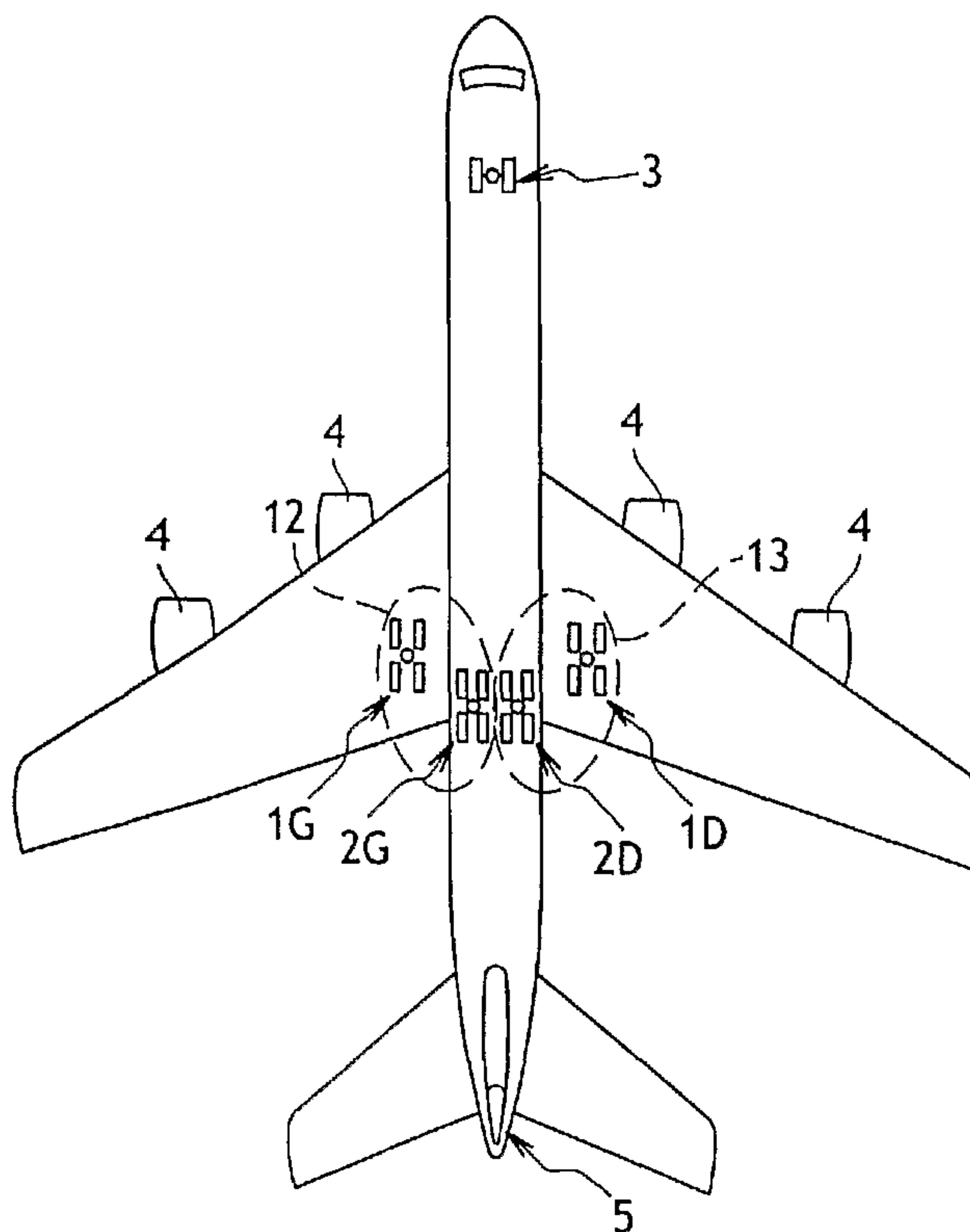




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2007/03/13  
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2007/09/20  
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2007/11/29  
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2007/000436  
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2007/104861  
 (30) Priorité/Priority: 2006/03/13 (FR06 02181)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *B60T 8/17* (2006.01),  
*B60T 8/32* (2006.01), *B64C 25/42* (2006.01)  
 (71) Demandeur/Applicant:  
MESSIER-BUGATTI, FR  
 (72) Inventeurs/Inventors:  
DELLAC, STEPHANE, FR;  
JACQUET, ARNAUD, FR;  
GISSINGER, GERARD LEON, FR;  
BASSET, MICHEL, FR;  
CHAMAILLARD, YANN, FR;  
GARCIA, JEAN-PIERRE, FR  
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : PROCÉDE DE REPARTITION DU FREINAGE DANS AU MOINS UN GROUPE DE FREINS D'UN AERONEF  
 (54) Title: METHOD FOR BRAKE PROPORTIONING IN AT LEAST ONE BRAKE GROUP OF AN AIRCRAFT



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne un procédé de gestion du freinage d'un aéronef comportant une pluralité de freins comportant des éléments de friction, comportant les étapes de, pour au moins un groupe de freins (12, 13); estimer un niveau d'effort de freinage à réaliser par les freins de ce groupe; estimer des efforts unitaires de freinage pour chacun des freins de ce groupe de sorte que les efforts unitaires de freinage permettent d'assurer, au moins dans des conditions normales de fonctionnement des freins, un freinage selon le niveau d'effort de freinage requis, les efforts unitaires de freinage étant déterminé pour satisfaire également à au moins un autre objectif opérationnel donné.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international(43) Date de la publication internationale  
20 septembre 2007 (20.09.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2007/104861 A1**(51) Classification internationale des brevets :  
B60T 8/17 (2006.01) B64C 25/42 (2006.01)  
B60T 8/32 (2006.01)

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : DELLAC, Stéphane [FR/FR]; 22 rue Gaston Doumergue, F-31170 Tournefeuille (FR). JACQUET, Arnaud [FR/FR]; 29 avenue Jean Jaurès, F-92140 Clamart (FR). GISSINGER, Gérard Léon [FR/FR]; 4 rue de Bernwiller, F-68210 Balschwiller (FR). BASSET, Michel [FR/FR]; 13 rue des Chevreuils, F-68990 Heimsbrunn (FR). CHAMAILLARD, Yann [FR/FR]; 24 rue du Buisson, F-45130 Le Bardon (FR). GARCIA, Jean-Pierre [FR/FR]; 2 Allée de la Massane, F-31170 Colomiers (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2007/000436

(22) Date de dépôt international : 13 mars 2007 (13.03.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
06 02181 13 mars 2006 (13.03.2006) FR

(74) Mandataires : PARZY, Benjamin etc.; c/o CABINET BOETTCHER, 22 rue du Général Foy, F-75008 Paris (FR).

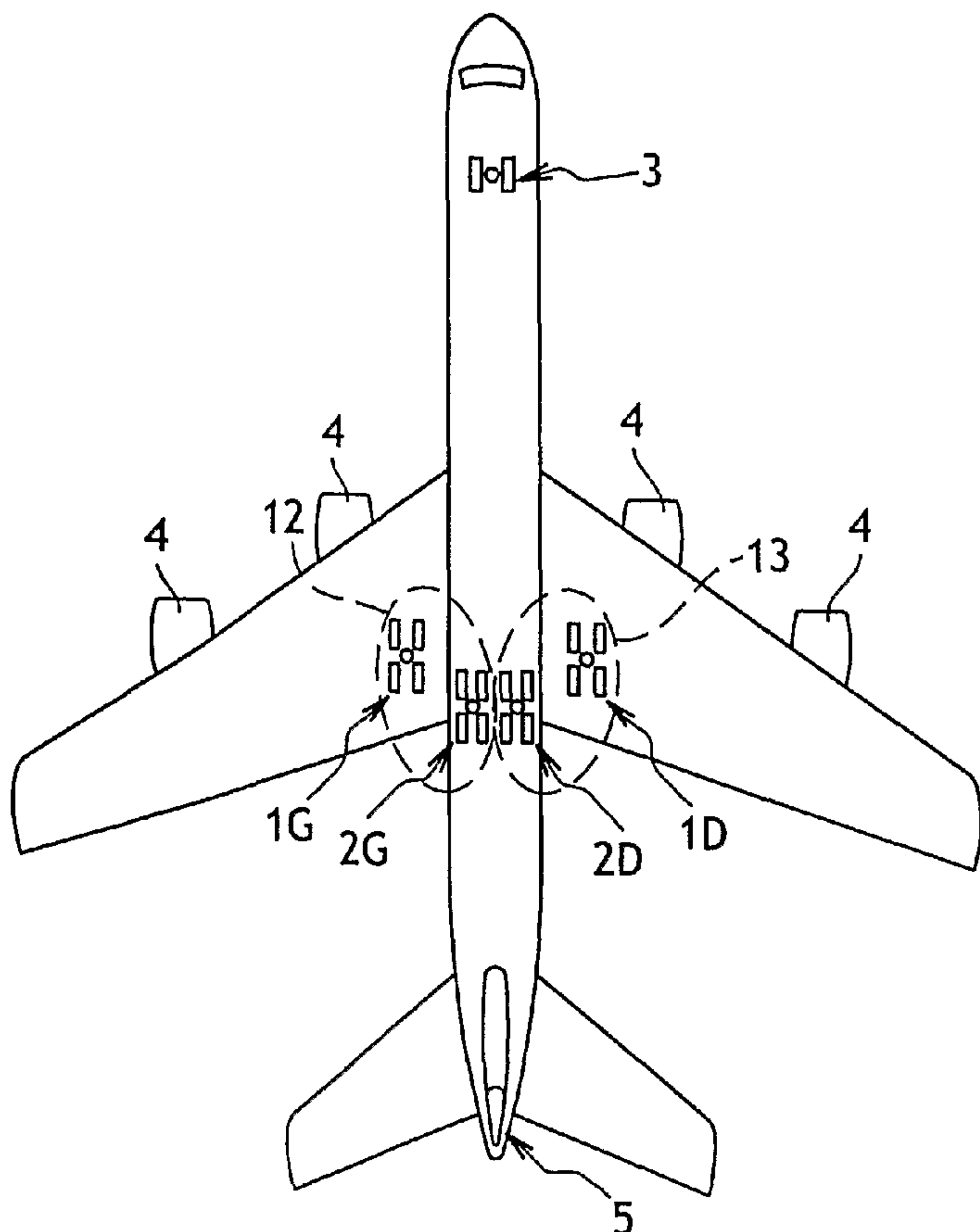
(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
MESSIER-BUGATTI [FR/FR]; Zone Aéronautique Louis Bréguet, F-78140 Velizy Villacoublay (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD FOR BRAKE PROPORTIONING IN AT LEAST ONE BRAKE GROUP OF AN AIRCRAFT

(54) Titre : PROCÉDE DE REPARTITION DU FREINAGE DANS AU MOINS UN GROUPE DE FREINS D'UN AERONEF



(57) Abstract: The invention concerns a method for brake control of an aircraft comprising multiple brakes having friction elements, including the following steps, for at least one brake group (12, 13): estimating a brake load to be achieved by said brake group; estimating unit brake loads for each of the brakes of said group such that all the unit brake loads enable, at least under normal operating conditions of the brakes, a braking to be provided according to the required brake load level, the unit brake loads being determined to satisfy at least one other given operational objective as well.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de gestion du freinage d'un aéronef comportant une pluralité de freins comportant des éléments de friction, comportant les étapes de, pour au moins un groupe de freins (12,13); estimer un niveau d'effort de freinage à réaliser par les freins de ce groupe; estimer des efforts unitaires de freinage pour chacun des freins de ce groupe de sorte que les efforts unitaires de freinage permettent d'assurer, au moins dans des conditions normales de fonctionnement des freins, un freinage selon le niveau d'effort de freinage requis, les efforts unitaires de freinage étant déterminé pour satisfaire également à au moins un autre objectif opérationnel donné.

WO 2007/104861 A1

**WO 2007/104861 A1**

JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Déclaration en vertu de la règle 4.17 :**

— *relative au droit du déposant de revendiquer la priorité de la demande antérieure (règle 4.17.iii)*

**Publiée :**

— *avec rapport de recherche internationale*  
— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

Procédé de répartition du freinage dans au moins un  
groupe de freins d'un aéronef

L'invention concerne un procédé de répartition de  
5 freinage dans au moins un groupe de freins d'un aéronef.

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

Les aéronefs d'une certaine importance sont générale-  
ment équipés d'un calculateur de freinage qui, pour  
assurer une décélération donnée, génère un objectif d'ef-  
10 fort de freinage en réponse soit d'un appui par le pilote  
sur les pédales de freins, soit en réponse à une sélection  
par le pilote d'un niveau de décélération déterminé  
(fonction "autobrake"). Cet objectif d'effort de freinage  
est en pratique réalisé en envoyant des consignes de  
15 freinage aux organes de distribution de puissance asso-  
ciés aux freins, identiques pour tous les freins et qui  
sont telles que la somme des efforts de freinage dévelop-  
pés par les freins en réponse à ces consignes de freinage  
réalise l'objectif d'effort de freinage. L'application de  
20 cet effort global de freinage est maintenue suffisamment  
longtemps par le calculateur de freinage pour dissiper  
par frottement dans les freins l'énergie nécessaire à la  
décélération requise de l'aéronef.

Lors des phases de manoeuvre au sol, c'est-à-dire  
25 de déplacement de l'aéronef à vitesse réduite sur la pla-  
teforme aéroportuaire, on connaît des procédés de répar-  
tition de freinage selon lesquels on ne freine qu'avec  
une fraction seulement des freins. Puis, au coup de frein  
suivant, on freine avec la fraction complémentaire des  
30 freins. Ce procédé a pour but de diminuer globalement  
l'usure des éléments de friction des freins.

Cependant, ce type de répartition présente quel-  
ques inconvénients. Le découpage de l'ensemble des freins  
en deux fractions complémentaires des freins est fixée a  
35 priori, et, en général, chaque fraction regroupe une moi-  
tié des freins choisis de sorte que le freinage avec des

efforts de freinage identiques pour chaque frein actif donne un freinage symétrique. Ainsi, si globalement, les freins s'usent moins, il se peut que les éléments de friction de l'un des freins chauffent plus vite que ces  
5 voisins et atteignent quand même une plage de température dans laquelle l'usure des éléments de friction est accélérée.

On connaît par ailleurs les protections anti-glissement consistant à réduire momentanément l'effort de freinage sur un frein si la roue correspondante se met à glisser. Ces corrections affectent l'une ou l'autre des roues, sans pour autant qu'une stratégie de répartition globale ne soit mise en œuvre. Momentanément, l'effort de freinage total peut être inférieur à l'objectif de freinage.  
10  
15

On connaît également du document GB 1 585 321 une méthode pour égaliser l'énergie dissipée entre deux freins en calculant pour chaque frein un taux d'énergie dissipée en effectuant le produit du couple généré par le frein par le critère de rotation de la roue, puis en intégrant ce taux. Cette méthode se contente de répartir a posteriori les efforts de freinage entre les deux freins, en se basant sur l'énergie déjà dissipée par ces freins.  
20

#### OBJET DE L'INVENTION

L'invention a pour objet un procédé de répartition permettant d'optimiser l'utilisation des freins.  
25

#### BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

En vue de la réalisation de ce but, on propose un procédé de gestion du freinage d'un aéronef comportant une pluralité de freins comportant des éléments de friction, comportant les étapes de, pour au moins un groupe de freins :  
30

- estimer un niveau d'énergie à dissiper par les freins de ce groupe;
- déterminer des consignes unitaires de freinage pour  
35

chacun des freins de ce groupe de sorte que les consignes unitaires de freinage permettent d'assurer, au moins dans des conditions normales de fonctionnement des freins, un freinage qui dissipe ledit niveau d'énergie, les consignes unitaires de freinage étant déterminées pour satisfaire également à au moins un autre objectif opérationnel donné.

Ainsi, en prévoyant à l'avance le niveau d'énergie à dissiper par le groupe de freins avant d'effectuer le freinage, il devient possible, tout en dissipant le niveau d'énergie requis pour le groupe, de satisfaire un autre critère opérationnel prenant en compte le niveau d'énergie à dissiper.

Par exemple, si dans le groupe, l'un des freins chauffe trop, il est possible d'augmenter l'effort de freinage des autres freins du groupe de façon à ménager le frein trop chaud.

Une telle répartition du freinage entre les freins du groupe n'est pas fixée a priori mais peut varier à chaque application de freinage pour satisfaire le critère opérationnel retenu. Ainsi, contrairement aux répartitions connues, il n'est pas possible de prévoir à l'avance la répartition de l'effort de freinage.

De préférence, l'autre objectif opérationnel comprend une préservation d'éléments de l'aéronef sollicités lors d'un freinage par les freins du groupe.

On cherche alors à répartir les freinages de façon à préserver les éléments sollicités, afin par exemple d'en augmenter leur durée de vie.

Selon divers modes particuliers de mise en œuvre, l'autre objectif opérationnel comprend

- une minimisation d'une usure des éléments de friction des freins du groupe.

- une minimisation d'une usure de pneumatiques associés aux freins du groupe.

. Pour un aéronef équipé de freins électromécaniques comportant des actionneurs électromécaniques de freinage, l'autre objectif opérationnel peut comprendre :

- 5 - une minimisation du nombre d'actionnements des freins de ce groupe.
- une minimisation d'une amplitude des efforts appliqués par les actionneurs.

#### BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

10 L'invention sera mieux comprise à la lumière de la description qui suit en référence aux figures des dessins annexés parmi lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique d'un aéronef comportant quatre atterrisseurs principaux à roues freinées ;
- 15 - la figure 2 est un schéma-bloc d'une architecture de guidage au sol de l'aéronef de la figure 1 selon un mode particulier de mise en œuvre de l'invention ;
- la figure 3 est une vue détaillée de la figure 2 illustrant la commande de freinage ;
- 20 - la figure 4 est un schéma-bloc d'une répartition à l'intérieur d'un même groupe, adaptable à la commande illustrée à la figure 3.

#### DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

25 L'invention est ici illustrée en référence à un aéronef tel que celui de la figure 1 comportant deux atterrisseurs principaux de voilure 1G et 1D, deux atterrisseurs principaux de fuselage 2G et 2D, et un atterrisseur auxiliaire 3 à roues orientables. Les atterrisseurs principaux 1G, 1D, 2G, 2D portent chacun quatre roues équipées de freins. L'aéronef est en outre équipé de moteurs 30 4 et d'une dérive 5.

L'invention s'insère dans une architecture de guidage au sol de l'aéronef illustrée à la figure 2 qui comporte un module de guidage de l'aéronef 10. Le module de guidage 10 reçoit en entrée une consigne de trajec-  
35

toire (qui peut, le cas échéant être rectiligne) et commande tous les organes pouvant influencer sur la trajectoire au sol de l'aéronef, c'est-à-dire les moteurs 4, l'orientation des roues de l'atterrisseur auxiliaire 3, la dérive 5, et, bien sûr, les freins des atterrisseurs principaux.

Le module de guidage 10 génère des ordres à destination des moteurs 4, de la dérive 5 et de la commande d'orientation des roues de l'atterrisseur auxiliaire 3, et déduit par différence entre la consigne de trajectoire et les effets attendus des actions menées par les organes précités en réponse auxdits ordres un objectif de freinage  $\bar{F}$  et un objectif de couple de lacet  $\bar{C}$  à réaliser par les freins.

La consigne de trajectoire peut revêtir diverses formes:

- dans un mode de freinage pur, par exemple suite à un atterrissage, la consigne de trajectoire consistera à spécifier au module de guidage 10 au moins une décélération donnée et une vitesse de virage nulle ;

- dans un mode de manoeuvre au sol, par exemple entre la piste et l'aérogare, la consigne de trajectoire consistera à spécifier au module de guidage 10 au moins une vitesse de virage qui varie à tout instant pour suivre une trajectoire déterminée.

L'objectif de freinage  $\bar{F}$  déterminé à partir de la consigne de trajectoire représente une consigne, c'est-à-dire les évolutions dans le temps d'un effort de freinage que les freins devraient développer pour que l'aéronef suive la trajectoire selon un mouvement (position, vitesse, accélération) donné. En pratique, l'objectif d'effort de freinage représente un ou plusieurs coups de freins de durée et d'intensité déterminée. A chaque coup de frein, il est possible d'associer une énergie totale à dissiper par l'ensemble des freins de l'aéronef,

obtenue par intégration temporelle de l'objectif d'effort de freinage.

De même, L'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$  représente une consigne, c'est-à-dire les évolutions dans le temps du couple de lacet que les freins devraient développer pour que l'aéronef suive la trajectoire selon un mouvement (position, vitesse, accélération) donné. Le couple de lacet peut être par exemple nécessaire pour freiner l'aéronef dans un virage.

Les freins sont commandés par un module de commande de freinage 11 qui reçoit du module de guidage 10 l'objectif d'effort de freinage  $\bar{F}$  et l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$  à réaliser par les freins.

A partir de l'objectif d'effort de freinage  $\bar{F}$  et l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$ , le module de commande de freinage 11 génère deux niveaux de freinage  $F_g$  et  $F_d$  à destination respectivement :

- d'un groupe de freins gauche 12 regroupant les freins portés par l'atterrisseur principal de voilure gauche 1G et l'atterrisseur principal de fuselage gauche 2G;

- d'un groupe de freins droit 13 regroupant les freins portés par l'atterrisseur principal de voilure droit 1D et l'atterrisseur principal de fuselage droit 2D.

Des pointillés sur la figure 1 illustrent la composition des groupes gauche 12 et droit 13. On constate ici que les groupes gauche 12 et droit 13 sont symétriques.

Selon l'invention, les niveaux de freinage  $F_g$  et  $F_d$  sont déterminés de sorte que leur somme soit égale à l'objectif de freinage  $\bar{F}$  et que leur effet en couple sur l'aéronef soit égal à l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$ .

En pratique, dans une telle configuration, l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$  peut être spécifié par un

écart entre l'effort à développer par l'un des groupes et l'effort à développer par l'autre des groupes.

5 Cependant, la satisfaction de l'objectif de freinage  $\bar{F}$  et de l'objectif de freinage  $\bar{C}$  suppose que les freins aient la capacité de freinage suffisante pour satisfaire ces deux objectifs à la fois, ce qui est le cas dans des conditions de fonctionnement normales des freins.

10 Dans certaines circonstances cependant (piste humide, freins défectueux), il se peut que l'un ou plusieurs des freins ne puisse générer qu'un effort limité de freinage, empêchant d'atteindre l'objectif de freinage  $\bar{F}$  ou l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$ . Dans ce cas, un signal de saturation est envoyé par le groupe concerné au module de commande de freinage 11 qui tient compte de cette saturation pour générer des niveaux de freinage  $F_g, F_d$  qui permettent de s'approcher au mieux des objectifs  $\bar{F}, \bar{C}$  requis compte-tenu de la capacité de freinage disponible.

20 Selon un mode de mise en œuvre particulier, le module de commande de freinage 11 est programmé pour hiérarchiser les objectifs, et peut par exemple donner la priorité à la réalisation de l'objectif de freinage  $\bar{F}$  plutôt que la réalisation de l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$ . Dans ce cas, le module de commande de freinage 11 génère des niveaux de freinages  $F_g, F_d$  qui sont adaptés à répondre à l'objectif de freinage  $\bar{F}$ , mais dont l'effet sur le couple de lacet se rapproche le plus possible, compte tenu des capacités des freins, de l'objectif de couple  $\bar{C}$ . De façon plus générale, on recherchera les niveaux de freinage  $F_g, F_d$  qui maximisent un taux de satisfaction simultanée des objectifs  $\bar{F}, \bar{C}$ , compte tenu d'éventuelles limitations d'un ou de plusieurs freins.

35 En variante, une possibilité peut être donnée au pilote de privilégier l'un ou l'autre des objectifs

$\bar{F}, \bar{C}$ .

Lors de l'application du freinage selon les niveaux de freinage  $F_g, F_d$  ainsi déterminés, le groupe de freins gauche 12 et le groupe de freins droit 13 ont une action mécanique sur la trajectoire de l'aéronef illustrée par les flèches en traits épais, de même que les moteurs 4, les roues orientables de l'atterrisseur auxiliaire 3 et la dérive 5, l'action de tous ces organes permettant d'influer sur la trajectoire de l'aéronef.

Des mesures de grandeurs significatives de la trajectoire, telles que la vitesse, l'accélération longitudinale ou angulaire, sont alors fournies au module de guidage 10 pour former une boucle de rétroaction.

Le module de commande de freinage 11 est maintenant détaillé en relation avec la figure 3.

Le module de commande de freinage 11 comporte tout d'abord une unité logique 15 programmée pour, à partir de l'objectif de freinage  $\bar{F}$  et de l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$  requis, générer une consigne d'effort nominal  $F_{nom}$  et une consigne de répartition gauche/droite  $\Delta$  au moyen desquelles un premier moduleur 20 génère le niveau de freinage  $F_g$  pour le groupe de freins gauche 12 et un deuxième moduleur 21 génère le niveau de freinage  $F_d$  pour le groupe de freins droit. En pratique, le niveau de freinage  $F_g$  est obtenu en effectuant le produit  $\Delta \cdot F_{nom}$ , et le niveau de freinage  $F_d$  est obtenue en effectuant le produit  $(1-\Delta) \cdot F_{nom}$ . L'unité logique 15 est programmée pour, en cas de saturation de l'un ou l'autre des groupes de freins, moduler la consigne d'effort nominal  $F_{nom}$  et la consigne de répartition  $\Delta$  pour s'approcher au mieux des objectifs  $\bar{F}, \bar{C}$ , compte tenu de la capacité de freinage disponible.

Ainsi, grâce à la répartition opérée selon l'invention, les freins permettent d'exercer sur l'aéronef un effort de freinage et un couple de lacet. Il est à noter

que la répartition ainsi opérée n'est pas figée mais varie au cours du temps.

La connaissance du niveau de freinage d'un groupe permet d'estimer, par intégration temporelle du niveau de freinage, l'énergie à dissiper par les freins de ce groupe.

La logique de groupage des freins selon l'invention peut être poussée à un niveau supérieur en distinguant des sous-groupes dans un groupe. Par exemple dans le groupe gauche, on distingue comme cela est illustré à la figure 4 un premier sous-groupe 16 composé des freins équipant l'atterrisseur principal de voilure gauche 1G, et un deuxième sous-groupe 17 composé des freins équipant l'atterrisseur principal de fuselage gauche 2G.

On subdivise le niveau de freinage  $F_g$  en deux sous-niveaux de freinage  $F_v$  et  $F_f$  à destinations des deux sous-groupes 16,17 au moyen d'un module de commande de répartition 18 qui génère un coefficient de répartition  $\beta$  avec lequel on effectue les produits  $F_v=(1+\beta).F_g$  et  $F_f=(1-\beta).F_g$ . Par construction, la somme des sous-niveaux de freinage  $F_v$  et  $F_b$  est égale au niveau de freinage  $F_g$ . Le module de commande de répartition 18 tient compte des signaux de saturation provenant respectivement des freins du premier sous-groupe 16 et des freins du deuxième sous-groupe 17 pour calculer le coefficient de répartition  $\beta$ . Ainsi, si les freins de l'un des sous-groupes saturent, il est possible de basculer l'effort de freinage sur les freins de l'autre sous-groupe. Si ce basculement ne suffit plus pour atteindre la consigne de freinage gauche  $F_g$ , le module de commande de répartition 18 génère un signal de saturation du groupe de freins gauche 12.

Pour réaliser le niveau de freinage visé pour un groupe des freins (ou à un sous-groupe), il convient que tous les freins du groupe génèrent des efforts unitaires de freinage tels que la résultante des efforts unitaires

de freinage développé par chacun des freins atteint le niveau de freinage requis.

Selon une première façon de procéder, on fait en sorte que les efforts unitaires de freinage soient identiques pour tous les freins du groupe. C'est la façon la plus simple de procéder.

Selon une deuxième façon de procéder particulièrement avantageuse, on détermine les différents efforts unitaires de freinage pour satisfaire un critère opérationnel donné, tout en se conformant au niveau de freinage requis, compte tenu bien sûr de la capacité de freinage disponible.

Conformément à un premier mode de mise en œuvre, le critère opérationnel retenu est la minimisation de l'usure subie par les éléments de friction des freins du groupe. Il est connu que les éléments de friction en carbone ont un taux d'usure qui dépend de la température des éléments de friction. Si  $\Delta T_k$  est l'augmentation de la température du frein k lors du freinage à venir, l'usure sur le frein k vaudra

$$U_k = \int_{T_k}^{T_k + \Delta T_k} \tau(T) dT$$

où  $\tau$  est le taux d'usure dépendant notamment de la température.

Pour calculer l'augmentation de température  $\Delta T_k$  du frein k, on utilise un modèle thermique du frein qui, en fonction d'une énergie  $\Delta E_k$  dissipée par le frein, calcule l'augmentation de température  $\Delta T_k$ . En négligeant le refroidissement naturel du frein (ce qui est valable pour des durées de freinage courtes et des températures de frein faibles), il est possible de relier l'augmentation de température  $\Delta T_k$  du frein k à l'énergie à dissiper  $\Delta E_k$  par le frein lors du freinage à venir par le modèle suivant:

$$\Delta E_k = \int_{T_k}^{T_k + \Delta T_k} M_k C_p dT_k$$

où  $M_k$  est la masse des éléments de friction du frein  $k$ ,  
 5 considérée comme constante lors du freinage, et  $C_p$  la ca-  
 pacité calorifique du matériau constitutif des éléments  
 de friction du frein  $k$ .

L'énergie totale  $\Delta E$  à dissiper par les freins du groupe  
 est bien sûr égale à la somme des énergies dissipées par  
 10 chaque frein. L'énergie totale à dissiper par les freins  
 est donnée par intégration temporelle de l'objectif d'ef-  
 fort de freinage du groupe, comme déjà expliqué.

Ainsi, La minimisation de l'usure revient à re-  
 chercher pour chacun des freins du groupe les énergies  
 15  $\Delta E_k$  à dissiper qui minimisent la quantité :

$$\sum_k U_k$$

sous la contrainte

$$\Delta E = \sum_k \Delta E_k$$

20 Du calcul des énergies  $\Delta E_k$  à dissiper par chacun  
 des freins du groupe, on déduit les consignes unitaires  
 d'effort de freinage  $F_i$  à développer par chacun des  
 freins.

La minimisation de l'usure peut être obtenue par  
 25 toute technique d'optimisation connue. Selon un mode pré-  
 féré de mise en œuvre de l'invention, on se donne un cer-  
 tain nombre de répartitions arbitraires de l'énergie en-  
 tre les freins du groupe. En pratique, chaque répartition  
 est représentée par une liste de coefficients (autant que  
 30 de freins dans le groupe) dont la somme est égale à 1.  
 Par exemple, si le groupe comporte deux freins, on pourra  
 considérer les répartitions suivantes:

$$R^1 = \{1; 0\}, \quad R^2 = \{0,7; 0,3\}, \quad R^3 = \{0,5; 0,5\},$$

$$R^4 = \{0, 3; 0, 7\} \text{ et } R^5 = \{0; 1\}.$$

La minimisation consiste à calculer pour chaque répartition arbitraire  $R^i$  les énergies correspondantes  $\Delta E_k^i$  pour chacun des freins, puis l'usure  $U_k^i$  de chacun des freins produite par la dissipation de l'énergie correspondante. L'usure totale

$$U^i = \sum_k U_k^i$$

est la somme des usures ainsi calculées. On retient alors la répartition arbitraire  $R^i$  qui donne l'usure totale  $U^i$  la plus petite.

La minimisation de l'usure ainsi décrite concerne donc tous les freins d'un même groupe. On peut appliquer ce critère opérationnel pour chacun des groupes de freins, afin d'obtenir une minimisation groupe par groupe de l'usure des éléments de friction. Cependant, ainsi qu'il est bien connu, la minimisation de l'usure groupe par groupe peut conduire à un résultat qui ne soit pas optimal du point de vue de l'ensemble des freins de l'aéronef.

Avantageusement alors, le critère opérationnel de minimisation de l'usure est selon l'invention généralisé pour être appliqué à tous les freins de l'aéronef simultanément, tout en respectant, pour chaque groupe, le niveau d'effort de freinage requis. On recherchera alors la répartition sur l'ensemble des freins qui, tout en respectant pour chaque groupe le niveau d'effort de freinage requis, minimise l'usure globale.

Avantageusement encore, le critère opérationnel de minimisation de l'usure est selon l'invention généralisé non seulement pour tous les freins pour un freinage donné, mais également pour tous les freinages prévisibles le long de la trajectoire. Pour cela, il convient de déterminer à l'avance les freinages prévisibles, et donc l'énergie à dissiper pour chacun des groupes de freins,

ce qui impose de connaître l'intégralité du parcours probable de l'aéronef sur l'aéroport.

Cette connaissance peut provenir soit de la mise en mémoire du ou des trajets possibles sur l'aéroport, soit d'une étude statistique portant sur un trajet type pour tel ou tel aéroport et spécifiant le nombre moyen de freinages et l'intensité moyenne de ceux-ci.

Sur le trajet retenu, on détermine un mouvement (position, vitesse, accélération) de l'aéronef le long de ce trajet et on en déduit les objectifs de freinage, de couple de lacet et d'énergie à dissiper par les freins.

L'invention n'est pas limitée à ce qui vient d'être décrit, mais bien au contraire englobe toute variante entrant dans le cadre défini par les revendications.

En particulier, la répartition de freinage selon l'invention reste compatible avec la mise en œuvre d'une protection anti-glissement pour chacune des roues freinées.

Bien que l'on ait indiqué que l'on établit un objectif d'effort de freinage  $\bar{F}$  et un objectif de couple de lacet  $\bar{C}$ , l'invention couvre également la situation où l'on n'établit que l'un des objectifs, par exemple l'objectif d'effort de freinage  $\bar{F}$ . Dans ce cas, il suffit de fixer arbitrairement l'objectif de couple de lacet  $\bar{C}$  à zéro.

Bien que l'on ait indiqué que le critère opérationnel retenu pour l'application du freinage soit la minimisation de l'usure des éléments de friction, d'autres critères opérationnels pourront être retenus. Par exemple, on peut choisir comme critère opérationnel la recherche de la répartition qui conduit à une application d'effort de freinage la plus progressive possible afin d'améliorer le confort des passagers ou afin de préserver les éléments opérationnels de l'aéronef qui subissent di-

rectement l'effort de freinage (les atterrisseurs, les attaches de l'atterrisseur sur l'aéronef, les pneumatiques associés ...). On peut également chercher, pour des freins, à minimiser le nombre d'actionnements à effectuer par les freins afin d'augmenter la durée de vie de ces derniers, ou encore minimiser l'amplitude des efforts à appliquer.

Enfin, bien que l'on ait réparti ici les freins en un groupe gauche et un groupe droit, cette répartition n'est pas limitative, et on pourra répartir les freins autrement, par exemple :

- un groupe gauche composé des freins de l'atterrisseur de voilure gauche,
- un groupe droit composé des freins de l'atterrisseur de voilure droit,
- et un groupe central composé des freins des atterrisseurs de fuselage;

La répartition des freins en groupes n'est pas forcément fixée une fois pour toutes mais peut, dans le cadre de l'invention, varier.

Il va de soi que l'invention ne s'applique pas uniquement à la configuration particulière illustrée ici comprenant deux atterrisseurs principaux de voilure et deux atterrisseurs principaux de fuselage, mais à toute configuration des atterrisseurs portant des freins.

Il va de soi également que l'invention s'applique indifféremment à des freins hydrauliques, électromécaniques ou de toute autre technologie.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de gestion du freinage d'un aéronef comportant une pluralité de freins comportant des éléments de friction, comportant les étapes de, pour au moins un groupe de freins (12,13):
- estimer un niveau d'énergie ( $\Delta E$ ) à dissiper par les freins de ce groupe;
  - estimer des consignes unitaires de freinage ( $F_i$ ) pour chacun des freins de ce groupe de sorte que les consignes unitaires de freinage permettent d'assurer, au moins dans des conditions normales de fonctionnement des freins, un freinage qui dissipe ledit niveau d'énergie, les consignes unitaires de freinage étant déterminées pour satisfaire également à au moins un autre objectif opérationnel donné.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'autre objectif opérationnel comprend une préservation d'éléments de l'aéronef sollicités lors d'un freinage par les freins du groupe.

3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel l'autre objectif opérationnel comprend une minimisation d'une usure ( $U$ ) des éléments de friction des freins du groupe.

4. Procédé selon la revendication 2, appliqué à un aéronef équipé de freins électromécaniques comportant des actionneurs électromécaniques de freinage, dans lequel l'autre objectif opérationnel comprend une minimisation du nombre d'actionnements des freins de ce groupe.

FIG.1

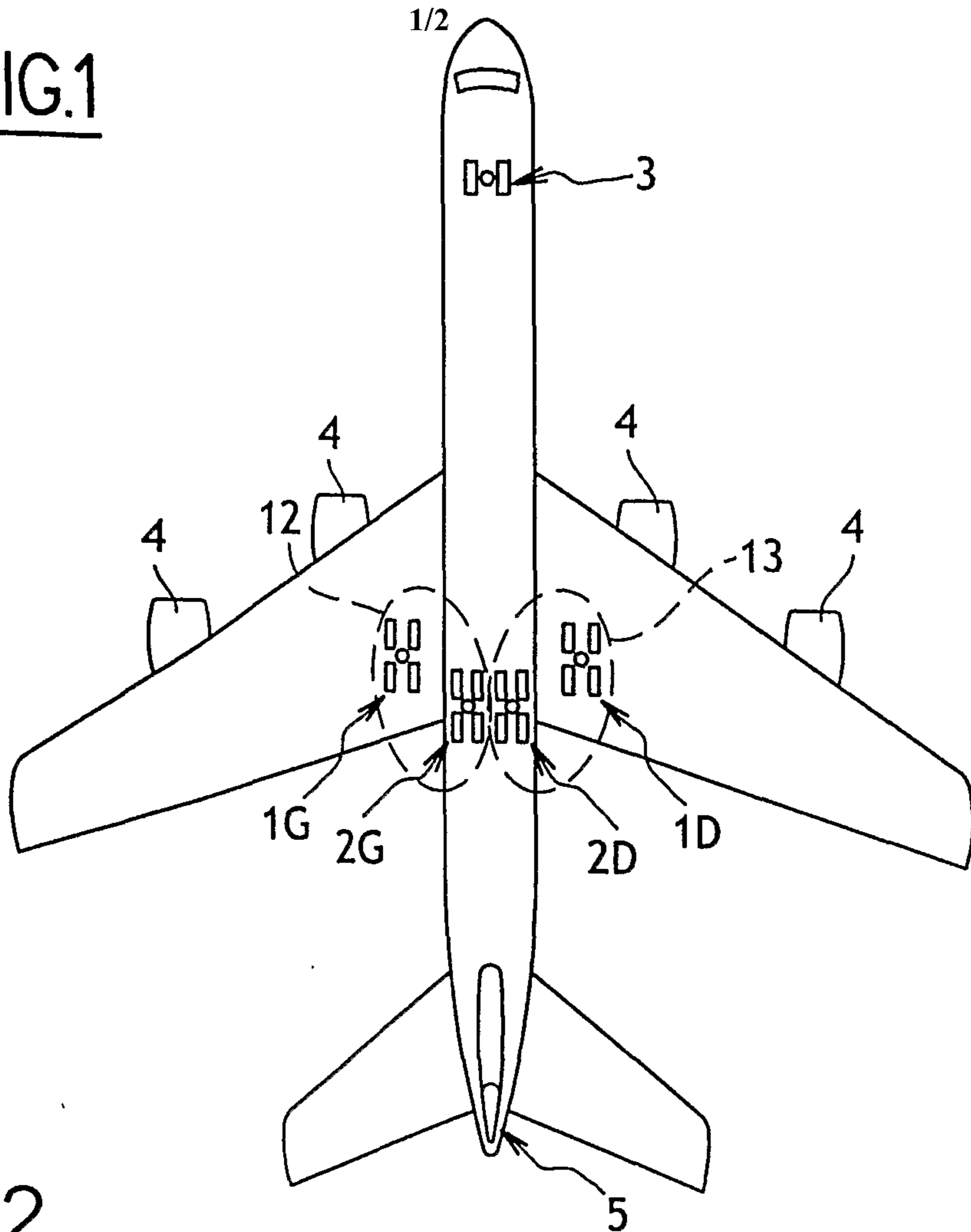


FIG.2

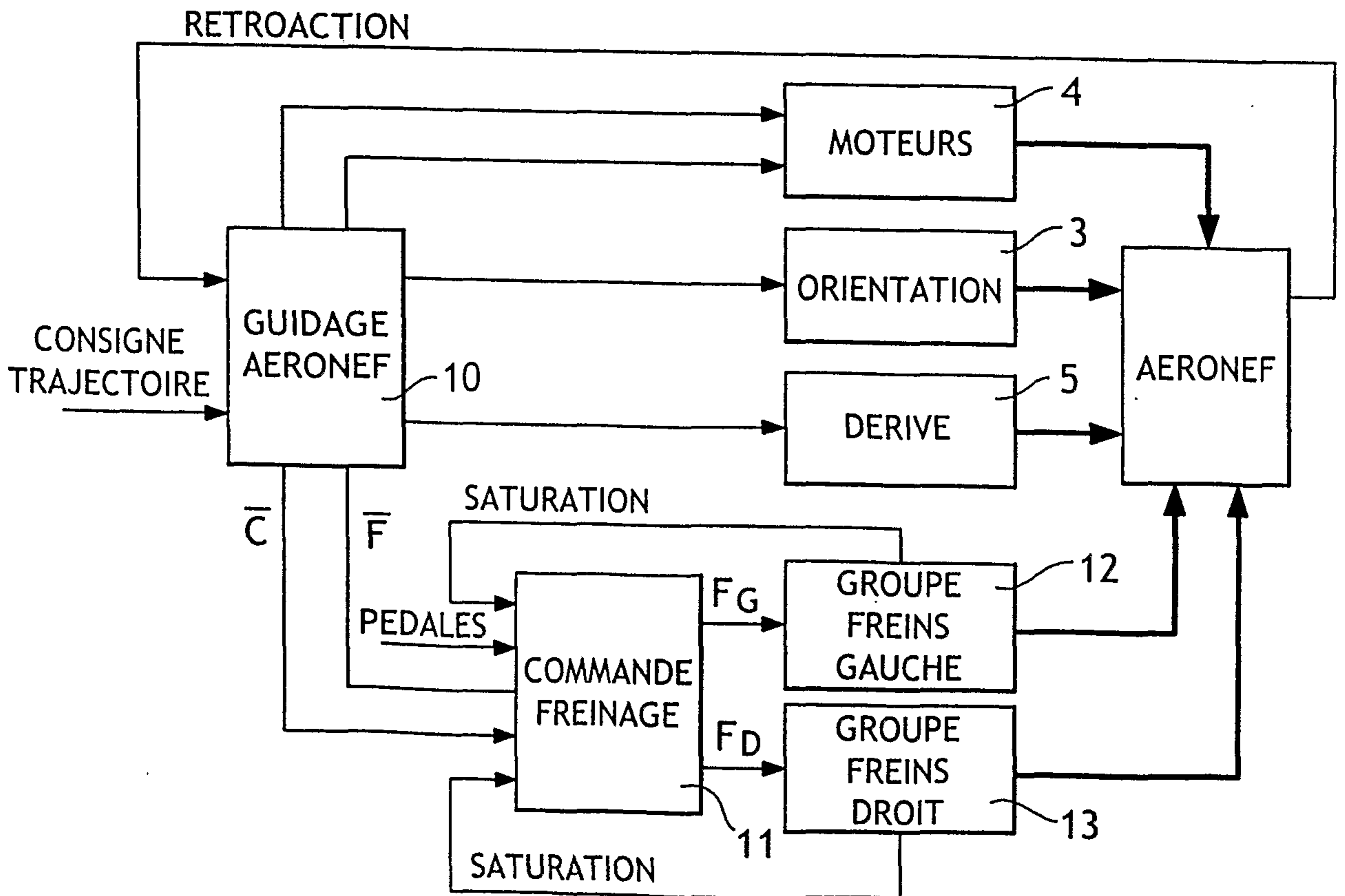


FIG.3

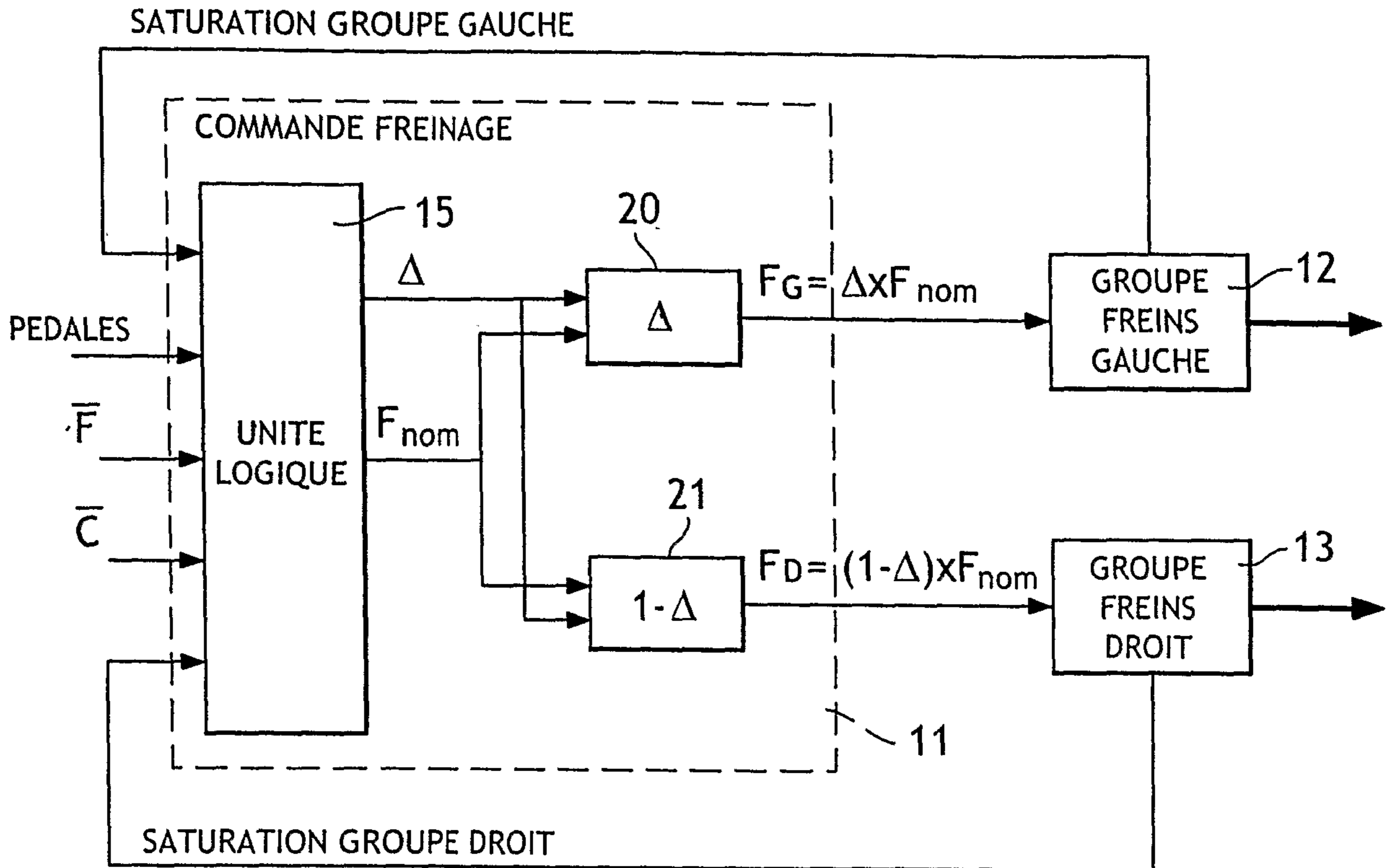


FIG.4

