

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 933 203

21) N° d'enregistrement national : 08 03634

51) Int Cl⁸ : G 01 S 13/95 (2006.01)

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 27.06.08.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 01.01.10 Bulletin 09/53.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : THALES Société anonyme — FR.

72) Inventeur(s) : COSTES CLEMENTINE, BON NICOLAS, ARTIS JEAN PAUL, MESNARD FREDERIC, PUJOL OLIVIER et SAUVAGEOT HENRI.

73) Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

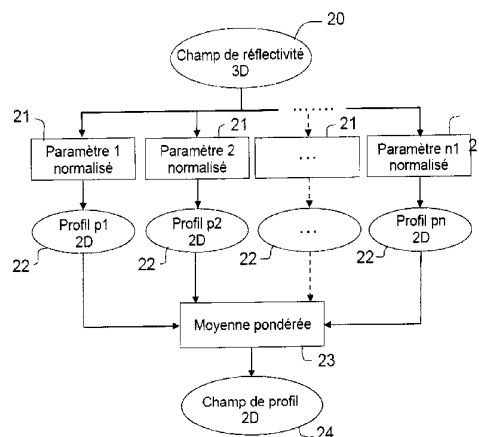
74) Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE.

54) PROCÉDE DE CARACTERISATION DE L'INTENSITE DE CONVECTION D'UN NUAGE, PAR UN RADAR METEOROLOGIQUE.

57) La présente invention concerne un procédé de caractérisation de l'intensité de convection d'un nuage par un radar météorologique.

La réflectivité dudit nuage à une onde électromagnétique étant distribuée dans l'espace, la distribution de la réflectivité étant discrétisée selon un réseau de points (i, j, k) de l'espace en trois dimensions, au moins un profil (22) est défini comme une fonction normalisée d'un paramètre (21), lui-même fonction numérique donnée à deux dimensions (i, j) de la distribution de la réflectivité en chaque point du réseau, ladite fonction normalisée variant uniformément entre une valeur constante minimale et une valeur constante maximale, la fonction étant égale à la valeur minimale lorsque le paramètre est inférieur à un seuil bas (Seuil min) et étant égale à la valeur maximale lorsque le paramètre est supérieur à un seuil haut (Seuil max), le nuage étant caractérisé comme convectif lorsque le profil est égal à l'une des valeurs constante et comme stratiforme lorsqu'il est égal à l'autre valeur constante.

L'invention s'applique notamment à des radars météorologiques embarqués sur des avions.



FR 2 933 203 - A1



**PROCEDE DE CARACTERISATION DE L'INTENSITE DE CONVECTION
D'UN NUAGE,
PAR UN RADAR METEOROLOGIQUE**

La présente invention concerne un procédé de caractérisation de l'intensité de convection d'un nuage par un radar météorologique. Elle s'applique notamment à des radars météorologiques embarqués sur des avions.

5

En cours de vol, le pilote d'un avion utilise généralement un système d'observations météorologiques issues d'un radar lui donnant des informations sur l'état de l'atmosphère dans le but de détecter les risques inhérents aux situations météorologiques permettant entre autre de restituer
10 un champ de vitesse Doppler et un champ de réflectivité radar en trois dimensions, 3D. Ces champs sont obtenus en effectuant avec le radar des balayages successifs suivant différents angles de site et d'azimut. En chaque point d'une grille 3D couvrant le domaine d'observation, on dispose ainsi en particulier d'une information de réflectivité radar dépendant de la longueur
15 d'onde utilisée et des propriétés de réflexion, d'absorption et de diffusion des cibles présentes dans le volume de résolution radar. Sur l'écran de contrôle, dans le poste de pilotage, le pilote voit alors s'afficher une information météorologique analysée généralement selon quatre niveaux de couleurs correspondant soit à l'absence de signal, soit à un facteur de réflectivité
20 faible, modéré ou fort. Le pilote interprète ces informations en termes de risque pour décider s'il peut conserver la trajectoire prévue pour son avion ou s'il doit la modifier pour éviter une zone présentant des risques météorologiques, par exemple une zone où un orage se produit.

Pour simplifier la démarche du pilote dans sa prise de décision, il est utile de
25 traduire les champs météorologiques observés par le radar en un champ décrivant le niveau de risque météorologique.

Généralement, les radars météorologiques embarqués sur les avions fonctionnent en bande X. La réflectivité radar mesurée par un radar météorologique en bande X utilisant une seule longueur d'onde, présente
30 une ambiguïté en ce qui concerne sa relation avec la nature et les caractéristiques des hydrométéores, telles que des gouttes d'eau, de neige ou de grêle notamment, qui l'ont générée. En effet, cette relation est

2

fortement non bijective. Par conséquent un même niveau de réflectivité peut être généré par des hydrométéores de natures très différentes, provenant soit de la neige ou de la grêle notamment, correspondant à des situations météorologiques également très différentes du point de vue du risque
5 aéronautique, par exemple des nuages stratiformes et des nuages de convection épaisse tels que les cumulonimbus. Ce défaut de bijectivité concerne notamment la grêle composée de grêlons de taille supérieure à environ un centimètre de diamètre sphérique équivalent. Ces grêlons sont
10 situés hors du domaine de diffusion de Rayleigh, dans lequel travaillent usuellement les radars météorologiques. Ils se trouvent alors dans le domaine de diffusion de Mie qui est tel que lorsque la taille du grêlon augmente, sa réflectivité diminue.

Il est donc nécessaire de lever cette ambiguïté et d'obtenir avec un radar météorologique à la fois des informations sur la nature dynamique des
15 nuages générateurs du champ de réflectivité, nuages stratiformes ou nuages convectifs intenses de type cumulonimbus d'orage, et sur la nature microphysique des hydrométéores, issus de pluie, de neige ou de gros grêlons.

Des solutions sont connues pour lever cette ambiguïté. En particulier on sait
20 déterminer le niveau de risque en chaque point de grille en utilisant de simples seuils sur le facteur de réflectivité radar observé en ces points. Si celui-ci est supérieur à 40 dBZ, le risque est considéré comme fort tandis que s'il est inférieur à 30 dBZ le risque est considéré comme faible. Entre ces deux valeurs, le risque est considéré comme modéré. Ces seuils peuvent
25 éventuellement être différents selon les régions survolés conformément notamment à ce qui est décrit dans le brevet US 7 129 885. Cette méthode d'estimation du risque par la seule valeur ponctuelle de la réflectivité radar a notamment pour inconvénient qu'elle peut conduire à une sous-estimation ou une surestimation du risque dans certaines situations météorologiques. Par
30 exemple, une forte averse de neige dans un système stratiforme peut être vue par un radar avec des facteurs de réflectivité élevés, supérieurs à 40 dBZ, alors que la situation ne présente pas de risque pour l'avion en vol.

Un but de l'invention est notamment d'éviter cet inconvénient et de lever
35 l'ambiguïté précitée de façon fiable. A cet effet, l'invention a pour objet un

3

procédé de caractérisation de l'intensité de convection d'un nuage, la réflectivité dudit nuage à une onde électromagnétique étant distribuée dans l'espace, la distribution de la réflectivité étant discrétisée selon un réseau de points (i, j, k) de l'espace en trois dimensions, au moins un profil est défini

5 comme une fonction d'un paramètre, lui-même fonction numérique donnée à deux dimensions (i, j) de la distribution de la réflectivité en chaque point du réseau, ladite fonction variant uniformément entre une valeur constante minimale et une valeur constante maximale, la fonction étant égale à la

10 valeur minimale lorsque le paramètre est inférieur à un seuil bas (Seuil min) et étant égale à la valeur maximale lorsque le paramètre est supérieur à un seuil haut (Seuil max), le nuage étant caractérisé comme convectif lorsque le profil est égal à l'une des valeurs constante et comme stratiforme lorsqu'il est égal à l'autre valeur constante.

Avantageusement, la fonction du paramètre est par exemple normalisée.

15 La fonction numérique à deux dimensions (i, j) , définissant un paramètre, est par exemple calculée dans le plan horizontal.

Un nuage convectif correspond par exemple à la valeur constante haute.

Le profil peut être un profil global combinant plusieurs profils, ledit profil global étant défini par une fonction normalisée d'un paramètre combinant les

20 différents paramètres numériques liés aux dits profils.

La combinaison des différents paramètres est par exemple une moyenne pondérée.

Un paramètre est par exemple l'intégrale de la réflectivité selon la dimension verticale (z, k) .

25 Un paramètre peut être une mesure de la hauteur de colonne, selon la dimension verticale, pour laquelle les points pris en compte sont ceux dont la valeur de réflectivité est supérieure à un seuil donné.

Un paramètre peut aussi être l'altitude maximum où les réflectivités sont supérieures à un seuil donné.

30 Un paramètre est par exemple la réflectivité maximum calculée dans une verticale donnée.

Un paramètre est par exemple le gradient vertical de réflectivité entre une zone de réflectivité maximum et l'altitude maximum où les réflectivités sont supérieures à un seuil donné.

4

Un paramètre peut aussi être le gradient horizontal de la réflectivité à une altitude donnée.

Le paramètre est par exemple calculé dans un volume déterminé.

5

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la figure qui suit faite en regard de dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, une illustration d'un réseau de réflectivité radar à l'intérieur d'un nuage ;
- 10 - la figure 2, un profil caractérisant un nuage, utilisé par un procédé selon l'invention ;
- la figure 3, un exemple de combinaison possible de profils caractérisant un nuage, dans un procédé selon l'invention.

15 La figure 1 illustre une grille de réflectivité dans l'espace. L'espace est discrétisé selon un réseau de points de l'espace, en trois dimensions. Ce réseau forme une structure appelée grille par la suite. Chaque point de la grille, repéré par son indice i selon une ligne I , son indice j selon une ligne J et son indice k selon une ligne K présente une réflectivité $Z(i, j, k)$ qui est
20 détectée par un radar météorologique. Les indices i, j définissent la position d'un point dans le plan horizontal, et l'indice k définit la position verticale de ce point. L'espace ainsi discrétisé est mémorisé dans le calculateur du radar avec les réflectivités associées $Z(i, j, k)$. Une matrice à trois dimensions est ainsi stockée que l'on confondra par la suite avec la grille de l'espace. On
25 pourra ainsi de façon indifférente parler de grille de réflectivité $Z(i, j, k)$ ou de matrice de réflectivité $Z(i, j, k)$. La matrice de réflectivité peut être renouvelée ou mise à jour au fur et à mesure des périodes d'observation du radar. La matrice de réflectivité correspond à un domaine d'observation couvert par le radar.

30 Le procédé selon l'invention permet de caractériser l'intensité de convection d'un nuage à partir de la distribution spatiale de sa réflectivité, plus particulièrement en fonction de la distribution spatiale discrétisée, selon une grille par exemple. En fonction de cette caractérisation, il est ensuite possible d'estimer, par un pilote ou de façon automatique au moyen d'un programme
35 d'analyse, les risques liés à ce nuage.

La figure 2 illustre par une courbe 1 une fonction de normalisation définissant un type de profil selon la valeur d'un paramètre considéré, ce profil défini par une courbe fonction de ce paramètre est du type à deux dimensions 2D.

- 5 L'invention part du fait que pour estimer le niveau de risque en un point de la grille de réflectivité, la valeur ponctuelle du facteur de réflectivité apporte une réponse ambiguë donc insuffisante. Pour compléter l'information relative au seuil de réflectivité, l'invention considère un ensemble de paramètres relatifs à la distribution spatiale de réflectivité permettant de déterminer le caractère
- 10 convectif épais ou stratiforme d'un nuage. La connaissance de ce caractère permet non seulement de connaître la nature physique des hydrométéores responsables d'un signal reçu par un radar mais aussi de pondérer correctement le risque lié à la dynamique des nuages par l'identification du caractère convectif ou stratiforme.
- 15 En ce qui concerne l'identification de profils, plusieurs critères doivent être pris en compte pour obtenir ce profil. Ces critères sont ensuite exploités, par exemple à l'aide d'un arbre de décision, ou encore en intervenant comme les termes d'une somme pondérée. Dans ce dernier cas, les critères étant de natures différentes, ils sont par exemple normalisés, par exemple de façon
- 20 que chacun d'eux varie entre la valeur 0 et la valeur 1 comme illustré sur la figure 2. Il s'agit donc de choisir un seuil haut, Seuil max sur la figure 1, un seuil bas, Seuil min sur la figure 2, et une fonction de normalisation pour chaque paramètre. La fonction peut être linéaire comme dans la figure 1, variant donc linéairement entre Seuil min et Seuil max. La fonction peut
- 25 néanmoins présenter une autre forme. Ces seuils sont choisis tels qu'ils correspondent, suivant le critère adopté, pour l'un à une situation convective intense, cas du seuil haut, et pour l'autre à une situation stratiforme, cas du seuil bas. Ainsi, après normalisation du critère, un profil convectif intense obtient le score 1 tandis qu'un profil stratiforme obtient le score 0. Si le profil
- 30 est ambigu ou de convection peu intense, il obtient un score intermédiaire défini par la partie linéaire de la courbe. Les différents critères normalisés sont pondérés en fonction de la confiance que l'on accorde à chacun. Le score final est comparé à un seuil afin de déterminer la nature du profil.

6

La figure 3 illustre par un schéma le principe d'identification de profils stratiformes ou convectifs utilisé par un procédé selon l'invention pour estimer des risques météorologiques.

5 A partir du champ de réflectivité 3D 20, et pour chaque critère d'identification on calcule le paramètre correspondant 21 auquel on applique une fonction de normalisation du type de celle illustrée par la figure 2. On obtient ainsi autant de champs de profils 22, en 2D, que de critères choisis. L'exemple de la figure 2 comporte n critères. Dans un cas limite, il est possible de n'utiliser qu'un seul critère, $n = 1$ dans ce cas.

10 Les champs de profils sont par exemple par la suite combinés pour une fonction 23 qui peut être une moyenne pondérée afin d'obtenir un seul champ de profil 24 utilisable pour la détermination du type microphysique des hydrométéores et du niveau de risque encouru par l'avion.

Plusieurs critères d'identification peuvent donc être utilisés. Comme indiqué précédemment, un radar météorologique permet de restituer un champ de vitesse Doppler et champs de réflectivité en trois dimensions, 3D. En chaque point d'une grille 3D, préalablement définie et telle qu'illustré par exemple par la figure 1, et couvrant un domaine d'observation, on dispose ainsi d'une information de réflectivité.

20 Les caractéristiques microphysiques des hydrométéores sont à déterminer pour chaque point de la grille mais le profil stratiforme/convectif en peut être identifié en ne considérant qu'un seul point. L'invention propose plusieurs paramètres qui permettent l'identification des profils. Ils sont calculés à partir des réflectivités mesurées en tous points de grille à la verticale du point considéré.

25 A partir du champ 3D de réflectivité fourni par le radar, et éventuellement interpolé dans un repère approprié, par exemple le repère géocentré latitude – longitude – altitude, le procédé selon l'invention calcule un champ 2D de valeurs pour chaque paramètre d'identification.

30 Un premier critère possible, appelé VIZ, est l'intégrale de la réflectivité le long de la verticale, en un point donné selon l'horizontale. Il est représentatif de la quantité des précipitations en ce point donné. VIZ est déterminé en calculant l'intégrale de la réflectivité Z selon la verticale :

35

7

$$VIZ(x, y) = \int_0^{z_{\max}} Z(x, y, z) dz \quad (1)$$

où x et y désignent les coordonnées cartésiennes du point selon l'horizontale et z la coordonnée verticale, l'intégrale étant calculée jusqu'à une coordonnée maximale z_{\max} le long de la verticale.

Etant donné que les valeurs de réflectivité selon la verticale sont données dans la grille 3D de manière discrète, le calcul numérique du champ 2D de VIZ est donc donné par la relation suivante :

$$VIZ_{ij} = \sum_{k=0}^{k_{\max}} Z_{ijk} \quad (2)$$

où i et j représentent les indices selon les deux dimensions horizontales et k l'indice vertical, Z_{ijk} est la réflectivité au point d'indices i, j et k de la grille de réflectivité.

Cette somme définie par la relation (2) peut être remplacée par la somme des intensités de précipitation selon la verticale.

Un autre paramètre possible est la hauteur de colonne, notée H_{colonne} . L'une des caractéristiques principales des zones convectives est leur extension verticale importante. Le critère de hauteur de colonne représente la hauteur cumulée d'une colonne de valeurs de réflectivités supérieures à un seuil donné. Le critère de hauteur de colonne, en un point d'indices i, j selon l'horizontale, est ainsi donnée par la relation suivante :

$$H_{\text{colonne}} = \sum_{k=0}^{k_{\max}} \delta_{z_{ijk}} \Delta A_{ijk} \quad (3)$$

avec $\delta_z = \begin{cases} 1 & \text{si } Z > \text{seuil} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

Dans cette relation (3), ΔA_{ijk} représente le pas en distance suivant l'axe vertical au niveau du point de la grille d'indices i, j et k, k étant l'indice selon la verticale, et k_{\max} étant l'indice du point le plus haut. Z est la réflectivité au point i, j, k..

Un autre critère qui peut être utilisé par l'invention est complémentaire de la hauteur de colonne. Il sera appelé par la suite écho top et noté E_{top} . Il permet d'améliorer la probabilité de détection dans certaines configurations, notamment pour les cumulonimbus en forme d'enclume. Il correspond à l'altitude de l'écho le plus haut sur une colonne d'observation détecté par le radar. Pour chaque colonne repérée dans le plan horizontal par un couple d'indices (i, j) dans la grille de réflectivité, on recherche l'élément d'indice vertical k le plus élevé pour lequel la réflectivité est supérieure à un seuil donné. En chaque couple (i, j) , la valeur du champ d'écho top est l'altitude de l'élément trouvé, ainsi le critère E_{top} est donné par la relation suivante :

$$E_{top_{ij}} = \max^k (A_{ijk}, Z_{ijk} > 0) \quad (4)$$

où A_{ijk} désigne l'altitude d'un point de la grille de réflectivité et \max^k le maximum suivant k .

Un autre critère possible est le facteur de réflectivité maximum rencontré dans une colonne, Z_{max} . Il permet de localiser rapidement les zones de précipitation intense, telle que la grêle, les fortes pluies ou la neige. Z_{max} , selon une colonne définie par ses indices i, j dans le plan horizontal, est obtenu selon la relation suivante :

$$Z_{max_{ij}} = \max^k (Z_{ijk}) \quad (5)$$

Un autre critère possible est le gradient vertical de réflectivité, $\text{grad}_v(Z)$. Il s'agit du gradient vertical de réflectivité entre l'altitude correspondant au facteur Z_{max} et celle du sommet des échos, c'est-à-dire entre l'altitude z_M où l'on observe le maximum de réflectivité et l'écho top E_{top} . Si le maximum de réflectivité s'étend sur plusieurs points de grille, l'altitude moyenne est alors considérée. Le gradient $\text{grad}_v(Z)$ est donné par la relation (7) issue de la relation (6) suivante :

$$\text{grad}_v Z(x, y, z) = \frac{Z(x, y, z_M) - Z(x, y, E_{top})}{z_M - E_{top}} \quad (6)$$

Dans le domaine numérique, en considérant les points discrétisés de la grille, en un point d'indices i, j, k :

$$5 \quad \text{grad}_v Z = Z(A_{ijk}, Z_{ijk} = Z_{max}) - Z(A_{ijk}, A_{ijk} = E_{top}) \quad (7)$$

Un autre critère possible est le gradient horizontal de réflectivité, $\text{grad}_H(Z)$. Il s'agit du gradient de réflectivité selon un plan horizontal à une altitude z choisie. En raison du caractère bidirectionnel de ce gradient, on considère
10 par exemple sa norme, donnée par la relation suivante :

$$\|\text{grad}_H Z(x, y, z)\| = \left[\left(\frac{\partial Z}{\partial x} \right)_z^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial y} \right)_z^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

Du point de vue numérique, en un point i, j, k de la grille de réflectivité, le
15 gradient horizontal s'obtient selon la relation suivante :

$$\|\text{grad}_H Z_{ijk}\|_{ij,k=k_c} = \left[\left(\frac{Z_{(i+1)j,k=k_c} - Z_{ij,k=k_c}}{d_i} \right)_{ij,k=k_c}^2 + \left(\frac{Z_{i(j+1),k=k_c} - Z_{ij,k=k_c}}{d_j} \right)_{ij,k=k_c}^2 \right]^{1/2} \quad (10)$$

20 en notant d_i et d_j les pas selon les dimensions horizontales x et y respectivement.

Un autre critère qui peut être utilisé pour l'identification d'un profil est la réflectivité Z_{1500} au de dessus de l'isotherme 0°C , à une altitude d'environ
25 1500 mètres.

$$Z_{1500} = Z(i, j, k_{1500}) \quad (11)$$

où k_{1500} est tel que $A_{ijk_{1500}} = A_{ijk_{0^\circ\text{C}}} + 1500$, $A_{ijk_{0^\circ\text{C}}}$ étant l'altitude de
30 l'isotherme 0°C .

Les critères ou paramètres précédents sont fondés sur l'analyse d'une colonne de réflectivité. Il est aussi possible selon l'invention d'utiliser des critères volumiques. En particulier, d'autres critères fondés sur des volumes différents peuvent être utilisés. Le champ de profil calculé peut ainsi devenir un champ 3D.

Dans l'exemple d'une sphère, pour chaque point i, j, k de l'espace où l'on veut calculer un type de profil, on considère une sphère de rayon fixé centré sur ce point. Certains des paramètres précédents acquièrent alors une définition différente. Le critère VIZ devient un critère d'intégration dans l'espace qui représente alors la somme des réflectivités dans le volume de référence, la sphère dans le présent exemple. Le critère Z_{max} devient un facteur de réflectivité maximum observé dans ce volume de référence.

D'autres critères volumiques peuvent être définis :

- 15 - Le volume $V_{Z_{seuil}}$ total pour lequel le facteur de réflectivité Z est supérieur à un seuil Z_{seuil} déterminé. Il s'agit de sommer les volumes élémentaires pour lesquels Z dépasse une valeur seuil Z_{seuil} (par exemple 35 dBZ). Ce paramètre indique le volume ou la convection est parvenue à son terme de développement. Plusieurs seuils peuvent être envisagés ;
- 20 - Le volume continu $V_{continu, Z_{seuil}}$ pour lequel le facteur de réflectivité Z est supérieur à un seuil déterminé Z_{seuil} . Le procédé est identique au calcul de $V_{Z_{seuil}}$, à ceci près que l'on doit assurer la continuité du volume calculé. Ainsi, pour être comptabilisé, chaque point de grille doit posséder au moins un certain nombre de voisins tel que $Z > Z_{seuil}$.
- 25 Ce nombre est fixé initialement et il est inférieur ou égal à 18 qui est le nombre total d'arêtes et de faces d'un cube. On peut, en outre, ajouter une condition sur la hauteur minimale à considérer et prendre par exemple l'altitude de l'isotherme 0 °C. Ce paramètre donne le volume de la zone génératrice de la précipitation convective ;
- 30 - La réflectivité moyenne Z_{moy} dans $V_{continu, Z_{seuil}}$, ce paramètre s'applique aussi aux autres volumes comme une colonne ou une sphère par exemple ;
- Le rapport des axes d'un ellipsoïde pour lequel Z est supérieur à un seuil Z_{seuil} fixé. Il s'agit de représenter au mieux, la figure géométrique correspondant à $Z > Z_{seuil}$ par un ellipsoïde dont les axes sont a_V selon

la verticale et a_H selon le plan horizontal. On forme alors le rapport a_V/a_H et on fixe un seuil permettant de séparer un profil de type convectif d'un profil de type stratiforme.

Il est également possible d'utiliser des grandeurs statistiques sur des volumes, comme par exemple la variance spatiale de réflectivité. Cela indique si l'on est en présence d'un système homogène, composé d'une seule cellule, ou de plusieurs cellules.

Pour chacun des paramètres d'identification précédemment définis, deux seuils, haut et bas, sont nécessaires dans la fonction de normalisation pour calculer le profil, comme illustré notamment par la figure 2. Ces seuils sont par exemple choisis d'après l'analyse d'observations radar d'événements types, par exemple une tempête de neige ou de grêle caractéristique relevée en un point donné du globe.

Les caractéristiques des distributions des intensités de précipitation et donc de réflectivité peuvent différer selon la climatologie du lieu d'observation. Il peut alors être nécessaire d'adapter les seuils suivant des considérations climatologiques.

Par ailleurs, les seuils d'altitude, pour les critères écho-top et hauteur de colonne, peuvent nécessiter une adaptation en fonction de la latitude de la zone observée. En effet, l'étagement des nuages en altitude est conditionné par la tropopause, dont l'altitude est fonction de la latitude du lieu.

Comme l'illustre la figure 3, il est possible d'effectuer une identification multicritères. L'identification d'un profil de convection peut être faite selon un seul critère mais on augmente significativement la fiabilité de cette identification en utilisant plusieurs critères. Un champ de profil 22 est calculé pour chacun des paramètres choisis 21. Les différents champs ainsi obtenus sont combinés pour obtenir un seul champ de profil 24. La combinaison de ces champs peut être faite par le calcul d'une moyenne 23 avec des poids, éventuellement différents, associés aux critères d'identification. Ces poids peuvent également être adaptés suivant des considérations climatologiques comme pour les seuils des paramètres

12

L'invention a notamment comme avantage de permettre l'extraction d'information d'intensité de convection à partir des informations de réflectivité, de manière efficace.

L'invention s'applique aux observations de réflectivité effectuées par un radar
5 météorologique, notamment aéroporté, fonctionnant en bande X. Elle peut
aussi s'appliquer pour des radars fonctionnant dans d'autres bandes de
fréquences, par exemple en bande W, Ka, C ou S, de type polarimétrique ou
non polarimétrique, à effet Doppler ou non.

10

15

20

REVENDEICATIONS

1. Procédé de caractérisation de l'intensité de convection d'un nuage, la réflectivité dudit nuage à une onde électromagnétique étant distribuée dans l'espace, caractérisé en ce que la distribution de la réflectivité étant discrétisée selon un réseau de points (i, j, k) de l'espace en trois dimensions,
5 au moins un profil (22) est défini comme une fonction (1) d'un paramètre (21), lui-même fonction numérique donnée à deux dimensions (i, j) de la distribution de la réflectivité en chaque point du réseau, ladite fonction variant uniformément entre une valeur constante minimale et une valeur constante maximale, la fonction étant égale à la valeur minimale lorsque le paramètre
10 est inférieur à un seuil bas (Seuil min) et étant égale à la valeur maximale lorsque le paramètre est supérieur à un seuil haut (Seuil max), le nuage étant caractérisé comme convectif lorsque le profil est égal à l'une des valeurs constante et comme stratiforme lorsqu'il est égal à l'autre valeur constante.
- 15 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fonction (1) du paramètre (21) est normalisée.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la fonction numérique à deux dimensions (i, j),
20 définissant un paramètre, est calculée dans le plan horizontal.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un nuage convectif correspond à la valeur constante haute.
25
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédente, caractérisé en ce que le profil est un profil global (24) combinant plusieurs profils (22), ledit profil global étant défini par une fonction normalisée d'un paramètre combinant les différents paramètres numériques liés aux dits
30 profils (22).
6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que la combinaison des différents paramètres (21, 22) est une moyenne pondérée.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un paramètre est l'intégrale de la réflectivité selon la dimension verticale (z, k).
- 5 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un paramètre est une mesure de la hauteur de colonne, selon la dimension verticale, pour laquelle les points pris en compte sont ceux dont la valeur de réflectivité est supérieure à un seuil donné.
- 10 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un paramètre est l'altitude maximum où les réflectivités sont supérieures à un seuil donné.
- 15 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un paramètre est la réflectivité maximum calculée dans une verticale donnée.
- 20 11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un paramètre est le gradient vertical de réflectivité entre une zone de réflectivité maximum et l'altitude maximum où les réflectivités sont supérieures à un seuil donné.
- 25 12. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un paramètre est le gradient horizontal de la réflectivité à une altitude donnée.
13. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le paramètre est calculé dans un volume déterminé.

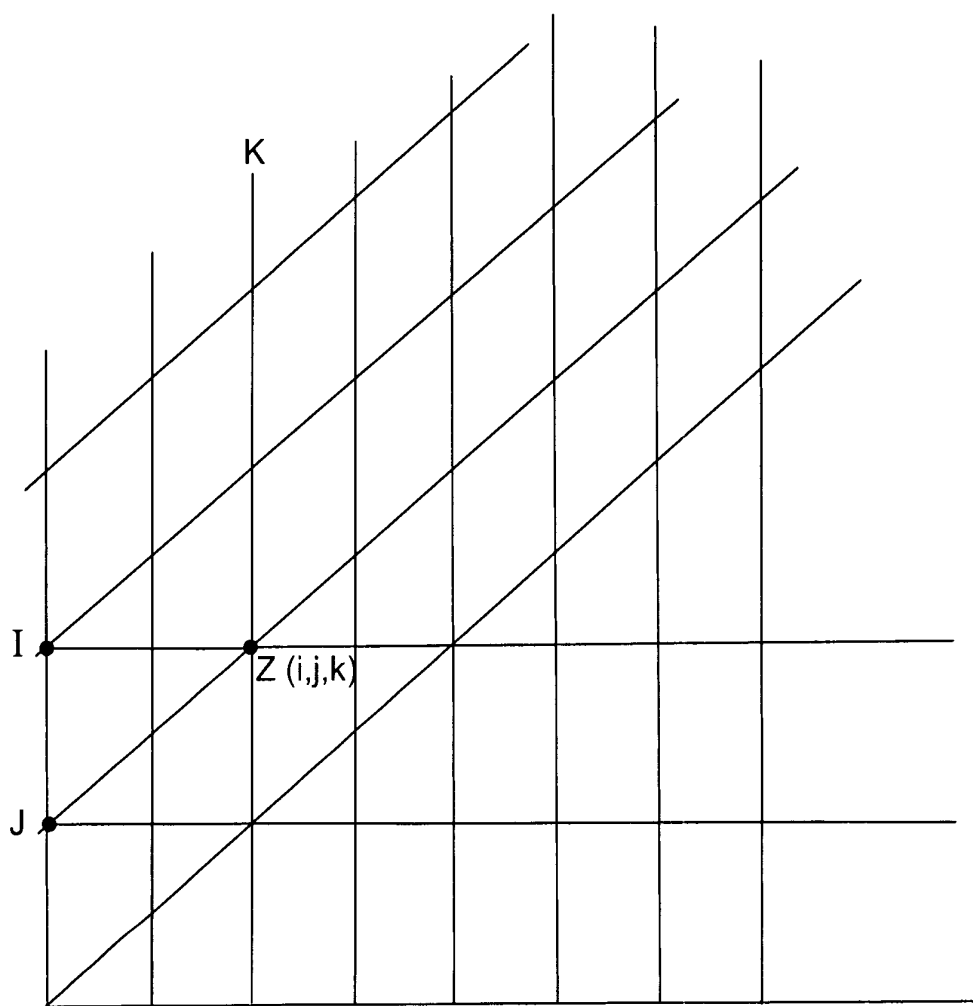


FIG.1

2/2

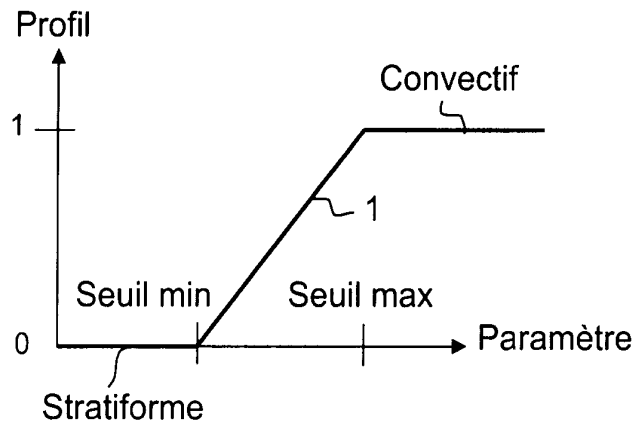


FIG. 2

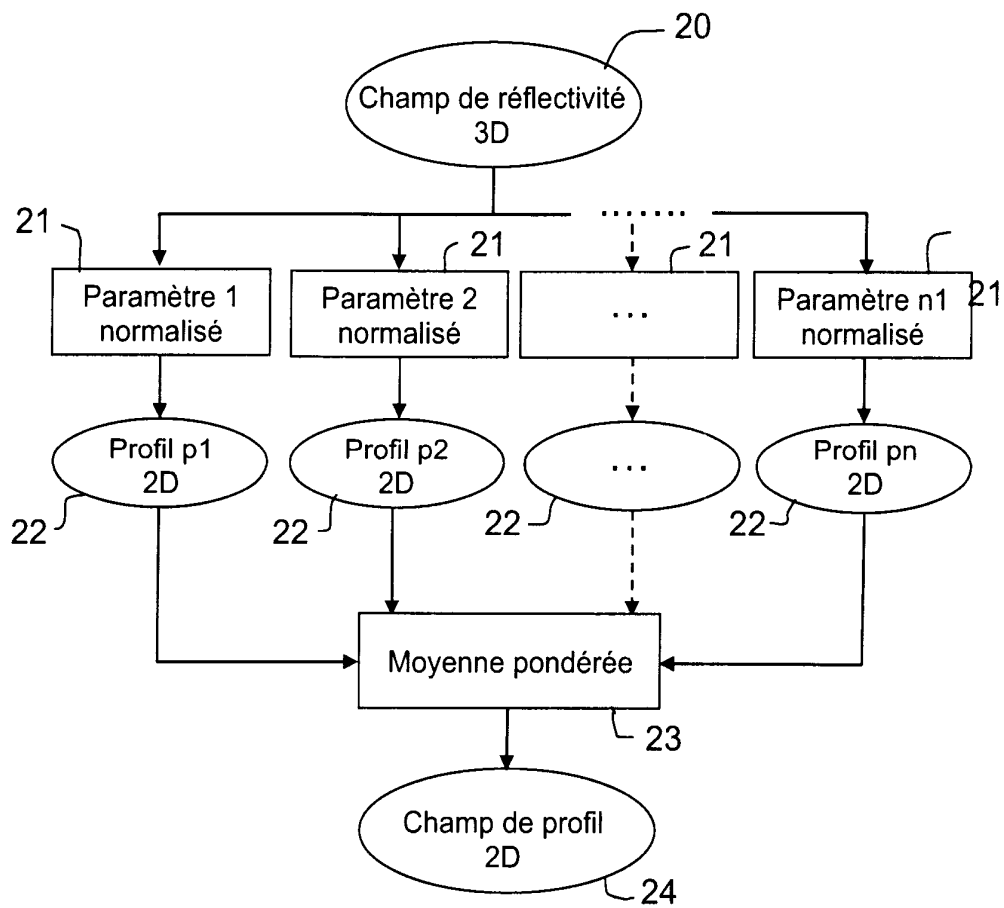


FIG. 3

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 711053
FR 0803634

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, des parties pertinentes		
X	AWAKA J ET AL: "Rain type classification algorithm for TRMM precipitation radar" GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 1997. IGARSS '97. REMOTE SENSING - A SCIENTIFIC VISION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT., 1997 IEEE INTERNATIONAL SINGAPORE 3-8 AUG. 1997, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol. 4, 3 août 1997 (1997-08-03), pages 1633-1635, XP010234532 ISBN: 978-0-7803-3836-4	1,3,4, 7-13	G01S13/95
Y	* page 1634, colonne de gauche, ligne 29 -	3,12	
A	* abrégé *	5,6	
X	SMYTH T J ET AL: "Radar estimates of rainfall rates at the ground in bright band and non-bright band events" QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY, ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY, BERKSHIRE, GB, vol. 124, no. 551, 1 octobre 1998 (1998-10-01), pages 2417-2434, XP009112318 ISSN: 0035-9009	1,2,4, 7-11,13	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	* page 2427, ligne 15, alinéa B - page 2430, ligne 9; figures 7,8 *	3,12	G01S
A	* abrégé *	5,6	
A	US 7 307 576 B1 (KOENIGS GREGORY J [US]) 11 décembre 2007 (2007-12-11) * colonne 9, ligne 34 - colonne 10, ligne 62; figures 4,6,7 *	1	
A	US 7 242 343 B1 (WOODELL DANIEL L [US]) 10 juillet 2007 (2007-07-10) * colonne 10, ligne 32 - colonne 12, ligne 51; figures 5,6 *	1	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 février 2009		Mercier, Francois	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 711053
FR 0803634

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A,D	US 7 129 885 B1 (WOODELL DANIEL L [US] ET AL) 31 octobre 2006 (2006-10-31) * abrégé *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	----- BANDERA J ET AL: "Vertical variation of reflectivity and specific attenuation in stratiform and convective rainstorms" ELECTRONICS LETTERS, IEE STEVENAGE, GB, vol. 35, no. 7, 1 avril 1999 (1999-04-01), pages 599-600, XP006011976 ISSN: 0013-5194 * le document en entier *	1	
A	----- ZAFAR B J ET AL: "Classification of precipitation type from space borne precipitation radar data and 2D wavelet analysis" GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2004. IGARSS '04. PROCEEDINGS . 2004 IEEE INTERNATIONAL ANCHORAGE, AK, USA 20-24 SEPT. 2004, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 5, 20 septembre 2004 (2004-09-20), pages 3574-3577, XP010750774 ISBN: 978-0-7803-8742-3 * le document en entier *	1	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 février 2009		Mercier, Francois	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 3

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0803634 FA 711053**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 25-02-2009

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7307576	B1	11-12-2007	AUCUN	
US 7242343	B1	10-07-2007	AUCUN	
US 7129885	B1	31-10-2006	AUCUN	