

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :

**2 932 287**

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

②1 N° d'enregistrement national :

**08 03189**

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **G 05 D 1/10** (2006.01), **B 64 C 13/18**, **B 64 D 43/00**

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

**A1**

②2 Date de dépôt : 09.06.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 11.12.09 Bulletin 09/50.

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 anonyme — FR, OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES (ONERA) Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR et INSTITUT SUPERIEUR DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE Etablissement public à caractère scientifique et culturel — FR.

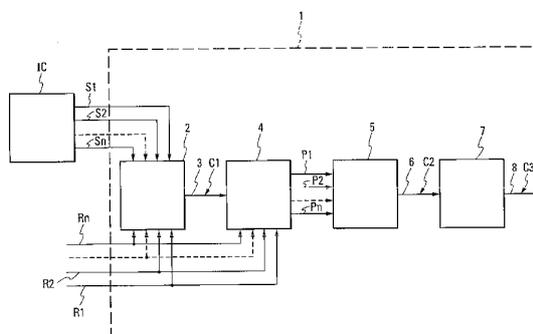
⑦2 Inventeur(s) : DEHAIS FREDERIC, LESIRE CHARLES, TESSIER CATHERINE et CHRISTOPHE LAURE.

⑦3 Titulaire(s) : AIRBUS FRANCE Société anonyme, OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES (ONERA) Etablissement public à caractère industriel et commercial, INSTITUT SUPERIEUR DE L'AERONAUTIQUE ET DE L'ESPACE Etablissement public à caractère scientifique et culturel.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET BLOCH & BONNETAT.

⑤4 PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LA DETECTION DE CONFLITS DE PILOTAGE ENTRE L'EQUIPAGE ET LE PILOTE AUTOMATIQUE D'UN AERONEF.

⑤7 Selon l'invention, on vérifie (en 2) que les valeurs réelles de paramètres de navigation convergent vers des valeurs souhaitées dans un délai prédéterminé. Sinon, on effectue (en 4) un calcul prédictif de la valeur d'au moins un paramètre particulier à des instants futurs successifs et on émet éventuellement (en 6) une alerte à l'attention de l'équipage.



FR 2 932 287 - A1



La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour la détection de conflits de pilotage entre l'équipage et le pilote automatique d'un aéronef susceptibles de mettre en cause la sécurité du vol dudit aéronef, ainsi qu'un aéronef pourvu d'un tel dispositif.

5 On sait que la plupart des aéronefs, notamment les avions de transport civil, sont équipés d'un pilote automatique qui permet de contrôler la trajectoire et la vitesse suivant des consignes préétablies par l'équipage. Un tel pilote automatique est un automate à états finis, chaque état correspondant à un mode de pilotage particulier pour le contrôle du  
10 pilotage dans le plan vertical et dans le plan horizontal ainsi que pour la tenue de vitesse.

On sait de plus que le passage d'un mode de pilotage à un autre est généralement réalisé par une action volontaire de l'équipage sur les interfaces de commande du pilote automatique.

15 Il est également connu que, du fait de l'existence de fortes interactions entre les différents modes de pilotage, une simple action de l'équipage sur les interfaces de commande du pilote automatique peut provoquer une cascade de transitions de modes de ce dernier, cette cascade ayant des conséquences sur le contrôle du pilotage dans le plan ver-  
20 tical et dans le plan horizontal ainsi que sur la tenue de vitesse de l'aéronef.

En outre, une action volontaire de l'équipage sur des commandes de pilotage (par exemple le levier de commande des aérofreins), autres que celles associées au pilote automatique, peut également déclencher  
25 des transitions de modes du pilote automatique.

Dans certaines conditions, des transitions de modes peuvent aussi survenir automatiquement sans action volontaire de l'équipage, afin de protéger l'aéronef contre des sorties de domaines de vol.

5           Quelle que soit la cause du changement de modes de pilotage du pilote automatique, l'équipage en est informé par une ou plusieurs alertes visuelles sur les interfaces de pilotage, ainsi que par des alarmes sonores.

10           Or, malgré ces systèmes d'alerte visuels et auditifs, les équipages peuvent ne pas s'apercevoir d'au moins un changement de modes du pilote automatique de l'aéronef (par exemple à cause d'une charge de travail importante ou particulièrement stressante) et continuer à agir comme si le pilote automatique était toujours dans le même mode de pilotage souhaité.

15           En outre, même alertés, les équipages, qui généralement méconnaissent les conditions de déclenchement des transitions de modes, peinent à réagir face à ces changements de modes, ce qui peut conduire à des situations critiques dans lesquelles les équipages se rendent par exemple compte que le pilote automatique effectue des actions non souhaitées ; toutefois, ces équipages ne connaissent généralement pas la procédure à appliquer pour revenir au mode de pilotage souhaité.

20           Par ailleurs, une défaillance du pilote automatique non détectée et non signalée peut entraîner une modification de la trajectoire de l'aéronef sans que l'équipage en soit averti.

          La présente invention a pour objet de remédier à ces inconvénients et notamment de détecter de tels conflits de pilotage pour en avertir l'équipage.

25           A cette fin, selon l'invention, le procédé pour la détection de conflits de pilotage entre l'équipage et le pilote automatique d'un aéronef dans lequel est programmée une trajectoire automatique, ladite trajectoire automatique étant définie par des valeurs de paramètres relatifs à la navigation souhaitées par l'équipage dudit aéronef,

est remarquable en ce que, de façon séquentielle :

- a) on vérifie que les valeurs réelles desdits paramètres relatifs à la navigation convergent vers lesdites valeurs souhaitées correspondantes dans un délai de convergence prédéterminé ;
- 5 b) dans le cas où au moins une desdites valeurs réelles ne converge pas, dans ledit délai de convergence, vers la valeur souhaitée correspondante, on effectue un calcul prédictif, à des instants futurs successifs, de la valeur d'au moins un paramètre particulier choisi parmi lesdits paramètres relatifs à la navigation ; et
- 10 c) dans le cas où la valeur prédite dudit paramètre particulier est supérieure à un seuil prédéfini correspondant, on émet une alerte à l'attention de l'équipage dudit aéronef de manière à l'avertir d'un conflit de pilotage apte à mettre en cause la sécurité du vol dudit aéronef.

Ainsi, le procédé de l'invention permet de détecter des conflits de  
15 pilotage entre l'équipage et le pilote automatique de l'aéronef sans avoir besoin de les modéliser ou de les définir a priori. Dans la mise en œuvre du procédé conforme à la présente invention, ledit calcul prédictif dudit paramètre particulier peut être réalisé de toute manière connue, par exemple à l'aide d'un dispositif à filtre de Kalman ou à filtre particulière.

20 En outre, même en cas de panne du pilote automatique non détectée, l'équipage est averti que l'aéronef ne poursuit pas la trajectoire automatique souhaitée.

Avantageusement, ladite alerte à l'attention de l'équipage comprend une information sur l'origine dudit conflit de pilotage.

25 Ainsi, grâce à cette information pertinente, l'équipage est apte à réagir de façon appropriée au conflit de pilotage pour revenir à une situation normale sécurisée.

Selon l'invention, ladite vérification a) met de préférence en œuvre le modèle des transitions des modes de pilotage associé audit pilote automatique et des équations de la mécanique du vol propres audit aéronef.

L'invention concerne également un dispositif pour la mise en œuvre du procédé précité. Un tel dispositif à bord d'un aéronef pourvu d'un pilote automatique dans lequel est programmée une trajectoire automatique, ladite trajectoire automatique étant définie par des valeurs de paramètres relatifs à la navigation souhaitées par l'équipage dudit aéronef, est remarquable en ce qu'il comporte :

- 10 – des moyens de vérification, recevant les valeurs souhaitées desdits paramètres relatifs à la navigation ainsi que les valeurs réelles correspondantes, pour vérifier que lesdites valeurs réelles convergent vers lesdites valeurs souhaitées correspondantes dans un délai de convergence prédéterminé ;
- 15 – des moyens de calcul, recevant la valeur réelle d'au moins un paramètre particulier choisi parmi lesdits paramètres relatifs à la navigation, pour réaliser un calcul prédictif de la valeur dudit paramètre particulier à des instants futurs successifs, dans le cas où lesdits moyens de vérification détectent l'absence de convergence d'au moins une desdites valeurs
- 20 réelles, dans ledit délai de convergence, vers la valeur souhaitée correspondante ;
- des moyens de comparaison, recevant la valeur prédite dudit paramètre particulier, pour la comparer à un seuil prédéfini correspondant ; et
- 25 – des moyens d'alerte pour émettre une alerte à l'attention de l'équipage, dans le cas où lesdits moyens de comparaison détectent que ladite valeur prédite est supérieure audit seuil prédéfini correspondant.

L'invention concerne de plus un aéronef. Un tel aéronef est remarquable en ce qu'il comporte le dispositif tel que mentionné ci-dessus.

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 représente schématiquement, sous forme synoptique, un mode de réalisation particulier de la présente l'invention.

Les figures 2 et 3 illustrent deux exemples de mise en œuvre de l'invention.

Sur la figure 1, on a représenté le schéma synoptique d'un exemple de dispositif 1 mettant en œuvre l'invention et monté à bord d'un aéronef (non représenté).

On y a de plus illustré schématiquement les interfaces de commande IC du pilote automatique de l'aéronef. Le pilote automatique est apte à engendrer des ordres de pilotage pour l'aéronef (non représenté), à partir d'une trajectoire souhaitée par les pilotes et que ceux-ci ont programmée dans ledit pilote automatique à partir des interfaces de commande IC sous la forme de valeurs souhaitées de paramètres relatifs à la navigation (par exemple la vitesse, l'altitude, le cap, etc ...).

Le dispositif 1 comporte notamment :

– des moyens de vérification 2 qui reçoivent des signaux  $S_1, S_2, \dots, S_n$  représentatifs des valeurs des paramètres relatifs à la navigation souhaitées par les pilotes, en provenance des interfaces de commande IC du pilote automatique, et des signaux  $R_1, R_2, \dots, R_n$  représentatifs des valeurs réelles de ces mêmes paramètres en provenance de moyens de mesure (non représentés). A partir du modèle des transitions des modes de pilotage associé au pilote automatique et des équations de la mécanique du vol propres à l'aéronef, les moyens de vérification 2 sont aptes à vérifier périodiquement (selon une période prédéfinie) que chacune des valeurs réelles converge vers la valeur souhaitée correspondante dans un délai de convergence prédéterminé. Lorsqu'au moins une des

valeurs réelles ne converge pas vers la valeur souhaitée correspondante dans ce délai de convergence, les moyens de vérification 2 sont aptes à engendrer, à leur sortie 3, un signal C1 représentatif de l'absence de convergence d'au moins une des valeurs réelles ;

- 5 – des moyens de calcul 4 qui reçoivent l'ensemble des signaux R1, R2, ..., Rn et qui sont activés par le signal C1. Ainsi, lorsque le signal C1 apparaît à la sortie 3 des moyens de vérification 2, les moyens de calcul 4 sont aptes à effectuer un calcul prédictif, à des instants futurs successifs, de la valeur de certains desdits paramètres relatifs à la navigation, de préférence différents du ou des paramètres dont les valeurs
- 10 réelles ne convergent pas. Bien entendu, on peut envisager que les moyens de calcul soient aptes, grâce à un dispositif à filtre de Kalman ou à filtre particulière, à effectuer un calcul prédictif de la valeur de l'ensemble des paramètres relatifs à la navigation, ou bien d'un seul paramètre correctement choisi. Les moyens de calcul 4 sont alors aptes à
- 15 délivrer en sortie des signaux P1, P2, ..., Pn représentatifs des valeurs prédites ;
- des moyens de comparaison 5, qui reçoivent les signaux P1, P2, ..., Pn, sont activés par ces derniers. Ainsi, lorsque les signaux P1, P2, ..., Pn apparaissent en sortie des moyens de calcul 4, les moyens de comparaison 5 sont aptes à comparer chacune des valeurs prédites (associées aux signaux P1, P2, ..., Pn) à un seuil prédéfini correspondant. Lorsqu'au moins une desdites valeurs prédites dépasse le seuil correspondant, les moyens de comparaison 5 sont aptes à engendrer, à leur
- 20 sortie 6, un signal C2 représentatif du fait qu'un conflit de pilotage entre le pilote automatique et les pilotes de l'aéronef amène à mettre en cause la sécurité du vol et risque de conduire l'aéronef :
- soit à un dépassement de son niveau de vol souhaité ;
  - soit à un écart avec sa trajectoire horizontale souhaitée ;
- 25

- soit à une sortie de domaine de vol ;
- soit à une collision avec le terrain ou un autre aéronef ;
- etc ...

En outre, le signal C2 peut avantageusement comporter des informations représentatives du ou des paramètres relatifs à la navigation dont les valeurs prédites non attendues sont à l'origine du conflit de pilotage ; et

– des moyens d'alerte 7 commandés par ledit signal C2.

Ainsi, lorsque le signal C2 apparaît à la sortie 6 des moyens de comparaison 5 (signifiant qu'un conflit de pilotage amène à mettre en cause la sécurité du vol de l'aéronef), les moyens d'alerte 7 sont aptes à émettre, à l'attention des pilotes, une alerte sonore dans le cockpit de l'aéronef et une alerte visuelle sur les interfaces de pilotage. Avantageusement, selon l'invention, à partir des informations contenues dans le signal C2, les moyens d'alerte 7 sont également aptes à délivrer, à leur sortie 8, un signal C3 représentatif d'informations pertinentes précisant, par exemple, le ou les paramètres dont les valeurs prédites inattendues impliquent une mise en cause de la sécurité du vol de l'aéronef. Ces informations pertinentes peuvent ensuite apparaître sur les interfaces de pilotage de l'aéronef pour que les pilotes puissent connaître l'origine du conflit de pilotage et ainsi effectuer les opérations appropriées pour revenir à une situation normale sécurisée.

Les figures 2 et 3 illustrent deux situations (parmi d'autres non représentées) dans lesquelles la présente invention contribue à améliorer la sécurité aérienne.

Sur la figure 2, on a représenté un aéronef AC à bord duquel est monté le dispositif 1 précédemment décrit. L'aéronef AC est en palier à un niveau de vol d'altitude N1 (par exemple supérieur à 35 000 pieds) et son pilote automatique est connecté afin de contrôler la trajectoire automati-

que T1 correspondante. A l'instant  $t_0$ , sous l'effet d'une turbulence (symbolisée par la flèche B), la vitesse de l'aéronef AC augmente jusqu'à dépasser la vitesse maximale autorisée, ce qui a pour conséquence de déconnecter le pilote automatique et d'amener l'aéronef AC à se cabrer.

5 Dans cette situation, le dispositif 1 détecte que les valeurs réelles de certains paramètres relatifs à la navigation (par exemple pour tenir le niveau de vol d'altitude N1) ne convergent pas vers les valeurs correspondantes souhaitées par les pilotes. Le dispositif 1 conforme à l'invention est alors capable de prédire que la nouvelle trajectoire T1' met en cause la sécurité  
10 de l'aéronef AC en le faisant changer de niveau de vol. Il avertit ensuite les pilotes de cet événement susceptible de mettre en cause la sécurité du vol en leur communiquant des informations sur l'origine du changement de trajectoire.

Dans l'exemple de la figure 3, l'aéronef AC est en phase de montée dans un mode de pilotage donné pour rejoindre l'altitude N2 et le pilote automatique est connecté afin de contrôler la trajectoire automatique T2 correspondante. A l'instant  $t_1$ , pour une certaine raison, une panne non détectée du pilote automatique (par exemple une perte de canal de l'unité de contrôle de vol FCU (pour Flight Control Unit)) amène l'aéronef AC à  
15 poursuivre sa montée en dépassant l'altitude N2. Dans cette situation, le dispositif 1 détecte que les valeurs réelles de certains paramètres relatifs à la navigation (par exemple pour atteindre puis maintenir le niveau de vol d'altitude N2) ne convergent pas vers les valeurs correspondantes souhaitées par les pilotes. Le dispositif 1 est alors capable de prédire que la nouvelle trajectoire T2' met en cause la sécurité de l'aéronef AC en le faisant  
20 changer de niveau de vol. Il avertit alors l'équipage de cette situation critique en l'informant de l'origine de la modification de la trajectoire initialement programmée.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé pour la détection de conflits de pilotage entre l'équipage et le pilote automatique d'un aéronef (AC) dans lequel est programmée une trajectoire automatique (T1, T2), ladite trajectoire automatique (T1, T2) étant définie par des valeurs de paramètres relatifs à la navigation souhaitées par l'équipage dudit aéronef (AC),
- 5 caractérisé en ce que, de façon séquentielle :
- a) on vérifie que les valeurs réelles desdits paramètres relatifs à la navigation convergent vers lesdites valeurs souhaitées correspondantes dans
- 10 un délai de convergence prédéterminé ;
- b) dans le cas où au moins une desdites valeurs réelles ne converge pas, dans ledit délai de convergence, vers la valeur souhaitée correspondante, on effectue un calcul prédictif, à des instants futurs successifs, de la valeur d'au moins un paramètre particulier choisi parmi lesdits
- 15 paramètres relatifs à la navigation ; et
- c) dans le cas où la valeur prédite dudit paramètre particulier est supérieure à un seuil prédéfini correspondant, on émet une alerte à l'attention de l'équipage dudit aéronef (AC) de manière à l'avertir d'un conflit de pilotage apte à mettre en cause la sécurité du vol dudit aéro-
- 20 nef (AC).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite alerte à l'attention de l'équipage comprend une information sur l'origine dudit conflit de pilotage.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2,
- 25 caractérisé en ce que ladite vérification a) met en œuvre le modèle des transitions des modes de pilotage associé audit pilote automatique et des équations de la mécanique du vol propres audit aéronef (AC).

4. Dispositif pour la mise en œuvre du procédé spécifié sous l'une des revendications 1 à 3, à bord d'un aéronef (AC) pourvu d'un pilote au-

tomatique dans lequel est programmée une trajectoire automatique (T1, T2), ladite trajectoire automatique (T1, T2) étant définie par des valeurs de paramètres relatifs à la navigation souhaitées par l'équipage dudit aéronef (AC),

5 caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens des moyens de vérification (2), recevant les valeurs souhaitées desdits paramètres relatifs à la navigation ainsi que les valeurs réelles correspondantes, pour vérifier que lesdites valeurs réelles convergent vers lesdites valeurs souhaitées correspondantes dans un  
10 délai de convergence prédéterminé ;
- des moyens de calcul (4), recevant la valeur réelle d'au moins un paramètre particulier choisi parmi lesdits paramètres relatifs à la navigation, pour réaliser un calcul prédictif de la valeur dudit paramètre particulier à des instants futurs successifs, dans le cas où lesdits moyens de  
15 vérification détectent l'absence de convergence d'au moins une desdites valeurs réelles, dans ledit délai de convergence, vers la valeur souhaitée correspondante ;
- des moyens de comparaison (5), recevant la valeur prédite dudit paramètre particulier, pour la comparer à un seuil prédéfini correspondant ; et  
20
- des moyens d'alerte (7) pour émettre une alerte à l'attention de l'équipage, dans le cas où lesdits moyens de comparaison (5) détectent que ladite valeur prédite est supérieure audit seuil prédéfini correspondant.

25 5. Aéronef,

caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif (1) tel que spécifié sous la revendication 4.

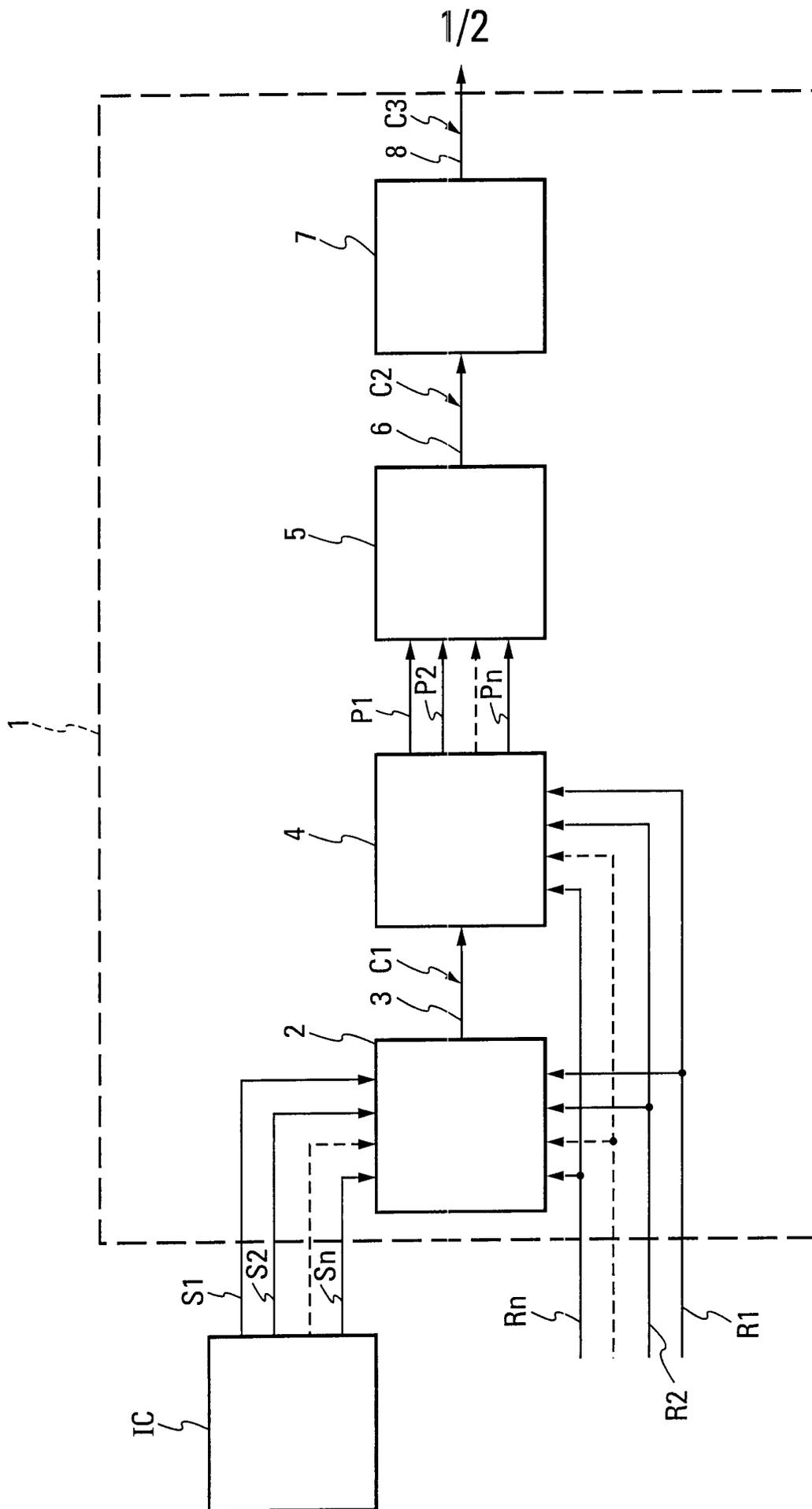


Fig. 1

2/2

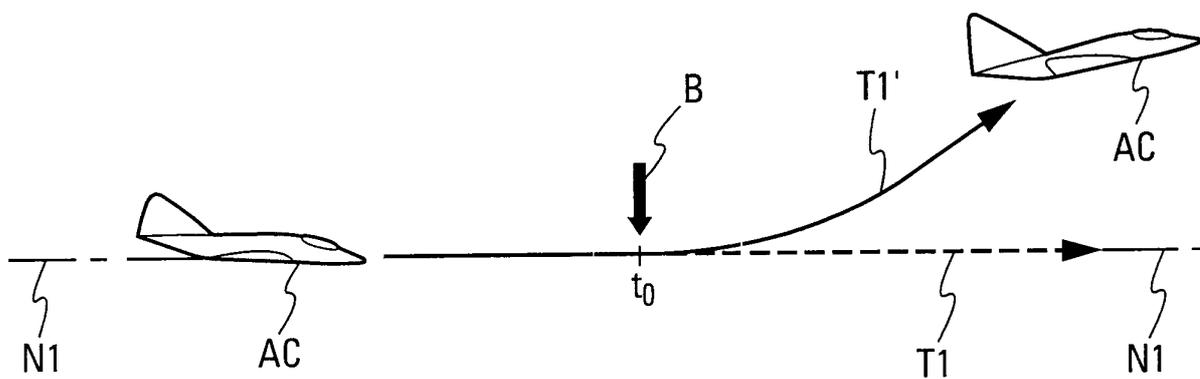


Fig. 2

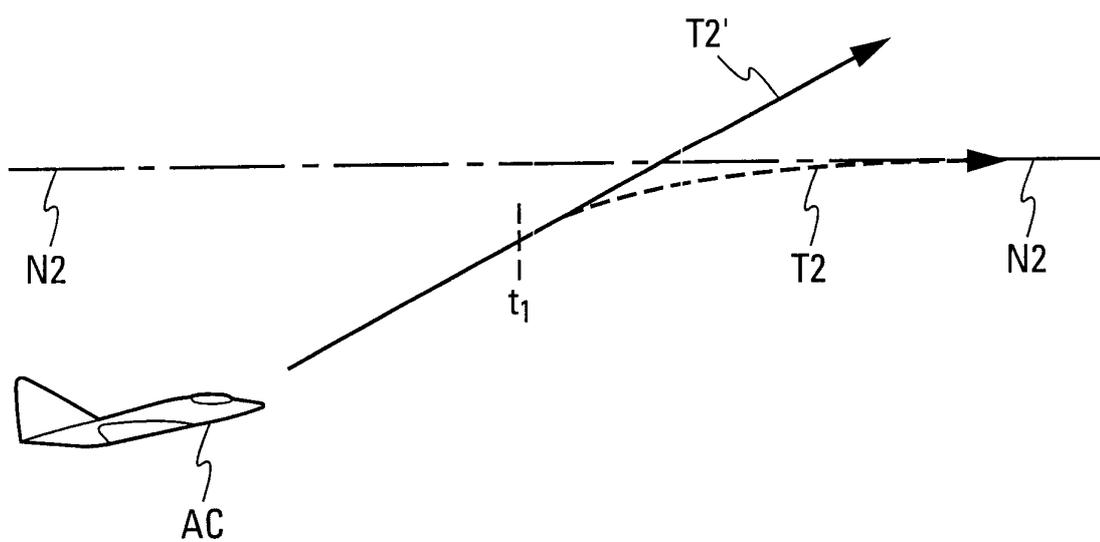


Fig. 3



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 708675  
FR 0803189

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 1 598 721 A (AIRBUS FRANCE [FR]) 23 novembre 2005 (2005-11-23) * alinéas [0006] - [0017] * * alinéas [0053] - [0056]; figures 9,10 *	1,2,4,5	G05D1/08 B64C13/18 B64D43/00
A	-----	3	
A	FR 2 689 668 A (DASSAULT ELECTRONIQUE [FR]) 8 octobre 1993 (1993-10-08) * abrégé * * page 17, ligne 8 - page 21, ligne 9; figures 1,15a,18 * -----	1-5	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G05D
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		4 mars 2009	Helot, Henri
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0803189 FA 708675**

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 04-03-2009

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1598721      A	23-11-2005	CA      2502622 A1	18-11-2005
		FR      2870605 A1	25-11-2005
		US      2005273249 A1	08-12-2005
-----			
FR 2689668      A	08-10-1993	AT      147869 T	15-02-1997
		CA      2093546 A1	08-10-1993
		DE      69307377 D1	27-02-1997
		DE      69307377 T2	03-07-1997
		DK      565399 T3	14-07-1997
		EP      0565399 A1	13-10-1993
		ES      2099391 T3	16-05-1997
		GR      3022297 T3	30-04-1997
		JP      6024393 A	01-02-1994
		RU      2124760 C1	10-01-1999
		US      5488563 A	30-01-1996
-----			