(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 953 302**

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **09 05723**

(51) Int Cl[8] : ***G 05 D 1/10*** *(2006.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 27.11.09.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 03.06.11 Bulletin 11/22.

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

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

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

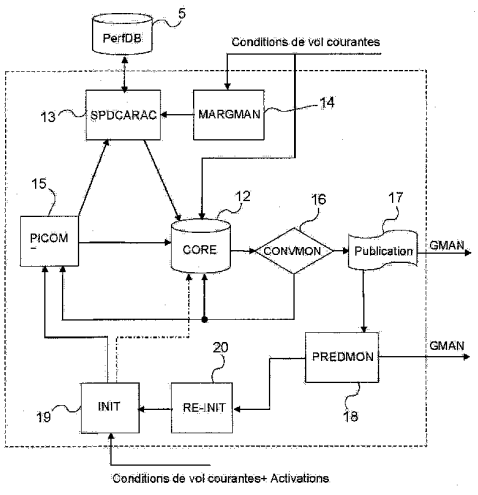
(72) **Inventeur(s) :** GUTIERREZ CASTANEDA MANUEL, CHAIX PHILIPPE et DACRE WRIGHT BENOIT.

(73) **Titulaire(s) :** THALES Société anonyme.

(74) **Mandataire(s) :** MARKS CLERK FRANCE.

(54) PROCEDE DE PLANIFICATION, DE CALCUL DE TRAJECTOIRE, DE PREDICTIONS ET DE GUIDAGE POUR LE RESPECT D'UNE CONTRAINTE DE TEMPS DE PASSAGE D'UN AERONEF.

(57) L'objectif de l'invention est d'établir une planification de trajectoire, prédictions et guidage pour obtenir la satisfaction d'une contrainte de temps (RTA). Cet objectif est atteint en procédant à un calcul d'une trajectoire jusqu'au point où se situe la contrainte de temps de passage, à partir d'un profil d'altitude et vitesses, puis par calcul du profil de vitesses et altitudes permettant, le long de la trajectoire calculée, de respecter la RTA. Ce procédé est aussi un procédé de réadaptation de la trajectoire et du profil vertical lorsqu'en cours de mission, les données extérieures à l'avion ont fait dériver les prédictions de temps et la contrainte ne se trouve plus respectée avec les hypothèses de trajectoire et vitesses initiales.



FR 2 953 302 - A1

PROCEDE DE PLANIFICATION, DE CALCUL DE TRAJECTOIRE, DE PREDICTIONS ET DE GUIDAGE POUR LE RESPECT D'UNE CONTRAINTE DE TEMPS DE PASSAGE D'UN AERONEF

La présente invention se rapporte à un procédé de planification, de calcul de trajectoire, de prédictions et de guidage pour le respect d'une contrainte de temps de passage d'un aéronef.

La présente invention s'applique aux systèmes de gestion de vol pour aéronefs avec pilote embarqué ou non. De tels systèmes, dits FMS (« Flight Management System »), assurent des fonctions d'assistance au pilotage pour déterminer la route à suivre par l'aéronef pour rallier sa destination à partir de son point de départ en prenant en compte les contraintes de nature réglementaire et opérationnelle à respecter, et en particulier des contraintes de temps de passage et d'arrivée à destination.

Les déplacements des aéronefs entre un aéroport de départ et un aéroport de destination font l'objet d'une préparation menant à l'élaboration d'un document administratif plus ou moins détaillé appelé plan de vol («flight plan" en anglo-saxon) rassemblant un ensemble de renseignements intéressant le déroulement du vol. Ce plan de vol est établi, en premier lieu, à l'intention des autorités de contrôle de la circulation aérienne (aéroports, contrôles aériens, autorités, etc.). Il mentionne, entre autres informations, l'identité et le type de l'aéronef, ainsi qu'une définition sommaire de la route prévue listant un enchaînement de points de passage ("waypoints" en anglo-saxon), reliant la piste de décollage utilisée à l'aéroport de départ à la piste d'atterrissage prévue à l'aéroport de destination, des contraintes de survol associées aux points de passage, les heures prévues pour les survols des points de passage, ainsi qu'éventuellement, les procédures réglementaires d'approche suivie au départ et à l'arrivée et les couloirs aériens empruntés.

Le pilotage d'un aéronef est de plus en plus automatisé. Il s'effectue en jouant sur les orientations de surfaces mobiles (gouvernes, volets, etc.) et sur le régime du ou des moteurs par l'intermédiaire d'actionneurs recevant des consignes de position

élaborées par des équipements dits "commandes de vol" de manière à maintenir l'aéronef dans une attitude donnée, prescrite par le pilote ou par un automatisme.

Les commandes de vol constituent, avec les actionneurs, un premier niveau d'équipements qui se distingue des autres niveaux par le fait qu'il s'agit d'équipements de vol indispensables au pilote pour agir sur les gouvernes, volets et moteurs. Ce premier niveau d'équipements de vol est souvent complété par un deuxième et troisième niveaux d'équipements de vol qui sont constitués d'un pilote automatique/directeur de vol et d'un calculateur de gestion du vol facilitant la tâche du pilote et qui se distinguent du premier niveau d'équipements de vol par le fait que le pilote pourrait, en toute rigueur s'en passer.

Le pilote automatique/directeur de vol facilite la tâche du pilote dans le suivi de consignes de cap, d'altitude, de vitesse, etc.. Il a deux fonctionnements possibles : un fonctionnement en "directeur de vol" où il indique au pilote, par l'intermédiaire d'écrans de visualisation, les ordres à donner aux commandes de vol pour le suivi d'une consigne et un fonctionnement en "pilote automatique" où il agit en plus sur les commandes de vol pour un suivi automatique de la consigne paramétrée.

Le calculateur de gestion du vol agit sur les commandes de vol par l'intermédiaire du pilote automatique/directeur de vol. Il assure différentes fonctions décrites dans la norme ARINC 702 de décembre 1996 connue sous la dénomination anglo-saxonne :"Advanced Flight Management Computer System", dont :

- une fonction de saisie de la définition sommaire figurant au plan de vol, pour la route prévue, c'est-à-dire de l'enchaînement de points de passage ("waypoints" en anglo-saxon) reliant la piste de décollage utilisée à l'aéroport de départ à la piste d'atterrissage prévue à l'aéroport de destination avec les contraintes de survol associées aux points de passage et les heures prévues pour leurs survols ainsi que les procédures de départ et d'arrivée et éventuellement les couloirs aériens ("airways en anglo-saxon) empruntés,

- une fonction d'élaboration d'une trajectoire 4D (Altitude + position + Vitesse) empruntant la route à suivre sommairement définie au plan de vol tout en respectant les performances de l'aéronef et les contraintes de vol rencontrées le long de la trajectoire 4D adoptée, et

- une fonction de guidage engendrant, par l'intermédiaire du pilote automatique/directeur de vol, des consignes et/ou ordres de pilotage concernant la gestion de la poussée des moteurs et de la configuration aérodynamique de l'aéronef pour réaliser un suivi de la trajectoire 4D élaborée.

Lors d'une phase d'approche précédant un atterrissage, un aéronef descend en général de son altitude de croisière à une altitude intermédiaire où il effectue un palier de décélération au cours duquel il consomme son inertie jusqu'à atteindre une vitesse compatible avec un atterrissage et s'aligne dans l'axe de la piste d'atterrissage de destination, sur un plan de descente lui permettant un touché des roues en entrée de piste. La trajectoire de la phase d'approche ainsi que les vitesses de parcours des différentes portions de cette trajectoire font souvent l'objet d'une réglementation dite procédure d'approche de piste définie par une suite de points de passage qui mènent à l'entrée de la piste choisie et qui sont associés à des contraintes locales de vol (altitudes, vitesse, etc.).

Le calculateur de gestion du vol, lorsqu'il a été paramétré en début de mission avec un plan de vol comportant une procédure d'approche de la piste d'atterrissage de destination, peut, une fois sa fonction de guidage activée, assurer le guidage de l'aéronef au cours de cette phase d'approche, en fournissant au pilote automatique/directeur de vol, les ordres nécessaires pour d'une part, réduire la vitesse de l'aéronef tout en faisant évoluer progressivement sa configuration aérodynamique (sortie des volets, becs hypersustentateurs, etc.) afin de conserver sa portance et maintenir sa stabilité à basse vitesse et d'autre part, passer aux points de passage imposés par la procédure réglementaire d'approche tout en respectant les contraintes locales de vol qui leur sont associées.

Comme mentionné ci-dessus, parmi les contraintes que doit prendre en compte le FMS d'un aéronef, celle relative à l'heure d'arrivée prévue à un point donné du plan de vol à terminaison fixe, dite RTA (« Required Time for Arrival »), dépend de paramètres tels que le contexte du contrôle du trafic aérien, dit ATC (créneaux temporels d'arrivée, système de gestion des arrivées et système de gestion aéroportuaire, entrée en zones de trafic dense), la charge de travail des pilotes et le confort des passagers. Dans la suite du texte, les paramètres, tels que la vitesse de vol

d'aéronef et les points de passage de l'aéronef, relatifs à cette contrainte RTA et permettant de la respecter, seront simplement appelés « vitesses RTA », « points RTA »,... tandis que la contrainte RTA sera simplement appelée RTA.

La figure 1 présente l'architecture fonctionnelle d'un FMS classique 1. C'est un calculateur qui détermine la géométrie du profil 4D (à savoir les 3 dimensions de l'espace plus une dimension temps-profil de vitesses). Un tel système fait l'objet de la norme ARINC 702 (Advanced Flight Management Computer System, Dec 1996). Il assure tout ou partie des fonctions suivantes :

- navigation (LOCNAV) 2, pour effectuer la localisation optimale de l'aéronef en fonction des moyens SL de géo-localisation (GPS, GALILEO, balises radios VHF, centrales inertielles) ;
- plan de vol (FPLN) 3, pour saisir les éléments géographiques constituant le squelette de la route à suivre (procédures de départ et d'arrivée, points de passage ou « waypoints », routes aériennes ;
- Base de donnée de navigation (NAV DB) 4, pour construire des routes géographiques et des procédures à partir de données incluses dans les bases (points, balises, « legs » d'interception ou d'altitude...) ;
- Base de données de performance (PERF DB) 5 contenant les paramètres aérodynamiques et les caractéristiques des moteurs de l'appareil ;
- trajectoire latérale (TRAJ) 6 : pour construire une trajectoire continue à partir des points du plan de vol, respectant les performances aéronef et les contraintes de confinement (RNP) ;
- prédictions (PRED) 7 : pour construire un profil vertical optimisé à partir de la trajectoire latérale ;
- guidage (GUIDANCE) 8 : pour guider dans les plans latéraux et verticaux l'aéronef sur sa trajectoire 3D, tout en optimisant la vitesse. Il est relié, le cas échéant, à un pilote automatique 9 ;
- liaison de données numérique (DATALINK) 10: pour communiquer avec les centres de contrôle et les autres aéronefs (C-A).

Le plan de vol est entré par le pilote à l'aide d'une interface homme-machine

11 (ou par une liaison de données dite « Datalink ») à partir des données contenues dans la base de données de navigation 4. Ce plan comporte une succession de segments appelés « legs » qui sont formés d'une terminaison et d'une géométrie (virage, orthodromie, loxodromie,...). Ces « legs » sont normalisés au niveau international dans un document AEEC (ARINC 424).

Le pilote entre ensuite les paramètres de l'aéronef : masse, plage de niveaux de croisière, un ou plusieurs critères d'optimisation (type de performance,...). Ces informations ainsi entrées dans le FMS permettent aux modules TRAJ et PRED de calculer respectivement la trajectoire latérale et le profil vertical (altitude/vitesse) minimisant le coût suivant des critères donnés.

Les systèmes FMS actuels, bien que comportant les fonctions énumérées ci-dessus, ne permettent pas d'établir une planification optimale de trajectoire des prédictions et de guidage pour tenir compte d'une contrainte de temps de passage et d'arrivée. En effet, dans ces systèmes FMS actuels, la planification de trajectoire fait appel à des méthodes basées sur la préexistence d'une table de « cost index » (rapport coût temps/fuel) et à une adaptation du profil de vitesses limitée dans les phases de montée et descente (voir par exemple le brevet US 5.121.325) ou sur un réajustement des vitesses sol « leg » par « leg » (voir par exemple le brevet US 2003-6507782), basés sur un calcul de trajectoire en fonction du vent et de la vitesse. Les inconvénients de tels systèmes sont : la non-optimisation de l'autorité en temps sur la mission dans le cas d'utilisation des « cost index », la dépendance totale du procédé envers la préexistence de ladite table de « cost index », la génération de nombreux segments de vitesses différentes lors de l'utilisation de l'optimisation « leg » par « leg » et la non-précision du système basé sur les « legs » lorsque ceux-ci existent en faible nombre dans le plan de vol.

La présente invention a pour objet un procédé de planification, de calcul de trajectoire, de prédictions et de guidage permettant de respecter au moins une contrainte de temps, et ce, en exécutant un minimum d'opérations. En outre, ce procédé doit permettre de réadapter la trajectoire et le profil vertical lorsqu'en cours de mission, des données extérieures à l'aéronef ont fait dériver les prédictions de

temps et que la contrainte ne se trouve plus respectée avec les hypothèses de trajectoire et de vitesses initiales. D'autres objectifs de l'invention sont : assurer la stabilité des consignes de vitesse et du profil de vitesses tout au long de la trajectoire, la meilleure précision possible dans les calculs, assurer une bonne robustesse aux aléas, déterminer une fenêtre temporelle adaptée et une indépendance des résultats par rapport aux coûts de vol.

Le procédé conforme à l'invention est un procédé de planification, de calcul de trajectoire, de prédictions et de guidage pour le respect d'une contrainte de temps de passage d'un aéronef, partant d'une base de données de performances de l'aéronef et des conditions courantes du vol, et il est caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- recueil des conditions de vol courantes,
- fourniture, à partir d'une librairie, de calculs de vitesses caractéristiques de montée, croisière et descente, en fonction de vitesses minimale, maximale et éventuellement optimale en vue de profiter au maximum de l'enveloppe de vol de l'avion et au besoin de réaliser une consommation de carburant la plus faible possible,
- gestion des prédictions de trajectoire latérale et de profil d'altitude et de vitesses (trajectoire 4D) et prise en compte des prédictions de masse de l'aéronef tout au long de la trajectoire,
- définition, le long du profil de mission, des marges à conserver pour les vitesses RTA par rapport aux limites de vitesse de l'enveloppe de vol,
- fourniture, à partir d'un profil 4D donné et de la prédiction de temps associée au point RTA, des facteurs d'adaptation des vitesses par phase de vol afin d'obtenir une nouvelle trajectoire 4D adaptée à la contrainte RTA,
- contrôle des itérations pour la gestion de la convergence des calculs de durée de vol vers la durée correspondant au respect de la contrainte de temps et gestion du profil 4D de référence,
- supervision de la prédiction courante de temps de passage au point de RTA, capable de signaler, alerter ou commander des réajustements du

profil 4D en fonction du respect courant de l'heure d'arrivée estimée vis-à-vis de la contrainte RTA..

De façon avantageuse, le procédé comporte une étape de réadaptation de la trajectoire et du profil vertical lorsqu'en cours de mission les données extérieures à l'aéronef ont fait dériver les prédictions de temps et que la contrainte de temps ne se trouve plus respectée avec les hypothèses de trajectoire et vitesses initiales.

Ainsi, le procédé de l'invention présente les avantages suivants :

- il permet un meilleur exercice de la mission dans la fenêtre de capacités temporelles
- il permet une indépendance totale vis-à-vis des « legs » ou « waypoints », en pourvoyant un profil de vitesses basé sur la trajectoire et son profil vertical en fonction de son abscisse curviligne,
- il permet une réadaptation du profil de vitesses en cours de mission en fonction des aléas cumulés,
- il offre la possibilité de suivre une mission avec des couples CAS : Mach constants pour une même phase de vol de montée ou de descente,
- il offre une meilleure stabilité de la consigne de vitesse donnée au passage des « waypoints »,
- et il permet une adaptation totale du profil de vitesses altitudes et trajectoire calculés.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation, pris à titre d'exemple non limitatif et illustré par le dessin annexé, sur lequel :

- la figure 1, déjà décrite ci-dessus, est un bloc-diagramme simplifié d'un dispositif FMS classique, et,
- la figure 2 est un bloc-diagramme simplifié des éléments fonctionnels mis en œuvre par le procédé conforme à la présente invention.

Pour la mise en œuvre du procédé de l'invention, il faut disposer d'un FMS ou d'un équipement de préparation de mission comprenant au moins les sous-systèmes FMS tels que ceux décrits en référence à la figure 1, sauf les sous-systèmes 2 (LOC NAV), 9 (DATA LINK) et 8 (GUIDANCE). Pour simplifier la description, il ne sera question par la suite que d'un FMS, étant bien entendu que l'on peut utiliser à sa place ledit équipement de préparation de mission.

De façon générale, le procédé de l'invention est basé sur le couplage entre détermination de trajectoire et prédictions.

Le procédé de l'invention met en œuvre les principales fonctions suivantes :

- la supervision de la vitesse de l'aéronef par caractérisation d'un profil de vitesses à l'aide de tables pour des vitesses minimale, optimale et maximale,
- la gestion de la marge de convergence des calculs de durée de vol vers la durée correspondant au respect de la contrainte de temps et gestion du profil 4D de référence,
- la détermination de facteur de positionnement du résultat du calcul « traj-pred » (prédictions de profil vertical à partir de la trajectoire latérale) à effectuer par rapport aux deux domaines de vitesse (Mach et CAS),
- des itérations sur les prédictions, entretenues jusqu'à convergence,
- le calcul paramétrique de « traj » et de « pred » en fonction de l'itération de convergence dans laquelle ils s'effectuent,
- une fonction d'optimisation du calcul du facteur de vitesses,
- la supervision de dérive de l'écart courant par rapport à la contrainte RTA, et un déclenchement de correction des vitesses et de la trajectoire latérale (si besoin optimisé) par rapport à l'établissement initial du profil de vitesses RTA, ou éventuellement une adaptation du guidage,
- un prétraitement des données initiales du problème, afin de choisir entre plusieurs stratégies de calcul du profil de vitesses RTA.

Le procédé de l'invention met en œuvre les fonctions suivantes, dont les liaisons fonctionnelles mutuelles ont été schématisées en figure 2. Il est à noter que ces fonctions suivantes peuvent être codées en éléments séparés, mais pourraient être éventuellement regroupées, comme le CONVMON et le PICOMP par exemple.

- un gestionnaire de prédiction de trajectoire 12 (CORE) qui supervise les modules TRAJ et PRED, et qui peut être un module interne FMS, de coordination des travaux des composants TRAJ (6) et PRED (7) de la figure 1. Cette fonction peut être assurée par un sous-composant logiciel déterminé et non « noyé ».]. Ce gestionnaire permet de calculer :
  - une trajectoire latérale ;
  - un profil d'altitude et de vitesses, prenant en compte les prédictions de masse d'aéronef courante tout le long du trajet. Ces deux calculs sont les mêmes que ceux faits par TRAJ et PRED (6 et 7 en figure 1), mais ils sont paramétrés en tenant compte des particularités RTA au lieu de l'être par rapport aux critères habituels.

  Cette fonction de prédiction du gestionnaire CORE a pour objectif d'obtenir une trajectoire « 4D » où les éléments résultant des calculs de trajectoire latérale (ses rayons et les longueurs de ses « legs » flottants) et de profil d'altitude et de vitesses soient parfaitement adaptés aux altitudes, vitesses et masses prédites tout le long de la trajectoire.
- Une librairie 13 (SPDCARAC) permettant de fournir des valeurs de vitesses caractéristiques de montée, croisière et descente, en fonction de paramètres tels que vitesse minimale, vitesse maximale, et vitesse optimale (cette dernière étant optionnelle, en vue de réaliser une consommation de carburant la plus faible possible), en liaison avec la base de données 5 (PERF DB) du FMS (interne au composant PRED, peut être assuré par un sous-composant logiciel et non « noyé ».
- Une fonction 14 (MARGMAN) définissant, le long du profil de mission, des marges à conserver pour les vitesses RTA par rapport aux limites (en termes

de vitesses) de l'enveloppe de vol. Cette fonction peut être assurée par un sous-composant logiciel et non « noyé ».

- Une fonction 15 (PICOMP) qui, à partir d'un profil 4D donné et de la prédiction de temps associée au point RTA, donne des facteurs d'adaptation des vitesses par phase de vol afin d'obtenir une nouvelle trajectoire 4D adaptée à la contrainte RTA. Cette fonction peut être assurée par un sous-composant logiciel et non « noyé ».
- Un contrôleur d'itérations 16 (CONVMON) supervisant la convergence des calculs de durée de vol vers les points RTA, et arbitrant la publication (fonction 17) et la fixation du profil 4D de référence sur lequel se basera la mission avec pour but le respect de la contrainte RTA. Cette fonction peut être assurée par un sous-composant logiciel et non « noyé ».
- Un moniteur 18 (PREDMON) de la prédiction courante de temps de passage au point de RTA, capable de signaler, alerter ou commander des réajustements du profil 4D en fonction du respect courant de l'ETA (Heure d'arrivée estimée) vis-à-vis de la contrainte RTA. Ce moniteur possède des profils de marges de temps lui permettant d'arbitrer ses actions. Ces arbitrages constituent souvent une donnée d'entrée des spécifications du client, mais sont faciles à définir par des droites affines, par exemple : sous 2h de vol, erreur maximale autorisée = 36s, jusqu'à 8h de vol, erreur maximale = 0,05%, et au-delà 144s.
- Une fonction 19 (INIT) de prétraitement des données initiales du problème, permettant, si possible, une optimisation des calculs à effectuer pour obtenir le « profil RTA ». Cette optimisation est effectuée selon des critères FM (Flight Management) classiques. Par exemple, si la RTA demandée est proche de l'ETA (estimated time for arrival) initialement prédite, on peut ne lancer aucun recalcul, et ainsi gagner en charge CPU et en temps de réponse, ou ne pas recalculer la trajectoire latérale et uniquement adapter légèrement le profil de vitesses.

- Une fonction 20 (RE-INIT) de retraitement des données initiales du problème, lorsque la prédiction ETA sur le point RTA a dérivé. En fonction du type de dérive et de son importance, elle réalise le même travail que la fonction INIT, c'est à dire qu'elle décide des paramètres de calcul de la trajectoire latérale et du profil des vitesses (et d'altitude).

Le procédé de l'invention intègre les fonctions mentionnées ci-dessus selon la schématique suivante :

(1) LES BASES DE DONNÉES

- PerfDB (5) : modèle de performances de l'aéronef, identique à celui utilisé par un FMS classique.

(2) LES FONCTIONS DE CALCUL

Les opérations effectuées par ces fonctions de calcul sont brièvement présentées ci-dessous, et pour chacune d'elles, un tableau énumère leurs données d'entrée et de sortie. Ces calculs sont effectués à l'aide d'algorithmes classiques que l'homme de l'art peut facilement établir à la lecture des descriptions ci-dessous, et qui ne seront donc pas détaillés ici. Il est à noter que la seule algorithmie « lourde » est dans le PICOMP, qui établit des itérations par une méthode connue telle que la méthode de la sécante, ou la méthode quadratique ou une autre méthode de l'état de l'art]

- INIT (19) définit le contexte initial dans lequel doit s'exécuter le calcul de profil RTA. Cette fonction reçoit de RE-INIT l'écart courant entre ETA et RTA, et l'écart courant N-1 lors de la précédente mise à jour de l'ETA

Données d'entrée	Données produites
Plan de vol courant, segment actif du plan de vol, phase courante Attitudes aéronef, vent courant Evénement déclencheur du calcul de profil RTA Ecart courant entre ETA et RTA	Plan de vol courant, segment actif du plan de vol, phase de vol courante Mode d'exécution de CORE Ecart de temps relatif à compenser

- Pour ce qui est de CORE, on notera qu'il gère le nombre maximal d'itérations de Traj, les phases du vol ou décide d'adapter ou non le profil et les prédictions.

❖ PICOMP (15) : Calcule par phase de vol un facteur d'adaptation de la vitesse caractéristique :

Données d'entrée	Données produites
Phase de vol courante, abscisse (linéaire) courante sur la Traj 4D Etat courant de la convergence RTA	Facteur PI d'adaptation des vitesses

❖ MARGMAN (14) : établit des marges entre l'enveloppe de vol réelle et l'enveloppe que l'on tolère aux vitesses RTA :

Données d'entrée	Données produites
Plan de vol courant, segment actif du plan de vol, phase courante Attitudes de l'aéronef, vent courant	Des marges tolérées, en pourcentage, vis-à-vis des trois tables caractéristiques (Vmin, Vmax, Vopti)

❖ SPDCARAC (13) : calcule des vitesses caractéristiques pour chaque phase de vol restante jusqu'à l'arrivée à un point RTA :

Données d'entrée	Données produites
Facteur PI Données lues dans le tableau de performances (5) Les marges tolérées	Couples de vitesses CAS / Mach pour chaque phase de vol

CAS signifie « Computed Air Speed ». Les pilotes automatiques guident les commandes de vol en vitesse par une consigne soit CAS, soit Mach.

❖ CORE (12) : calcule une trajectoire et un profil :

Données d'entrée	Données produites
Etat courant de la convergence des couples CAS/ Mach Plan de vol courant, segment actif du plan de vol, phase courante Attitudes, vent courant Mode d'exécution de CORE	Une trajectoire 2D, un profil d'altitudes ; des vitesses, temps de passage et poids courant associés aux points caractéristiques du plan de vol

❖ CONVMON (16) : décide si la trajectoire 4D courante est acceptable pour respecter la RTA :

Données d'entrée	Données produites
Valeur de la contrainte RTA ETA calculée Traj et Profil de prédictions	Publication de la trajectoire (17) du profil et de la consigne initiale de guidage Rejet éventuel de la solution courante avec écart de temps de passage associé Etat courant de la convergence RTA

❖ PRED MON (18) : suit le long du déroulement du vol, une fois une solution RTA publiée (17), le rafraichissement des prédictions de temps sur le point de RTA, et agit, le cas échéant, en fonction de dérives de la situation courante par rapport aux prévisions :

Données d'entrée	Données produites
Plan de vol courant, segment actif du plan de vol, phase courante Attitudes, vent courant Prédictions courante de temps au point RTA	Consigne de recalcul de vitesses RTA Ecart de temps à compenser Consigne de guidage

INIT (19) :

En fonction de l'événement déclencheur du calcul RTA et des données du plan de vol courant (événement qui peut être par exemple : l'entrée d'une valeur de

RTA, une modification du paramètre « Time » d'une RTA, une modification latérale du plan de vol, une modification verticale uniquement du plan de vol), INIT peut paramétrer l'exécution du superviseur Traj-Pred CORE, par exemple pour lui éviter de recalculer une trajectoire latérale depuis le début si une trajectoire existait déjà et si les données de base la définissant n'ont pas changé.

Il est à noter que la ligne pointillée entre INIT et CORE signifie une liaison optionnelle dans le cas où, pour un déclenchement de calcul RTA, soit on décide de garder la Traj4D courante, soit on décide de garder la partie latérale.

PICOMP (15) :

En fonction des conditions courantes du plan de vol, du profil de vitesses courant, des facteurs PI correspondants et d'un écart de temps à compenser au point RTA, PICOMP calcule pour chaque phase de vol des facteurs PI qui peuvent être compris entre PI min et PI max.

Le facteur PI = 0 correspond à une référence de vitesses

- égale à la moyenne entre Vmin et Vmax de l'enveloppe de vol
- ou égale aux vitesses de consommation optimales si celles-ci sont disponibles.

Les limites PI min et PI max sont les limites de l'enveloppe de vol. PICOMP reçoit de MARGMAN (14) un profil des marges à appliquer sur les cas PI min et PI max.

PICOMP calcule aussi, après chaque exécution, la tendance de compensation de temps entre deux exécutions. Cette valeur est utilisée à l'itération suivante pour pondérer le calcul d'un nouveau facteur PI. Si la tendance observée de la dernière compensation a été faible, la tendance appliquée au nouveau facteur PI sera minorée, ceci dans le but de compenser la non-linéarité de la loi qui relie le facteur PI au temps de vol prédit (il s'agit de loi mentionnée ci-dessus à propos des fonctions de calcul, et qui fait partie de la méthode améliorée de la sécante), et ainsi atteindre le profil de référence dans un nombre optimal d'itérations.

Avec les marges courantes, l'écart à combler, le facteur PI et la tendance précédents, PICOMP calcule un nouveau facteur PI visant obtenir des vitesses qui combleront l'écart de temps restant.

Le principe du procédé de l'invention est que si le PI >0, SPDCARAC (librairie de fonctions de calcul) calculera des vitesses comprise entre Vmax et Vopti, et que si PI <0, les vitesses seront calculées entre Vopti et Vmin. Vopti étant soit la moyenne entre Vmin et Vmax, soit une vitesse optimale obtenue par une table.

CORE (12) :

Ce superviseur de calcul couplé de trajectoire et de profil permet d'obtenir, entre autres, une répartition du profil de vitesses. La répartition du profil de vitesses est effectuée en valeurs CAS et Mach (non pas en valeurs de « Ground Speed », c'est-à-dire en valeurs de vitesses par rapport au sol) permettant ainsi d'avoir sur les portions de changement d'altitude, une caractérisation de la vitesse (CAS ou Mach).

Le profil de vitesses obtenu est caractérisé par ce que l'on appelle des segments verticaux, qui peuvent s'établir sans lien avec les « waypoints » du plan de vol. Ce procédé permet en outre de pouvoir calculer un profil RTA de vitesses complet et adapté aux phases du vol, même si le plan de vol ne possède pas de « waypoints » intermédiaires.

Par ailleurs, le profil de vitesses RTA obtenu est établi selon des valeurs de CAS et de Mach suivant l'enchainement naturel des segments verticaux d'une mission, et ne verra pas de sauts des consignes de vitesses aux passages de « waypoints » qui sont des éléments uniquement latéraux du plan de vol.

INTERFACE AVEC LE GUIDAGE

Une fois un profil RTA calculé et publié (17), un profil de référence est créé, la donnée de consigne de vitesse courante (calculée en fonction du segment vertical actif du profil) est envoyée au composant Guidage du FMS (signal GMAN de la figure 2 envoyé au sous-ensemble 8 de la figure 1).

La mise en œuvre fonctionnelle de l'invention est disponible selon deux niveaux de réalisation :

- Niveau 1 : « Predictive only »

  - Le système global dans lequel s'applique le procédé de l'invention, pour ce niveau, est limité aux composants 3, 6, 4, 7. C'est un système de type préparation de mission ou bien le fonctionnement d'un FMS au sol, sans les modules de Guidage (8) et datalink (10).

  - Le procédé fonctionne alors sans la fonction PREDMON qui ne peut être exécutée qu'en vol, ni la fonction RE-INIT (20) qui est actionnée par PREDMON.

  - Dans cette mise en œuvre, les données initiales d'attitude et de vent courant peuvent être des données réelles statiques ou des données simulées ou entrées par l'utilisateur.

- Niveau 2 : « Embedded »

- Le système global dans lequel est proposé le procédé correspond au FMS avec la totalité de ses composants,

- Dans cette mise en œuvre, les données initiales d'attitude et de vent courant sont les données courantes que le FMS reçoit des équipements avioniques responsables de ces données.

REVENDICATIONS

1. Procédé de planification, de calcul de trajectoire, de prédictions et de guidage pour le respect d'une contrainte de temps de passage d'un aéronef (RTA), utilisant une base de données de performances de l'aéronef (5) et des données définissant les conditions courantes du vol,

- recueil des conditions de vol courantes,
- fourniture, à partir d'une librairie (13), de calculs de vitesses caractéristiques de montée, croisière et descente, en fonction de vitesses minimale, maximale, et optimale en vue de profiter au maximum de l'enveloppe de vol de l'avion et au besoin de réaliser une consommation de carburant la plus faible possible,
- gestion (12) des prédictions de trajectoire latérale et de profil d'altitude et de vitesses (trajectoire 4D) et prise en compte des prédictions de masse de l'aéronef tout au long de la trajectoire,
- définition (14), le long du profil de mission, des marges à conserver pour les vitesses RTA par rapport aux limites de l'enveloppe de vol,
- fourniture (15), à partir d'un profil 4D donné et de la prédiction de temps associée au point RTA, des facteurs d'adaptation des vitesses par phase de vol afin d'obtenir une nouvelle trajectoire 4D adaptée à la contrainte RTA,
- contrôle des itérations (16) pour la gestion de la convergence des calculs de durée de vol vers la durée correspondant au respect de la contrainte de temps et gestion du profil 4D de référence,
- supervision (18) de la prédiction courante de temps de passage au point de RTA, capable de signaler, alerter ou commander des réajustements du profil 4D en fonction du respect courant de l'heure d'arrivée estimée vis-à-vis de la contrainte RTA.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comporte une étape préalable de prétraitement des données initiales afin de choisir entre plusieurs stratégies de calcul du profil de vitesses RTA.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une étape de réadaptation de la trajectoire et du profil vertical lorsqu'en cours de mission, les données extérieures à l'aéronef ont fait dériver les prédictions de temps et que la contrainte ne se trouve plus respectée avec les hypothèses de trajectoire et vitesses initiales.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la répartition du profil de vitesses du résultat du calcul des prédictions de profil vertical à partir de la trajectoire latérale est effectuée en valeurs CAS ou MACH suivant des segments « verticaux » et non forcément liés aux points du plan de vol latéral.
5. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé selon l'une des revendications précédentes, associé à un FMS ou à un équipement de préparation de mission, caractérisé en ce qu'il comporte :

-Un gestionnaire de trajectoire et de prédictions (12),

-Une librairie de calculs de vitesses caractéristiques (13) permettant de fournir des valeurs de vitesses caractéristiques de montée, croisière et descente, en fonction des vitesses minimale, maximale, et optimale en vue de profiter au maximum de l'enveloppe de vol de l'avion et au besoin de réaliser une consommation de carburant la plus faible possible, en liaison avec la base de données (5),

-Une fonction (14) définissant, le long du profil de mission, des marges à conserver pour les vitesses RTA par rapport aux limites de l'enveloppe de vol,

-Une fonction (15) qui, à partir d'un profil 4D donné et de la prédiction de temps associée au point RTA, donne des facteurs d'adaptation des vitesses par phase de vol afin d'obtenir une nouvelle trajectoire 4D adaptée à la contrainte RTA,

-Un contrôleur d'itérations (16) supervisant la convergence des calculs de durée de vol vers les points RTA, et arbitrant la publication (17) et la fixation du profil 4D de référence sur lequel se basera la mission avec pour but le respect de la contrainte RTA,

-Un moniteur (18) de la prédiction courante de temps de passage au point de RTA, capable de signaler, alerter ou commander des réajustements du profil 4D en fonction du respect courant de l'heure d'arrivée estimée vis-à-vis de la contrainte RTA.

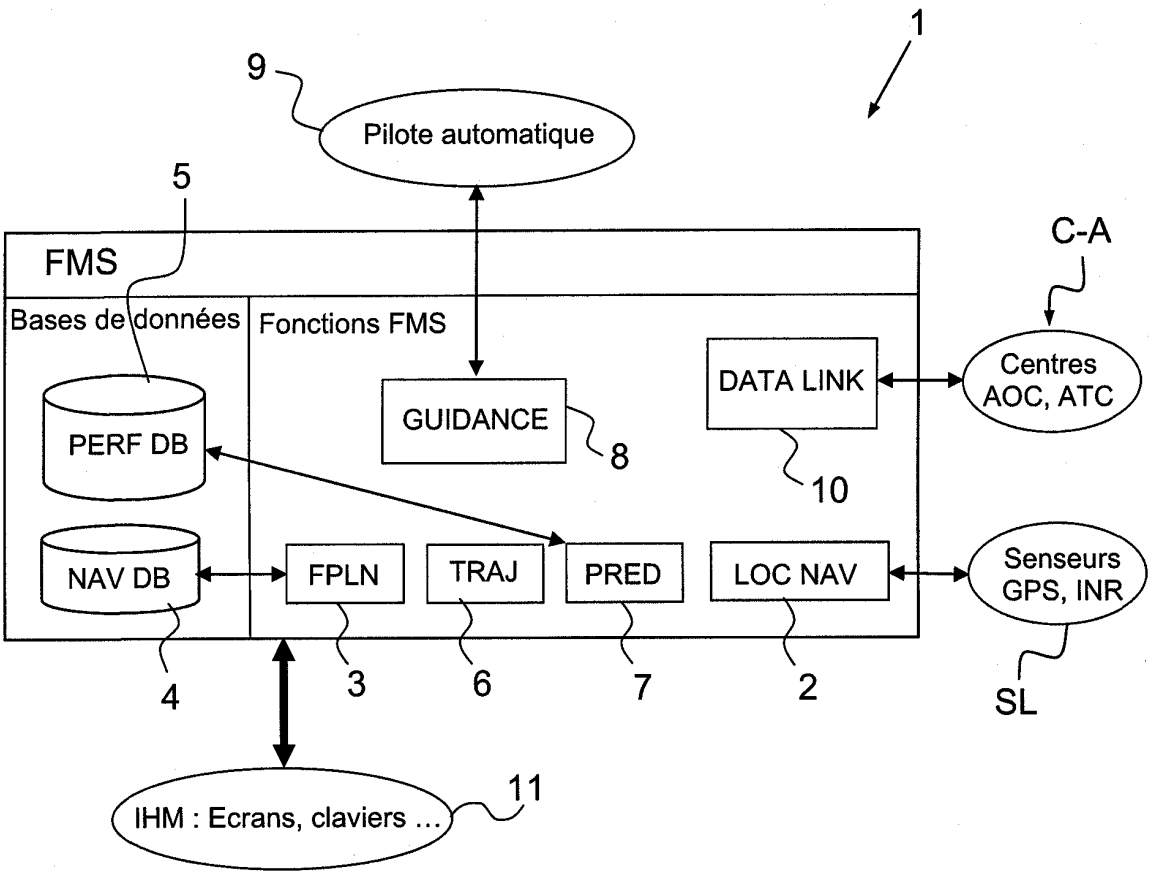

1
9
Pilote automatique
5
FMS
Bases de données
Fonctions FMS
C-A
Centres
AOC, ATC
DATA LINK
GUIDANCE
8
10
PERF DB
NAV DB
FPLN
TRAJ
PRED
LOC NAV
Senseurs
GPS, INR
4
3
6
7
2
SL
IHM : Ecrans, claviers ...
11

FIG.1

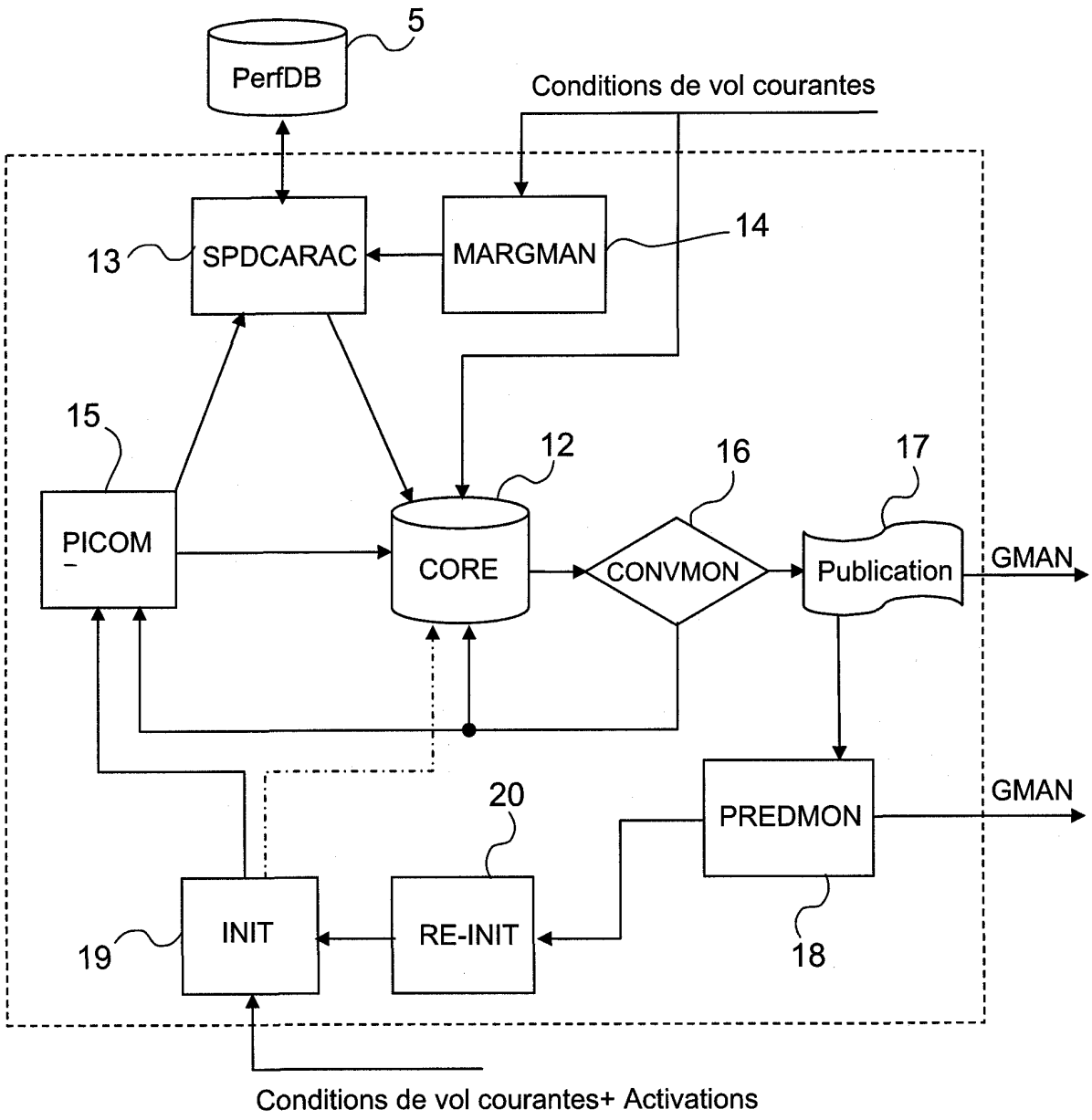

5
PerfDB
Conditions de vol courantes
13
SPDCARAC
MARGMAN
14
15
12
16
17
PICOM
CORE
CONVMON
Publication
GMAN
20
PREDMON
GMAN
INIT
RE-INIT
19
18
Conditions de vol courantes+ Activations

FIG.2

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 734122
FR 0905723

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	FR 2 913 780 A1 (AIRBUS FRANCE SA [FR]) 19 septembre 2008 (2008-09-19) * le document en entier * -----	1-5	G05D1/10
X	WO 2007/067326 A1 (BOEING CO [US]; COMBS WILLIAM E [US]) 14 juin 2007 (2007-06-14) * le document en entier * -----	1-5	
X	EP 1 770 365 A1 (SAAB AB [SE]) 4 avril 2007 (2007-04-04) * le document en entier * -----	1-5	
X	EP 0 250 140 A2 (HONEYWELL INC [US]) 23 décembre 1987 (1987-12-23) * le document en entier * -----	1-5	
X	US 5 408 413 A (GONSER JOHN M [US] ET AL) 18 avril 1995 (1995-04-18) * le document en entier * -----	1-5	
X	FR 2 923 032 A1 (AIRBUS FRANCE SAS [FR] AIRBUS FRANCE [FR]) 1 mai 2009 (2009-05-01) * le document en entier * -----	1-5	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G05D G08G
X	US 5 121 325 A (DEJONGE MICHAEL K [US]) 9 juin 1992 (1992-06-09) * le document en entier * -----	1-5	

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
17 novembre 2010	Schriefl, Josef

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0905723 FA 734122

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 17-11-2010
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
FR 2913780 A1	19-09-2008	US 2008228333 A1	18-09-2008
WO 2007067326 A1	14-06-2007	US 2007150123 A1	28-06-2007
EP 1770365 A1	04-04-2007	US 2007078573 A1	05-04-2007
EP 0250140 A2	23-12-1987	DE 3781941 D1	05-11-1992
		DE 3781941 T2	01-04-1993
		JP 62299498 A	26-12-1987
		US 4760530 A	26-07-1988
US 5408413 A	18-04-1995	DE 69414048 D1	26-11-1998
		DE 69414048 T2	10-06-1999
		EP 0637787 A1	08-02-1995
		IL 110506 A	22-09-1999
FR 2923032 A1	01-05-2009	US 2009112454 A1	30-04-2009
US 5121325 A	09-06-1992	AUCUN	

EPO FORM P0465