

(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  
18 juin 2009 (18.06.2009)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2009/074744 A2**

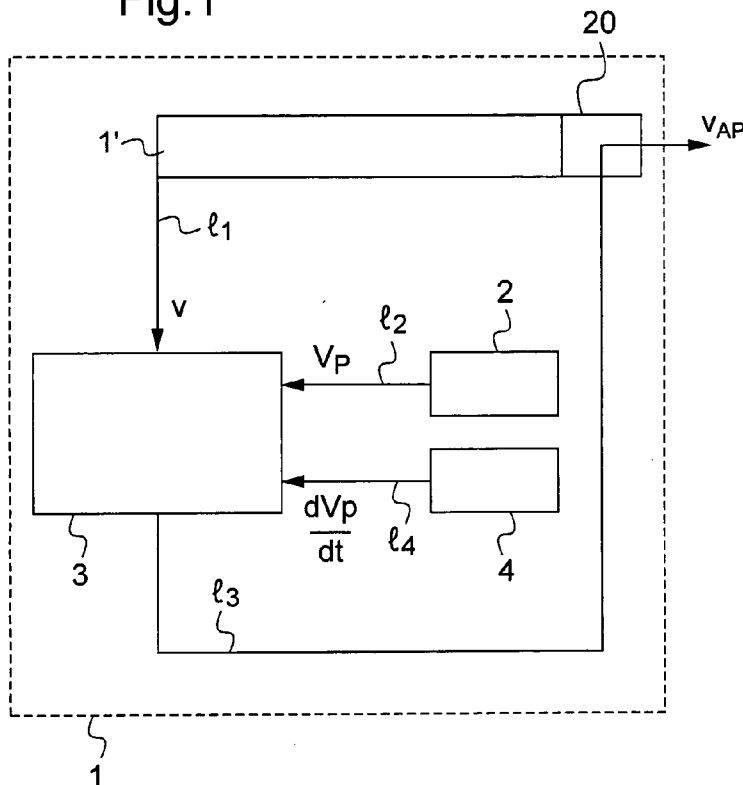
- (51) Classification internationale des brevets :  
*G01P 3/62* (2006.01)      *G01P 5/00* (2006.01)  
*G01P 5/14* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2008/001333
- (22) Date de dépôt international :  
25 septembre 2008 (25.09.2008)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
07 06784      27 septembre 2007 (27.09.2007)      FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **EU-ROCOPTER** [FR/FR]; Aéroport International Marseille-Provence, F-13725 Marignane Cedex (FR).
- (72) Inventeur; et  
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **CERTAIN, Bernard** [FR/FR]; 5, avenue du Général Koenig, F-13.90 Aix en Provence (FR).
- (74) Mandataire : **KEMPE, Dominique**; GPI & Associés, 1330, rue Guillibert de la Lauzière, Europarc de Pichaury, Bât D1, F-13856 Aix en Provence Cedex 3 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR OBTAINING THE PREDICTIVE VERTICAL SPEED OF A ROTORCRAFT

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF D'OBTENTION D'UNE VITESSE VERTICALE PREDICTIVE D'UN GIRAVION

Fig.1



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for obtaining the predictive vertical speed of a rotorcraft, wherein said device includes a predictive vertical speed indicator (1) that comprises at least: a first means (V) for measuring the instantaneous vertical speed  $v$  of a rotorcraft; a second means (2) for measuring the instantaneous true speed (VP) of a rotorcraft; a third means (3) for calculating the predictive vertical speed ( $v_{Ap}$ ) of a rotorcraft, wherein said third means is connected to the first and second means respectively by first (l1) and second (l2) links, and contains in a memory the predetermined values of the minimal power speed ( $V_y$ ) and a characteristic coefficient (k) which are constants concerning said rotorcraft, for a given type of rotorcraft.

[Suite sur la page suivante]

WO 2009/074744 A2



IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, 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, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(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,

**Publiée :**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

---

(57) **Abrégé :** La présente invention concerne un procédé et un dispositif d'obtention d'une vitesse verticale prédictive d'un giravion, ce dispositif constituant un variomètre prédictif (1) qui comprend au moins : un premier moyen (V) pour mesurer la vitesse verticale instantanée  $v$  d'un giravion; un deuxième moyen (2) pour mesurer la vitesse propre (VP) instantanée d'un giravion; un troisième moyen (3) pour calculer la vitesse verticale prédictive ( $v_{Ap}$ ) d'un giravion, ce troisième moyen étant d'une part relié aux premier et deuxième moyens respectivement par une première ( $t_1$ ) et une deuxième ( $t_2$ ) liaisons et contenant en mémoire les valeurs prédéterminées de la vitesse ( $V_y$ ) de puissance minimale et d'un coefficient caractéristique ( $k$ ) qui sont des constantes relatives au dit giravion, d'un type donné de giravion.

Procédé et dispositif d'obtention d'une vitesse verticale prédictive d'un giravion

La présente invention concerne un procédé d'obtention d'une vitesse verticale prédictive d'un aéronef, notamment un giravion. L'invention couvre aussi un dispositif de variomètre prédictif  
5 mettant en œuvre ledit procédé.

En effet, afin de piloter un giravion, le pilote fait appel à une pluralité d'instruments de bord et notamment à un variomètre. Cet instrument détermine la vitesse verticale instantanée (vitesse verticale de montée ou de descente) du giravion et sert  
10 d'indicateur au pilote.

Le principe du variomètre repose sur la mesure de variation de la pression atmosphérique lors d'une montée ou d'une descente. Pour ce faire un variomètre est constitué par exemple d'une capsule manométrique reliée à un réservoir isolé  
15 thermiquement, l'ensemble étant mis en relation avec l'air libre (atmosphère ambiante) par l'intermédiaire d'un tube capillaire calibré.

Le variomètre est commandé par la différence de pression entre l'air libre (pression atmosphérique ou pression statique à  
20 l'intérieur du variomètre mais à l'extérieur de la capsule) et celle régnant dans la capsule via la liaison réalisée par le tube capillaire servant de prise d'air de calibre déterminé. En fait, le tube capillaire doit être calibré de façon que les déformations de la capsule indiquent la différence de pression entre la pression locale  
25 à un instant donné et la pression locale à l'instant immédiatement précédent. Par suite, le tube capillaire doit être suffisamment fin pour que pendant les montée ou descente, la pression statique (atmosphère ambiante) devienne suffisamment différente de la pression à l'intérieur de la capsule.

Autrement dit, le tube capillaire induit un certain retard dans l'établissement de la pression atmosphérique dans l'ensemble capsule-réservoir.

5 Du fait de son principe de fonctionnement, on comprend donc que les indications d'un variomètre ne sont pas instantanées lors des changements de trajectoire d'un aéronef en vol de montée ou de descente.

10 Comme un variomètre n'indique que des variations de pressions, il en résulte bien entendu qu'en vol de palier, les pressions à l'intérieur et à l'extérieur du variomètre s'égalisent par l'intermédiaire du tube capillaire de sorte que l'indication de vitesse de montée ou de descente devient égale à zéro.

15 En outre, le pilote doit avoir impérativement connaissance de la vitesse par rapport à l'air  $V_A$ , aussi appelée « vitesse aérodynamique ». Celle-ci est mesurée et donnée par un anémomètre. Cet instrument est un manomètre différentiel qui mesure un écart entre la pression statique et la pression totale de l'écoulement d'air au niveau des prises de pressions correspondantes.

20 La pression statique (pression ambiante au niveau de la prise de pression statique) est indépendante de la vitesse par rapport à l'air de l'aéronef.

25 La pression totale (ou « pression d'arrêt réelle ») est obtenue à partir d'une prise de pression totale de l'écoulement d'air. L'homme du métier appelle couramment cette prise de pression totale de l'air « Pitot » ou « tube de Pitot ».

Dans ces conditions l'anémomètre comprend aussi une capsule anéroïde qui se déforme plus ou moins en fonction de la grandeur de l'écart entre la pression totale et la pression statique.

En général, les prises de pressions statique et totale sont regroupées sur une unique sonde dite sonde anémométrique. Cette sonde anémométrique est sensiblement profilée et cylindrique, avec une partie antérieure généralement hémisphérique. La sonde anémométrique est disposée sur l'aéronef de sorte que d'une part la prise de pression totale est située au point extrême amont du corps cylindrique, et d'autre part, la prise de pression statique est radiale et en arrière de la prise de pression totale.

10 Dans le cas particulier d'un giravion, la prise de pression statique est en principe disposée le long du fuselage alors que la prise de pression totale se situe à l'amont d'une perche plus ou moins longue.

Ainsi et par l'application du théorème de Bernoulli, valable notamment pour les vitesses d'avancement d'un giravion, ledit écart est égal à une pression dynamique (proportionnelle au carré de la vitesse de l'aéronef par rapport à l'écoulement d'air) à partir de laquelle on déduit la vitesse indiquée de l'aéronef.

Cette dernière est transmise à un instrument de bord, c'est-à-dire à un indicateur pour constituer une installation anémométrique de façon que la vitesse indiquée  $V_A$  corresponde :

- au sol, à la vitesse de l'aéronef par rapport à l'atmosphère ambiante, et
- en altitude (en vol), à l'équivalent de vitesse, c'est-à-dire le produit de la vitesse vraie  $V_V$  ou vitesse sur trajectoire par la racine carrée de la densité relative  $\sigma$  de l'air, égale elle-même au quotient de la masse volumique  $\rho$  de l'air à l'altitude considérée par la masse volumique de l'air  $\rho_0$  au sol en « atmosphère standard », soit :

$$V_A = V_V \sqrt{\sigma} = V_V \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

En réalité, la vitesse indiquée diffère de l'équivalent de vitesse en raison d'erreurs instrumentales. Par suite, la vitesse indiquée doit être corrigée en tenant compte de l'étalonnage de l'installation anémométrique pour correspondre à la vitesse corrigée VC ou vitesse conventionnelle, voisine mais différente de l'équivalent de vitesse.

Il est rappelé qu'un tel instrument est étalonné uniquement pour les conditions «d'atmosphère standard» au niveau de la mer. En d'autres termes, la vitesse lue est égale en toute rigueur à la vitesse par rapport à l'air que si la pression vaut 101 325 Pascals et si la température est de 15 degrés Celsius ( $\rho = \rho_0$ ).

Dans le cas où l'atmosphère du jour diffère notablement de l'atmosphère standard, on introduit une correction basée sur «l'altitude-densité» qu'il n'y a pas lieu de décrire ici.

Il importe de noter que les dispositifs traditionnels avec tube de Pitot et prise de pression statique ont une sensibilité qui tend à s'annuler lorsque la vitesse de l'aéronef par rapport à l'air diminue.

En outre, et dans un souci de clarté, si l'on définit une vitesse propre  $V_P$ , comme égale à la composante horizontale de la vitesse vraie, soit à  $V_V \cdot \cos\theta$  si  $\theta$  désigne l'angle de pente de la trajectoire de l'aéronef. De la sorte, le vecteur  $\overline{V_P}$  et le vecteur  $\overline{V_W}$ , composante horizontale du vent, ont pour résultante géométrique le vecteur vitesse sol  $\overline{V_S}$ , fondamental en navigation. Bien entendu, la vitesse vraie  $V_V$  et la vitesse propre  $V_P$  sont égales en vol de palier. Aux erreurs instrumentales près, on peut

donc admettre en vol de palier que la vitesse conventionnelle VC est égale au produit de la vitesse propre  $V_p$  par  $\sqrt{\sigma}$ , soit :

$$VC = V_p \sqrt{\sigma}$$

Par ailleurs, et dans le cas des giravions, on définit un premier et un deuxième régimes de vitesse de vol. La vitesse de vol comprise entre ces deux régimes de vitesse est appelée vitesse de puissance minimale et vaut par exemple 65 nœuds, environ. Elle correspond à une puissance nécessaire au vol en palier appelée puissance minimale. Il s'agit d'un minimum de la courbe de la puissance nécessaire au vol en palier d'un giravion en fonction de sa vitesse d'avancement. Cette puissance nécessaire est la somme de :

- la puissance induite, liée à la sustentation qu'il faut produire, et égale au produit de la vitesse dite « induite » et de la portance : cette puissance diminue en fonction de la vitesse d'avancement du giravion,
- la puissance de profil due à la traînée de profil des pales du rotor principal qui est variable suivant les profils de pales : elle croît en fonction de la vitesse d'avancement,
- la puissance de fuselage due à la traînée du fuselage : elle augmente rapidement en fonction de la vitesse, sensiblement comme cette vitesse à la puissance trois,
- les pertes de puissance dues notamment à la transmission de puissance de la motorisation aux rotors principal et arrière, au refroidissement, à l'entraînement des accessoires : ces pertes de puissances augmentent avec la vitesse d'avancement du giravion.

Alors, le premier régime de vitesse s'applique lorsque la

vitesse conventionnelle  $V_C$  du giravion est supérieure à la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale. Il est caractérisé par une augmentation de la puissance avec la vitesse par rapport à l'air et correspond à des vols stabilisés.

5           A contrario, le deuxième régime de vitesse s'applique en dessous de cette vitesse de puissance minimale. Il est caractérisé par une instabilité de vol des giravions. Dans ce deuxième régime de vitesse, la vitesse conventionnelle est basse et la puissance augmente quand la vitesse du giravion diminue. Les mesures  
10 anémométriques sont alors de moins en moins fiables quand la vitesse d'avancement du giravion diminue. De plus, la vitesse verticale instantanée mesurée est approximative comme vu précédemment en raison du retard lié à l'inertie d'un variomètre.

          Par ailleurs, un phénomène dit d'« ascendance » peut  
15 fausser l'interprétation des indications données par un variomètre.

          D'ordinaire, le phénomène d'ascendance est un phénomène naturel de déplacement d'air vers une altitude plus élevée.

          Ainsi, lorsque le pilote fait cabrer le giravion, même légèrement, et voire instinctivement, sans toutefois modifier la  
20 puissance motrice instantanée (énergie) du giravion, le variomètre indique une vitesse verticale positive dans un tout premier temps.

          En effet, à court terme, l'assiette longitudinale du fuselage augmente et le giravion tend à monter. Or, l'énergie totale du giravion est la somme de son énergie cinétique et de son énergie  
25 potentielle. Comme la puissance est maintenue constante, l'énergie potentielle augmentant, l'énergie cinétique diminue de sorte que le giravion ralentit.

          Or, le pilote ne se rend pas compte de la perte de vitesse du giravion car il croit profiter du phénomène naturel d'ascendance.

Le pilote ne peut donc remédier à cette perte de vitesse par une augmentation de la puissance du giravion.

De plus, ce ralentissement dans le domaine du deuxième régime de vitesse s'accompagne, comme vu ci-dessus, d'une  
5 augmentation de puissance nécessaire.

Dès lors, la vitesse verticale chute subitement de manière à devenir fortement négative, le pilote n'ayant pas augmenté la puissance nécessaire comme requis en raison de la diminution de la vitesse d'avancement. Le giravion amorce donc une descente  
10 rapide, voire dangereuse, et imprévisible de la part du pilote puisque le variomètre affichait, quelques instants auparavant, une vitesse verticale positive.

En outre, lors de vols sans visibilité, le pilote doit faire entièrement confiance aux informations fournies par les  
15 instruments à sa disposition sur le tableau de bord, entre autres, la vitesse verticale du giravion. Si une situation d'urgence se présente, le pilote peut être amené à réagir avec précipitation. Cette réaction précipitée peut de surcroît être accentuée du fait de la disponibilité tardive des dites informations. Le pilote peut alors  
20 exécuter des erreurs de manœuvre pouvant conduire à un accident. Telle peut être la situation si le pilote, craignant la présence d'un obstacle à proximité, agit involontairement et par réflexe sur le manche de pas cyclique sans augmenter la puissance motrice. Il en résulte alors une légère assiette à cabrer  
25 du giravion puis une perte d'altitude rapide extrêmement dangereuse si le giravion évolue près du sol ou de l'eau.

Par ailleurs, on note que le document EP0006773 présente un procédé pour déterminer une vitesse prédictive d'un aérodyne.

La présente invention a pour objet de remédier à ces

inconvenients et propose un procédé d'obtention d'une vitesse verticale prédictive d'un giravion permettant d'avoir à disposition les informations pertinentes pour contrôler sereinement et en toute sécurité l'appareil quelles que soient les conditions extérieures. En particulier, ce procédé est mis en œuvre par un variomètre adapté à ce besoin, appelé variomètre prédictif dans ce texte.

Selon l'invention, le procédé d'obtention d'une vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion, à savoir la vitesse verticale évaluée que va atteindre le giravion après un temps donné sans modification de sa trajectoire, est remarquable en ce que l'on effectue successivement les étapes suivantes :

- a) on mesure la vitesse verticale instantanée  $v$  du giravion,
- b) on détermine une vitesse verticale corrective  $v_{CORR}$  dépendant d'un terme prédictif,
- 15 c) on additionne la vitesse verticale corrective à la vitesse verticale instantanée pour obtenir ladite vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$ .

De ce fait, le pilote a accès à une vitesse verticale prédictive lui permettant d'anticiper sur les manœuvres nécessaires à réaliser afin d'éviter tout engagement du giravion dans une situation critique.

De préférence, la vitesse verticale instantanée  $v$  est fournie par un variomètre classique qui restitue, selon l'invention, la vitesse verticale prédictive à l'indicateur dudit variomètre, transformé en un variomètre prédictif.

Ainsi, le procédé d'obtention d'une vitesse verticale prédictive permet d'avoir une fenêtre temporelle de sécurité durant laquelle le pilote peut anticiper les actions correctives adaptées

aux situations annoncées.

En outre, cette anticipation prend en compte le retard inhérent au fonctionnement intrinsèque de l'instrumentation de bord à savoir le variomètre et éventuellement l'anémomètre.

- 5 Une fenêtre temporelle d'anticipation, correspondant au temps nécessaire au pilote pour effectuer une manœuvre, est prédéterminée. Ce temps est évalué par l'homme du métier sensiblement à dix secondes.

- 10 Au cours de l'étape b), durant une étape b1), on détermine une première correction de la mesure de la vitesse verticale instantanée  $v$  en fonction de la vitesse propre instantanée  $V_P$ , la vitesse propre prédictive  $V_{PP}$ , la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale, la vitesse verticale instantanée  $v$  mesurée par un variomètre et  
15 giravion.

Cette constante caractéristique  $k$  est déterminée grâce à des essais et à partir d'une approximation linéaire qui correspond à un rapport de proportionnalité entre puissances et vitesse verticale du giravion, indépendant de la masse du giravion, tel que :

20 
$$v = k \left( \frac{W}{W_n} - 1 \right)$$

avec l'approximation :

$$\frac{W_n}{W V_Y} = 2 - \frac{V_P}{V_Y}$$

- 25 Dans ces relations, on désigne par  $W V_Y$  et  $W_n$  les puissances nécessaires pour voler en palier respectivement à la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale et à la vitesse propre  $V_P$ , et par  $W$  la puissance disponible instantanée du giravion.

Sur cette base et en premier lieu, on détermine un terme prédictif applicable à la vitesse verticale instantanée  $v$  et valant :

$$C_{P1} = (v+k) \frac{V_{PP} - V_P}{2V_Y - V_{PP}}$$

Dans le cadre de cette première correction, il est prévu éventuellement en deuxième lieu durant une étape b1') de pondérer le terme prédictif par un premier coefficient pondérateur  $A$  déterminé par des essais relatifs à chaque type de giravion. Ce premier coefficient pondérateur est généralement proche de l'unité.

Le terme prédictif pondéré  $C_{PP1}$  s'écrit donc :

$$C_{PP1} = A \times C_{P1}$$

En effet, il est théoriquement inutile d'introduire ce premier coefficient de pondération qui est théoriquement égal à une unité.

Toutefois, la spécificité de chaque giravion peut générer un léger écart avec la théorie. Par suite, l'invention prévoit éventuellement de réaliser des essais pour déterminer la valeur de ce premier coefficient de pondération, cette valeur étant légèrement différente de l'unité.

Le signe « x » correspond au symbole de multiplication.

Dans ces conditions, la première correction de la mesure de la vitesse verticale instantanée  $v$  est égale soit au terme prédictif  $C_{P1}$  soit au terme prédictif pondéré  $C_{PP1}$ .

Il importe de noter que cette première correction ( $C_{P1}$  ou  $C_{PP1}$ ) n'est applicable que si les deux conditions suivantes sont remplies :

- la vitesse conventionnelle VC en vol de palier est inférieure à la vitesse  $V_Y$  laquelle est voisine de 65kt (nœuds),

- la vitesse conventionnelle VC est décroissante.

Le procédé selon la présente invention peut comprendre de plus durant l'étape b), une étape b2) au cours de laquelle on détermine une deuxième correction de la vitesse verticale instantanée v.

Plus précisément, cette deuxième correction est destinée à compenser les éventuelles interprétations erronées des indications fournies par un variomètre. Compte tenu des explications susmentionnées, il s'agit d'annuler les variations de la vitesse verticale à très court terme indiquées par un variomètre, ces variations étant dues à une assiette à cabrer de l'aéronef et non à un effet présumé d'ascendance de l'écoulement. En d'autres termes, cette deuxième correction évite de laisser croire au pilote que le giravion peut continuer à prendre de l'altitude avec la puissance affichée.

La deuxième correction résulte du bilan énergétique supposé constant pendant la réduction de la vitesse du giravion à partir de la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale jusqu'au vol stationnaire.

Ce bilan énergétique s'exprime alors comme suit, CT étant une constante :

$$\frac{1}{2}mV_p^2 + mgh + \int W_n + \int W = CT$$

où m, h et g désignent respectivement la masse de l'aéronef, l'altitude de vol, et l'accélération de la pesanteur.

Alors et si les puissances W et  $W_n$  restent constantes, une

dérivation de la précédente expression conduit à la relation suivante où t désigne le temps :

$$\frac{dh}{dt} = -V_p \frac{dV_p}{dt}$$

Sur cette base et en premier lieu, on détermine un terme correctif applicable à la vitesse verticale et valant :

$$C_{P2} = V_p \frac{dV_p}{dt}$$

qui par définition s'oppose à la variation d'altitude  $\frac{dh}{dt}$  du giravion.

Dans ces conditions, l'accélération instantanée de l'aéronef  $\frac{dV_p}{dt}$  est avantageusement obtenue à partir d'une mesure d'accélération, par exemple relative à un accéléromètre disposé suivant l'axe longitudinal du giravion, plus précis que le résultat découlant du traitement de mesures anémométriques à basse vitesse.

Dans le cadre de cette deuxième correction, il est prévu éventuellement en deuxième lieu, durant une étape b2') de pondérer le terme correctif par un deuxième coefficient pondérateur B sensiblement égal à 0,5.

Le terme correctif pondéré  $C_{PP2}$  s'écrit donc :

$$C_{PP2} = B \times C_{P2}$$

Le deuxième coefficient de pondération est arbitrairement fixé à 0,5. Toutefois, il pourrait être affiné par essais selon la sensibilité recherchée.

Par conséquent, la deuxième correction de la mesure de la

vitesse verticale instantanée  $v$  est égale soit au terme correctif, soit au terme correctif pondéré.

Dans la mesure où d'une part la première correction est seulement appliquée et d'autre part les première et deuxième corrections sont appliquées simultanément, la vitesse verticale correctrice  $v_{CORR}$  dépend toujours du terme prédictif  $C_{P1}$  et prend l'une des formes suivantes :

$$v_{CORR} = C_{P1}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{PP1}$$

$$10 \quad \text{OU } v_{CORR} = C_{P1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{P1} + C_{PP2}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{PP1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{PP1} + C_{PP2}$$

Par suite, la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$ , retenue à l'étape c) et présentée au pilote, est, selon le cas, telle que :

$$v_{AP} = v + C_{P1}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{PP1}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{P1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{P1} + C_{PP2}$$

$$20 \quad \text{OU } v_{AP} = v + C_{PP1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{PP1} + C_{PP2}$$

Bien évidemment, on rappelle que ces vitesses verticales prédictives ne sont portées à la connaissance du pilote que si les conditions suivantes sont réalisées :

- la vitesse conventionnelle VC en vol de palier est inférieure à la vitesse  $V_Y$  laquelle est voisine de 65kt (nœuds),

- la vitesse conventionnelle VC est décroissante,

La connaissance de ces vitesses verticales prédictives permet au pilote d'un giravion de disposer d'informations opérationnelles prédictives qui offrent un effort moindre d'analyse et un confort temporel supplémentaire. Par conséquent, cet avantage permet de diminuer la probabilité de devoir gérer des situations d'urgence dans la précipitation et par suite d'améliorer fortement la sécurité.

Préférentiellement, la vitesse propre prédictive  $V_{PP}$  est déterminée par la relation :

$$V_{PP} = V_P + \frac{dV_P}{dt} \Delta t$$

avec un espace temps  $\Delta t$  avantageusement égal à 10 secondes.

Cette condition conduit à écrire la vitesse propre prévisionnelle dans 10 secondes de la façon suivante :

$$V_{P10} = V_P + (10 \times \frac{dV_P}{dt})$$

A titre d'exemple, la vitesse verticale prédictive dans 10 secondes s'écrit alors comme ci-après dans le cas le plus général :

$$v_{AP} = v + A[(v+k)\frac{V_{PP} - V_P}{2V_Y - V_{PP}}] + B(V_P \frac{dV_P}{dt})$$

soit, si  $\Delta t = 10$  secondes :

$$v_{AP} = v + A (v_{10} - v) + B(V_P \frac{dV_P}{dt})$$

où :

$$v_{10} = v + (v + k) \frac{V_{P10} - V_P}{2V_Y - V_{P10}}$$

$v_{10}$  étant la vitesse verticale  $v$  prédictive dans 10 secondes, sans prise en compte du terme correctif ou du terme correctif pondéré.

La détermination de la vitesse propre instantanée  $V_P$  selon au moins trois modes de réalisation de l'invention permet notamment de pallier à la perte de sensibilité à basse vitesse d'un anémomètre.

Selon le premier mode de réalisation de l'invention, on mesure la vitesse propre instantanée à partir d'un instrument connu sous l'appellation «Omni Directional Air Data System», parfois dénommé « ODAS », utilisé par exemple pour des hélicoptères militaires tels que l'appareil UH60 ou encore un dispositif similaire mis en œuvre sur l'hélicoptère « DAUPHIN™ COAST GUARD », développé par la demanderesse.

Il s'agit de deux tubes de Pitot placés sur deux bras opposés d'une antenne tournante, centrée sur l'axe de rotation du rotor principal, au dessus du plan des pales.

Un tel dispositif a une sensibilité à peu près constante et peut fournir les deux composantes de la vitesse air dans le plan de rotation du dispositif, à l'exclusion de la troisième composante.

Le deuxième mode de réalisation de l'invention fait recours pour la mesure de la vitesse d'un aéronef, notamment d'un giravion à basse vitesse, à l'anémomètre décrit dans le document FR0607239 de la demanderesse.

Cet instrument comporte un bras tournant à vitesse constante muni de deux sondes de pression disposées à chacune de ses extrémités, chaque sonde ayant deux prises de pression

symétriques par rapport au plan de rotation dudit bras, ce qui permet d'accéder aux trois composantes de la vitesse par rapport à l'air.

En conséquence, une telle anémométrie n'est plus un facteur limitant au niveau de la mesure des pressions statique et totale à basses vitesses et on obtient ainsi la vitesse propre du giravion avec une bonne précision à basse vitesse d'avancement avec ces deux dispositifs.

Le troisième mode de réalisation de l'invention est basé sur une hypothèse selon laquelle le vent ne change ni en intensité ni en direction pendant la réduction de la vitesse du giravion à partir de la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale jusqu'au vol stationnaire.

En effet, il est aisé de déterminer la vitesse du vent, à une vitesse conventionnelle supérieure à la vitesse de puissance minimale car dans ce premier régime de vitesse et comme déjà précisé, les informations d'origine anémométrique sont fiables. On a donc accès grâce à un anémomètre à la vitesse conventionnelle  $V_C$  et à la vitesse propre  $V_P$  après avoir effectué la correction barométrique selon la relation :

$$V_P = \frac{V_C}{\sqrt{\sigma}}$$

Par contre, aux basses vitesses ( $V_C < V_Y$ ) et avec un équipement courant, la seule mesure de vitesse sol fiable est actuellement celle fournie par un GPS (« Global Positioning System » en langue anglaise). La vitesse  $V_P$  ne peut plus donc résulter de la mesure anémométrique relative à la vitesse conventionnelle  $V_C$  fournie par un anémomètre.

Selon l'invention, on détermine dans ce cas la vitesse du vent  $\overline{V_w}$  au moment de la réduction de vitesse en dessous de  $V_Y$

en soustrayant vectoriellement la vitesse sol fournie par le GPS de la vitesse  $\vec{V}_p$  résultant de la mesure anémométrique. Cette vitesse  $\vec{V}_w$  est supposée rester constante pendant l'approche du giravion durant laquelle sa vitesse diminue de  $V_Y$  à zéro, de sorte que la  
5 vitesse propre  $\vec{V}_p$  est alors estimée égale à la somme vectorielle  $\vec{V}_s + \vec{V}_w$ ,  $\vec{V}_s$  étant la vitesse sol instantanée issue du GPS dans l'ensemble du deuxième régime. La vitesse conventionnelle VC correspondante sera ainsi égale à  $V_p \sqrt{\sigma}$ .

On obtient ainsi la vitesse propre  $V_p$  du giravion quelle que  
10 soit sa vitesse de vol. Cependant, il est à noter que la vitesse propre  $V_p$  déterminée dans ce troisième mode de réalisation de l'invention est essentiellement bidimensionnelle du fait que la vitesse sol fournie par le GPS est aussi bidimensionnelle.

Avantageusement, la mise en œuvre de ce procédé dans un  
15 giravion, permettant de prendre connaissance de la vitesse verticale prédictive, soulage le pilote et l'équipage (meilleures informations opérationnelles, confort temporel) et diminue la probabilité de devoir gérer des situations d'urgence dans la précipitation.

20 L'invention a également pour objet un variomètre prédictif pour l'obtention d'une vitesse verticale prédictive d'un giravion mettant en œuvre le procédé présenté ci-dessus, et qui se caractérise en ce qu'il comprend :

- 25 - un premier moyen pour mesurer la vitesse verticale instantanée  $v$  d'un giravion,
- un deuxième moyen pour mesurer la vitesse propre instantanée  $V_p$  d'un giravion,

- un troisième moyen pour calculer la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion, ce troisième moyen étant d'une part relié aux premier et deuxième moyens respectivement par une première  $\ell 1$  et une deuxième  $\ell 2$  liaisons.

5           Avantageusement, la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$ , élaborée par le troisième moyen est affichée, via une troisième liaison  $\ell 3$  au dit premier moyen.

Par ailleurs et de préférence, ce premier moyen est un variomètre classique.

10           En outre, le deuxième moyen est de façon avantageuse mais non exclusivement soit un anémomètre selon les deux premiers modes de réalisation précités, soit un GPS selon le troisième mode de réalisation. Dans ce dernier cas, la vitesse propre correspond à la somme vectorielle de la vitesse fournie par le GPS et de la  
15 vitesse du vent obtenue par différence de la vitesse propre et de la vitesse donnée par le GPS quand la vitesse conventionnelle est égale ou supérieure à la vitesse de puissance minimale.

Le troisième moyen est un calculateur élaborant la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  à partir des informations suivantes  
20 relatives au giravion :

- la vitesse verticale instantanée,
- la vitesse propre instantanée,
- les valeurs prédéterminées de la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale et d'une constante caractéristique  $k$ , à savoir la  
25 constante caractéristique décrite précédemment dans le cadre du procédé revendiqué, qui sont des constantes pour un giravion d'un type donné de giravion, ainsi que les constantes A et B précédemment présentées.

En outre, le variomètre prédictif selon l'invention comprend avantagement et de façon optionnelle un quatrième moyen pour mesurer l'accélération instantanée du giravion.

5 Ce quatrième moyen est relié au troisième moyen par une liaison  $\ell 4$ .

De préférence, le quatrième moyen est un accéléromètre disposé selon l'axe longitudinal du giravion.

10 L'invention et ses avantages apparaîtront avec plus de détails dans le cadre de la description suivante qui illustre des exemples de réalisation préférés, donnés sans aucun caractère limitatif, en référence aux figures annexées qui représentent :

- la figure 1, un schéma de présentation du dispositif selon l'invention,
  - la figure 2, un schéma synoptique des étapes d'exécution du procédé selon l'invention.
- 15

Les éléments présents dans plusieurs figures distinctes sont affectés d'une seule et même référence.

20 Le variomètre prédictif 1, représenté schématiquement sur la figure 1 et conforme à l'invention, est destiné à déterminer une vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion. Ce variomètre prédictif 1 fonctionne à partir d'un premier moyen 1' constitué de préférence par un variomètre classique et présente au pilote la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  sur l'indicateur 20 de ce variomètre classique.

25 Pour ce faire, la vitesse verticale instantanée  $v$ , mesurée par un variomètre 1' est transmise par une première liaison  $\ell 1$  à un troisième moyen 3 à savoir un calculateur, lequel après un traitement numérique approprié élabore, si besoin, une vitesse

verticale prédictive  $v_{AP}$ , transmise via une troisième liaison  $\ell_3$  à l'indicateur 20 sur lequel elle s'affiche.

Par ailleurs, le variomètre prédictif 1 comprend également un deuxième moyen 2 pour mesurer la vitesse propre  $V_P$  instantanée d'un giravion, ce deuxième moyen étant relié au troisième moyen 3 par une deuxième liaison  $\ell_2$ .

Selon trois principaux modes de réalisation de l'invention, le deuxième moyen 2 correspond aux instruments suivants :

- 10 - soit à un « Omni Directional Air Data System », selon le premier mode de réalisation,
- soit à un anémomètre tel que décrit dans le document FR 0607239, selon le deuxième mode de réalisation,
- 15 - soit à un GPS, de sorte que si la vitesse conventionnelle  $V_C$  du giravion est inférieure à la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale, la vitesse propre  $V_P$  du giravion correspond à la somme vectorielle de la vitesse sol  $\overline{V}_S$  fournie par le GPS et de la vitesse du vent  $\overline{V}_W$  obtenue par différence entre la vitesse propre donnée par un anémomètre et la vitesse donnée par le GPS quand la vitesse conventionnelle  $V_C$  est égale à la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale, sachant que  
20  $V_C = V_P \sqrt{\sigma}$  avec  $\sigma$  égal à la densité relative de l'air ambiant (quotient de la masse volumique  $\rho$  de l'air à l'altitude considérée par la masse volumique de l'air  $\rho_0$  au sol en « atmosphère standard »).

25 Bien entendu, on peut envisager tout autre instrument de mesure de la vitesse propre, sans pour autant sortir du cadre de la présente invention.

Par ailleurs, le troisième moyen 3 contient en mémoire les valeurs prédéterminées de la vitesse  $V_Y$  de puissance minimale et d'une constante caractéristique  $k$ , qui sont des constantes pour un giravion d'un type donné de giravion, ainsi que les constantes A et B précédemment présentées.

De plus, un quatrième moyen 4 est nécessaire pour déterminer de façon optionnelle l'accélération instantanée  $\frac{dV_P}{dt}$  du giravion ( $t$ =temps). De préférence mais non exclusivement, il s'agit d'un accéléromètre disposé selon l'axe longitudinal du giravion. Ce quatrième moyen 4 est relié au troisième moyen 3 par une quatrième liaison  $\ell_4$ .

La vitesse verticale  $v_{AP}$  élaborée par le troisième moyen 3 est affichée sur l'indicateur 20 du premier moyen 1' via une troisième liaison  $\ell_3$ .

Dans ces conditions, ledit variomètre prédictif 1 met en œuvre le procédé schématisé par la figure 2.

Ainsi le procédé d'obtention d'une vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion est remarquable en ce que l'on effectue successivement les étapes suivantes :

- a) on mesure la vitesse verticale instantanée  $v$  du giravion,
- b) on détermine une vitesse verticale correctrice  $v_{CORR}$ ,
- c) on additionne la vitesse verticale correctrice  $v_{CORR}$  à la vitesse verticale instantanée  $v$  pour obtenir ladite vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$ .

Avantageusement, on mesure la vitesse verticale instantanée  $v$  grâce à un variomètre 1'.

Plus précisément, au cours de l'étape b), durant une étape b1), on détermine une première correction de la mesure de la vitesse verticale instantanée  $v$  en fonction de la vitesse propre instantanée  $V_P$ , la vitesse propre prédictive  $V_{PP}$ , la vitesse de puissance minimale  $V_Y$ , la vitesse verticale instantanée  $v$  mesurée par un variomètre et une constante caractéristique  $k$  du giravion d'un type donné de giravion.

Cette constante caractéristique  $k$  est déterminée grâce à des essais et à partir d'une approximation linéaire qui correspond à un rapport de proportionnalité entre puissances et vitesse verticale du giravion, indépendant de la masse de ce giravion, tel que :

$$v = k \left( \frac{W}{W_n} - 1 \right)$$

Dans cette relation, on désigne par  $W_n$  la puissance nécessaire pour voler en palier à la vitesse propre  $V_P$ , et par  $W$  la puissance disponible instantanée du giravion.

Cette première correction, n'est applicable que si les deux conditions suivantes sont remplies :

- la vitesse conventionnelle  $VC$  en vol de palier est inférieure à la vitesse  $V_Y$  laquelle est voisine de 65kt (nœuds),
- la vitesse conventionnelle  $VC$  est décroissante

Sur cette base et en premier lieu, on détermine un terme correctif prédictif  $C_{P1}$  applicable à la vitesse verticale  $v$  et valant :

$$C_{P1} = (v + k) \frac{V_{PP} - V_P}{2V_Y - V_{PP}}$$

Dans le cadre de cette première correction, il est prévu éventuellement en deuxième lieu durant une étape b1') de

pondérer le terme prédictif  $C_{P1}$  par un premier coefficient pondérateur A déterminé par des essais relatifs à chaque type de giravion. Ce premier coefficient pondérateur est généralement proche de l'unité.

- 5 Le terme prédictif pondéré  $C_{PP1}$  s'écrit donc :

$$C_{PP1} = A \times C_{P1}$$

Dans ces conditions, la première correction de la mesure de la vitesse verticale instantanée  $v$  est égale soit au terme prédictif  $C_{P1}$  soit au terme prédictif pondéré  $C_{PP1}$ .

- 10 Le procédé selon la présente invention peut comprendre de plus durant l'étape b), une étape b2) au cours de laquelle on détermine une deuxième correction de la vitesse verticale instantanée  $v$ .

- 15 Sur cette base et en premier lieu, on détermine un terme correctif  $C_{P2}$  applicable à la vitesse verticale  $v$  par la relation suivante où  $t$  désigne le temps:

$$C_{P2} = V_P \frac{dV_P}{dt}$$

- qui par définition s'oppose à la variation d'altitude  $\frac{dh}{dt}$  du giravion si le bilan de puissance est supposé momentanément égal à une  
20 constante CT conformément à la relation :

$$\frac{1}{2}mV_P^2 + mgh + \int Wn + \int W = CT$$

les deux premières expressions désignant respectivement l'énergie cinétique et l'énergie potentielle relatives au giravion.

Dans le cadre de cette deuxième correction, il est prévu éventuellement en deuxième lieu, durant une étape b2') de pondérer le terme correctif  $C_{P2}$  par un deuxième coefficient pondérateur B sensiblement égal à 0,5.

- 5 Le terme correctif pondéré  $C_{PP2}$  s'écrit donc :

$$C_{PP2} = B \times C_{P2}$$

Par conséquent, la deuxième correction de la mesure de la vitesse verticale instantanée  $v$  est égale soit au terme correctif  $C_{P2}$ , soit au terme correctif pondéré  $C_{PP2}$ .

- 10 Dans la mesure où d'une part la première correction est seulement appliquée et d'autre part les première et deuxième corrections sont appliquées simultanément, la vitesse verticale corrective  $v_{CORR}$  prend l'une des formes suivantes :

$$v_{CORR} = C_{P1}$$

- 15 OU  $v_{CORR} = C_{PP1}$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{P1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{P1} + C_{PP2}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{PP1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{CORR} = C_{PP1} + C_{PP2}$$

- 20 Par suite, la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$ , retenue à l'étape c et présentée au pilote, est, selon le cas, telle que :

$$v_{AP} = v + C_{P1}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{PP1}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{P1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{P1} + C_{PP2}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{PP1} + C_{P2}$$

$$\text{OU } v_{AP} = v + C_{PP1} + C_{PP2}$$

Préférentiellement, la vitesse propre prédictive  $V_{PP}$  est  
 5 déterminée par la relation :

$$V_{PP} = V_P + \frac{dV_P}{dt} \Delta t$$

avec un espace temps  $\Delta t$  avantageusement égal à 10 secondes.

Cette condition conduit à écrire la vitesse propre  
 prévisionnelle dans 10 secondes de la façon suivante :

10 
$$V_{P10} = V_P + (10 \times \frac{dV_P}{dt} )$$

A titre d'exemple, la vitesse verticale prédictive dans 10  
 secondes s'écrit alors comme ci-après dans le cas le plus  
 général :

$$v_{AP} = v + A[(v+k) \frac{V_{PP} - V_P}{2V_y - V_{PP}}] + B(V_P \frac{dV_P}{dt} )$$

15 soit, si  $\Delta t = 10$  secondes :

$$v_{AC} = v + A (v_{10} - v) + B(V_P \frac{dV_P}{dt} )$$

où :

$$v_{10} = v + (v + k) \frac{V_{P10} - V_P}{2V_y - V_{P10}}$$

$v_{10}$  étant la vitesse verticale  $v$  prédictive dans 10 secondes.

Naturellement, la présente invention est sujette à de nombreuses variations quant à sa mise en œuvre. Bien que plusieurs modes de réalisations aient été décrits, on comprend bien qu'il n'est pas concevable d'identifier de manière exhaustive tous les modes possibles. Il est bien sûr envisageable de remplacer un moyen décrit par un moyen équivalent sans sortir du cadre de la présente invention.

Dans la mesure où il est envisagé d'améliorer la précision des vitesses prédictives, une expérimentation spécifique est effectuée en vol avec le giravion concerné d'un type particulier de giravion, pour déterminer avec précision les premier et deuxième coefficients pondérateurs A et B au lieu de les fixer à des valeurs arbitraires respectives de 1 et 0,5 par exemple.

En pratique, et selon un protocole préféré, ledit giravion concerné se déplaçant sensiblement à la vitesse  $V_\gamma$  de puissance minimale et éventuellement en cours d'évolutions à vitesse verticale instantanée non nulle, un essai consiste à réduire, à partir d'une vitesse propre instantanée  $V_p$  inférieure ou égale à  $V_\gamma$  à un premier temps t, cette vitesse d'avancement de giravion tout en maintenant si possible constante la puissance motrice. De plus, on répète l'essai en imposant au giravion, à chaque essai, un niveau à peu près constant de décélération, étant entendu que d'une part ledit niveau de décélération peut être modifié d'un essai à l'autre et d'autre part que plusieurs essais peuvent être réalisés à un même niveau de décélération, ou encore à partir de différentes vitesses propres instantanées  $V_p$  au premier temps t.

Chaque niveau de décélération est obtenu par un déplacement longitudinal du manche cyclique vers l'arrière du giravion par le pilote. Dans ces conditions, il en résulte une inclinaison du plateau cyclique donc du plan de rotation du rotor dans le sens à cabrer vers l'avant du giravion.

Cette action a pour effet d'imposer une décélération au giravion concerné.

Par ailleurs, chaque essai est poursuivi pendant une durée d'au moins dix secondes c'est-à-dire jusqu'à un deuxième temps (t + 10 secondes), cette durée de 10 secondes étant préférentiellement retenue pour la prédiction de la vitesse propre prévisionnelle  $V_{pp}$  écrite alors sous la forme  $V_{p10}$ .

Durant chaque essai, on enregistre par conséquent, pendant 10 secondes au moins, les mesures des quantités suivantes :

- 10        - la vitesse verticale instantanée  $v$ , au début de l'essai au premier temps  $t$ ,
- la vitesse verticale  $v$  au deuxième temps ( $t + 10$  secondes), égale de fait à la vitesse verticale  $v_{AP}$  à un temps ( $t + 10$  secondes),
- 15        - la vitesse propre instantanée  $V_P$  au premier temps  $t$ ,
- la décélération  $\frac{dV_P}{dt}$

sachant que les quantités  $v_y$  et  $k$  sont connues par ailleurs, comme des caractéristiques dudit type de giravion.

Par suite, on calcule les termes  $C_{p1}$  et  $C_{p2}$  pour chaque essai de telle sorte que l'on établit pour chaque essai une équation de la forme :

$$(A \times C_{p1}) + (B \times C_{p2}) = v_{AP} - v$$

ou :  $v_{AP}$  est égale à la vitesse verticale  $v$  mesurée au deuxième temps ( $t + 10$  secondes, et

25         $v$  est égale à la vitesse verticale  $v$  mesurée au premier temps

(t).

Il y a donc autant d'équations que d'essais, le système d'équations en résultant étant résolu par des méthodes numériques classiques qu'il n'est pas nécessaire de décrire  
5 présentement.

La résolution de ce système d'équations permet ainsi d'obtenir des premier et deuxième coefficients pondérateurs A et B.

Ces coefficients pondérateurs peuvent être exploités  
10 indifféremment à l'aide des relations suivantes décrites précédemment selon le cas d'espèce envisagé :

$$V_{AP} = V + C_{PP1} \text{ (coefficient A seul utilisé)}$$

$$V_{AP} = V + C_{PP2} \text{ (coefficient B seul utilisé)}$$

$$V_{AP} = V + C_{P1} + C_{PP2} \text{ (coefficient B seul utilisé)}$$

15  $V_{AP} = V + C_{PP1} + C_{P2} \text{ (coefficient A seul utilisé)}$

$$V_{AP} = V + C_{PP1} + C_{PP2} \text{ (coefficients A et B utilisés)}$$

## REVENDEICATIONS

1. Procédé d'obtention d'une vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion,

5 caractérisé en ce que l'on effectue successivement les étapes suivantes :

- a) on mesure la vitesse verticale instantanée ( $v$ ) du giravion,
- b) on détermine une vitesse verticale correctrice ( $v_{CORR}$ ) dépendant d'un terme prédictif ( $C_{P1}$ ),
- 10 c) on additionne la vitesse verticale correctrice ( $v_{CORR}$ ), à la vitesse verticale instantanée ( $v$ ) pour obtenir ladite vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ).

et en ce que, au cours de l'étape b), durant une étape b1) on détermine ledit terme prédictif ( $C_{P1}$ ) tel que :

$$15 \quad C_{P1} = (v+k) \frac{V_{PP} - V_P}{2V_Y - V_{PP}}$$

avec :

$V_P$  = vitesse propre instantanée du giravion,

$V_{PP}$  = vitesse propre prédictive du giravion déterminée par la relation suivante où  $t$  et  $\Delta t$  désignent respectivement le temps et

20 un espace de temps :  $V_{PP} = V_P + \frac{dV_P}{dt} \Delta t$ ,

$V_Y$  = vitesse prédéterminée de puissance minimale du giravion, d'un type donné de giravion,

k = constante caractéristique prédéterminé du giravion, déterminé à partir d'une approximation linéaire qui correspond à un rapport de proportionnalité entre puissances et vitesse verticale du giravion.

5 si les deux conditions suivantes sont remplies :

- la vitesse conventionnelle (VC) en vol de palier est inférieure à la vitesse ( $V_Y$ ) de puissance minimale,
- la vitesse conventionnelle (VC) est décroissante.

2. Procédé selon la revendication 1,

10 caractérisé en ce que durant une étape supplémentaire b1'), on détermine un terme prédictif pondéré ( $C_{PP1}$ ), A étant un premier coefficient pondérateur, tel que :

$$C_{PP1} = A \times C_{P1}$$

3. Procédé selon la revendication 2,

15 caractérisé en ce que le premier coefficient pondérateur (A) est proche de 1.

4. Procédé selon la revendication 1,

20 caractérisé en ce que la vitesse verticale correctrice ( $v_{CORR}$ ) est égale au terme prédictif ( $C_{P1}$ ) de sorte que la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) est telle que :

$$v_{AP} = v + C_{P1}$$

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 ou 3,

caractérisé en ce que la vitesse verticale correctrice ( $v_{CORR}$ ) est égale au terme prédictif pondéré ( $C_{PP1}$ ), de sorte que la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) est telle que :

$$V_{AP} = v + C_{PP1}$$

- 5           6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que, au cours de l'étape b), durant une étape b2), on détermine un terme correctif ( $C_{P2}$ ) tel que :

$$C_{P2} = V_P \frac{dV_P}{dt}$$

- 10            $V_P$  désignant la vitesse instantanée du giravion et  $\frac{dV_P}{dt}$  son accélération instantanée,  $t$  étant le temps.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que, ayant déterminé au cours d'une étape b1) un terme prédictif ( $C_{P1}$ ), la vitesse verticale correctrice ( $v_{CORR}$ ) est égale à l'addition du terme correctif ( $C_{P2}$ ) et du terme prédictif  $C_{P1}$   
15 de sorte que la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) est telle que :

$$V_{AP} = v + C_{P1} + C_{P2}$$

8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que, ayant déterminé au cours d'une étape supplémentaire b'1) un terme prédictif pondéré ( $C_{PP1}$ ), la vitesse  
20 verticale correctrice ( $v_{CORR}$ ) est égale à l'addition du terme correctif ( $C_{P2}$ ) et du terme prédictif pondéré ( $C_{PP1}$ ) de sorte que la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) est telle que :

$$V_{AP} = v + C_{PP1} + C_{P2}$$

9. Procédé selon la revendication 6,

caractérisé en ce que durant une étape supplémentaire b2'), on détermine un terme correctif pondéré ( $C_{PP2}$ ), B étant un deuxième coefficient pondérateur, tel que :

$$C_{PP2} = B \times C_{P2}$$

5 10. Procédé selon la revendication 9,

caractérisé en ce que le deuxième coefficient pondérateur B est sensiblement égal à 0,5.

11. Dispositif selon les revendications 9 ou 10,

10 caractérisé en ce que, ayant déterminé au cours d'une étape b1) un terme prédictif ( $C_{P1}$ ), la vitesse verticale corrective ( $v_{CORR}$ ) est égale à l'addition du terme prédictif ( $C_{P1}$ ) et du terme correctif pondéré ( $C_{PP2}$ ) de sorte que la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) est telle que :

$$v_{AP} = v + C_{P1} + C_{PP2}$$

15 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 9 ou 10,

caractérisé en ce que, ayant déterminé au cours d'une étape supplémentaire b'1) un terme prédictif pondéré ( $C_{PP1}$ ), la vitesse verticale corrective ( $v_{CORR}$ ) est égale à l'addition du terme prédictif pondéré ( $C_{PP1}$ ) et du terme correctif pondéré ( $C_{PP2}$ ) de sorte que la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) est telle que :

$$v_{AP} = v + C_{PP1} + C_{PP2}$$

13. Procédé selon la revendication 1 ,

25 caractérisé en ce que l'espace de temps ( $\Delta t$ ) est sensiblement de dix secondes.

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

caractérisé en ce que l'on mesure l'accélération ( $\frac{dV_P}{dt}$ ) à l'aide d'un accéléromètre disposé selon l'axe longitudinal du giravion.

5 15. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce que l'on mesure la vitesse propre instantanée ( $V_P$ ) à l'aide d'un « Omni Directionnal Air Data System ».

10 16. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14,

caractérisé en ce que l'on mesure la vitesse propre instantanée ( $V_P$ ) à l'aide d'un anémomètre comportant un bras tournant à vitesse constante, muni de deux sondes de pression disposées chacune à une des extrémités dudit bras, chaque sonde ayant deux  
15 prises de pression symétriques par rapport au plan de rotation du bras.

17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 14,

caractérisé en ce que si la vitesse conventionnelle ( $V_C$ ) du giravion  
20 est inférieure à la vitesse ( $V_Y$ ) de puissance minimale, on calcule la vitesse propre ( $V_P$ ) dudit giravion en faisant la somme vectorielle de la vitesse sol ( $\overline{V_S}$ ) fournie par un GPS et de la vitesse du vent ( $\overline{V_W}$ ) obtenue par différence entre la vitesse propre donnée par un anémomètre et la vitesse donnée par un GPS quand la vitesse  
25 conventionnelle ( $V_C$ ) est égale à la vitesse ( $V_Y$ ) de puissance minimale.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 19,

caractérisé en ce que l'on mesure la vitesse verticale instantanée ( $v$ ) avec un variomètre (1').

5 19. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce que l'on indique la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) du pilote à l'aide du variomètre (1') transformé en un variomètre prédictif (1).

10 20. Variomètre prédictif (1) pour l'obtention d'une vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion mettant en œuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,

caractérisé en ce qu'il comprend :

- 15 - un premier moyen (1') pour mesurer la vitesse verticale instantanée  $v$  d'un giravion,
- un deuxième moyen (2) pour mesurer la vitesse propre  $V_p$  instantanée d'un giravion,
- un troisième moyen (3) pour calculer la vitesse verticale prédictive  $v_{AP}$  d'un giravion, ce troisième moyen étant d'une part relié aux premier et deuxième moyens respectivement
- 20 par une première ( $\ell_1$ ) et une deuxième ( $\ell_2$ ) liaisons et contenant en mémoire les valeurs prédéterminées de la vitesse ( $V_Y$ ) de puissance minimale et d'une constante caractéristique ( $k$ ) qui sont des constantes relatives au dit
- 25 giravion, d'un type donné de giravion.

le troisième moyen (3) étant un calculateur élaborant la vitesse verticale prédictive notamment à partir des informations suivantes relatives au giravion :

- 5           - la vitesse verticale instantanée du giravion d'un type donné de giravion,
- la vitesse propre instantanée du giravion d'un type donné de giravion,
- la vitesse prédéterminée ( $V_{\gamma}$ ) de puissance minimale du giravion d'un type donné du giravion,
- 10          - une constante caractéristique prédéterminée ( $k$ ) du giravion d'un type donné du giravion.

21. Variomètre prédictif (1) selon la revendication 20, caractérisé en ce qu'il comprend de plus un quatrième moyen (4), relié au troisième moyen (3) par une quatrième liaison ( $\ell_4$ ), pour  
15 mesurer l'accélération instantanée ( $\frac{dV_p}{dt}$ ) dudit giravion.

22. Variomètre prédictif (1) selon l'une des revendications 20 ou 21, caractérisé en ce que, la vitesse verticale prédictive ( $v_{AP}$ ) élaborée par le troisième moyen (3) est affichée via une troisième liaison  
20 ( $\ell_3$ ) sur l'indicateur (20) dudit premier moyen (1').

23. Variomètre prédictif (1) selon l'une quelconque des revendications 20 à 22, caractérisé en ce que ledit premier moyen (1') est un variomètre classique.

24. Variomètre prédictif (1) selon l'une quelconque des revendications 20 à 23,

caractérisé en ce que le deuxième moyen (2) est un « Omni Directional Air Data System ».

5 25. Variomètre prédictif (1) selon l'une quelconque des revendications 20 à 23,

caractérisé en ce que le deuxième moyen (2) est un anémomètre comportant un bras tournant à vitesse constante, muni de deux sondes de pression disposées chacune à une des extrémités dudit  
10 bras, chaque sonde ayant deux prises de pression symétriques par rapport au plan de rotation du bras.

26. Variomètre prédictif (1) selon l'une quelconque des revendications 20 à 23,

caractérisé en ce que le deuxième moyen (2) est un GPS de telle  
15 sorte que si la vitesse conventionnelle ( $V_C$ ) du giravion est inférieure à la vitesse ( $V_Y$ ) de puissance minimale, la vitesse propre ( $V_P$ ) dudit giravion correspond à la somme vectorielle de la vitesse sol ( $\overrightarrow{V_S}$ ) fournie par un GPS et de la vitesse du vent ( $\overrightarrow{V_W}$ )  
obtenue quant à elle par différence entre la vitesse donnée par un  
20 anémomètre et la vitesse donnée par un GPS quand la vitesse conventionnelle ( $V_C$ ) est égale à la vitesse ( $V_Y$ ) de puissance minimale.

27. Variomètre prédictif (1) selon la revendication 21,

caractérisé en ce que le quatrième moyen (4) est de préférence un  
25 accéléromètre disposé selon l'axe longitudinal du giravion.

28. Variomètre prédictif (1) selon l'une quelconque des revendications 20 à 27,

caractérisé en ce que le troisième moyen (3) est un calculateur élaborant la vitesse verticale à partir des informations suivantes relatives au giravion :

- 5           - la vitesse verticale instantanée du giravion d'un type donné de giravion,
- la vitesse propre instantanée du giravion d'un type donné de giravion,
- l'accélération instantanée du giravion d'un type donné de giravion,
- 10          - la vitesse prédéterminée ( $V_{\gamma}$ ) de puissance minimale du giravion d'un type donné de giravion, et
- une constante caractéristique (k) du giravion d'un type donné de giravion.

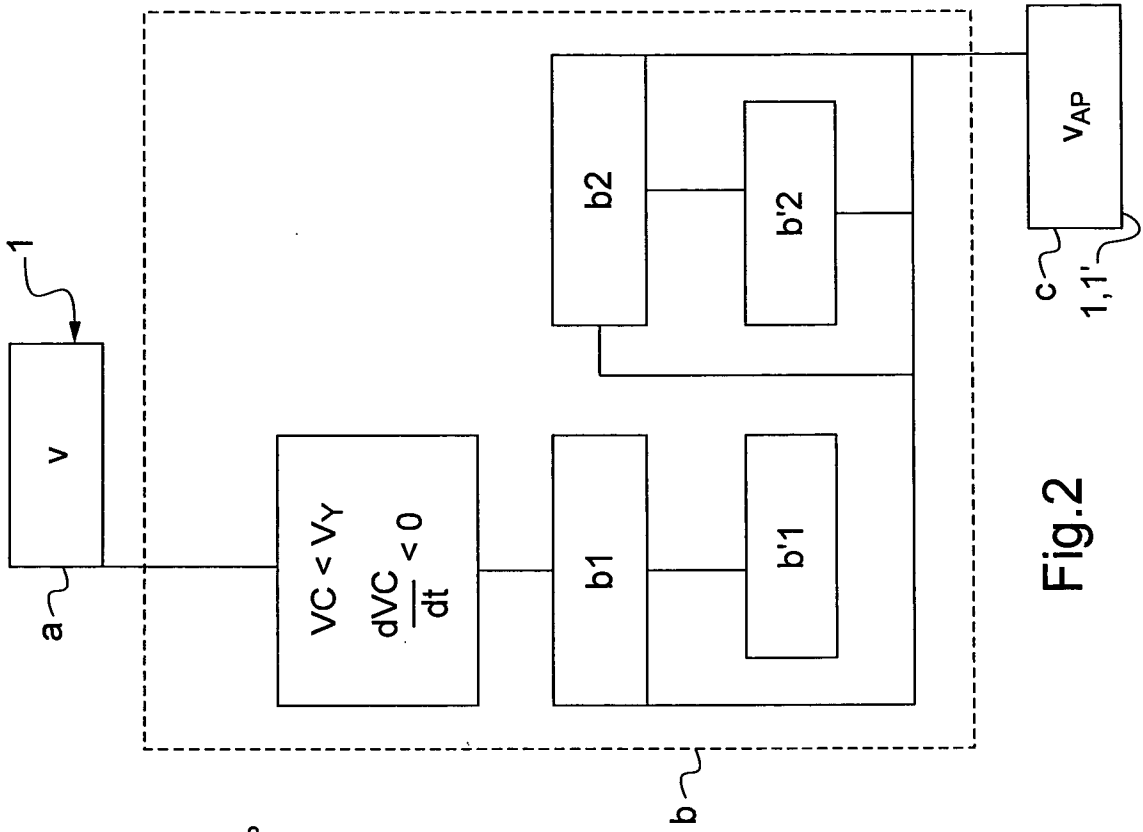


Fig.2

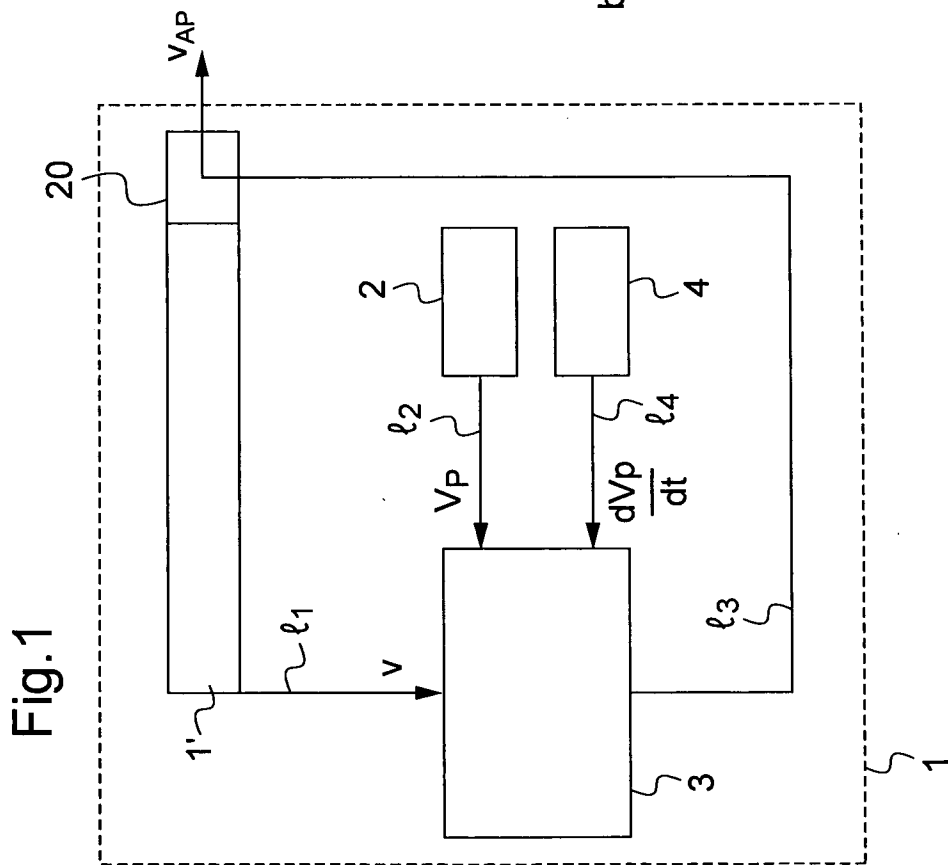


Fig.1