

(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
24 décembre 2008 (24.12.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2008/155299 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G01S 13/95 (2006.01)

(74) Mandataires : **LUCAS, Laurent** etc.; 31-33 Avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2008/057516

(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, 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, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(22) Date de dépôt international : 13 juin 2008 (13.06.2008)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0704282 15 juin 2007 (15.06.2007) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 45 rue de Villiers, F-92200 Neuilly Sur Seine (FR).

(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), 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).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :
KEMKEMIAN, Stéphane [FR/FR]; 7, rue du Loining, F-75014 Paris (FR). **THUILLIEZ, Hélène** [FR/FR]; 11-13, rue de Bruxelles, F-78990 Elancourt (FR). **NOUVEL, Myriam** [FR/FR]; 1, rue Auguste Blanqui, F-78370 Plaisir (FR).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(54) Title: METHOD FOR CHARACTERISING AN ATMOSPHERIC TURBULENCE USING REPRESENTATIVE PARAMETERS MEASURED BY RADAR

(54) Titre : PROCEDE DE CARACTERISATION D'UNE TURBULENCE ATMOSPHERIQUE PAR DES PARAMETRES REPRESENTATIFS MESURES PAR UN RADAR

(57) Abstract: The invention relates to a method for characterising an atmospheric turbulence using representative parameters measured by a radar, the emission beam of a radar borne on an aircraft (41) scanning the turbulence area (42), a measured parameter being the total variance of the turbulence speed σ_U , wherein the total variance at a point x_0 within the turbulence is the sum of the space variance of a 1-magnitude spectral moment of the signals received by the radar $\text{Var}[M_1(x)]$ and of the spatial average r of the 2-magnitude spectral moment of the received signals $\text{Moy}[M_2(x)]$, the r moments being distributed in a vector x scanning an atmospheric domain about the point x_0 . The invention can particularly be used for meteorological radars on aircraft such as airliners.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de caractérisation d'une turbulence atmosphérique par des paramètres représentatifs mesurés par un radar. Le faisceau d'émission du radar porté par un aéronef (41) balayant la zone de la turbulence (42), un paramètre mesuré étant la variance totale de la vitesse de la turbulence σ_U , cette variance totale en un point x_0 à l'intérieur de la turbulence est la somme de la variance spatiale du moment spectral d'ordre 1 des signaux reçus par le radar (1) et de la moyenne spatiale du moment spectral d'ordre 2 des signaux reçus (2), les moments étant distribués en un vecteur (3) balayant un domaine atmosphérique autour du point x_0 . L'invention s'applique notamment pour des radars météorologiques équipant des aéronefs tels que des avions de ligne par exemple.

WO 2008/155299 A1

**PROCEDE DE CARACTERISATION D'UNE TURBULENCE
ATMOSPHERIQUE PAR DES PARAMETRES REPRESENTATIFS
MESURES PAR UN RADAR**

La présente invention concerne un procédé de caractérisation d'une turbulence atmosphérique par des paramètres représentatifs mesurés par un radar. Elle s'applique notamment pour des radars météorologiques équipant
5 des aéronefs tels que des avions de ligne par exemple.

La navigation aérienne cherche à éviter les zones atmosphériques turbulentes. Pour les détecter et les anticiper, les aéronefs disposent généralement d'un radar dont l'antenne balaye et illumine les régions
10 susceptibles d'être traversées par l'aéronef porteur. La réception et le traitement des échos météorologiques, après élimination des échos d'autre nature tels que les échos de sol par exemple, fournissent la variance du champ de vitesse radiale du vent, plus particulièrement du moment de vitesse radiale d'ordre 2.

15 En réalité, on ne mesure pas directement la vitesse du vent mais celle de traceurs entraînés par les mouvements de la masse d'air. Ces traceurs sont, le plus souvent, des hydrométéores tels que des gouttes d'eau, de neige, de grêle ou de glace surfondue par exemple. A proximité du sol, il est aussi possible d'exploiter la réflexion des ondes radar sur des météores non
20 aqueux, tels que les poussières ou les insectes par exemple, entraînés par les mouvements atmosphériques. Toutefois en haute altitude, seuls les hydrométéores sont exploitables.

Un radar météorologique identifie tout d'abord les zones dangereuses par une mesure de réflectivité. En effet, une forte réflectivité correspond à des
25 précipitations importantes et donc à des phénomènes convectifs dangereux. A contrario il existe des situations du point de vue de la navigation aérienne qui ne sont pas forcément associées à une forte réflectivité. De telles situations se rencontrent notamment :

- au voisinage des systèmes convectifs où des mouvements d'air
30 dangereux peuvent être présents sans précipitations importantes ;
- du fait que les hydrométéores présents en haute altitude sont le plus souvent gelés donc faiblement visibles par un radar météorologique conventionnel.

2

De plus, il est souhaitable que l'équipage d'un aéronef dispose d'une alerte la plus précoce possible afin de dérouter l'aéronef où de prendre les dispositions nécessaires pour garantir la sécurité des passagers à bord.

Un problème est lié aux contraintes d'emport des aéronefs. En effet, la
5 puissance d'émission et la dimension des matériels aériens étant limitées par ces contraintes d'emport, il est par conséquent nécessaire que les algorithmes de mesures soient le plus sensible possible.

Un autre problème provient du fait que la connaissance seule de la variance de vitesse du champ de vent n'est pas suffisante pour mesurer le degré de
10 sévérité de l'effet de la turbulence sur un aéronef. En effet pour une variance donnée l'effet sur l'avion, mesuré en terme de facteur de charge, dépend de la manière dont varie dans le temps ce champ de vitesse turbulent lorsque l'aéronef le traverse. En d'autres termes, la caractérisation fine de l'impact de la turbulence sur un aéronef nécessite la mesure de la fonction
15 d'autocorrélation spatiale du champ de vitesse turbulent.

Un but de l'invention est notamment de surmonter les problèmes précités. A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de caractérisation d'une turbulence atmosphérique par des paramètres représentatifs mesurés par un
20 radar dont le faisceau d'émission balaye la zone de la turbulence, caractérisé en ce qu'un paramètre mesuré étant la variance totale de la vitesse de la turbulence σ_u , cette variance totale en un point x_0 à l'intérieur de la turbulence est la somme de la variance spatiale du moment spectral d'ordre 1 des signaux reçus par le radar $Var[M1(\vec{x})]$ et de la moyenne spatiale du
25 moment spectral d'ordre 2 des signaux reçus $Moy[M2(\vec{x})]$, les moments étant distribués en un vecteur $\vec{x}$ balayant un domaine atmosphérique autour du point x_0 .

30 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit faite en regard de dessins annexés qui représentent :
- la figure 1, une illustration d'un mécanisme de turbulences atmosphériques ;
- la figure 2, une présentation du spectre d'énergie cinétique en fonction
35 de l'inverse de l'échelle spatiale (nombre d'onde k);

3

- la figure 3, une courbe représentative d'une répartition d'énergie en fonction d'un nombre d'onde réduit ;
- la figure 4, un aéronef équipé d'un radar approchant une zone de turbulence ;
- 5 - la figure 5, un réseau de courbes représentatives d'échelles de turbulence en fonction de paramètres radar mesurés ;
- la figure 6, une présentation d'étapes possibles pour un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
- la figure 7, une illustration d'un calcul de corrélation temporelle effectué dans une première étape possible ;
- 10 - la figure 8, un tableau spatial de corrélations temporelles obtenu à l'issue de l'étape précitée ;
- la figure 9, une illustration des moyennes spatiales vectorielles et scalaires pour le calcul d'une corrélation spatiale obtenue dans une
- 15 deuxième étape possible.

La figure 1 illustre le mécanisme de turbulences atmosphériques, plus particulièrement le mécanisme d'injection, de cascade et de dissipation progressive de l'énergie turbulente. Un phénomène turbulent est caractérisé

20 par la présence de tourbillons de vitesse 1 au sein du fluide, de différentes échelles, et la dégradation progressive dans le temps 2 des phénomènes de grande échelle 3 vers les phénomènes de petites échelles 4, puis leur disparition par dissipation thermique.

Si à un instant t on initie à une grande échelle L_1 , dite échelle d'injection, un

25 mouvement tourbillonnaire 1, 3 d'énergie cinétique E par unité de masse, par exemple dû à un phénomène de convection :

- dans un premier temps, ce mouvement tourbillonnaire 1 d'énergie E se dégrade progressivement en des mouvements tourbillonnaires 5, 4 de plus petites échelles avec conservation de l'énergie cinétique ;
- 30 - lorsque le mouvement tourbillonnaire 1, 4 a atteint une petite échelle L_2 telle que le nombre de Reynolds associé corresponde à un phénomène visqueux prépondérant vis-à-vis des phénomènes inertiels, il y a dissipation de l'énergie cinétique tourbillonnaire sous forme de chaleur 6.

A titre indicatif, les tourbillons de grande échelle 3 peuvent atteindre une amplitude de l'ordre de 10 km alors que les tourbillons de plus petite échelle 4 ont une amplitude de l'ordre du centimètre. On observe usuellement six ordres de grandeur entre les échelles L_1 et L_2 .

- 5 Si le système est continûment alimenté en énergie, il s'établit un état d'équilibre entre l'injection d'énergie à grande échelle L_1 3 et sa dissipation thermique à petite échelle L_2 4. L'intervalle d'échelles $[L_1, L_2]$ est appelé domaine inertiel.

10 A l'échelle de l'injection L_1 d'énergie la répartition des tourbillons est généralement anisotropique. En revanche vers les plus petites échelles du domaine inertiel, la répartition en vitesse tourbillonnaire devient isotrope et peut être décrite en terme de processus aléatoire.

La figure 2 présente l'allure générale d'un spectre d'énergie cinétique en fonction de l'échelle L du domaine inertiel. Il a été montré que l'énergie
15 turbulente se répartit selon une loi telle qu'illustrée par la courbe 21 de la figure 2. Toute turbulence possède en particulier certains attributs caractéristiques :

- une énergie cinétique totale ramenée à une unité de masse, correspondant à l'intégrale de la courbe de la figure 2 dénommée par
20 l'acronyme TKE selon l'expression anglo-saxonne « Turbulent Kinetic Energy », TKE étant défini selon la relation suivante :

$$\text{TKE} = \frac{1}{2} (\sigma_U^2 + \sigma_V^2 + \sigma_W^2) \quad (1)$$

où σ_U , σ_V , σ_W représentent les variances de vitesse selon trois directions U , V , W d'un repère orthonormé;

- 25 - une longueur d'onde de turbulence dominante voisine de l'échelle d'injection L_1 ;
- une zone 22 du domaine inertiel, vers les petites échelles, où la densité spectrale d'énergie varie en $k^{-5/3}$ et où les propriétés statistiques sont isotropes.

30 La figure 3 présente par une courbe 31 un exemple de répartition d'énergie selon Von Karman en fonction d'une variable $L.k$ définie par la suite, représentée sur une échelle logarithmique. Il est connu dans le domaine des radars météorologiques aéroportés d'utiliser la modélisation du spectre
35 d'énergie cinétique turbulente de Von Karman qui représente bien les

- phénomènes turbulents gênant la navigation aérienne. Ce modèle stipule une turbulence isotrope. Cette propriété n'est pas toujours vérifiée aux échelles de turbulence qui impactent le vol d'un aéronef, néanmoins quelques corrections simples de ce modèle permettent son utilisation avec un bon degré de représentativité. Le modèle de Von Karman pour l'énergie $E(k)$ utilise une répartition de l'énergie cinétique selon la relation suivante, fonction du nombre scalaire k :

$$E(k) = \frac{\sigma^2 L}{2\mu} \frac{(L.k)^4}{(1 + (L.k)^2)^{17/6}} \quad (2)$$

- où la constante μ est sensiblement égale à 1,033 et $L=1,339 L_1$.
Par ailleurs, la variance de vitesse σ vérifie $\sigma^2 = 1/3 \sigma_U^2 = 1/3 \sigma_V^2 = 1/3 \sigma_W^2$.
Dans l'exemple de la figure 1, la répartition commence par augmenter sensiblement linéairement à partir d'une valeur $L.k = 0,1$ puis décroît de façon sensiblement linéaire à partir d'une valeur $L.k$ proche de 1.
- Selon l'invention, on considère que les turbulences atmosphériques gênantes pour un aéronef sont isotropes et obéissent par exemple à la distribution d'énergie de Von Karman ou de toute autre distribution d'énergie modélisant correctement le phénomène turbulent à analyser. Dans ces conditions une telle turbulence est caractérisée du point de vue de son énergie cinétique et de sa fonction d'autocorrélation spatiale en vitesse par les deux paramètres suivant :
- la variance de vitesse σ_L de la composante longitudinale de vitesse selon un axe quelconque ;
 - l'échelle d'injection de la turbulence L_1 .
- Avantageusement, l'invention permet une mesure de ces deux paramètres à partir d'un radar.

- Dans un mode de mise en œuvre possible, le radar émet des impulsions d'une durée τ qui peuvent être éventuellement comprimées. Dans ce cas τ désigne alors la durée de l'impulsion comprimée. Le radar est de type Doppler dans ce sens qu'il permet de mesurer la phase entre le signal reçu d'un écho et le signal émis. La période de répétition T_R des impulsions peut être variable. Cependant la description de l'invention qui suit est faite en la supposant constante, dans un but notamment de simplification de la

description. De même, il n'est pas indispensable que le radar soit pulsé pourvu que les signaux émis présentent une bande suffisante pour assurer la discrimination en distance nécessaire. Ce pourrait être par exemple un radar de type FM-CW, à onde continue modulée en fréquences.

5

La figure 4 montre un avion 41 équipé d'un radar approchant une zone de turbulence 42. Le radar effectue un balayage 43 de l'espace à surveiller. Le faisceau radar 43 rencontre des traceurs dont les mouvements tourbillonnaires sont provoqués par la turbulence. A l'intérieur de la zone de turbulence 42 il y a alors une distribution des différents vecteurs vitesses 44 liés à chaque traceur. Cette distribution a une certaine variance spatiale.

Aucune contrainte sur la nature de ce balayage n'est introduite. Il peut s'effectuer en ligne successive à site constant, verticalement à azimuts constants successifs, circulairement, de manière discontinue, etc. par exemple. Durant le balayage un point fixe dans l'espace est illuminé par le radar pendant un temps T_{ILLU} . A ce temps correspond un nombre d'impulsions radar émises N .

Un traitement Doppler permet d'estimer, par cellule de résolution radar, trois moments spectraux utiles :

- 20 - le moment spectral d'ordre 0 que reflète la puissance de l'écho reçu dans cette cellule, ce moment permettant d'estimer le rapport signal à bruit S/B des mesures et de les valider s'il dépasse un seuil donné ;
- le moment spectral d'ordre 1 qui est la moyenne de vitesse radiale des hydrométéores pondérée, d'une part par le champ de réflectivité et d'autre part par la réponse en puissance de la cellule de résolution du radar ;
- 25 - le moment spectral d'ordre 2 qui est la variance de vitesse radiale des hydrométéores pondérée par les mêmes effets que le moment d'ordre 1.

30 Grâce au balayage du faisceau radar ces moments spectraux sont connus en une suite de points i repérés par des vecteurs $\vec{x}_i$.

L'impact du volume de résolution d'impulsions sur les mesures radar est connu, en particulier depuis les travaux de Shrivastava et Atlas en 1974. En effet une cellule de résolution radar, définie par sa résolution en distance et l'ouverture du faisceau d'antenne, délimite un certain volume de résolution

35

d'impulsions. Une cellule de résolution donnée ne permet qu'une observation locale et incomplète des propriétés du champ de vitesse turbulent. Il apparaît que :

- la variance de vitesse radiale des traceurs présents dans une cellule donnée reflète plutôt les variations de vitesse sur des longueurs inférieures aux dimensions de la cellule de résolution, donc des variations de courte longueur d'onde ;
- a contrario, l'analyse statistique des moments d'ordre 1 sur plusieurs cellules de résolution reflète plutôt les variations de grande longueur d'onde du champ de vitesse radiale.

Il a été montré que, sur un domaine inertiel dans lequel la turbulence possède des propriétés statistiques homogènes, la totalité de la variance de vitesse radiale σ_U autour d'un point de vecteur $\vec{x}_0$ peut être définie par la relation suivante :

$$\sigma_U^2(\vec{x}_0) = Moy[M2(\vec{x})] + Var[M1(\vec{x})] \quad (3)$$

$M1(\vec{x})$ et $M2(\vec{x})$ étant respectivement le moment spectral d'ordre 1 et le moment spectral d'ordre 2 au point de vecteur $\vec{x}$. Moy étant la fonction moyenne et Var étant la fonction variance, le vecteur $\vec{x}$ balayant un domaine atmosphérique autour de $\vec{x}_0$ supérieur à l'échelle de la turbulence mais au sein duquel elle stationnaire.

La figure 5 montre par plusieurs courbes 51, 52, 53, 54 des représentations d'échelles de la turbulence en fonction de l'ouverture latérale du lobe d'antenne à -3dB. Plus particulièrement, la figure 5 présente pour plusieurs échelles le rapport y , représenté en dB, défini comme suit :

$$y = \frac{Moy[M2(\vec{x})]}{Var[M1(\vec{x})]} \quad (4)$$

L'effet de la dimension du volume de résolution peut être mis à profit pour évaluer l'échelle de la turbulence. La figure 5 montre que la mesure du

rapport y permet d'estimer l'échelle de la turbulence autour de $\vec{x}_0$. Le rapport y est fonction de plusieurs paramètres, il est en particulier fonction de :

- l'échelle de la turbulence L_1 qui est l'inconnue ;
- la résolution en distance Q_d , Q_d étant égale à $c\tau/2$, c étant la célérité de la lumière et τ la durée d'impulsion définie précédemment ;
- la résolution métrique angulaire Q_t , Q_t étant égale à $R.\theta_{3dB}$, R étant la distance et θ_{3dB} l'ouverture du lobe à 3dB.

La figure 5 représente en fait un réseau de courbes 51,52, 53, 54 qui peut être obtenu par calcul numérique, pour le cas d'une case distance Q_d égale à 600 mètres, chaque courbe correspondant à une échelle de turbulence. Il apparaît que l'échelle de la turbulence peut être estimée par une fonction Ψ qui est une fonction décroissante en fonction de y . Elle est obtenue par exemple par simulation numérique, l'échelle L_1 vérifiant la relation :

$$L_1 = \Psi(y, Q_d, Q_t) \quad (5)$$

Selon les méthodes connues, les moments spectraux sont tout d'abord calculés pour chaque cellule de résolution radar indépendamment les unes des autres. On restitue les moments spectraux à partir d'une estimation de la fonction d'autocorrélation temporelle de signaux obtenus dans une cellule de résolution donnée.

Dans une cellule de résolution repérée par sa position centrale $\vec{x}_0$, le signal météorologique « utile », possède une fonction d'autocorrélation temporelle qui est gaussienne, centrée en amplitude, et présente un gradient de phase linéaire en fonction du temps proportionnel à la vitesse moyenne dans le volume d'impulsion. En effet, le signal radar provient d'une multitude d'échos de traceurs de puissances aléatoires et ayant des mouvements et des vitesses désordonnés.

Cette fonction d'autocorrélation temporelle :

- est estimée en un nombre discret de points $\vec{x}_i$ du domaine spatial balayé correspondant à un certain nombre de cellules de résolution, en distance, azimuth et site ;
- n'est estimée que pour quelques retards multiples de la période de répétition T_R .

A titre d'exemple, la fonction d'autocorrélation R_K peut être estimée par la technique du « pulse-pair » connue de l'homme du métier, $s(i)$ désignant le signal complexe reçu de la $i^{\text{ième}}$ impulsion dans une cellule de résolution particulière :

$$\hat{R}_K = \frac{1}{N-k} \sum_{i=0, N-k-1} s(i+k) \cdot s(i)^* \quad (6)$$

Il est aussi possible de procéder à partir de calculs de transformées de Fourier du signal, puisque la fonction d'autocorrélation est la transformée de Fourier de la Densité Spectrale de Puissance.

- 10 Le moment spectral d'ordre 1, indiquant la vitesse moyenne, correspond à l'argument de R_1 . Il s'agit d'une estimation ambiguë modulo 2π . La vitesse Doppler moyenne, soit le moment d'ordre 1, est donc :

$$M_1\left(\vec{x}\right) = V_{RM} = \left(\frac{\arg\left[R_1\left(\vec{x}\right)\right]}{2\pi} + q \right) \times \frac{\lambda}{2T_R} \quad (7)$$

- 15 où q est en entier indéterminé dans le cas où il n'est pas possible de suffisamment borner a priori le domaine en vitesse de la masse d'air analysée. Cette ambiguïté n'est pas propre à la méthode de calcul à partir de la fonction d'autocorrélation et se retrouve plus généralement avec toute méthode d'estimation spectrale.
- 20 Le moment spectral d'ordre 2, indiquant la variance de vitesse, se déduit de la forme gaussienne de la fonction d'autocorrélation. Le calcul de l'écart type σ_T de la fonction d'autocorrélation demande au moins deux points de mesures. Dans le cas classique du pulse-pair, on emploie R_0 et R_1 . Dans le cas du polypulse-pair, on peut employer R_0 , R_1 , R_2 voire au-delà. Dans le cas
- 25 du pulse-pair, on obtient :

$$M_2(\vec{x}) = \left(\frac{\lambda}{2} \sigma_F \right)^2 = \frac{\lambda^2}{8\pi^2 T_R^2} \times \ln \left(\frac{R_0(\vec{x}) - \hat{b}}{\left| R_1(\vec{x}) \right|} \right) \quad (8)$$

où $\hat{b}$ est une estimation du bruit du récepteur.

Pour mettre en œuvre les calculs objets des relations (7) et (8) selon les méthodes connues, il faut disposer pour chaque cellule de résolution des
5 deux moments spectraux M_1 et M_2 .

En ce qui concerne le calcul du moment d'ordre 2, les radars embarqués fonctionnent actuellement en bande X et pour obtenir un domaine instrumenté suffisamment important sans ambiguïté de distance, ils doivent avoir une période de répétition relativement importante. Lorsqu'il s'agit de
10 mesurer des phénomènes turbulents intenses, les corrélations de retard supérieur à T_R sont ainsi souvent trop faibles et inexploitable. Dans ces conditions, le calcul du moment d'ordre 2 doit se faire en utilisant R_0 et R_1 selon la relation (8). Cependant, le terme R_0 est biaisé par le bruit de réception qui doit être estimé puis retranché ainsi que le montre la relation
15 (8). Comme l'estimation du bruit est inévitablement entachée d'erreurs, il faut s'assurer que R_0 est très supérieur à b sinon l'erreur d'estimation peut être importante.

Le signal météorologique est un écho diffus dont la puissance est fluctuante selon une loi exponentielle. Il en résulte, qu'à faible rapport signal sur bruit
20 S/B moyen, le champ de mesures exploitables de M_2 peut être fortement lacunaire.

En ce qui concerne le calcul de la variance spatiale du moment d'ordre 1, ce calcul de variance se heurte à deux principales difficultés. Comme il a été indiqué précédemment, la forme d'onde utilisée possède une faible
25 ambiguïté de vitesse et un vent moyen de vitesse inconnue peut se superposer au phénomène turbulent. La relation (7) montre que la vitesse moyenne par cellule de résolution est ambiguë par la méconnaissance de l'entier « q ». Pour calculer valablement la variance du moment d'ordre 1, il faut au préalable avoir déroulé son ambiguïté. D'autre part, le signal
30 météorologique est un écho fluctuant en puissance. Il en résulte que, même si la réflectivité est homogène, le signal reçu dans certaines cellules de

résolution distance-angle peut être trop faible pour effectuer une mesure valide du moment d'ordre 1. En d'autres termes, à faible rapport S/B moyen, le champ de mesures exploitables de M1 peut être fortement lacunaire.

- Le déroulement de l'ambiguïté sur M1 est fondé sur l'hypothèse que les variations de vitesse entre cellules de résolution adjacentes, en distance ou en angle, sont faibles par rapport à l'ambiguïté de vitesse de la forme d'onde. Il est alors possible d'interpréter une rupture brutale de la vitesse ambiguë comme le passage d'un rang d'ambiguïté au suivant. Ce principe suppose la détermination d'un chemin de déroulement continu.
- 10 Ainsi, le caractère lacunaire du champ de mesures de M1 accroît considérablement la complexité de l'algorithme de déroulement d'ambiguïté, voire peut le rendre inopérant.

- La figure 6 illustre des étapes possibles pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention en ce qui concerne la détermination des variances et moyenne des moments spectraux. Selon l'invention on calcule directement la variance spatiale du moment d'ordre 1 en formant des cellules de résolution virtuelles. La taille de ces cellules virtuelles est supérieure à la plus grande échelle de turbulence qu'on est susceptible de rencontrer. La variance spatiale est obtenue par une méthode de corrélation analogue à celle qui permet la détermination de la variance de vitesse, équivalent à l'étalement spectral Doppler, dans une cellule de résolution réelle. Ces cellules virtuelles sont obtenues par des opérations de traitement du signal. On calcule ensuite la moyenne spatiale de la variance de vitesse locale, moment d'ordre 2, dans les cellules de résolution réelles.
- 15 20 25

- Ainsi dans une première étape 61 on établit un tableau multidimensionnel de corrélations temporelles, chaque case du tableau correspondant à une cellule de résolution radar contenant n corrélations temporelles. Dans une deuxième étape 62 on effectue la création de corrélations temporelles sur les cellules de résolution virtuelles. Dans une troisième étape 63 on effectue le calcul direct de la variance spatiale du moment d'ordre 1 et dans une quatrième étape 64 on effectue le calcul direct de la moyenne spatiale du moment d'ordre 2.
- 30

La figure 7 illustre le calcul des corrélations effectué dans la première étape 61, selon par exemple la méthode du pulse-pair. Dans cette première étape 61, on commence par exemple par calculer, dans chaque cellule de résolution du radar, les deux premières corrélations temporelles R_0 et R_1 .

- 5 Les cellules de résolution ont une dimension selon les angles de détection et une dimension selon les distances. Les deux corrélations peuvent par exemple être calculées selon la relation (6).

La figure 7 représente plus particulièrement les corrélations R_0 et R_1 dans un système d'axes où les abscisses représente leur partie réelle et les ordonnées leur partie imaginaire. R_0 est un nombre réel et reflète la puissance de signal reçu dans une cellule de résolution donnée. R_1 est un nombre complexe ayant une partie réelle et une partie imaginaire comme étant la somme des produits des signaux reçus aux différentes impulsions $s(i)^* \cdot s(i+1)$ conformément à la relation (6). Le module de R_1 vis-à-vis de R_0 reflète le moment d'ordre 2 du signal. L'argument φ de R_1 reflète la valeur locale de la vitesse moyenne de la turbulence, c'est-à-dire le moment d'ordre 1. En effet :

$$\varphi = \frac{4\pi.T_R}{\lambda} V_{Moy} \text{ modulo } 2\pi \quad (9)$$

20

où V_{moy} représente la vitesse moyenne et λ la longueur d'onde du signal émis par le radar.

L'exemple de calcul de la première étape 61 n'utilise que les deux premières corrélations selon la méthode du pulse-pair. Cependant la première pourrait aussi s'appliquer au cas du polypulse-pair avec des corrélations de retards supérieurs.

La figure 8 illustre le tableau spatial des corrélations temporelles 8 obtenu à l'issue de la première étape 61. Ce tableau peut être de dimension 1, 2 ou 3. Il est formé de cases 81. Chaque case correspond à une cellule de résolution radar, elle contient un n-uplet correspondant aux n corrélations temporelles. Ce nombre n est ramené à deux dans l'exemple décrit lors de l'étape 1 avec les deux corrélations R_0 et R_1 . Les dimensions du tableau peuvent être par exemple la distance, l'azimut et le site de chaque case du tableau.

Il est possible d'utiliser un tableau tridimensionnel, mais aussi un tableau unidimensionnel ou bidimensionnel, par exemple la distance et l'azimut correspondant en fait à l'exemple de la figure 8. R_0 et R_1 sont alors définies pour chaque case distance fonction par exemple du $p^{\text{ième}}$ azimut et de la $m^{\text{ième}}$ case distance.

La figure 9 illustre des moyennes spatiales vectorielles et scalaires de la corrélation R_1 obtenues dans la deuxième étape 62. Dans cette étape on calcule plusieurs types de moyennes glissantes sur chacun des coefficients des n-uplets, n pouvant être égal à 2 comme précédemment. Ces calculs de moyennes glissantes font intervenir le même nombre de dimensions que le tableau précédent. Elles peuvent être vues comme des convolutions multidimensionnelles avec un noyau de 1, 2 ou 3 dimensions. Les dimensions de ce noyau de convolution correspondent à celles de la cellule de résolution virtuelle que l'on cherche à créer.

Les tailles discrètes du noyau de convolution, nombre de cellules du noyau, dépendent de la résolution du radar. Il est possible de viser à ce que la plus grande taille métrique du noyau soit de l'ordre de la plus grande échelle de turbulence susceptible d'être analysée, par exemple 2000 mètres. En ce sens, les tailles discrètes correspondant aux dimensions angulaires peuvent être fonction de la distance. Pour chaque coefficient de corrélation, sauf pour R_0 qui est réel, on calcule une moyenne glissante vectorielle RMV et une moyenne glissante scalaire RMS, comme moyenne des modules. La figure 9 illustre le cas avec les deux premières corrélations R_0 et R_1 , donc les moyennes glissantes vectorielles RMV_1 et RMS_1 . Ces moyennes sont données par les relations (10) suivantes et illustrées dans le système d'axes réel et imaginaire de la figure 9 :

$$\begin{aligned}
 RM_0(m, p) &= \frac{1}{(2a+1)(2b+1)} \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b R_0(m+i, p+j) \\
 30 \quad RMS_1(m, p) &= \frac{1}{(2a+1)(2b+1)} \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b \left| \vec{R}_1(m+i, p+j) \right| \quad (\text{moyenne scalaire}) \quad (10) \\
 \vec{RMV}_1(m, p) &= \frac{1}{(2a+1)(2b+1)} \sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b \vec{R}_1(m+i, p+j) \quad (\text{moyenne vectorielle})
 \end{aligned}$$

Les moyennes sont calculées pour plusieurs cases du tableau de corrélations temporelles, celui par exemple de la figure 8, selon les dimensions entre les limites glissantes a et b. Chaque case y étant définie
 5 par ses coordonnées m et p, m^{ième} case distance et p^{ième} azimuth. RM_0 est la moyenne pour la première corrélation.

Dans la troisième étape 63, on effectue le calcul direct de la variance spatiale du moment d'ordre 1.

10 La figure 9 montre que le rapport $\frac{RMS_1}{\left| \vec{RMV}_1 \right|}$ reflète la variance spatiale de

l'argument de $\vec{R}_1$, en d'autres termes, il reflète la variance spatiale du moment d'ordre 1. L'angle θ représente la vitesse moyenne pondérée dans la grande cellule virtuelle de résolution. De façon analogue à la relation (8), la variance spatiale du moment d'ordre 1, $Var(M1)$ est obtenue par la relation
 15 générale suivante où f est une fonction croissante :

$$Var(M_1) = \frac{\lambda^2}{8\pi^2 T_R^2} \times f \left(\frac{RMS_1}{\left| \vec{RMV}_1 \right|} \right) \quad (11)$$

Chaque vecteur $\vec{R}_1$ correspondant à une cellule de résolution donnée a un argument qui est proportionnel à la vitesse moyenne ambiguë dans la cellule
 20 de résolution en question. La densité de probabilité de cette vitesse moyenne est une gaussienne :

- centrée autour d'une vitesse d'ensemble de la masse d'air dans la cellule virtuelle, c'est à dire la vitesse radiale du vent qui se superpose à la turbulence.
- 25 – de variance spatiale $Var(M1)$.

Le rapport $y = \frac{\left| \vec{RMV}_1 \right|}{RMS_1}$ est l'espérance mathématique de la variable aléatoire suivante :

15

$$y = \cos(\varphi) \quad \text{avec : } \varphi = \frac{4\pi.T_R}{\lambda} V_M \quad \text{soit : } y = \cos\left(\frac{4\pi.T_R}{\lambda} V_M\right)$$

V_M est une variable aléatoire gaussienne centrée de variance $Var(M_1)$. En posant :

$$5 \quad \sigma^2 = \left(\frac{4\pi T_R}{\lambda}\right)^2 Var(M_1) = 2f \left(\frac{RMS_1}{\left| \vec{RMV}_1 \right|} \right) = 2f\left(\frac{1}{y}\right)$$

On peut montrer que : $y = g(\sigma)$ avec :

$$g(\sigma) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\pi} \cos(\theta) \exp\left(\frac{-\theta^2}{2\sigma^2}\right) d\theta$$

10 Pour obtenir la fonction $g(\sigma)$ de la relation (11), il faut calculer g^{-1} . Cependant, cette fonction inverse ne possède pas d'expression analytique simple. La fonction f peut donc classiquement être calculée par une quelconque méthode numérique.

15 La quatrième étape 64 effectue le calcul direct de la moyenne spatiale du moment d'ordre 2. Cette moyenne est calculée d'une manière similaire à la relation (8) mais modifiée par exemple comme suit :

$$Moy(M_2) = \frac{\lambda^2}{8\pi^2.T_R^2} \times h\left(\frac{RM_0 - \hat{b}}{|RMS_1|}\right) \quad \text{avec : } h(x) \approx \ln(x) \quad (12)$$

En effet, si la turbulence est localement stationnaire, les rapports $\frac{R_0}{\left| \vec{R}_1 \right|}$ sont

20 localement invariants. La méthode de calcul de la relation (12) présente l'avantage qu'elle est auto-pondérante en fonction de la puissance de signal dans une cellule donnée. Plus celle-ci est importante dans une cellule, plus les mesures relatives à cette cellule ont un poids important dans le calcul de la moyenne spatiale de M_2 .

La fonction h est égale au logarithme dans le cas idéal où :

- le nombre de récurrence N utilisé pour les corrélations temporel est très grand ;
 - il n'y a aucun repliement spectral ;
- 5 – la période de répétition des impulsions est constante.

Dans le cas général, la fonction $h(x)$ a une allure voisine de celle de $\ln(x)$ et peut être aisément déterminée par des méthodes de simulation numérique.

- Dans une variante de mise en œuvre de l'invention, on calcule directement le
- 10 moment d'ordre 2 dans les cellules de résolution virtuelles. Dans ces conditions le moment d'ordre 2 mesuré dans une cellule virtuelle correspond à la totalité de la variance de vitesse de la zone turbulente. On calcule ensuite la variance spatiale du moment d'ordre 1 en soustrayant à la variance totale de la vitesse la variance locale moyenne de vitesse.

REVENDICATIONS

1. Procédé de caractérisation d'une turbulence atmosphérique (42) par des paramètres représentatifs mesurés par un radar dont le faisceau d'émission balaye la zone de la turbulence, caractérisé en ce qu'un paramètre mesuré étant la variance totale de la vitesse de la turbulence σ_u , cette variance totale
5 en un point x_0 à l'intérieur de la turbulence est la somme de la variance spatiale du moment spectral d'ordre 1 des signaux reçus par le radar $Var[M1(\vec{x})]$ et de la moyenne spatiale du moment spectral d'ordre 2 des signaux reçus $Moy[M2(\vec{x})]$, les moments étant distribués en un vecteur $\vec{x}$ balayant un domaine atmosphérique autour du point x_0 .
10
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la variance du moment spectral d'ordre 1 $Var[M1(\vec{x})]$ et la moyenne du moment spectral d'ordre 2 $Moy[M2(\vec{x})]$ sont calculées pour chaque cellule de résolution radar.
- 15 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la variance du moment spectral d'ordre 1 $Var[M1(\vec{x})]$ et la moyenne du moment spectral d'ordre 2 $Moy[M2(\vec{x})]$ sont déterminées en formant des cellules de résolution de grande dimension contenant une pluralité de cellules de résolution radar réelles.
20
4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que la dimension d'une cellule de grande dimension est sensiblement égale la plus grande échelle (L_1) de la turbulence.
- 25 5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que des analyses spectrales temporelles sont réalisées dans chaque cellule de résolution (81) puis des moyennes glissantes des paramètres spectraux (R_0 , R_1) sont effectuées.
30
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le calcul des paramètres spectraux (R_0 , R_1) est basé sur l'estimation de la fonction d'autocorrélation temporelle par cellule de résolution (81).

7. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le calcul des paramètres spectraux (R_0 , R_1) est basé sur l'estimation de la densité spectrale de puissance par cellule de résolution (81).

5

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un deuxième paramètre mesuré étant l'échelle d'injection L_1 de la turbulence, cette échelle est déduite du rapport de la variance spatiale du moment spectral d'ordre 1 $Var[M1(\vec{x})]$ sur la moyenne spatiale du moment spectral d'ordre 2 $Moy[M2(\vec{x})]$.

10

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le radar est embarqué dans un aéronef.

15

20

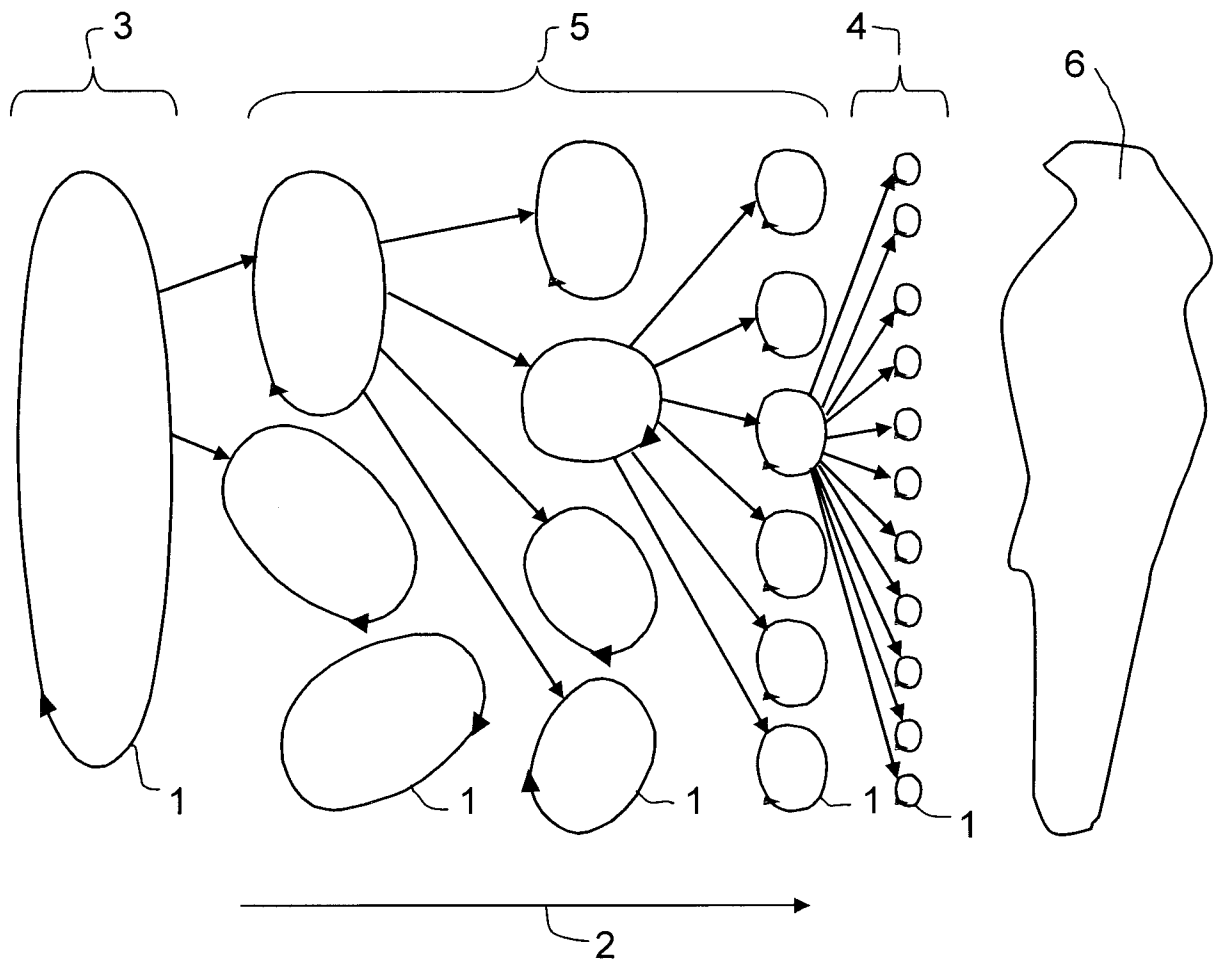


FIG.1

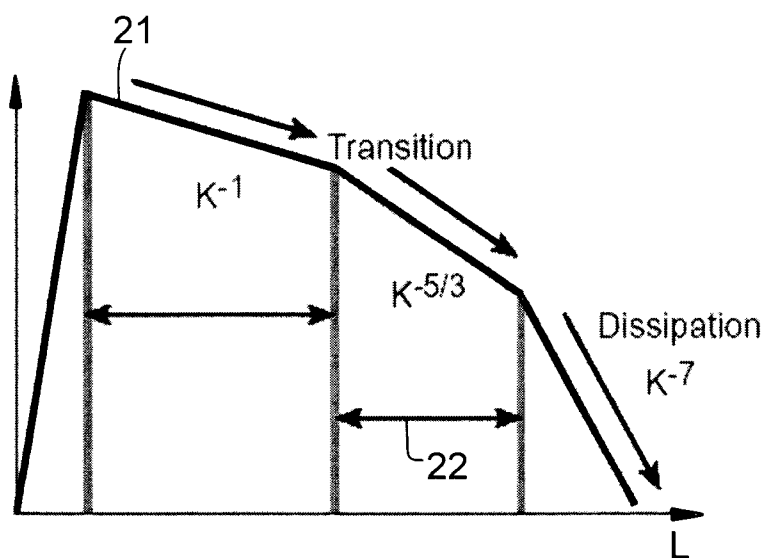


FIG.2

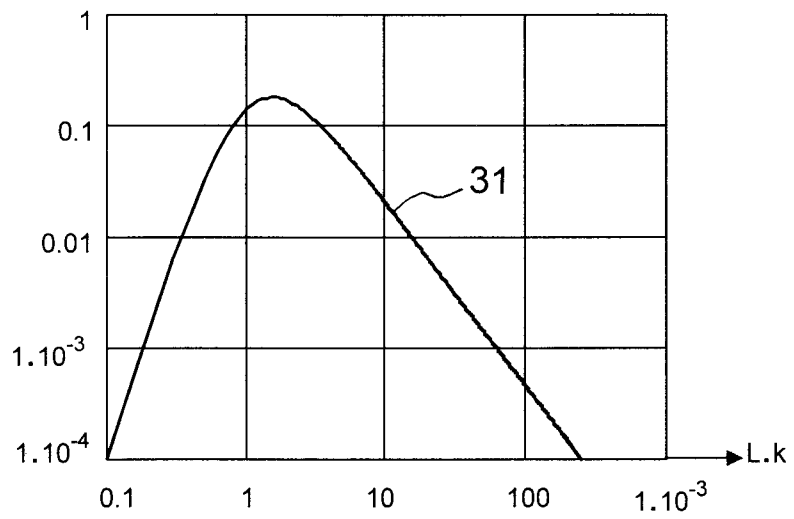


FIG.3

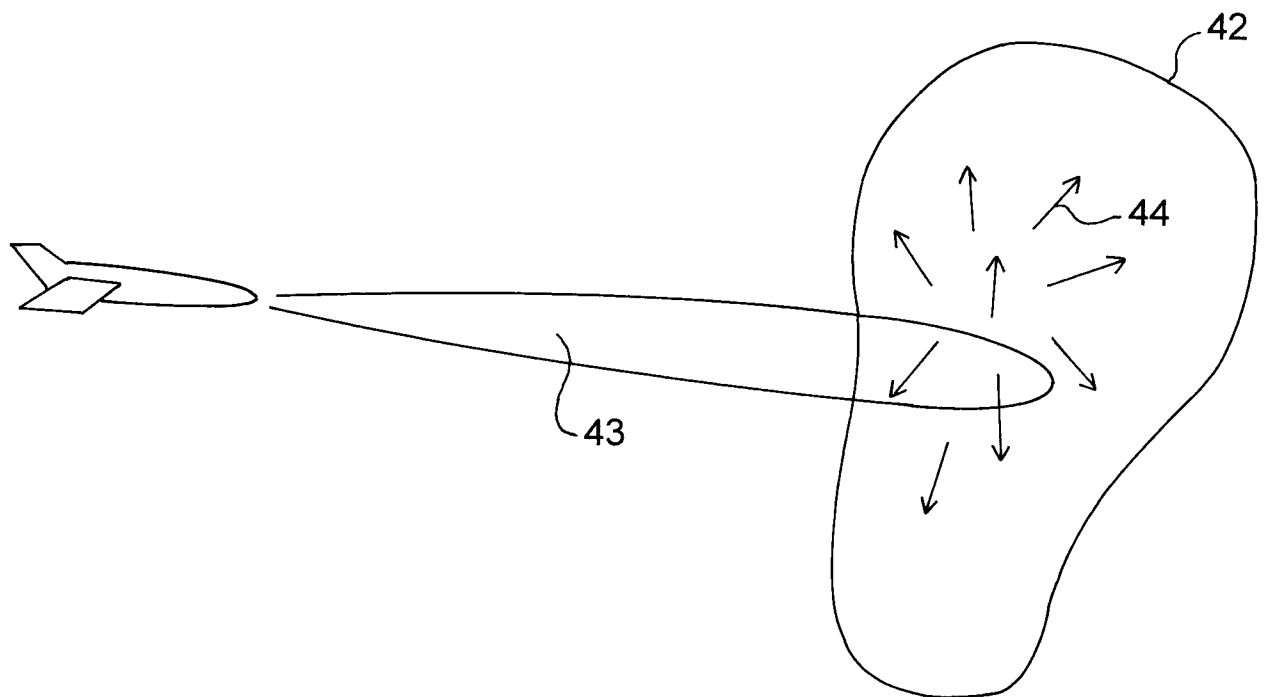


FIG.4

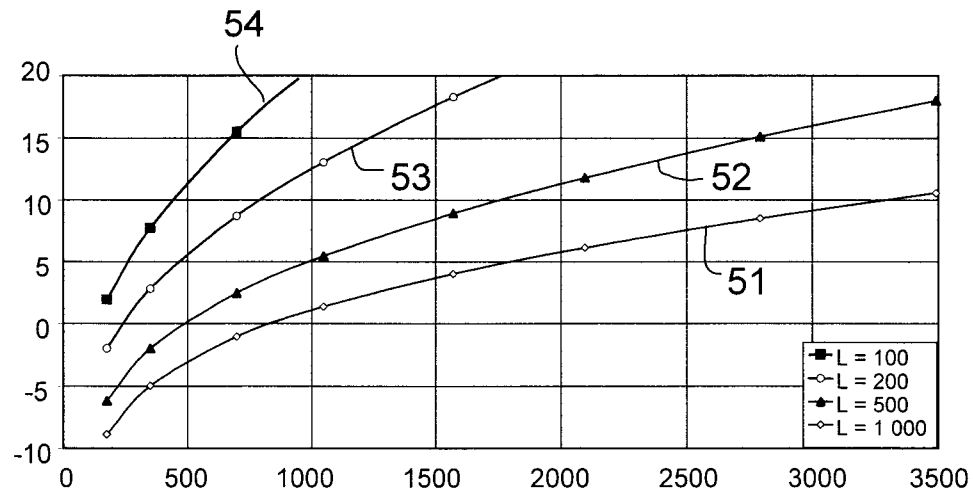


FIG.5

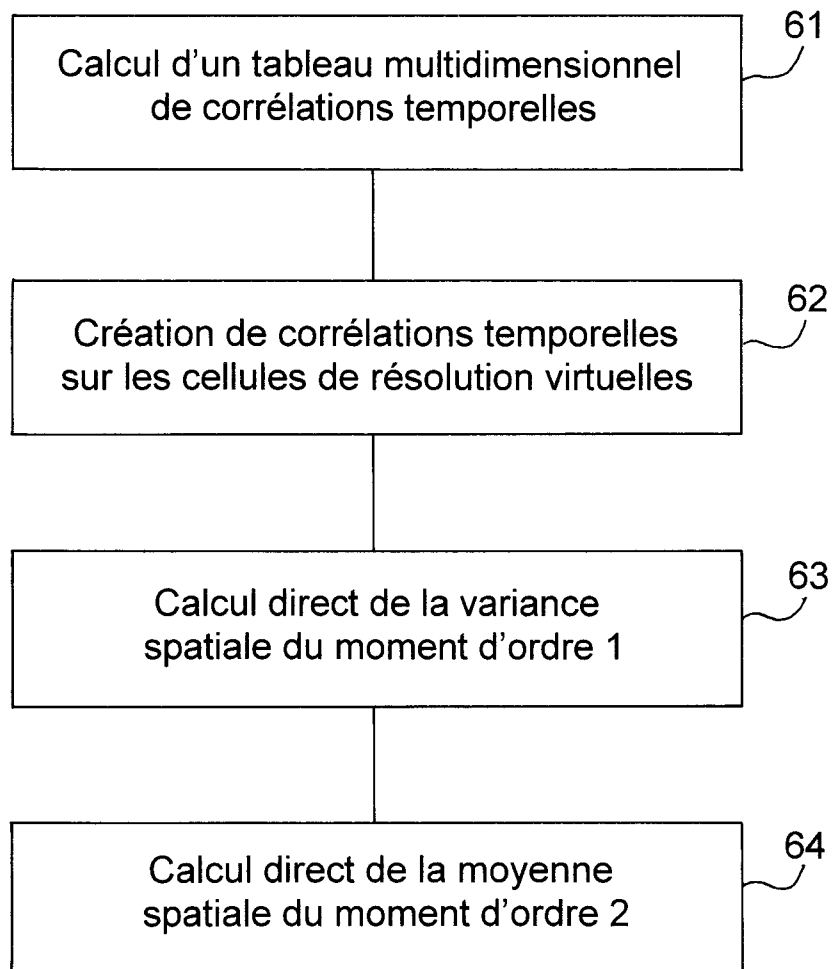


FIG.6

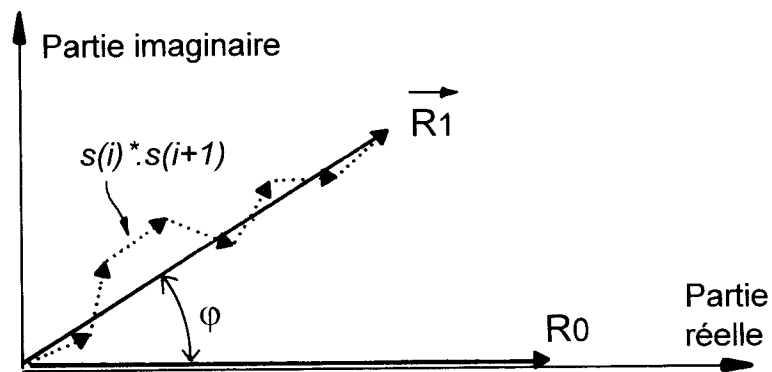


FIG. 7

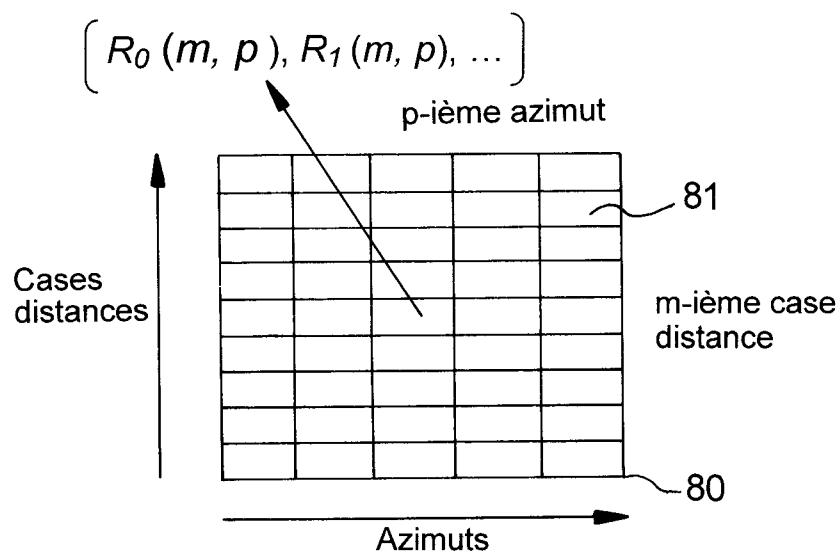


FIG. 8

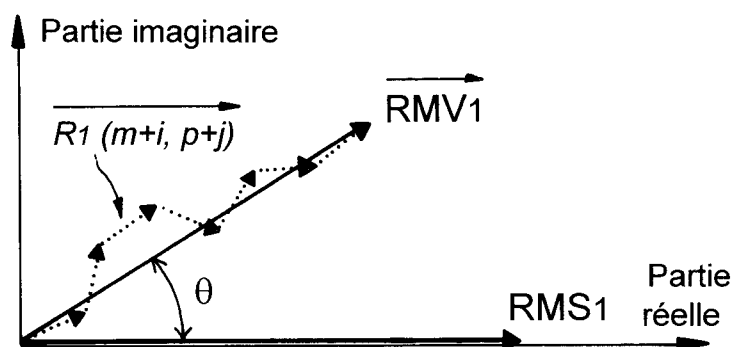


FIG. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/057516

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S13/95

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 7 132 974 B1 (CHRISTIANSON PAUL E [US]) 7 November 2006 (2006-11-07) column 3, line 16 - column 4, line 67; figures 1,2a,2b,3	1-10
A	SRIVASTAVA R C ET AL: "Effect of finite radar pulse volume on turbulence measurements" JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY USA, vol. 13, no. 4, June 1974 (1974-06), pages 472-480, XP002471915 ISSN: 0021-8952 the whole document	1-10

-/--

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 septembre 2008

Date of mailing of the international search report

15/09/2008

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mercier, Francois

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2008/057516

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JONGGIL LEE: "Robust estimation of mean Doppler frequency for the measurement of average wind velocity in a weather radar" ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, 1994. ICASSP-94., 1994 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADELAIDE, SA, AUSTRALIA 19-22 APRIL 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, vol. iv, 19 April 1994 (1994-04-19), pages IV-197, XP010134016 ISBN: 0-7803-1775-0 abstract pages IV-197, paragraph 1	1-10
A	ABATZOGLOU T J ET AL: "Comparison of maximum likelihood estimators of mean wind velocity from radar/lidar returns" SIGNALS, SYSTEMS AND COMPUTERS, 1996. CONFERENCE RECORD OF THE THIRTIETH ASILOMAR CONFERENCE ON PACIFIC GROVE, CA, USA 3-6 NOV. 1996, LOS ALAMITOS, CA, USA, IEEE COMPUT. SOC, US, vol. 1, 3 November 1996 (1996-11-03), pages 156-160, XP010231412 ISBN: 0-8186-7646-9 abstract page 156, paragraph 1 page 157, right-hand column, paragraph 4	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/057516

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7132974	B1	07-11-2006 EP	1736798 A1
27-12-2006			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2008/057516

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G01S13/95

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G01S

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 7 132 974 B1 (CHRISTIANSON PAUL E [US]) 7 novembre 2006 (2006-11-07) colonne 3, ligne 16 - colonne 4, ligne 67; figures 1,2a,2b,3	1-10
A	SRIVASTAVA R C ET AL: "Effect of finite radar pulse volume on turbulence measurements" JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY USA, vol. 13, no. 4, juin 1974 (1974-06), pages 472-480, XP002471915 ISSN: 0021-8952 le document en entier	1-10

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

8 septembre 2008

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

15/09/2008

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Mercier, Francois

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2008/057516

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	JONGGIL LEE: "Robust estimation of mean Doppler frequency for the measurement of average wind velocity in a weather radar" ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING, 1994. ICASSP-94., 1994 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADELAIDE, SA, AUSTRALIA 19-22 APRIL 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, vol. iv, 19 avril 1994 (1994-04-19), pages IV-197, XP010134016 ISBN: 0-7803-1775-0 abrégé pages IV-197, alinéa 1 -----	1-10
A	ABATZOGLOU T J ET AL: "Comparison of maximum likelihood estimators of mean wind velocity from radar/lidar returns" SIGNALS, SYSTEMS AND COMPUTERS, 1996. CONFERENCE RECORD OF THE THIRTIETH ASILOMAR CONFERENCE ON PACIFIC GROVE, CA, USA 3-6 NOV. 1996, LOS ALAMITOS, CA, USA, IEEE COMPUT. SOC, US, vol. 1, 3 novembre 1996 (1996-11-03), pages 156-160, XP010231412 ISBN: 0-8186-7646-9 abrégé page 156, alinéa 1 page 157, colonne de droite, alinéa 4 -----	1-10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2008/057516

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication	
US 7132974	B1	07-11-2006 EP	1736798 A1	27-12-2006