carburant consommé prévue, la valeur de ce premier indicateur élémentaire $Ind_3_{el_1}$ étant supérieure à 120% lorsque la quantité de carburant consommé estimée est inférieure à 97% de la quantité de carburant consommé prévue. Ces valeurs en pourcentage sont données à titre d'exemple, et d'autres valeurs pourront bien entendu être considérées.

Le troisième indicateur de performance Ind_3 est également appelé indicateur environnemental, étant donné qu'il traduit l'impact sur l'environnement de l'écart de consommation et également d'une grandeur supplémentaire parmi le niveau de bruit généré par l'aéronef 10 et la durée d'utilisation du moteur et électrique auxiliaire.

Lors de l'étape 140, le dispositif de détermination 16 calcule, dans le cas où l'aéronef 10 est un avion et à l'aide de son quatrième logiciel de calcul 44, le quatrième indicateur de performance Ind_4 en fonction de l'écart temporel et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : une durée cumulée de traversée de zones de turbulences et une valeur mesurée de la pression à l'intérieur de la cabine.

Le quatrième indicateur de performance Ind_4 est également appelé indicateur de satisfaction du client, étant donné qu'il reflète l'impact sur le passager de l'avion 10 de l'écart temporel par rapport à l'instant d'arrivée prévue est également une grandeur supplémentaire parmi la durée cumulée de traversées de zone de turbulences et la valeur mesurée de la pression à l'intérieur de la cabine, qui caractérisent chacune en partie un ressenti de la qualité du vol par le passager.

A l'issue des étapes 110, 120, 130, 140, le dispositif de détermination 16 calcule, à l'aide de son cinquième logiciel de calcul 46 et suivant les équations (1) et (2)

précédentes, l'indicateur global Ind_G à partir des différents indicateurs de performance Ind_i calculés parmi les quatre indicateurs de performance $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ décrits précédemment.

5 Le dispositif de détermination 16 affiche ensuite, lors de l'étape 160 et à l'aide de son logiciel d'affichage 48, à l'écran 30 des informations relatives aux indicateurs de performance Ind_i calculés, comme représenté sur la figure 7. Sur la figure 7, les différents indicateurs $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ sont représentés par un voyant en forme de disque, le voyant étant grisé ou hachuré lorsque l'indicateur Ind_i correspondant n'a pas été calculé, comme c'est le cas du quatrième indicateur de performance Ind_4 dans l'exemple représenté. Le voyant représentant l'indicateur de performance calculé Ind_i est de couleur verte lorsque la valeur de l'indicateur correspondant Ind_i est supérieure ou égale à 100%, de couleur orange lorsque la valeur de cet indicateur Ind_i est comprise entre 80% et 100% et de couleur rouge lorsque la valeur de cet indicateur Ind_i est inférieure à 80%. En complément, le voyant contient également, à l'intérieur du disque, une valeur représentant l'écart de la valeur de l'indicateur calculé Ind_i par rapport à une valeur de référence égale à 100%. En complément, les valeurs des coefficients de pondération $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ associés aux indicateurs de performance $Ind_1, Ind_2, Ind_3, Ind_4$ sont également affichées sous forme d'une valeur numérique comprise entre 0 et 1. La valeur du coefficient de pondération est bien entendu nulle lorsque l'indicateur correspondant n'a pas été calculé, tel que le quatrième indicateur de performance Ind_4 dans l'exemple représenté. Ces couleurs sont données à titre d'exemple, et d'autres couleurs pourront bien entendu être considérées.

Sur la figure 7, l'indicateur global Ind_G résultant des indicateurs de performance calculée est également affiché à l'aide d'un voyant de forme rectangulaire dont la couleur dépend de la valeur de l'indicateur global, la couleur étant par exemple verte lorsque la valeur de l'indicateur global Ind_G est supérieure ou égale à 100%, orange lorsque la valeur de cet indicateur Ind_G est comprise entre 80% et 100% et rouge lorsque la valeur de cet indicateur Ind_G est inférieure à 80%. En complément, le voyant contient, à l'intérieur du rectangle, la valeur de l'indicateur global Ind_G sous forme d'un nombre entier de pourcents.

Lors de l'étape suivante 170, le dispositif de détermination 16 détermine ensuite, à l'aide de son logiciel de détermination 50, une ou plusieurs actions correctives visant à améliorer un ou plusieurs indicateurs de performance Ind_i calculés, et visant plus généralement à améliorer l'indicateur global Ind_G .

35 Pour déterminer la ou les actions correctives, le dispositif de détermination 16 commence par calculer les dérivées d'ordre 1 et 2 de l'indicateur global Ind_G en fonction

du temps afin de déterminer si la variation de la valeur de l'indicateur global Ind_G est une variation continue ou bien si il y a une rupture dans la variation de cette valeur. En cas de variation continue de la valeur de l'indicateur global Ind_G , la grandeur influençant le plus cette variation est détectée à l'aide notamment des équations (1) à (4), le logiciel de détermination 50 détermine alors une ou plusieurs actions correctives visant à limiter l'influence de la grandeur détectée. En cas de rupture dans la variation de la valeur de l'indicateur global Ind_G , l'indicateur de performance correspondant à cette rupture est détecté à l'aide des équations (1) et (2), puis des écarts correctifs sont successivement appliqués aux grandeurs associées à l'indicateur de performance détecté de manière à déterminer la ou les actions correctives, en se limitant de préférence aux 3 meilleures. Les actions correctives proposées sont celles correspondant aux écarts correctifs améliorant de manière la plus significative la valeur de l'indicateur de performance détecté.

En complément, lors de l'étape 170, une alerte est générée par le dispositif de détermination 16 à l'aide de son logiciel de génération 52 lorsqu'au moins un indicateur de performance parmi les différents indicateurs de performance Ind_i calculés est en dehors d'une plage de valeurs prédéterminée, et par exemple lorsque l'indicateur global Ind_G est inférieur à une valeur seuil prédéterminée.

Enfin, lors de l'étape 180, la ou les actions correctives déterminées sont affichées à l'écran 30 par le dispositif de détermination 16 à l'aide de son logiciel d'affichage 48, comme représenté sur la figure 8.

La figure 8 illustre l'affichage d'informations plus détaillées relatives à un indicateur de performance sélectionné parmi les différents indicateurs de performance Ind_1 , Ind_2 , Ind_3 , Ind_4 . Ces informations sont accessibles en choisissant un onglet 162 correspondant à l'indicateur de performance souhaité, tel que par exemple le premier indicateur de performance Ind_1 dans l'exemple de la figure 8.

Les informations détaillées présentées comprennent, par exemple, une première ligne 164 d'informations relatives aux valeurs prévues des différentes grandeurs prises en compte pour le calcul de l'indicateur de performance Ind_i correspondant, une deuxième ligne 166 d'informations relatives aux valeurs actuelles de ces différentes grandeurs et une troisième ligne 168 d'informations relatives à des valeurs alternatives de ces différentes grandeurs suivant une action corrective déterminée à l'aide du logiciel de détermination 50. Dans l'exemple de la figure 8, trois grandeurs, à savoir la quantité de carburant consommé estimée $X1$, et deux autres grandeurs $X2$, $X3$, ont été prises en compte pour le calcul du premier indicateur de performance Ind_1 . Pour l'affichage des deuxièmes et troisièmes lignes 166, 168, les zones hachurées correspondent aux valeurs

déjà écoulées des grandeurs respectives $X1$, $X2$, et les zones non hachurées correspondent aux valeurs restantes estimées de ces grandeurs, les valeurs écoulées étant notées $X1_e$, $X2_e$ et les valeurs restantes estimées étant notées $X1_r$, $X2_r$.

5 On conçoit ainsi que le procédé et le dispositif de détermination 16 selon l'invention permettent d'améliorer la pertinence des indicateurs calculés Ind_i afin d'optimiser la gestion du vol de l'aéronef 10.

REVENDEICATIONS

1.- Procédé de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance (Ind_i) relatifs au vol d'un aéronef (10) à destination d'un lieu d'arrivée, le procédé étant mis en œuvre par un dispositif électronique (16), l'aéronef (10) comprenant une mémoire (22) apte à stocker un plan de vol de l'aéronef et une valeur prédéterminée d'une quantité prévue de carburant consommé pendant le vol, le plan de vol comportant un instant prévu d'arrivée au lieu d'arrivée,

le procédé comprenant les étapes suivantes :

- le calcul (110) d'un premier indicateur de performance (Ind₁) en fonction d'un instant estimé (ETA ; GETA) d'arrivée de l'aéronef au lieu d'arrivée, d'un temps estimé de vol de l'aéronef depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et d'une quantité estimée de carburant consommé par l'aéronef jusqu'au lieu d'arrivée,

caractérisé en ce qu'il comprend en outre le calcul (120, 130) d'au moins un autre indicateur de performance parmi des deuxième (Ind₂) et troisième (Ind₃) indicateurs de performance,

le deuxième indicateur de performance (Ind₂) étant calculé en fonction d'un écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu, et

le troisième indicateur de performance (Ind₃) étant calculé en fonction d'un écart de consommation entre la quantité de carburant consommé estimée et la quantité de carburant consommé prévue et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : un niveau du bruit généré par l'aéronef (10) et une durée d'utilisation d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par des turbines de l'aéronef (10).

2.- Procédé selon la revendication 1, dans lequel le procédé comprend le calcul (120, 130) de chacun des indicateurs de performance parmi les deuxième et troisième indicateurs de performance (Ind₂, Ind₃).

3.- Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le dispositif électronique (16) comprend en outre un écran d'affichage (30), et

dans lequel le procédé comprend en outre l'affichage (160, 180) à l'écran d'au moins une information relative à chacun des indicateurs de performance calculés (Ind_i).

4.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'aéronef (10) est un avion comportant une cabine, et

dans lequel le procédé comprend en outre le calcul (140) d'un quatrième indicateur de performance (Ind_4) en fonction de l'écart temporel et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : une durée cumulée de traversée de zones de turbulences et une valeur mesurée de la pression à l'intérieur de la cabine.

5

5.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend en outre le calcul (150) d'un indicateur global (Ind_G) à partir des différents indicateurs de performance calculés (Ind_i).

10

6.- Procédé selon la revendication 5, dans lequel, lors de l'étape (150) de calcul de l'indicateur global (Ind_G), chaque indicateur de performance calculé (Ind_i) est en outre multiplié par un coefficient de pondération (α_i) respectif, et l'indicateur global (Ind_G) vérifie alors les équations suivantes :

$$Ind_G = \sum_{i=1}^N \alpha_i \times Ind_i$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$$

15

où i est un indice de l'indicateur de performance calculé,

N représente le nombre d'indicateurs de performance calculés,

Ind_G représente l'indicateur global,

Ind_i représente l'indicateur de performance calculé d'indice i , et

α_i représente le coefficient de pondération de l'indicateur de performance calculé

20

d'indice i .

25

7.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend en outre la génération (170) d'une alerte lorsqu'au moins un indicateur de performance parmi les différents indicateurs de performance calculés (Ind_i) est en dehors d'une plage de valeurs prédéterminée.

30

8.- Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif électronique (16) comprend en outre un écran d'affichage (30), et

dans lequel le procédé comprend la détermination (170) d'au moins une action corrective d'amélioration d'au moins un indicateur de performance calculé, et l'affichage (180) à l'écran (30) de la ou chaque action corrective déterminée.

9.- Produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont mises en œuvre par un ordinateur, mettent en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.

- 5 10.- Dispositif électronique (16) de détermination d'une pluralité d'indicateurs de performance (Ind_i) relatifs au vol d'un aéronef (10) à destination d'un lieu d'arrivée, l'aéronef (10) comprenant une mémoire (22) apte à stocker un plan de vol de l'aéronef et une valeur prédéterminée d'une quantité prévue de carburant consommé pendant le vol, le plan de vol comportant un instant prévu d'arrivée au lieu d'arrivée,
- 10 l'aéronef (10) comprenant des premiers moyens (32) d'estimation d'un instant d'arrivée de l'aéronef au lieu d'arrivée, des deuxièmes moyens (34) d'estimation d'un temps de vol de l'aéronef depuis son décollage jusqu'à son arrivée au lieu d'arrivée, et des troisièmes moyens (36) d'estimation d'une quantité de carburant consommé par l'aéronef jusqu'au lieu d'arrivée,
- 15 le dispositif (16) comprenant :
- des premiers moyens (38) de calcul d'un premier indicateur de performance (Ind_1) en fonction de l'instant d'arrivée estimé, du temps de vol estimé, et de la quantité de carburant consommé estimée,
- caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (40, 42) de calcul d'au
- 20 moins un autre indicateur de performance parmi des deuxième (Ind_2) et troisième (Ind_3) indicateurs de performance,
- le deuxième indicateur de performance (Ind_2) étant calculé en fonction d'un écart temporel entre l'instant d'arrivée estimé et l'instant d'arrivée prévu, et
- le troisième indicateur de performance (Ind_3) étant calculé en fonction de l'écart de
- 25 consommation et d'au moins une grandeur supplémentaire parmi le groupe consistant en : un niveau du bruit généré par l'aéronef (10) et une durée d'utilisation d'un moteur électrique auxiliaire alimenté par des turbines de l'aéronef (10).

1/4

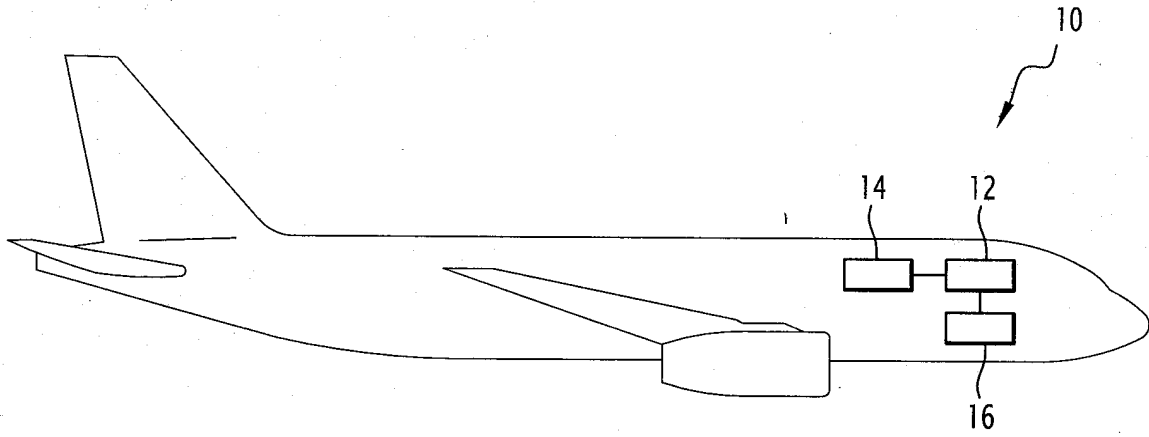


FIG. 1

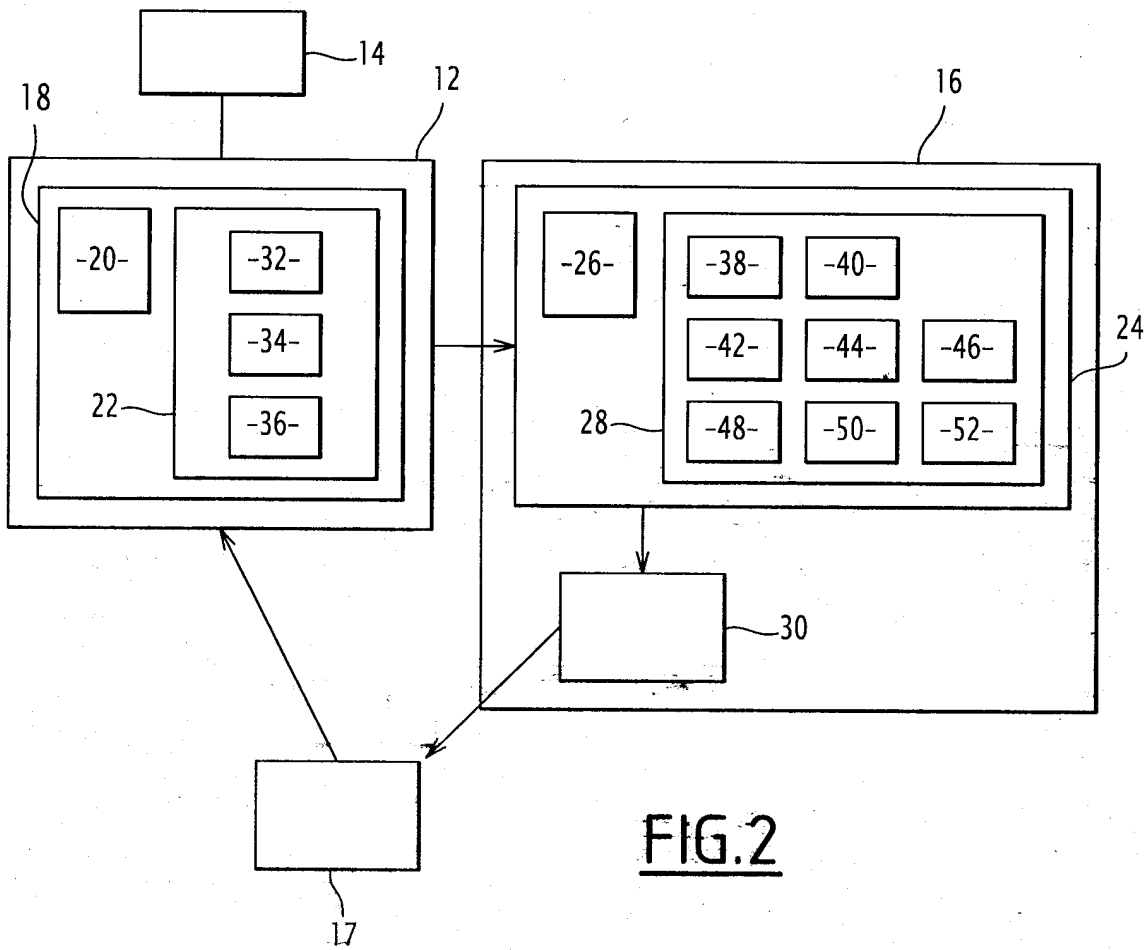
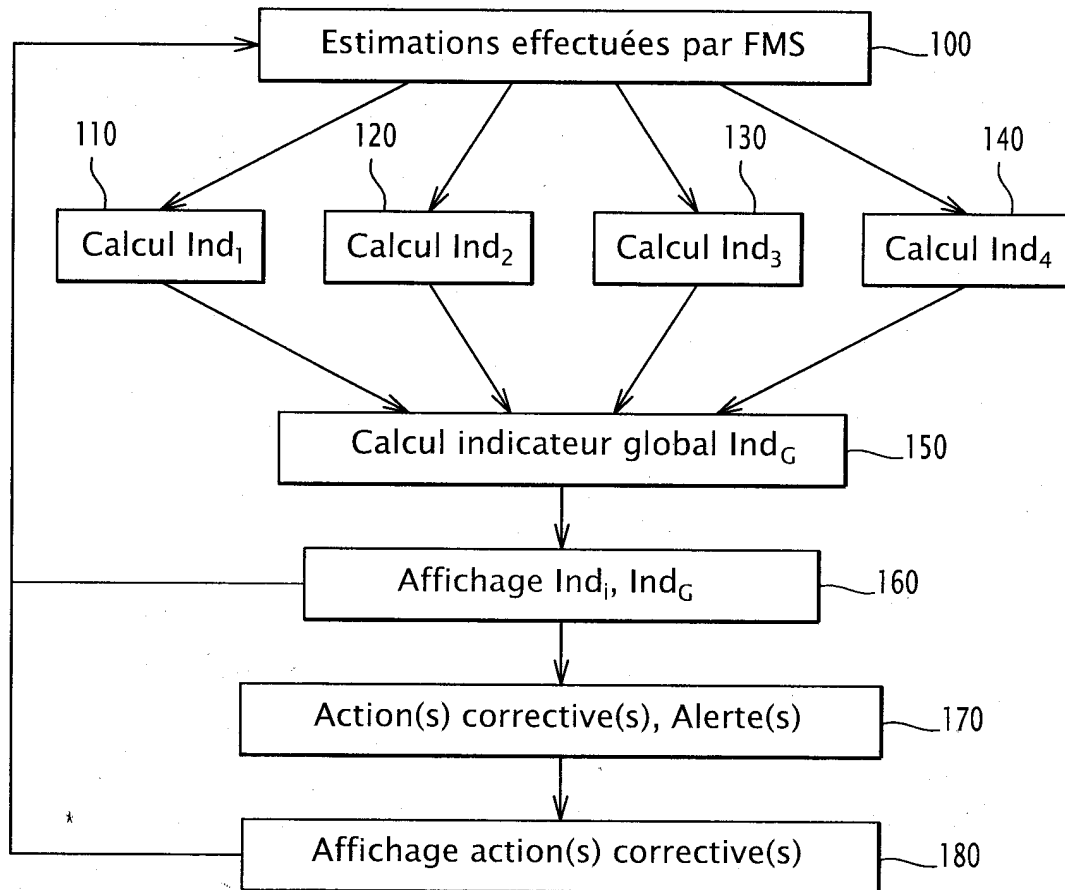
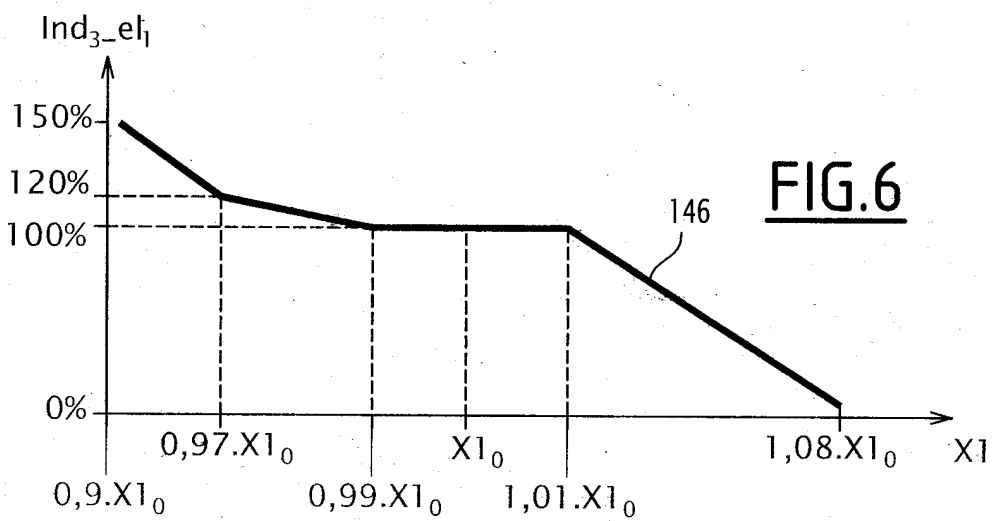
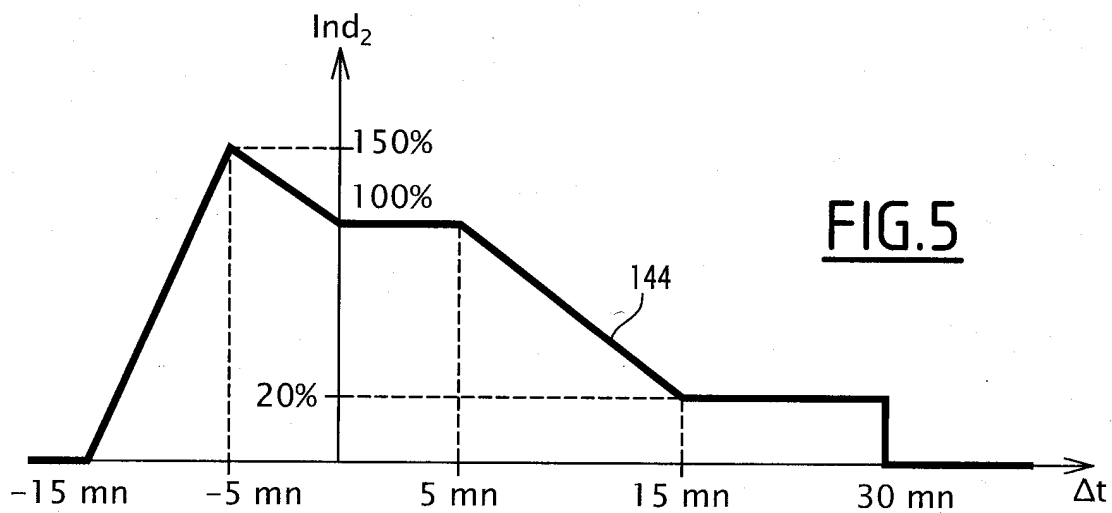
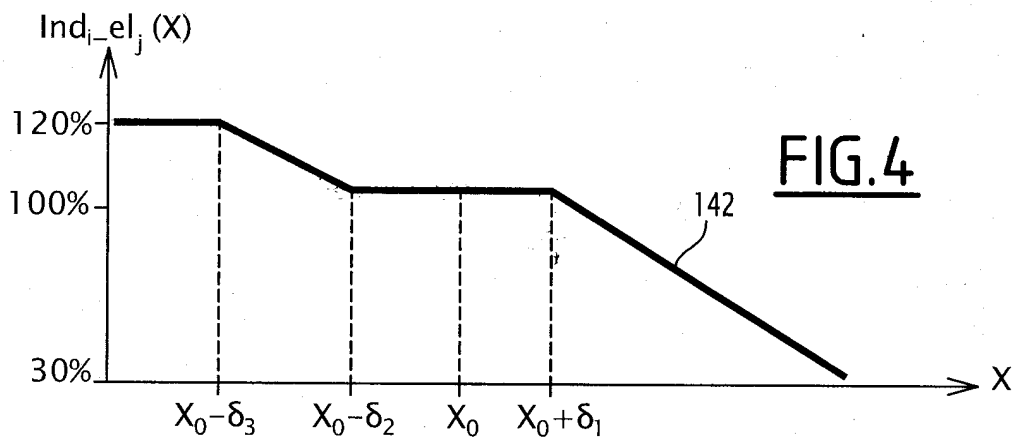


FIG. 2

2/4

FIG.3

3/4



4/4

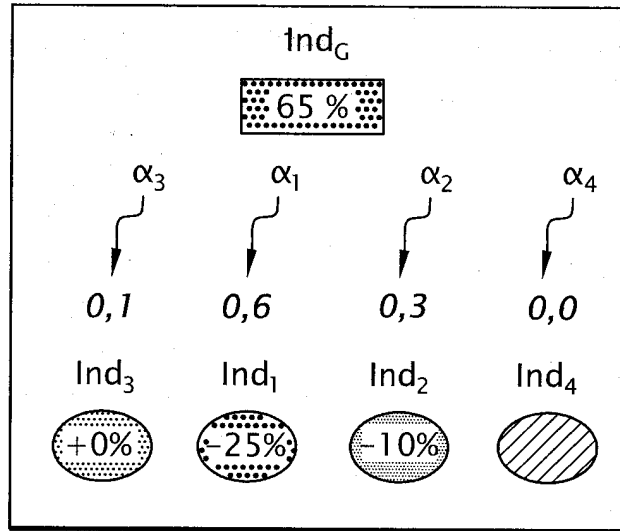


FIG.7

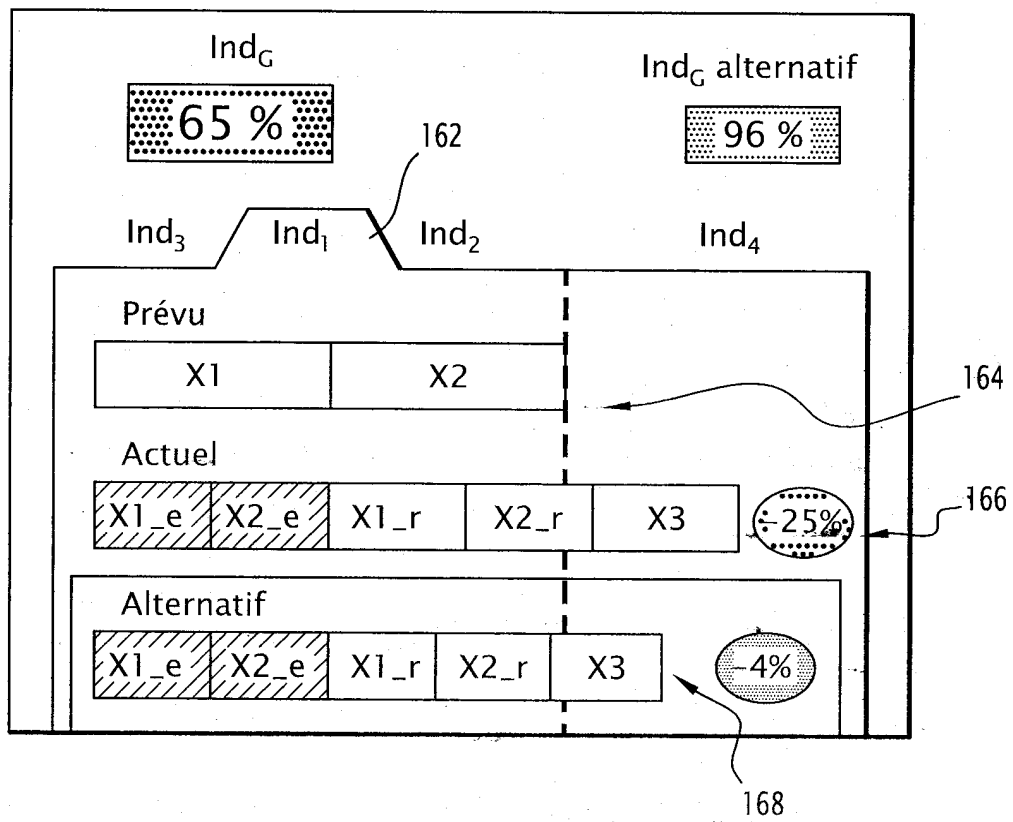


FIG.8



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 787919
FR 1302433

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 7 606 658 B2 (WISE JOHN A [US] ET AL) 20 octobre 2009 (2009-10-20) * revendications 1,2, 4, 6, 7, 9, 10 * -----	1-10	G08G5/00 G01C23/00
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G08G G01C G06Q
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		17 juin 2014	Bourdier, Renaud
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		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.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1302433 FA 787919**

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 **17-06-2014**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7606658	B2	20-10-2009	EP 2040240 A2	25-03-2009
			US 2009070123 A1	12-03-2009
