

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 07.07.03.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.01.05 Bulletin 05/02.

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) : AIRBUS FRANCE Société par actions simplifiée — FR.

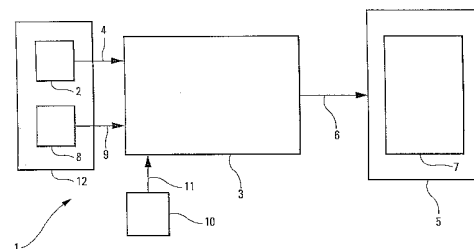
72) Inventeur(s) : BERARD JEREMY.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET BONNETAT.

54) PROCEDE ET DISPOSITIF DE GENERATION D'UN PLAN DE VOL POUR UN VOL TACTIQUE D'UN AERONEF.

57) - Le dispositif (1) comporte des moyens d'entrée (2, 8) permettant à un opérateur d'entrer des données d'entrée et, pour chaque événement tactique du vol tactique, la variation d'au moins un paramètre qui est modifié par cet événement tactique, une unité centrale (3) pour déterminer, à l'aide des données d'entrée et de chaque variation de paramètre qui a été entrée à l'aide des moyens d'entrée (8), en mettant en oeuvre des fonctions de prédiction et d'optimisation, un profil de vol du plan de vol comprenant, pour chaque point de passage du plan de vol, une pluralité d'informations prédictives et, entre deux points de passage successifs du plan de vol, des paramètres optimisés, et des moyens d'affichage (5) pour présenter, sur un écran de visualisation (7), le profil de vol déterminé par l'unité centrale (3).



La présente invention concerne un procédé et un dispositif de génération d'un plan de vol pour un vol tactique d'un aéronef.

Les aéronefs modernes disposent d'un système de gestion du vol qui fournit un plan de vol constitué de points de passage, reliés entre eux.

5 A chaque point de passage, jusqu'à l'aéroport de destination, le système de gestion du vol fournit des prédictions : heure de passage, vitesse, altitude, carburant restant à bord. De plus le système de gestion du vol propose une optimisation du plan de vol : altitude de croisière optimale, vitesse optimale pour chaque phase de vol.

10 On sait qu'un plan de vol civil suivi par exemple par un avion de transport civil, comporte un aéroport de départ et un aéroport de destination, plus éventuellement un aéroport de déroutement. En aviation civile, la charge embarquée à bord de l'aéronef (passagers, fret) ne varie pas au cours d'un même vol. De plus, les variations de masse de carburant sont
15 dues à la consommation des moteurs et sont donc prévisibles tout au long du vol.

En revanche, un plan de vol tactique, c'est-à-dire un plan de vol destiné à un vol tactique, doit tenir compte d'évènements tactiques susceptibles de modifier les prédictions. Plus précisément, pour un aéronef
20 impliqué dans un vol tactique, quatre types d'évènements tactiques peuvent faire varier la charge transportée, ou faire varier la quantité de carburant à bord (autrement que par la consommation normale de carburant), au cours du vol :

– une diminution de la charge transportée, lors d'un largage aérien ou
25 d'un déchargement pendant une étape tactique qui correspond à un atterrissage sur un terrain intermédiaire à des fins tactiques (attente,

chargement, déchargement, ...), suivi d'un décollage vers la destination, ou vers une autre étape tactique ;

– une augmentation de la charge transportée, lors d'un chargement pendant une étape tactique ;

5 – une diminution du carburant à bord (non due à la consommation propre de l'aéronef), lors d'un ravitaillement en vol en tant qu'aéronef ravitailleur ; et

– une augmentation du carburant à bord, lors d'un ravitaillement en vol en tant qu'aéronef ravitaillé.

10 Les systèmes de gestion du vol usuels ne prennent pas en compte ces évènements tactiques dans les prédictions du plan de vol avant que ces évènements ne se soient effectivement produits. De même, on ne dispose pas d'une optimisation du plan de vol au-delà du point où un évènement tactique va avoir lieu, avant que cet évènement n'ait effectivement
15 eu lieu.

Lorsqu'un évènement tactique a effectivement eu lieu, ou a eu lieu partiellement (ravitaillement ou largage partiel), les prédictions sont actualisées avec les nouveaux paramètres de l'aéronef. En effet, lorsque le changement est intervenu, les paramètres de masse de l'aéronef sont
20 modifiés par l'équipage afin que les prédictions soient recalculées en fonction de la situation courante.

Les systèmes de gestion du vol usuels ne sont donc pas en mesure d'engendrer un plan de vol tactique, c'est-à-dire d'engendrer lors de la préparation du vol un plan de vol tenant compte d'évènements tacti-
25 ques qui vont survenir au cours du vol.

La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients. Elle concerne un procédé de génération d'un plan de vol tactique d'un aéronef.

A cet effet, selon l'invention, ledit procédé selon lequel :

a) on définit des données d'entrée comportant au moins des données de masse et de chargement initiaux de l'aéronef, des données météorologiques, des points de passage du plan de vol et au moins un critère d'optimisation ; et

5 b) on détermine, à l'aide desdites données d'entrée, en mettant en œuvre une fonction de prédiction et une fonction d'optimisation, un profil de vol dudit plan de vol comprenant, pour chaque point de passage du plan de vol, une pluralité d'informations prédictives et, entre deux points de passage successifs du plan de vol, des paramètres optimi-
10 sés,

est remarquable en ce que :

α) on sélectionne des événements tactiques dudit vol tactique, à prendre en compte ;

15 β) on détermine, pour chaque événement tactique ainsi sélectionné, au moins un paramètre qui est modifié par cet événement tactique à un point de variation particulier du plan de vol, ainsi que la variation dudit paramètre, correspondant à cette modification ; et

20 δ) on utilise à l'étape b), pour déterminer ledit profil de vol, chaque variation de paramètre ainsi déterminée, prise en compte au point de variation correspondant.

Ainsi, grâce à l'invention, on engendre un plan de vol tactique qui tient compte d'évènements tactiques du type précité, qui vont survenir au cours du vol tactique considéré.

De façon avantageuse, à l'étape α) :

25 α 1) on définit des événements tactiques planifiés ; et

α 2) on sélectionne, parmi tous les événements tactiques planifiés ainsi définis, ceux qui sont à prendre en compte.

Selon l'invention :

- ledit critère d'optimisation définit un rapport entre la consommation de carburant de l'aéronef et le temps de vol ; et/ou
- lesdites informations prédictives comportent, pour chaque point de passage, au moins l'heure de passage, la vitesse de passage, l'altitude de passage et la masse de carburant restant à bord de l'aéronef ; et/ou
- lesdits paramètres optimisés comportent au moins la vitesse optimale et le cas échéant l'altitude de croisière optimale, entre deux points de passage successifs ; et/ou
- lesdits évènements tactiques comportent au moins l'un des évènements suivants : un largage en vol, un ravitaillement en vol et une étape tactique comprenant un atterrissage.

Avantageusement, ledit paramètre qui est modifié, correspond à l'un des paramètres suivants :

- la masse de la charge transportée par l'aéronef ;
- la masse de carburant à bord de l'aéronef ;
- la masse à vide de l'aéronef ;
- l'heure de passage ;
- la position du centre de gravité de l'aéronef ; et
- la configuration aérodynamique de l'aéronef.

Dans un mode de réalisation préféré, ledit point de variation particulier correspond :

- au point de fin de largage, pour un largage ;
- au point de fin de ravitaillement, pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitailleur ;
- au point de début de ravitaillement, pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitaillé ; et
- au point de début de la piste d'atterrissage, pour une étape tactique.

En outre, de façon avantageuse, à l'étape β), on détermine, comme variation de paramètre :

- pour un largage, la diminution de la masse de la charge transportée par l'aéronef ;
- pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitailleur, la diminution de la masse de carburant à bord de l'aéronef ;
- 5 – pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitaillé, l'augmentation de la masse de carburant à bord de l'aéronef ; et
- pour une étape tactique, la variation éventuelle de la masse de la charge transportée, la variation éventuelle de la masse de carburant à bord de l'aéronef et le temps d'arrêt au sol.

10 Dans le cadre de la présente invention, à l'étape δ), on utilise directement la variation dudit paramètre ou une valeur estimée dudit paramètre à la fin de l'évènement tactique correspondant, qui tient compte de ladite variation dudit paramètre.

15 La présente invention concerne également un dispositif de génération d'un plan de vol pour un vol tactique d'un aéronef.

Selon l'invention, ledit dispositif du type comportant :

- des premiers moyens d'entrée permettant à un opérateur d'entrer des données d'entrée comportant au moins des données de masse et de chargement initiaux de l'aéronef, des données météorologiques, des points de passage du plan de vol et au moins un critère d'optimisation ;
 - 20 – une unité centrale pour déterminer, à l'aide desdites données d'entrée, en mettant en œuvre une fonction de prédiction et une fonction d'optimisation, un profil de vol dudit plan de vol comprenant, pour chaque point de passage du plan de vol, une pluralité d'informations prédictives et, entre deux points de passage successifs du plan de vol, des paramètres optimisés ; et
 - 25 – des moyens d'affichage pour présenter, sur un écran de visualisation, le profil de vol déterminé par ladite unité centrale,
- est remarquable en ce que :

- ledit dispositif comporte, de plus, des seconds moyens d'entrée permettant à un opérateur d'entrer, pour chaque évènement tactique du vol tactique, la variation d'au moins un paramètre qui est modifié par cet évènement tactique à un point de variation particulier du plan de vol ; et
- 5 – ladite unité centrale utilise, pour déterminer ledit profil de vol, chaque variation de paramètre qui a été entrée à l'aide desdits seconds moyens d'entrée et qui est prise en compte au point de variation correspondant.

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier :

- 10 – ledit dispositif comporte, de plus, au moins une base de données contenant des variations de paramètre associées à des évènements tactiques ;
- lesdits seconds moyens d'entrée permettent à un opérateur d'entrer des évènements tactiques ; et
- 15 – ladite unité centrale utilise automatiquement les variations de paramètre contenues dans ladite base de données et associées à un évènement tactique particulier, lorsque l'opérateur entre cet évènement tactique à l'aide desdits seconds moyens d'entrée, pour déterminer ledit profil de vol.

20 Les figures du dessin annexé feront bien comprendre comment l'invention peut être réalisée. Sur ces figures, des références identiques désignent des éléments semblables.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un dispositif conforme à l'invention.

25 La figure 2 illustre schématiquement un profil de vol d'un plan de vol.

La figure 3 montre schématiquement une page susceptible d'être présentée à un opérateur et permettant de bien expliquer la présente invention.

Le dispositif 1 conforme à l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1 est destiné à la génération d'un plan de vol pour un vol tactique d'un aéronef.

On sait qu'au cours d'un vol tactique, différents types d'évènements tactiques peuvent faire varier la charge transportée, ou faire varier la quantité de carburant à bord de l'aéronef (autrement que par la consommation normale de carburant), au cours du vol :

- une diminution de la charge transportée, lors d'un largage aérien ou d'un déchargement pendant une étape tactique. Une étape tactique correspond à un atterrissage sur un terrain intermédiaire à des fins tactiques (attente, chargement, déchargement, ...), suivi d'un décollage vers la destination, ou vers une autre étape tactique ;
- une augmentation de la charge transportée lors d'un chargement pendant une étape tactique ;
- une diminution du carburant à bord (non due à la consommation propre de l'aéronef), lors d'un ravitaillement en vol en tant qu'aéronef ravitailleur ; et
- une augmentation du carburant à bord, lors d'un ravitaillement en vol en tant qu'aéronef ravitaillé.

De façon usuelle, un plan de vol comprend, comme illustré sur la figure 2, pour le profil de vol PV (c'est-à-dire la représentation selon un plan vertical) du plan de vol, notamment :

- des points de passage P1 à P5 ;
- des informations relatives auxdits points de passage P1 à P5, telles que le temps ou heure de passage T1 à T5, la vitesse de passage V1 à V5, l'altitude de passage A1 à A5, et la masse de carburant FOB1 à FOB5 restant à bord de l'aéronef ; et
- des segments S1 à S4 reliant lesdits points de passage P1 à P5.

Un plan de vol tactique correspond donc à un plan de vol qui prend en compte des évènements tactiques du type précité, existant lors d'un vol tactique (ravitaillement, largage, étape tactique).

Ledit dispositif 1 est du type comportant :

- 5 – des moyens d'entrée 2 permettant à un opérateur d'entrer des données d'entrée comportant au moins des données de masse et de chargement initiaux de l'aéronef, des données météorologiques, des points de passage P1 à P5 du plan de vol et au moins un critère d'optimisation ;
- 10 – une unité centrale 3 qui est reliée par une liaison 4 auxdits moyens d'entrée 2, pour déterminer, à l'aide desdites données d'entrée, en mettant en œuvre une fonction de prédiction et une fonction d'optimisation usuelles, un profil de vol PV dudit plan de vol comprenant, pour chaque point de passage P1 à P5 du plan de vol, une pluralité d'informations prédictives et, entre deux points de passage P1 à P5 successifs du plan
- 15 de vol, des paramètres optimisés ; et
- des moyens d'affichage 5 qui sont reliés par une liaison 6 à ladite unité centrale 3, pour présenter sur un écran de visualisation 7, le profil de vol PV déterminé par ladite unité centrale 3.

20 Selon l'invention, pour pouvoir engendrer un plan de vol tactique du type précité :

- ledit dispositif 1 comporte, de plus, des moyens d'entrée 8 qui sont reliés par une liaison 9 à l'unité centrale 3 et qui permettent à un opérateur d'entrer, pour chaque évènement tactique du vol tactique pris en compte, la variation ΔX d'au moins un paramètre qui est modifié par cet
- 25 évènement tactique à un point de variation particulier p_i du plan de vol ;
- et
- ladite unité centrale 3 utilise, pour déterminer ledit profil de vol PV, chaque variation ΔX de paramètre X, qui a été entrée à l'aide desdits

moyens d'entrée 8, et la prend en compte au point de variation pi correspondant.

De façon usuelle, les prédictions mises en œuvre par l'unité centrale 3 sont basées sur les conditions initiales spécifiées par l'équipage, la géométrie du plan de vol et des modèles de performance prenant en compte des caractéristiques de l'aéronef (moteurs, caractéristiques aérodynamiques, performances). Les modèles de performance, utilisés pour les prédictions et également pour l'optimisation, sont élaborés à partir de maquettes en soufflerie et sont corrigés après des essais en vol. Ils reflètent les performances des moteurs, les caractéristiques aérodynamiques de l'aéronef et ses propres performances. Ces modèles sont, par exemple, stockés dans un système de gestion du vol usuel (non représenté) qui est relié à l'unité centrale 3, sous forme de tables de performance, propres à chaque type d'aéronef. Ces tables permettent de déterminer, en fonction de paramètres d'entrée telles que la masse de l'aéronef, l'altitude ..., les paramètres reflétant les performances dudit aéronef, qui permettent d'optimiser le profil de vol PV et de calculer des prédictions.

En outre, selon l'invention :

- ledit critère d'optimisation définit un rapport (choisi par l'équipage) entre la consommation de carburant de l'aéronef et le temps de vol correspondant ;
- lesdites informations prédictives comportent, pour chaque point de passage P1 à P5, au moins l'heure de passage T1 à T5, la vitesse de passage V1 à V5, l'altitude de passage A1 à A5 et la masse de carburant FOB1 à FOB5 restant à bord de l'aéronef ;
- lesdits paramètres optimisés comportent au moins la vitesse optimale et le cas échéant l'altitude de croisière optimale sur lesdits segments S1 à S4, entre deux points de passage successifs ; et

- lesdits évènements tactiques possibles d'un vol tactique comportent au moins l'un des évènements suivants : un largage en vol, un ravitaillement en vol et une étape tactique comprenant un atterrissage.

On utilise ci-après les abréviations suivantes.

5

Abréviations	Significations
FOB ("Fuel On Board")	Masse de carburant à bord de l'aéronef
Δ FOB	Variation de la masse de carburant à bord de l'aéronef
FOB _{pi}	Estimation de la masse de carburant à bord de l'aéronef au point pi
FOB _{piF}	Estimation de la masse de carburant à bord de l'aéronef au point pi, cette estimation prenant en compte l'évènement tactique planifié au point pi
Δ FOB _{pi}	Variation de la masse de carburant à bord de l'aéronef résultant de l'évènement tactique au point pi
GW ("Gross Weight")	Masse totale de l'aéronef
GW _{pi}	Estimation de la masse totale de l'aéronef au point pi
GW _{piF}	Estimation de la masse totale de l'aéronef au point pi, cette estimation prenant en compte l'évènement tactique planifié au point pi
OWE ("Operational Weight Empty")	Masse à vide de l'aéronef
PW ("Payload Weight")	Masse de la charge transportée par l'aéronef
Δ PW	Variation de la masse de la charge transportée par l'aéronef
PW _{pi}	Estimation de la masse de la charge transportée par l'aéronef au point pi

PW _{piF}	Estimation de la masse de la charge transportée par l'aéronef au point pi, cette estimation prenant en compte l'évènement tactique planifié au point pi
Δ PW _{pi}	Variation de la masse de la charge transportée par l'aéronef au point pi résultant de l'évènement tactique au point pi
Δ T	Temps passé au sol par l'aéronef
T _{pi}	Estimation de l'heure de passage au point pi
T _{pF}	Estimation de l'heure de passage au point pi, cette estimation prenant en compte l'évènement tactique planifié au point pi
Δ T _{pi}	Temps passé au sol par l'aéronef pendant une étape tactique au point pi
X	Paramètre quelconque
X _{pi}	Estimation de la valeur du paramètre X au point pi
X _{piF}	Estimation de la valeur du paramètre X au point pi, cette estimation prenant en compte l'évènement tactique planifié au point pi
Δ X _{pi}	Variation de la valeur du paramètre X au point pi résultant de l'évènement tactique au point pi
ZFW ("Zero Fuel Weight")	Masse de l'aéronef sans carburant
ZFW _{pi}	Estimation de la masse de l'aéronef sans carburant au point pi
ZFW _{piF}	Estimation de la masse de l'aéronef sans carburant au point pi, cette estimation prenant en compte l'évènement tactique planifié au point pi

Le dispositif 1 permet à l'équipage de spécifier, selon la planification de la mission de l'aéronef, telle que définie au départ ou en vol :

- 5
- pour un largage, la diminution de la masse de la charge transportée Δ PW (<0), due au largage (de troupes aéroportées ou de matériel) ;
 - pour un ravitaillement en tant que ravitailleur, la diminution de la masse de carburant à bord Δ FOB (<0), due au transfert de carburant vers un aéronef ravitaillé ;

- pour un ravitaillement en tant que ravitaillé, l'augmentation de la masse de carburant à bord $\Delta FOB (>0)$, due au transfert de carburant depuis un aéronef ravitailleur ; et
- pour une étape tactique, la variation de la masse transportée $\Delta PW (<0$ ou $>0)$, due au chargement ou au déchargement de troupes ou de matériel, la variation de la masse de carburant à bord $\Delta FOB (<0$ ou $>0)$, due à des opérations de transfert de carburant au sol, ainsi que le temps qui sera passé au sol avant de redécoller $\Delta T (>0)$.

Plusieurs évènements tactiques peuvent être planifiés au cours du vol. L'équipage spécifie donc les différents paramètres X à prendre en compte pour chacun de ces évènements tactiques.

Chaque évènement tactique est lié à un point de variation pi du plan de vol, par exemple :

- le point de fin de largage, pour le largage ;
- le point de fin de ravitaillement, si le ravitaillement est conduit par l'aéronef en tant que aéronef ravitailleur. On considère ainsi qu'on garde la totalité du carburant à bord de l'aéronef jusqu'à la fin du transfert de carburant, ce qui permet de ne pas sous-estimer la quantité de carburant à bord pendant la durée du ravitaillement ;
- le point de début de ravitaillement, si le ravitaillement est effectué par l'aéronef en tant que aéronef ravitaillé. On considère ainsi que l'on reçoit la totalité du carburant dès le début du ravitaillement, ce qui permet de ne pas sous-estimer la quantité de carburant à bord pendant la durée du ravitaillement ; et
- le point de début de la piste d'atterrissage, dans le cas d'une étape tactique.

On considère ainsi, pour les prédictions, que le changement a lieu instantanément au point de variation pi considéré.

Il faut noter, dans le cas d'un aéronef ravitailleur, qu'une variation de masse de carburant peut se traduire par :

- une variation de la masse de carburant utilisable par l'aéronef pour sa propre consommation, dans le cas où le carburant qui est fourni à un aéronef ravitaillé provient des mêmes réservoirs que ceux utilisés par ledit aéronef ravitailleur pour approvisionner ses moteurs ; ou
- une simple variation de la charge transportée, dans le cas où le carburant qui est fourni à un aéronef ravitaillé n'est pas utilisable par ledit aéronef ravitailleur pour sa propre consommation.

Dans ce dernier cas, on se ramène à une diminution de la charge transportée, comme pour un largage. Dans la suite de la description, on considérera qu'une variation de masse de carburant dans le cas d'un aéronef ravitailleur correspond à une variation de la masse de carburant qui est consommable par cet aéronef.

On notera en outre que :

- si on ajoute la masse de la charge transportée PW_{pi} qui varie au cours du vol pour un aéronef impliqué dans un vol tactique à la masse à vide de l'aéronef qui est normalement constante au cours du vol OWE, on obtient la masse sans carburant de l'aéronef ZFW_{pi} au point pi :

$$ZFW_{pi} = OWE + PW_{pi}$$

- si on ajoute cette masse sans carburant ZFW_{pi} à la masse de carburant à bord FOB_{pi} , on obtient la masse totale GW_{pi} de l'aéronef au point pi :

$$GW_{pi} = ZFW_{pi} + FOB_{pi}$$

On décrit à présent différents exemples permettant de bien illustrer la mise en œuvre de la présente invention :

A/ Si dans le cadre d'un vol tactique, on considère un point de variation $p1$, auquel on a planifié un ravitaillement, on applique :

- $FOB_{p1F} = FOB_{p1} + \Delta FOB_{p1}$

avec $FOBp1F$, la prédiction de la masse de carburant à bord en $p1$, prenant en compte le ravitaillement ; et

- $GWp1F = ZFWp1 + FOBp1F$

avec $GWp1F$, la prédiction de la masse totale de l'aéronef en $p1$, prenant en compte le ravitaillement.

5

Ainsi, en prenant en compte $GWp1F$ et $FOBp1F$ dans les calculs de prédictions à partir du point $p1$, on prend en compte la variation de la masse de la charge transportée et la variation de la masse de carburant à bord, dues au ravitaillement en $p1$;

10 B/ Si dans le cadre d'un vol tactique, on considère un point de variation $p2$, auquel on a planifié un largage, on applique :

- $PWp2F = PWp2 + \Delta PWp2$

avec $PWp2F$, la prédiction de la masse de la charge transportée en $p2$, prenant en compte le largage ; et

15

- $GWp2F = FOBp2 + OWE + PWp2F$

avec $GWp2F$, la prédiction de la masse totale de l'aéronef en $p2$, prenant en compte le largage.

Ainsi, en prenant en compte $GWp2F$ dans les calculs de prédictions à partir du point $p2$, on prend en compte la variation de la masse de la charge transportée, due au largage en $p2$;

20

C/ Si dans le cadre d'un vol tactique, on considère un point de variation $p3$, auquel on a planifié une étape tactique, on applique :

- $PWp3F = PWp3 + \Delta PWp3$

avec $PWp3F$, la prédiction de la masse de la charge transportée en $p3$, prenant en compte le chargement ou déchargement ;

25

- $FOBp3F = FOBp3 + \Delta FOBp3$

avec $FOBp3F$, la prédiction de la masse de carburant à bord en $p3$, prenant en compte le transfert de carburant ;

- $GWp3F = FOBp3F + OWE + PWp3F$

avec $GWp3F$, la prédiction de la masse totale de l'aéronef en $p3$, prenant en compte le chargement (ou déchargement) et le transfert de carburant ; et

$$- Tp3F = Tp3 + \Delta Tp3$$

5 avec $Tp3F$, la prédiction de l'heure de passage en $p3$ (heure de départ prévue), prenant en compte le temps d'immobilisation en $p3$ dû à la durée de l'étape tactique.

Ainsi, en prenant en compte $GWp3F$, $FOBp3F$ et $Tp3F$ dans les calculs des prédictions à partir du point $p3$, on prend en compte la variation de la masse de la charge transportée, la variation de la masse de carburant à bord, et la durée d'immobilisation en $p3$, dues à l'étape tactique en $p3$.

10

On peut généraliser les principes précités conformes à l'invention. En effet, si dans le cadre d'un vol tactique, on considère un point de variation pi , auquel on a planifié un évènement tactique faisant varier la masse de la charge transportée et/ou la masse de carburant à bord, et/ou impliquant l'immobilisation de l'aéronef pendant une certaine durée en ce point pi , on applique le ou les paramètres suivants correspondant audit évènement tactique :

15

$$20 \quad - PWpiF = PWpi + \Delta PWpi$$

avec $PWpiF$, la prédiction de la masse de la charge transportée en pi , prenant en compte la variation de la masse de la charge transportée ($\Delta PWpi$) audit point pi ;

$$- FOBpiF = FOBpi + \Delta FOBpi$$

25 avec $FOBpiF$, la prédiction de la masse de carburant à bord en pi , prenant en compte le transfert de carburant ($\Delta FOBpi$) audit point pi ;

$$- GWpiF = FOBpiF + OWE + PWpiF$$

avec GW_{piF} , la prédiction de la masse totale de l'aéronef en pi , prenant en compte la variation de la masse de la charge transportée (ΔPW_{pi}) audit point pi et le transfert de carburant (ΔFOB_{pi}) audit point pi ;

– $T_{piF} = T_{pi} + \Delta T_{pi}$

5 avec T_{piF} , la prédiction de l'heure de passage en pi (heure de départ du point pi), prenant en compte le temps d'immobilisation en pi ; et

– en généralisant, $X_{piF} = X_{pi} + \Delta X_{pi}$

avec X_{piF} , la prédiction de la valeur d'un paramètre X quelconque en pi , prenant en compte la variation planifiée de ce paramètre en pi .

10 Ainsi, en prenant en compte GW_{piF} , FOB_{piF} , T_{piF} , et X_{piF} dans les calculs des prédictions à partir du point pi , on prend en compte la variation de la masse de la charge transportée, la variation de la masse de carburant à bord, la durée d'immobilisation en pi , et toute autre variation d'un paramètre X quelconque, dues à l'évènement tactique planifié audit point pi .

15 Selon l'invention, ledit paramètre X peut être le centre de gravité de l'aéronef, dans une utilisation du dispositif 1 où les prédictions sont calculées en prenant en compte les variations du centre de gravité.

20 Ledit paramètre X peut également représenter la masse à vide de l'aéronef (OWE), dans le cas d'un aéronef qui largue des éléments en vol de manière planifiée (armes, réservoirs additionnels...), ces éléments faisant initialement partie de l'aéronef sans son chargement et sans son carburant. Dans ce dernier cas, on peut étendre l'utilisation de l'invention pour prendre en compte les variations de traînée aérodynamique de 25 l'aéronef, dues à la disparition de ces éléments extérieurs, en considérant une mise en œuvre de l'invention faisant intervenir un facteur de traînée, qui permet d'ajuster le résultat des calculs de prédictions en fonction de la configuration aérodynamique de l'aéronef. Grâce à l'invention, la variation

du facteur de traînée peut être prise en compte dès la planification du vol. Il en est de même de la variation du centre de gravité de l'aéronef.

Selon l'invention, quel que soit le paramètre X, un opérateur peut à l'aide des moyens 8, soit entrer directement la variation ΔX_{pi} de ce paramètre X en p_i , soit entrer la valeur X_{piF} dudit paramètre X après variation en p_i . Les deux modes de réalisation sont équivalents, puisque ΔX_{pi} et X_{piF} sont liés par la relation suivante :

$$X_{piF} = X_{pi} + \Delta X_{pi}.$$

Par ailleurs, dans un mode de réalisation particulier :

- 10 – ledit dispositif 1 comporte, de plus, au moins une base de données 10 reliée par une liaison 11 à l'unité centrale 3 et contenant des variations de paramètre ΔX associées à des événements tactiques ;
- lesdits moyens d'entrée 8 sont formés de manière à permettre à un opérateur d'entrer des événements tactiques ; et
- 15 – ladite unité centrale 3 utilise automatiquement (pour déterminer le profil de vol PV) les variations de paramètre ΔX contenues dans ladite base de données 10 et associées à un événement tactique particulier, lorsque l'opérateur entre cet événement tactique à l'aide desdits moyens d'entrée 8.

20 Les moyens d'entrée 2 et 8 peuvent être regroupés dans une seule unité d'entrée 12. Cette unité d'entrée 12 peut, par exemple, coopérer avec les moyens d'affichage 5 pour former une interface.

Dans un mode de réalisation particulier, pour permettre à un opérateur d'entrer des variations de paramètre ou tout au moins pour faciliter une telle entrée, le dispositif 1 peut afficher, par exemple sur l'écran de visualisation 7 ou sur un autre écran spécifique, une page telle que la page 25 13 représentée sur la figure 3.

Cette page 13 comporte trois zones Z1, Z2 et Z3 :

- une zone Z1, dans laquelle le dispositif 1 affiche automatiquement des paramètres prédictifs pour un point pi du plan de vol PV, par exemple les paramètres Tpi (valant 08H32 sur l'exemple de la figure 3), FOBpi (05,3 tonnes [T]) et PWpi (23,0 tonnes) ;
- 5 – une zone Z2, permettant à un opérateur d'entrer des variations de paramètres particuliers dans des cases spécifiques 14, 15 et 16, en particulier les variations de paramètre ΔT_{pi} (00H25), ΔFOB_{pi} (+07,5 tonnes) et ΔPW_{pi} (-02,1 tonnes) ; et
- une zone Z3, dans laquelle le dispositif 1 affiche automatiquement les
10 nouveaux paramètres TpiF (08H37), FOBpiF (12,8 tonnes) et PWpiF (20,9 tonnes) pris en compte par l'unité centrale 3 pour élaborer le plan de vol tactique.

L'affichage est bien entendu adapté à l'évènement tactique considéré audit point pi. Ainsi, à titre d'exemple, pour un largage, seule la case
15 16 (ΔPW_{pi}) est affichée et accessible à un opérateur pour entrer la valeur appropriée.

Le dispositif 1 permet, par ailleurs, d'adapter au cas du vol tactique l'optimisation des vitesses pour chaque phase de vol (segments S1 à S4) et l'optimisation de l'altitude de croisière. Les phases tactiques (ravitaillement, largage, étape tactique) sont conduites à vitesse imposée et à
20 altitude imposée. Ces phases de vol ne sont donc pas soumises elles-mêmes à une optimisation de vitesse et d'altitude. Toutefois, ces phases de vol sont précédées de (et succédées par) des phases conventionnelles (montée, croisière, descente), auxquelles s'appliquent les calculs
25 d'optimisation. Si on considère la succession suivante : décollage, montée, phase de croisière 1, ..., phase tactique, ..., phase de croisière 2, ..., on peut calculer l'altitude optimale pour la phase de croisière 1 basée sur la masse prédite au début de la phase de croisière 1, et l'altitude optimale pour la phase de croisière 2 basée sur la masse prédite au début de la

phase de croisière 2, cette dernière masse prédite prenant en compte l'évènement tactique survenu lors de la phase tactique, grâce aux caractéristiques précitées conformes à l'invention. Le même principe s'applique pour le calcul des vitesses optimales, avant et après une phase tactique.

5 Pour des raisons stratégiques, l'équipage peut choisir de ne considérer que certains évènements tactiques pour leur prise en compte dans le calcul des prédictions. Pour ce faire :

- il définit les évènements tactiques planifiés ; et
- il sélectionne, parmi tous les évènements tactiques planifiés ainsi définis, ceux qui sont à prendre en compte.

10 Typiquement, pour une mission au cours de laquelle un aéronef doit être ravitaillé, l'équipage peut choisir de ne pas prendre en compte le ravitaillement, afin de considérer le cas où ce ravitaillement ne peut pas avoir lieu. Ainsi, il choisit de ne pas risquer de surestimer la quantité de carburant à bord, au-delà du point de ravitaillement. Toutefois, dans le cas

15 où ce ravitaillement n'est pas pris en compte, les prédictions seront optimistes du point de vue de la masse totale (donc du point de vue des performances de l'aéronef) après le point de ravitaillement. Un autre cas est celui du largage : le cas le plus pénalisant, pour la masse totale prédite (et donc pour les performances), est celui où le largage n'a pas lieu, la masse

20 sans carburant de l'aéronef restant identique après l'évènement.

On peut donc permettre à l'équipage de visualiser les prédictions, en adoptant une stratégie défavorable en termes de performances ou en termes de prédictions de carburant à bord. L'équipage peut également se

25 placer dans des hypothèses intermédiaires en sélectionnant individuellement les évènements à prendre en compte. On peut encore envisager une stratégie définie par défaut, modifiable ou non par l'équipage. On peut également envisager que les prédictions de carburant et les prédictions de

masse totale (et par conséquent les performances de l'aéronef) sont basées sur des hypothèses différentes.

Le dispositif 1 conforme à l'invention permet donc à un opérateur :

- 5 – de prendre en compte des événements tactiques d'un vol tactique pour les prédictions et l'optimisation du plan de vol, dès la préparation du vol, avant que ces événements interviennent ; et
- 10 – de sélectionner parmi ces événements ceux qui doivent être pris en compte, en fonction de la stratégie choisie pour calculer les prédictions, et pour permettre à l'équipage d'envisager tous les cas (suivant que l'on considère qu'un événement aura lieu ou non au cours du vol).

REVENDEICATIONS

1. Procédé de génération d'un plan de vol pour un vol tactique d'un aéronef, procédé selon lequel :

5 a) on définit des données d'entrée comportant au moins des données de masse et de chargement initiaux à l'aéronef, des données météorologiques, des points de passage (P1 à P5) du plan de vol et au moins un critère d'optimisation ; et

10 b) on détermine, à l'aide desdites données d'entrée, en mettant en œuvre une fonction de prédiction et une fonction d'optimisation, un profil de vol dudit plan de vol (PV) comprenant, pour chaque point de passage (P1 à P5) du plan de vol, une pluralité d'informations prédictives (T1 à T5, V1 à V5, A1 à A5, FOB1 à FOB5) et, entre deux points de passage successifs du plan de vol, des paramètres optimisés,

caractérisé en ce que :

15 α) on sélectionne des évènements tactiques dudit vol tactique, à prendre en compte ;

20 β) on détermine, pour chaque évènement tactique ainsi sélectionné, au moins un paramètre qui est modifié par cet évènement tactique à un point de variation particulier du plan de vol, ainsi que la variation dudit paramètre, correspondant à cette modification ; et

δ) on utilise à l'étape b), pour déterminer ledit profil de vol (PV), chaque variation de paramètre ainsi déterminée, prise en compte au point de variation correspondant.

2. Procédé selon la revendication 1,

25 caractérisé en ce qu'à l'étape α) :

α 1) on définit des évènements tactiques planifiés ; et

α 2) on sélectionne, parmi tous les évènements tactiques planifiés ainsi définis, ceux qui sont à prendre en compte.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que ledit critère d'optimisation définit un rapport entre la consommation de carburant de l'aéronef et le temps de vol.

5 4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdites informations prédictives comportent, pour chaque point de passage (P1 à P5), au moins l'heure de passage (T1 à T5), la vitesse de passage (V1 à V5), l'altitude de passage (A1 à A5) et la masse de carburant (FOB1 à FOB5) restant à bord de l'aéronef.

10 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits paramètres optimisés comportent au moins la vitesse optimale et, le cas échéant, l'altitude de croisière optimale, entre deux points de passage successifs.

15 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits évènements tactiques comportent au moins l'un des évènements suivants : un largage en vol, un ravitaillement en vol et une étape tactique comprenant un atterrissage.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit paramètre qui est modifié, correspond à l'un des paramètres suivants :

- 20
- la masse de la charge transportée par l'aéronef ;
 - la masse de carburant à bord de l'aéronef ;
 - la masse à vide de l'aéronef ;
 - l'heure de passage ;
 - la position du centre de gravité de l'aéronef ; et

25

 - la configuration aérodynamique de l'aéronef.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit point de variation particulier correspond :

- au point de fin de largage, pour un largage ;

- au point de fin de ravitaillement, pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitailleur ;
- au point de début de ravitaillement, pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitaillé ; et
- 5 – au point de début de la piste d'atterrissage, pour une étape tactique.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'à l'étape β), on détermine, comme variation de paramètre :

- pour un largage, la diminution de la masse de la charge transportée par l'aéronef ;
- 10 – pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitailleur, la diminution de la masse de carburant à bord de l'aéronef ;
- pour un ravitaillement réalisé par l'aéronef en tant que ravitaillé, l'augmentation de la masse de carburant à bord de l'aéronef ; et
- 15 – pour une étape tactique, la variation éventuelle de la masse de la charge transportée, la variation éventuelle de la masse de carburant à bord de l'aéronef et le temps d'arrêt au sol.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

- 20 caractérisé en ce qu'à l'étape δ), pour au moins un paramètre, on utilise directement la variation dudit paramètre.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

- 25 caractérisé en ce qu'à l'étape δ), pour au moins un paramètre, on utilise une valeur estimée dudit paramètre à la fin de l'évènement tactique correspondant, qui tient compte de la variation dudit paramètre.

12. Dispositif de génération d'un plan de vol pour un vol tactique d'un aéronef, ledit dispositif (1) comportant :

- des premiers moyens d'entrée (2) permettant à un opérateur d'entrer des données d'entrée comportant au moins des données de masse et de chargement initiaux de l'aéronef, des données météorologiques, des points de passage (P1 à P5) du plan de vol et au moins un critère d'optimisation ;
 - une unité centrale (3) pour déterminer, à l'aide desdites données d'entrée, en mettant en œuvre une fonction de prédiction et une fonction d'optimisation, un profil de vol (PV) dudit plan de vol comprenant, pour chaque point de passage (P1 à P5) du plan de vol, une pluralité d'informations prédictives (T1 à T5, V1 à V5, A1 à A5, FOB1 à FOB5) et, entre deux points de passage successifs du plan de vol, des paramètres optimisés ; et
 - des moyens d'affichage (5) pour présenter, sur un écran de visualisation (7), le profil de vol (PV) déterminé par ladite unité centrale (3),
- caractérisé en ce que :
- ledit dispositif (1) comporte, de plus, des seconds moyens d'entrée (8) permettant à un opérateur d'entrer, pour chaque évènement tactique du vol tactique, la variation d'au moins un paramètre qui est modifié par cet évènement tactique à un point de variation particulier du plan de vol ; et
 - ladite unité centrale (3) utilise, pour déterminer ledit profil de vol (PV), chaque variation de paramètre qui a été entrée à l'aide desdits seconds moyens d'entrée (8) et qui est prise en compte au point de variation correspondant.

25 13. Dispositif selon la revendication 12,

caractérisé en ce que :

- ledit dispositif (1) comporte, de plus, au moins une base de données (10) contenant des variations de paramètre associées à des évènements tactiques ;

- lesdits seconds moyens d'entrée (8) permettent à un opérateur d'entrer des évènements tactiques ; et
- ladite unité centrale (3) utilise automatiquement les variations de paramètre contenues dans ladite base de données (10) et associées à un évènement tactique particulier, lorsque l'opérateur entre cet évènement tactique à l'aide desdits seconds moyens d'entrée (8), pour déterminer ledit profil de vol (PV).

5
10
14. Aéronef,
caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (1) susceptible de mettre en œuvre le procédé spécifié sous l'une quelconque des revendications 1 à 11.

15. Aéronef,
caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (1) tel que celui spécifié sous l'une des revendications 12 et 13.

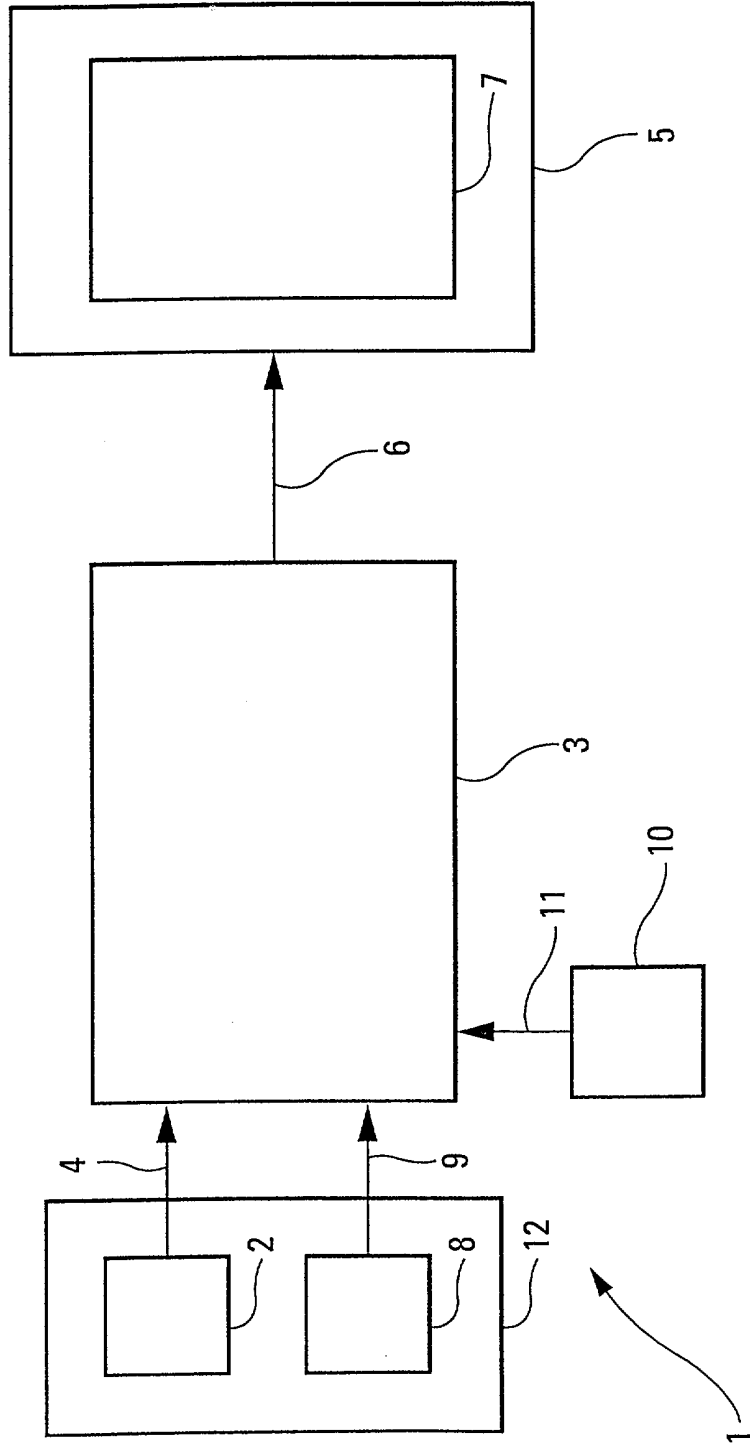


Fig. 1

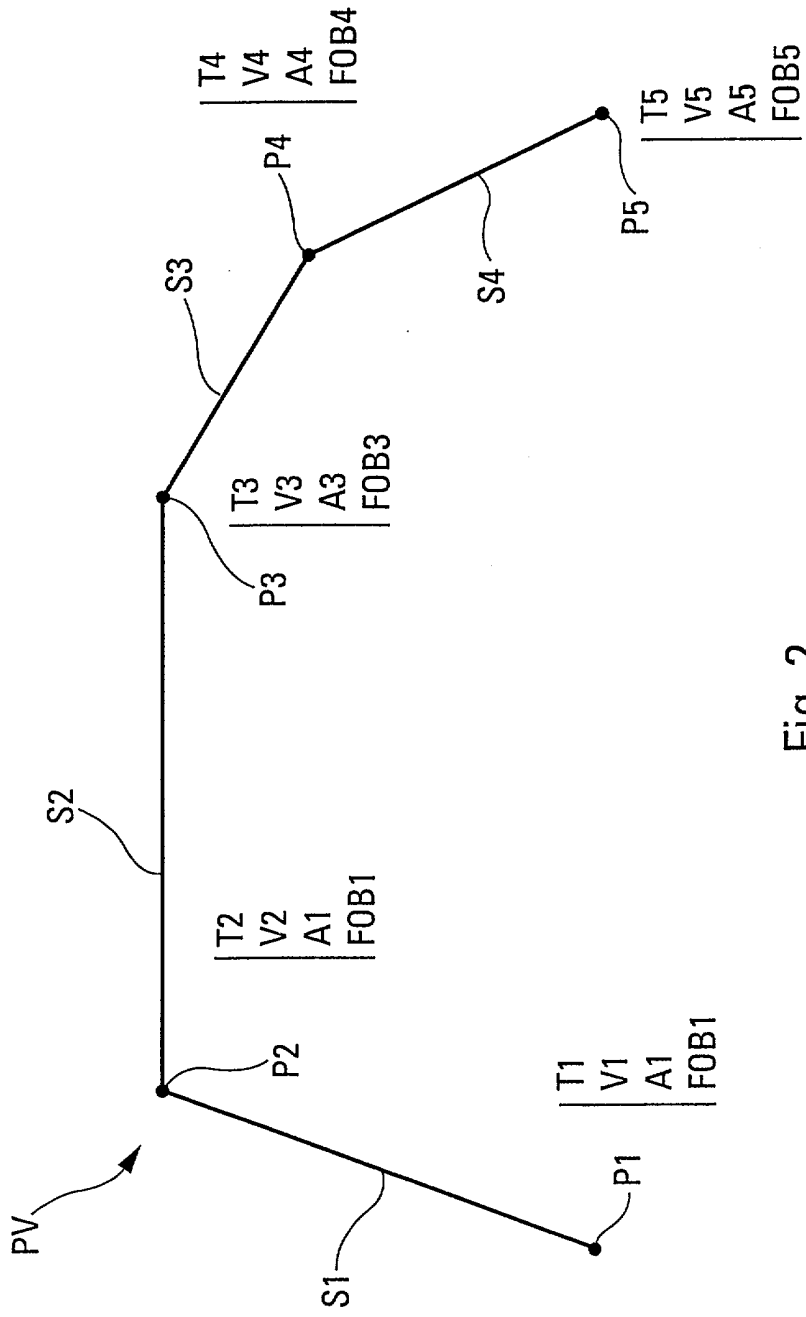


Fig. 2

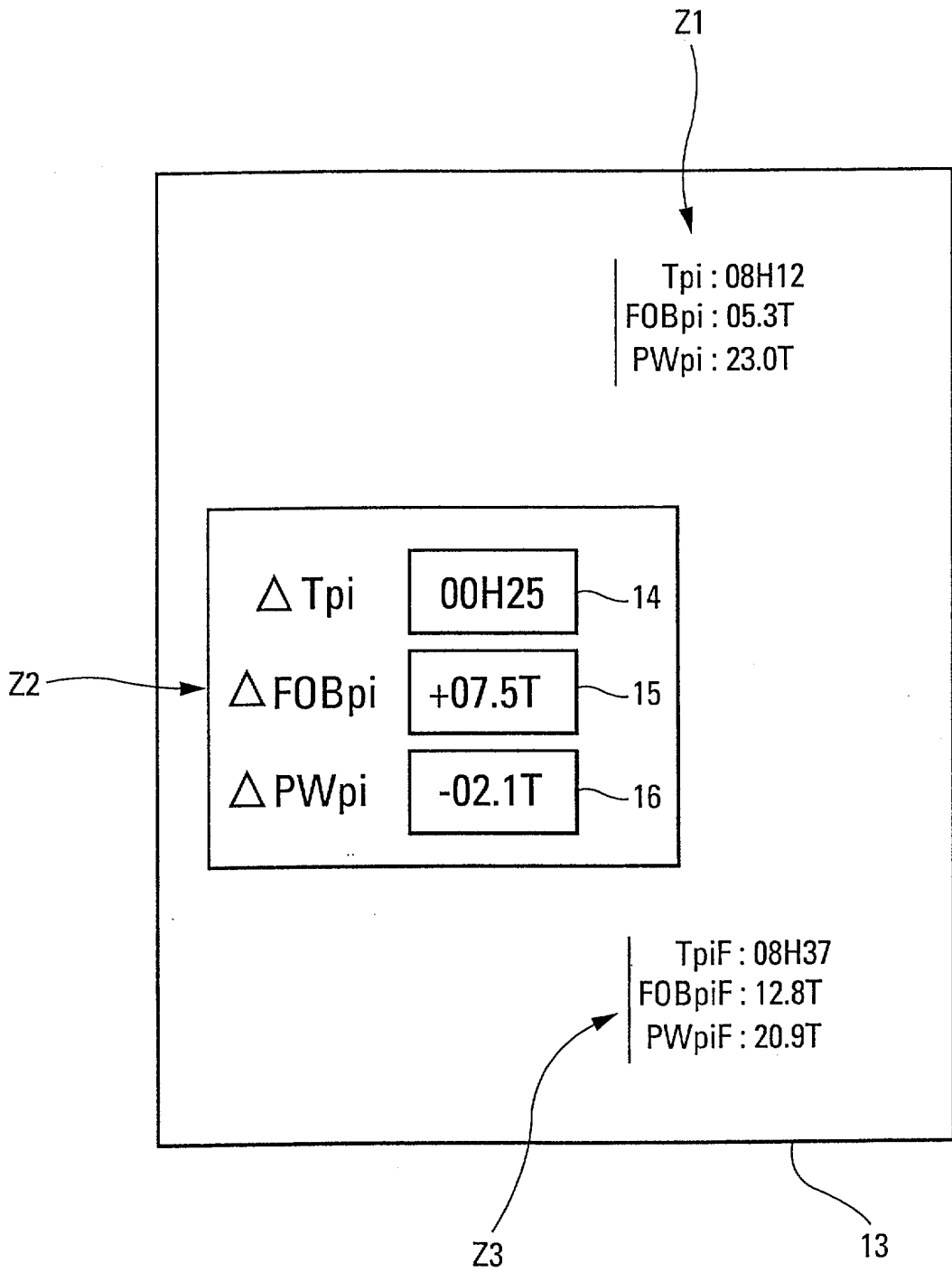


Fig. 3

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
X A	US 6 134 500 A (MUKHERJEE AMIT ET AL) 17 octobre 2000 (2000-10-17) * abrégé * * colonne 6, ligne 32 - colonne 7, ligne 53; figures 1,2 *	1,3-5, 12-15 7,10,11	G06F19/00
A	US 5 121 325 A (DEJONGE MICHAEL K) 9 juin 1992 (1992-06-09) * abrégé * * colonne 12, ligne 21 - ligne 47; figures 1,2 * * colonne 13, ligne 5 - colonne 14, ligne 10; figures 4,5 *	1,3-5, 12,14,15	
A	US 5 574 647 A (LIDEN SAM P) 12 novembre 1996 (1996-11-12) * colonne 8, ligne 37 - ligne 67; figure 7 *	1,4,5, 12,14,15	
A	US 5 890 101 A (HAAS DAVID J ET AL) 30 mars 1999 (1999-03-30) * colonne 5, ligne 25 - colonne 7, ligne 54; figure 1 * * colonne 8, ligne 51 - colonne 9, ligne 26; figure 2 *	1,4,7, 12,14,15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			G06F G08G B64F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 mars 2004		Heß, D	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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</p> <p>& : membre de la même famille, document correspondant</p>			

2007 100

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0308270 FA 636328**

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 **12-03-2004**

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 6134500 A	17-10-2000	AUCUN	

US 5121325 A	09-06-1992	AUCUN	

US 5574647 A	12-11-1996	AUCUN	

US 5890101 A	30-03-1999	US 5751609 A	12-05-1998

EPO FORM P0485