

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 148 096**

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

②① N° d'enregistrement national : **23 03947**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 W 1/00 (2023.01), G 01 W 1/11**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé d'estimation d'un profil vertical de l'humidité relative de l'atmosphère.

②② Date de dépôt : 20.04.23.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 25.10.24 Bulletin 24/43.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.04.25 Bulletin 25/17.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *REUNIWATT Société par actions
simplifiée — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *Kurzrock Frederik, Hochebner Andrea
et Sébastien Nicolas.*

⑦③ Titulaire(s) : *REUNIWATT Société par actions
simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) : *IPSIDE.*

FR 3 148 096 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé d'estimation d'un profil vertical de l'humidité relative de l'atmosphère

Domaine technique

- [0001] La présente invention appartient au domaine technique des prévisions météorologiques. L'invention concerne plus particulièrement un procédé d'estimation d'un profil vertical de l'humidité relative de l'atmosphère, afin de prédire la présence ou non de nuages dans une région d'étude et à court terme.
- [0002] L'invention trouve une application directe dans le secteur de la météorologie, en utilisant notamment le profil vertical de l'humidité relative dans un modèle de prévision numérique du temps.

Etat de la technique

- [0003] Les modèles météorologiques ont connu une évolution importante depuis leur développement dans les années 1920, avec l'ajout d'équations mathématiques plus complexes et l'utilisation de modèles numériques pour simuler l'atmosphère avec plus de précision.
- [0004] Depuis la moitié du 20^{ème} siècle, les modèles de prévision numérique du temps (*PNT*) ont ensuite été développés, permettant alors des prévisions à plus long terme.
- [0005] A titre d'exemples, le modèle *GFS* (*Global Forecast System*) est l'un des modèles de *PNT* les plus utilisés dans le monde entier. Le modèle *GFS* est développé par le *NCEP* (*National Centers for Environmental Prediction*) et permet entre autres de fournir des prévisions météorologiques sur une période pouvant couvrir jusqu'à deux semaines.
- [0006] Météo-France, le service officiel français de la météorologie et de la climatologie, utilise actuellement les modèles de *PNT* *ARPEGE* (*Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle*) et *AROME* (*Applications de la Recherche à l'Opérationnel à Mésos-Echelle*), qui fournissent des prévisions à haute résolution sur l'Europe ainsi qu'à l'échelle mondiale pour le modèle *ARPEGE*, ou des prévisions à haute résolution sur une zone géographique spécifique pour le modèle *AROME*.
- [0007] Les modèles de *PNT* utilisent des données d'observations de haute qualité pour fournir des prévisions de la plus haute précision possible, et jusqu'à plusieurs jours à l'avance.
- [0008] Cependant, malgré leur sophistication, les modèles météorologiques actuels ont encore des limites et des inconvénients.
- [0009] Les principales limites sont les erreurs d'initialisation des données d'observations, la résolution spatiale et temporelle limitée, les incertitudes dans les données et les paramètres, ainsi que la complexité à modéliser l'atmosphère elle-même. Ces limites

peuvent entraîner des erreurs dans les prévisions météorologiques, en particulier pour les phénomènes météorologiques à petite échelle et les prévisions à plus long terme.

- [0010] Les erreurs d'initialisation des données d'observations peuvent avoir des effets importants sur les prévisions. Les données d'observations ne couvrent pas toujours les zones d'intérêt en n'étant pas disponibles à certaines coordonnées géographiques ou en altitude. Aussi, certaines données peuvent être inexactes. De plus, la résolution spatiale des modèles peut ne pas être suffisante pour prédire les phénomènes météorologiques à petite échelle, tels que les orages ou les tempêtes locales.
- [0011] La résolution temporelle des modèles météorologiques est également limitée. Les modèles actuels peuvent faire des prévisions à plusieurs jours à l'avance, mais la précision diminue à mesure que la période de prévision s'allonge. Les incertitudes dans les données et les paramètres peuvent également entraîner des incertitudes dans les prévisions.
- [0012] Enfin, une modélisation plus précise de l'atmosphère représente un défi important pour la communauté internationale des météorologues, l'atmosphère étant un système extrêmement complexe, avec des interactions non linéaires entre de nombreux processus différents. Les modèles météorologiques actuels peuvent simuler de nombreux aspects de cette complexité, mais il reste encore beaucoup à apprendre sur le fonctionnement de l'atmosphère.
- [0013] Ainsi, une meilleure évaluation des données d'entrée des modèles de PNT représente un axe d'amélioration de la modélisation du comportement dynamique de l'atmosphère.
- [0014] Le document WO2016046309A1 décrit un ensemble ainsi qu'un procédé de détection permettant d'identifier et d'effectuer le suivi de nuage dans une zone du ciel. Une des étapes du procédé consiste notamment à déduire une distribution verticale de la vapeur d'eau en un lieu donné, et cela à partir de mesures réalisées au niveau du sol, ainsi que par des profils atmosphériques préalablement modélisés. En revanche, le document WO2016046309A1 ne décrit pas les étapes de correction du profil vertical d'humidité relative, ni ne permet d'en fournir.
- [0015] Le document US2020257018A1 décrit des systèmes et méthodes pour mesurer des paramètres environnementaux, notamment la température et l'humidité de l'air. Dans un mode de réalisation, un système de mesure comprend un mât qui est équipé d'une pluralité de capteurs, positionnés à différentes hauteurs sur la longueur du mât. Ainsi, un profil vertical local de paramètres relatifs à la caractérisation de l'air est obtenu. En revanche, le système décrit dans le document US2020257018A1 est caractérisé par une hauteur d'étude maximale par rapport au sol qui est de l'ordre de 3 m, ce qui n'est pas suffisant pour les modèles de PNT. Par ailleurs, d'autres documents décrivent des mâts de mesure pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de hauteur, sans pour autant

que ces dispositifs soient suffisants pour estimer un profil vertical d'humidité relative pour toute la tropopause : la tropopause correspondant à la couche de l'atmosphère dans laquelle les phénomènes météorologiques sont créés et étudiés.

- [0016] Le document GB2574154A décrit une méthode permettant d'obtenir des profils verticaux de plusieurs paramètres atmosphériques de manière synchronisée. Ainsi, il est décrit dans le document GB2574154A l'utilisation de différents dispositifs de mesure basés sur divers principes pouvant mesurer plusieurs paramètres en même temps, lesdits dispositifs étant fixés sur un câble d'un aérostat à un intervalle de distance spécifié. Par ailleurs, chaque dispositif de mesure est apte à transmettre en temps réel les données collectées à un dispositif d'acquisition synchrone de profils, mesurés en temps réel, de plusieurs paramètres atmosphériques, ledit dispositif étant situé au sol. Bien que les mesures réalisées puissent être obtenues jusqu'en haute altitude, la mise en œuvre du dispositif n'est pas aisée, peut être contraignante, notamment en fonction de conditions météorologiques extrêmes.
- [0017] Il est alors nécessaire de poursuivre le développement de solutions facile à mettre en œuvre, pouvant être utilisée en continue, de jour comme de nuit sans contrainte, et permettant d'obtenir une précision ainsi qu'une évaluation rapide des données d'entrée des modèles de PNT, notamment le profil vertical d'humidité relative.
- [0018] Le profil vertical d'humidité relative peut être estimé en déterminant la présence de nuages, leurs hauteurs ainsi que leurs épaisseurs.
- [0019] Le document CN112085751A décrit une méthode d'estimation de la hauteur de la couche nuageuse basée sur un algorithme de correspondance de l'ombre de l'image nuageuse, qui comprend les étapes suivantes :
- de prise de vue synchronisée d'une image nuageuse et d'une image de l'ombre au sol et prétraitement ;
 - de sélection d'un point de correspondance de la grappe nuageuse et d'un point de correspondance de l'ombre par le biais de l'algorithme de correspondance de l'ombre de la grappe nuageuse ; et
 - de résolution de la hauteur de la couche nuageuse en fonction de la relation spatiale réelle des points de correspondance.
- [0020] Le document WO2016030951A1 décrit quant à lui un dispositif d'observation automatisé du ciel comprenant, entre autres, une unité d'émission/réception de lumière, une unité de correction du signal mesuré, une unité d'estimation de couche de nuages, une unité d'estimation d'altitudes de bases de nuages et une unité d'estimation de couverture nuageuse.
- [0021] En revanche, il semblerait que la méthode d'estimation décrite dans le document CN112085751A, et le dispositif décrit dans le document WO2016030951A1, ne se basent essentiellement que sur une grandeur mesurée pour évaluer la présence,

l'altitude, et l'épaisseur de nuage dans une zone d'intérêt. Or, cette approche peut ne pas se révéler suffisamment précise pour des applications en météorologie notamment, où d'autres données d'entrées sont nécessaires pour affiner cette estimation.

[0022] Ainsi, il est difficile de déterminer la hauteur où se trouvent des nuages sur une zone d'intérêt, et il est donc nécessaire de développer des solutions améliorant ces estimations.

Présentation de l'invention

[0023] La présente invention vise à pallier tout ou partie des inconvénients présentés précédemment, et propose alors une solution innovante permettant notamment de corriger l'altitude ainsi que l'étalement vertical de nuages présents dans un profil vertical atmosphérique à une coordonnée géographique.

[0024] A cet effet, la présente invention vise un procédé d'estimation d'un profil vertical d'humidité relative, ledit procédé utilisant un jeu de données d'entrée, comprenant à minima un profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ estimé, une estimation de la couverture nuageuse $CF_e(t)$ et une observation de la couverture nuageuse $CF_o(t)$, ledit procédé étant mis en œuvre au moyen d'un dispositif informatique.

[0025] Ce procédé d'estimation est remarquable en ce qu'il comporte les étapes consécutives :

- d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$;
- de vérification d'une variabilité de la fraction nuageuse observée $\Delta CF_o(k)$, sur un intervalle de temps ; et
- d'identification du type de correction qui est appliquée au profil $VPRH_e(t)$.

[0026] Selon une caractéristique particulière, le procédé d'estimation, comprend en outre, et avant l'étape d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$, une étape de vérification d'un écart $\Delta CF_{e-o}(t)$ entre l'estimation de la couverture nuageuse $CF_e(t)$ et la couverture nuageuse observée $CF_o(t)$.

[0027] Selon une autre caractéristique particulière, le procédé d'estimation comprend en outre, et à la suite de l'étape d'identification du type de correction, une étape d'ajout d'un nuage et/ou une étape de suppression d'un nuage, au niveau de l'altitude du maximum local $RH_{max_i}(t)$.

[0028] Selon une autre caractéristique particulière, le procédé d'estimation comprend en outre une étape de conservation du profil $VPRH_e(t)$.

[0029] Selon une autre caractéristique particulière, le procédé d'estimation comprend en outre une étape de génération d'un profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ corrigé.

- [0030] D'une façon avantageuse, l'étape d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ utilise une observation de la hauteur de la base des nuages $CBH_o(t)$.
- [0031] D'une autre façon avantageuse, l'étape d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e$ utilise une observation de la hauteur du sommet des nuages $CTH_o(t)$ du jeu de données d'entrée.
- [0032] Avantageusement, l'étape d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e$ utilise une observation du type des nuages du jeu de données d'entrée.
- [0033] Selon une autre caractéristique particulière, l'étape d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e$ utilise une pluralité d'informations, tel qu'un étalement vertical des nuages et/ou une épaisseur optique des nuages.
- [0034] Un autre objet de l'invention est un produit programme d'ordinateur remarquable en ce qu'il comporte un ensemble d'instructions de code de programme qui, lorsqu'elles sont exécutées par un processeur, mettent en œuvre un procédé d'estimation tel que décrit précédemment.
- [0035] Enfin, la présente invention a également pour objet un dispositif informatique, mettant en œuvre un procédé d'estimation tel que décrit précédemment caractérisé en ce que ledit dispositif comprend, une mémoire, un processeur de données, un moyen de transfert d'informations entrantes et sortantes.
- [0036] Les concepts fondamentaux de l'invention venant d'être exposés ci-dessus dans leur forme la plus élémentaire, d'autres détails et caractéristiques ressortiront plus clairement à la lecture de la description qui suit et en regard des dessins annexés.

Présentation des dessins

- [0037] Les figures sont données à titre purement illustratif pour une meilleure compréhension de l'invention sans en limiter la portée. Les différents éléments peuvent être représentés de manière schématique et ne sont pas nécessairement à la même échelle. Sur l'ensemble des figures, les éléments identiques ou équivalents portent la même référence numérique.
- [0038] Il est ainsi illustré en :
- [0039] [Fig.1] : un graphique représentant un premier profil vertical de l'humidité relative et le même profil corrigé par un procédé d'estimation, selon un mode de réalisation ;
- [0040] [Fig.2] : un graphique représentant un second profil vertical de l'humidité relative et le même profil corrigé par le procédé d'estimation, selon un mode de réalisation ;
- [0041] [Fig.3] : un schéma sous forme de diagramme des données d'entrée du procédé d'estimation et des données de sortie ;

- [0042] [Fig.4] : les principales étapes du procédé d'estimation du profil vertical de l'humidité relative selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0043] [Fig.5] : un schéma sous forme de diagramme d'un dispositif informatique permettant la mise en œuvre du procédé d'estimation.

Description détaillée de modes de réalisation

- [0044] Il convient de noter que certains éléments techniques bien connus de l'homme du métier sont ici décrits pour éviter toute insuffisance ou ambiguïté dans la compréhension de la présente invention.
- [0045] Dans le mode de réalisation décrit ci-après, on fait référence à un procédé d'estimation d'un profil vertical de l'humidité relative, ledit profil étant utilisé comme donnée d'entrée dans des modèles de prévision numérique du temps (PNT).
- [0046] Ce procédé d'estimation présente notamment l'avantage de mettre à jour en quasi-temps réel et en continue, le profil vertical de l'humidité relative, permettant alors d'obtenir une donnée d'entrée plus précise et proche de la réalité, améliorant ainsi les prévisions météorologiques.
- [0047] La [Fig.1] et la [Fig.2] représentent un exemple de graphique 100, présentant chacun un profil vertical de l'humidité relative $VPRH_c(t)$ 10a-b estimé à un instant t et pour une coordonnée géographique.
- [0048] Dans ce mode de réalisation, le graphique 100 comporte un axe des abscisses 18, qui exprime le profil $VPRH_c(t)$ 10a-b en pourcentage, sur une échelle numérique allant de 0% à 100 %, ainsi qu'un axe des ordonnées 19 qui représente l'altitude, au-dessus du niveau du sol, et qui est exprimée en kilomètre sur une échelle numérique allant de 0 km à 30 km.
- [0049] Dans d'autres modes de réalisation, l'altitude à laquelle est estimée le profil $VPRH_c(t)$ 10a-b peut être exprimée au moyen d'autres unités, en niveau de pression (unité hPa) ou au moyen d'un certain nombre de couches numériques du modèle.
- [0050] La [Fig.1] et la [Fig.2] représentent chacune également, et au moyen de lignes tiret-point, un profil vertical d'humidité relative $VPRH_c(t)$ 11a-b corrigé. Le profil $VPRH_c(t)$ 11a-b correspond au profil $VPRH_c(t)$ 10a-b qui a été modifié au moyen d'un procédé d'estimation 500 de profil vertical d'humidité relative, dont les étapes principales, et selon un mode de réalisation, sont représentées à la [Fig.4].
- [0051] Un des principaux objectifs du procédé d'estimation 500 est de corriger le profil $VPRH_c(t)$ 10a-b, en se basant notamment sur différentes observations du ciel, afin de corriger l'humidité relative RH autour de l'altitude à laquelle des nuages ont été observés. C'est l'exemple qui est illustré à la [Fig.1], où un maximum local d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a, du profil $VPRH_c(t)$ 10a, de valeur proche de 85 %, est corrigé afin que dans le profil $VPRH_c(t)$ 11a, un maximal local d'humidité relative RH_{max_i}

(t) 111a, ait une valeur seuil de 100 %, ce qui indique sans équivoque la présence d'un nuage à l'altitude correspondante, qui a été confirmée au préalable à une altitude 14, au moyen d'un capteur, ladite altitude étant représentée sur la [Fig.1] par une ligne en pointillée.

[0052] Un autre objectif du procédé d'estimation 500, illustré à la [Fig.2], est de corriger le profil $VPRH_c(t)$ 10a-b en diminuant la valeur d'un maximum local d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101b, du profil $VPRH_c(t)$ 10b, afin que dans le profil $VPRH_c(t)$ 11b, un maximum local d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 111b, ait une valeur qui ne permet pas d'avoir un nuage à l'altitude correspondante.

[0053] Cette analyse de l'humidité relative RH est effectuée entre une altitude minimale d'étude Alt_{min} 13 et une altitude maximale d'étude Alt_{max} 12.

[0054] La [Fig.3] représente un schéma détaillant un jeu de données d'entrée 200, selon un mode de réalisation de l'invention, pour être utilisé par le procédé d'estimation 500 pour générer un jeu de données de sortie 300, qui dans ce mode de réalisation est un profil vertical d'humidité relative $VPRH_c(t)$ 30, à un instant t, ainsi qu'à une coordonnée géographique.

[0055] Dans ce mode de réalisation particulier de l'invention, le jeu de données d'entrée comporte :

- un profil vertical d'humidité relative $VPRH_c(t)$ 20 estimé, exprimée en pourcentage, et pouvant provenir par exemple d'un modèle de PNT, sans que cela ne représente une limite à l'invention ;
- une estimation de la couverture nuageuse $CF_c(t)$ 21, exprimée en pourcentage ;
- une observation de la couverture nuageuse $CF_o(t)$ 22 ;
- une observation de la hauteur de la base des nuages $CBH_o(t)$ 23 ;
- une observation de la hauteur du sommet des nuages $CTH_o(t)$ 24 ;
- une observation du type des nuages 25 ;
- ainsi qu'une pluralité d'informations 26 permettant de caractériser les paramètres physiques des nuages, tel que l'étalement vertical des nuages, l'épaisseur optique.

[0056] Il est rappelé ici que le jeu de données d'entrée 200 est obtenu pour une seule et même coordonnée géographique afin d'effectuer l'estimation du profil vertical d'humidité relative, et cela à un instant t.

[0057] L'estimation de la couverture nuageuse $CF_c(t)$ 21 est par exemple déduite à partir d'un modèle de PNT, sans que cela ne représente une limite à l'invention.

[0058] De plus, l'observation de la couverture nuageuse $CF_o(t)$ 22 est, dans un mode de réalisation particulier, obtenue à partir d'un capteur développé par la société

Reuniwatt, l'imageur infrarouge du ciel Sky InSight™. D'autres méthodes connues par l'homme du métier peuvent également fournir l'observation de la couverture nuageuse $CF_o(t)$ 22, telles que par des images obtenues au moyen de caméras ou de satellites (géostationnaires et/ou polaire-orbitales).

- [0059] Dans un mode de réalisation particulier de l'invention, le profil $VPRH_e(t)$ 20, l'estimation de la couverture nuageuse $CF_e(t)$ 21 et l'observation de la couverture nuageuse $CF_o(t)$ 22 sont des données d'entrée qui sont obligatoires pour exécuter le procédé d'estimation 500.
- [0060] Dans un autre mode de réalisation particulier de l'invention, l'observation de la hauteur de la base des nuages $CBH_o(t)$ 23, au moyen par exemple de célo mètres, l'observation de la hauteur du sommet des nuages $CTH_o(t)$ 24, au moyen par exemple de satellites, sont des données qui sont optionnelles pour exécuter le procédé d'estimation 500.
- [0061] De même, dans un autre mode de réalisation particulier de l'invention, l'observation du type des nuages 25 est obtenue au moyen de relevés effectués par un opérateur, ou d'images provenant de caméras et/ou satellites analysées au moyen d'algorithmes d'intelligences artificielles, sans que cela ne soit une limite de l'invention, l'homme du métier pouvant utiliser d'autres méthodes connues.
- [0062] Enfin, le jeu de données d'entrée 200 peut être complété par une pluralité d'informations 26 provenant notamment de stations météorologiques au sol 26a, de ballons sondes 26b ainsi que de satellite 26c, informations que l'homme du métier est en mesure de compléter.
- [0063] La [Fig.4] représente les principales étapes d'un procédé d'estimation 500 du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ 30, selon un mode de réalisation, et tel que ledit profil est représenté aux figures 1 et 2.
- [0064] Le procédé 500 comprend principalement :
- une étape 510 de vérification d'un écart $\Delta CF_{e-o}(t)$ entre la couverture nuageuse estimée $CF_e(t)$ 21 et la couverture nuageuse observée $CF_o(t)$ 22 ;
 - une étape 520 d'identification des maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ 101a-b dans les profils $VPRH_e(t)$ 10a-b ;
 - une étape 530 de vérification d'une variabilité de la fraction nuageuse observée $\Delta CF_o(k)$, sur un intervalle de temps tel qu'un temps k est compris entre un temps t-x et un temps t+y ;
 - une étape 540 d'identification du type de correction qui est appliquée au profil $VPRH_e(t)$ 10a-b ;

- une étape 550 d'ajout d'un nuage au niveau de l'altitude du maximum local $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b, ou une étape 560 de suppression d'un nuage au niveau de l'altitude du maximum local $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b ;
 - une étape 570 de conservation du profil $VPRH_e(t)$ 10a-b ou une étape 580 de génération du profil $VPRH_e(t)$ 11a-b.
- [0065] Plus précisément, l'étape 510 de vérification de l'écart $\Delta CF_{e-o}(t)$ entre la couverture nuageuse estimée $CF_e(t)$ 21 et la couverture nuageuse observée $CF_o(t)$ 22 consiste à comparer la valeur de $\Delta CF_{e-o}(t)$ avec des constantes ΔCF_{\min} et ΔCF_{\max} .
- [0066] Ainsi, si l'écart $\Delta CF_{e-o}(t)$ est inférieur à la constante ΔCF_{\min} , ou supérieur à la constante ΔCF_{\max} , le profil $VPRH_e(t)$ 10a-b n'est pas corrigé, et le procédé d'estimation 500 du profil vertical d'humidité relative 30 s'arrête en conservant le profil $VPRH_e(t)$ 20 utilisé en entrée dudit procédé.
- [0067] En revanche, et si l'écart $\Delta CF_{e-o}(t)$ est compris entre les valeurs constantes ΔCF_{\min} et ΔCF_{\max} , le procédé d'estimation 500 se poursuit.
- [0068] L'étape 520 consiste à identifier les maximums locaux d'humidité relative $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b qui sont compris entre l'altitude minimale d'analyse Alt_{\min} 13 et l'altitude maximale d'analyse Alt_{\max} 12. Pour chaque maximum local d'humidité relative $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b, une altitude $Alt_{RH_{\max_i}(t)}$ est associée.
- [0069] Ensuite, les valeurs des maximums locaux d'humidité relative $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b sont comparées à un seuil minimal d'humidité relative RH_{\min} . Si la valeur du maximum local d'humidité relative $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b est inférieure à RH_{\min} , le procédé d'estimation 500 du profil vertical d'humidité relative 30 s'arrête en conservant le profil $VPRH_e(t)$ 20 utilisé en entrée dudit procédé.
- [0070] En revanche, si la valeur du maximum local d'humidité relative $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b est supérieure à RH_{\min} , le procédé d'estimation 500 se poursuit en vue d'appliquer potentiellement une correction au profil $VPRH_e(t)$ 20 d'entrée.
- [0071] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, si :
- l'observation de la hauteur de la base des nuages $CBH_o(t)$ 23 ;
 - l'observation de la hauteur du sommet des nuages $CTH_o(t)$; 24 et/ou
 - l'observation du type des nuages 25 ;
- [0072] sont disponibles dans le jeu de données d'entrée 200, alors les écarts entre les valeurs des altitudes $Alt_{RH_{\max_i}(t)}$ (correspondant pour rappel à des maximums locaux d'humidité relative $RH_{\max_i}(t)$ 101a-b) et les hauteurs de la base et du sommet des nuages, respectivement $CBH_o(t)$ 23 et $CTH_o(t)$ 24, sont calculés.
- [0073] Si cet écart est supérieur à un pas maximum d'altitude ΔAlt_{\max} , et cela pour l'ensemble des couples de donnée $\{RH_{\max_i}(t) ; Alt_{RH_{\max_i}(t)}\}$, le procédé

d'estimation 500 du profil vertical d'humidité relative 30 s'arrête en conservant le profil $VPRH_c(t)$ 20 utilisé en entrée dudit procédé.

[0074] Dans le cas contraire, les étapes 530, 540, 550 et 560 sont appliquées sur l'ensemble couples de donnée $\{RH_{max_i}(t) ; AltRH_{max_i}(t)\}$ afin d'affiner le profil vertical d'humidité relative 30 en sortie du procédé d'estimation 500.

[0075] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention où l'observation de la hauteur de la base des nuages $CBH_o(t)$ 23, l'observation de la hauteur du sommet des nuages $CTH_o(t)$ 24 ainsi que l'observation du type des nuages 25 ne sont pas disponibles dans le jeu de données d'entrée 200, il n'est alors pas fait de comparaison entre les $AltRH_{max_i}(t)$ correspondant à des maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b, et pour lesquelles la présence d'un nuage est a priori supposée.

[0076] L'étape 530 consiste à vérifier la variabilité de la fraction nuageuse observée $\Delta CF_o(k)$ afin d'éviter de devoir modifier le profil d'entrée si les conditions météorologiques sont incertaines (autrement dit variant trop rapidement). Cette vérification est réalisée sur un intervalle de temps $\{t-x ; t+y\}$, qui dans ce mode de réalisation particulier est d'une durée de 45 min.

[0077] La variabilité de la fraction nuageuse observée $\Delta CF_o(k)$ est évaluée au moyen de la formule suivante, sans que cela ne présente une limite à l'invention :

[0078] [Math.1]

$$\Delta CF_o(k) = \max_{t-x \leq k \leq t+y} CF_o(k) - \min_{t-x \leq k \leq t+y} CF_o(k)$$

[0079] Ainsi, il est évalué sur l'ensemble de l'intervalle de temps $\{t-x ; t+y\}$, l'écart entre le maximum de l'observation de la couverture nuageuse $CF_o(k)$ 22, et son minimum. Une fois la variabilité de la fraction nuageuse observée $\Delta CF_o(k)$ calculée, celle-ci est comparée à un seuil de variabilité maximal $\Delta CF_{spreadmax}$, et si $\Delta CF_o(k)$ est supérieure audit seuil, le procédé d'estimation 500 du profil vertical d'humidité relative 30 s'arrête en conservant le profil $VPRH_c(t)$ 20 utilisé en entrée dudit procédé. En effet, il est alors choisi de ne pas modifier le profil vertical d'humidité relative 30 car la fraction nuageuse varie trop rapidement sur l'échelle de temps observée. Cela n'apporterait donc pas plus de précision au modèle de PNT et risquerait d'engendrer une mauvaise initialisation du modèle de PNT lors de la prochaine itération.

[0080] L'étape 540 consiste à identifier le type de correction qui est appliquée au profil $VPRH_c(t)$ 10a-b.

[0081] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, cette identification est réalisée en comparant tout d'abord l'écart $\Delta CF_{e_o}(t)$ avec le seuil minimal de différence ΔCF_{min} , ainsi que les valeurs des maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b avec un seuil minimal d'humidité relative de référence RH_{ref} .

- [0082] Ainsi, si l'écart $\Delta CF_{e.o}(t)$ est supérieur au seuil minimal de différence ΔCF_{min} , le profil vertical d'humidité relative est modifié localement, en augmentant l'humidité relative autour des maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b concernés. Il s'agit de l'étape 550 d'ajout d'un nuage.
- [0083] Dans le cas où l'écart $\Delta CF_{e.o}(t)$ est inférieur au seuil minimal de différence ΔCF_{min} , et si les valeurs des maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b sont supérieur au seuil minimal d'humidité relative de référence RH_{ref} , le profil vertical d'humidité relative est modifié localement, en diminuant l'humidité relative autour des maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b concernés, et selon une réduction de l'humidité relative ΔRH . Il s'agit de l'étape 560 de suppression d'un nuage.
- [0084] Pour les autres cas, le procédé d'estimation 500 du profil vertical d'humidité relative 30 s'arrête en conservant le profil $VPRH_c(t)$ 20 utilisé en entrée dudit procédé, en intégralité ou, uniquement autour des altitudes $AltRH_{max_i}(t)$ associées aux maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b qui ne satisfont pas aux critères présentés.
- [0085] Il est précisé que la méthode, décrite ici, d'identification d'un ajout ou d'une suppression d'un nuage dans le profil vertical d'humidité relative, ne représente pas un aspect limitatif de l'invention, et que d'autres critères et calculs peuvent notamment être utilisés.
- [0086] Comme évoqué précédemment, l'étape 550 consiste à ajouter un nuage en modifiant le profil $VPRH_c(t)$ 10a au niveau de l'altitude $AltRH_{max_i}(t)$ du maximum local d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a, de manière à ce que ledit maximum local ait une valeur seuil de 100 %. Cette correction, peut être réalisée au moyen de diverses fonctions mathématiques, telles qu'une fonction gaussienne ou lorentzienne. Cette correction est représentée sur la [Fig.1], au niveau du maximum local d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 111a du profil $VPRH_c(t)$ 11a.
- [0087] L'étape 560 consiste quant à elle à supprimer un nuage dans le profil vertical d'humidité relative. Comme précédemment, cette correction peut être réalisée au moyen de diverses fonctions mathématiques continue, ou au moyen de la réduction de l'humidité relative ΔRH , définie par plage d'humidité relative RH . Cette correction est représentée sur la [Fig.2], au niveau du maximum local d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 111b du profil $VPRH_c(t)$ 11b.
- [0088] Enfin, les étapes 570 et 580 consistent respectivement à, soit :
- conserver le profil vertical d'humidité relative 20 provenant du jeu de données d'entrée 200, qui devient alors le profil vertical d'humidité relative 30 du jeu de données de sortie 300 ;

- générer un profil vertical d'humidité relative 30, dont des maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ ont été corrigés (soit augmenté jusqu'à 100 %, soit diminués).

[0089] A titre d'exemple, et sans que cela ne présente une limite à l'invention, le tableau 1 ci-dessous résume des valeurs utilisées par le procédé d'estimation 500.

[0090] [Tableaux1]

Paramètre	Valeur
Seuil minimal de différence ΔCF_{min}	- 0,5
Seuil minimal de différence ΔCF_{max}	0,5
Altitude minimale d'analyse Alt_{min}	1000 m
Altitude maximale d'analyse Alt_{max}	12000 m
Seuil minimal d'humidité relative RH_{min}	60 %
Pas maximum d'altitude ΔAlt_{max}	3000 m
Pas temporel amont x	30 min
Pas temporel aval y	15 min
$\Delta CF_{spreadmax}$	0,65
Seuil minimal d'humidité relative de référence RH_{ref}	85 %
Réduction de l'humidité relative ΔRH	si 75 % < RH < 85 %, $\Delta HR = 5\%$ si 85 % < RH < 95 %, $\Delta HR = 10\%$ si 95 % < RH, $\Delta HR = 20\%$

[0091] Pour un mode de réalisation particulier, le procédé 500 est mis en œuvre par un dispositif 800 tel que décrit ci-après.

[0092] La [Fig.5] représente un schéma fonctionnel du dispositif informatique 800 pour la mise en œuvre d'un ou plusieurs modes de réalisation de l'invention.

[0093] Le dispositif informatique 800 peut être un dispositif tel qu'un serveur, ou une unité de calcul, qui ne nécessite pas, dans le mode de réalisation préféré, l'intervention d'un opérateur pour la mise en œuvre ou l'exécution des étapes du procédé d'estimation 500.

[0094] Dans un mode de réalisation particulier, le dispositif informatique 800 comprend une mémoire 81, pour le stockage d'instructions de programme ainsi que de données, un processeur 82 de données apte à exécuter au moins une étape du procédé d'estimation 500, et un moyen de transfert d'informations 83 entrantes et sortantes, tel qu'une interface réseau câblées ou sans fil.

[0095] Ce mode de réalisation particulier est donné à titre d'exemple, et ne représente pas une limite à la présente invention. En effet, pour mettre en œuvre le procédé d'estimation 500, l'homme du métier est en capacité d'utiliser des dispositifs informatiques présentant des fonctionnalités toutes ou en partie identiques à celles décrites précédemment.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé d'estimation (500) d'un profil vertical d'humidité relative (11a-b,30), ledit procédé utilisant un jeu de données d'entrée (200) obtenu à un instant t et pour une coordonnée géographique, comprenant à minima un profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ estimé (10a-b, 20), une estimation de la couverture nuageuse $CF_e(t)$ (21) et une observation de la couverture nuageuse $CF_o(t)$ (22), ledit procédé étant mis en œuvre au moyen d'un dispositif informatique (800), ledit procédé étant **caractérisé** en ce qu'il comporte les étapes consécutives :

- (520) d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ (15a-b) du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ (10a-b,20) ;
- (530) de vérification d'une variabilité de la fraction nuageuse observée $\Delta CF_o(k)$, la variabilité de la fraction nuageuse étant l'écart entre le maximum de l'observation de la couverture nuageuse $CF_o(k)$ 22, et son minimum sur un intervalle de temps tel qu'un temps k est compris entre un temps $t-x$ minimum et un temps $t+y$ maximal où x et y sont des délais ; et
- (540) d'identification du type de correction qui est appliquée au profil $VPRH_e(t)$ (10a-b,20), le type de correction consistant à diminuer ou à augmenter l'humidité relative autour de maximums locaux d'humidité relative $RH_{max_i}(t)$ 101a-b, dans le cas où une correction est pertinente.

[Revendication 2]

Procédé (500) selon la revendication 1, comprenant en outre, et avant l'étape (520) d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ (15a-b), une étape (510) de vérification d'un écart $\Delta CF_{e-o}(t)$ entre l'estimation de la couverture nuageuse $CF_e(t)$ (21) et la couverture nuageuse observée $CF_o(t)$ (22) ;

[Revendication 3]

Procédé (500) selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre, et à la suite de l'étape (540) d'identification du type de correction, une étape (550) d'ajout d'un nuage et/ou une étape (560) de suppression d'un nuage, au niveau de l'altitude du maximum local $RH_{max_i}(t)$ (15a-b).

- [Revendication 4] Procédé (500) selon selon la revendication 1 ou 2, comprenant en outre une étape (570) de conservation du profil $VPRH_e(t)$ (10a-b,20).
- [Revendication 5] Procédé (500) selon selon la revendication 1, 2 ou 3, comprenant en outre une étape (580) de génération d'un profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ corrigé (11a-b,30).
- [Revendication 6] Procédé (500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (520) d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ (15a-b) du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ (10a-b,20) utilise une observation de la hauteur de la base des nuages $CBH_o(t)$ (23) du jeu de données d'entrée (200).
- [Revendication 7] Procédé (500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (520) d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ (15a-b) du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ (10a-b,20) utilise une observation de la hauteur du sommet des nuages $CTH_o(t)$ (24) du jeu de données d'entrée (200).
- [Revendication 8] Procédé (500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (520) d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ (15a-b) du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ (10a-b,20) utilise une observation (25) du type des nuages du jeu de données d'entrée (200).
- [Revendication 9] Procédé (500) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape (520) d'identification de maximums locaux $RH_{max_i}(t)$ (15a-b) du profil vertical d'humidité relative $VPRH_e(t)$ (10a-b,20) utilise une pluralité d'informations (26) caractérisant des paramètres physiques de nuages, tel qu'un étalement vertical des nuages et/ou une épaisseur optique des nuages.
- [Revendication 10] Produit programme d'ordinateur **caractérisé** en ce qu'il comporte un ensemble d'instructions de code de programme qui, lorsqu'elles sont exécutées par un processeur (82) d'un dispositif informatique (800), mettent en œuvre un procédé d'estimation (500) selon l'une des revendications 1 à 9.
- [Revendication 11] Dispositif informatique (800), mettant en œuvre un procédé d'estimation (500), selon l'une quelconques des revendications 1 à 9, **caractérisé** en ce que ledit dispositif comprend, une mémoire (81), un processeur (82) de données, un moyen de transfert d'informations (83) entrantes et sortantes.

[Fig. 1]

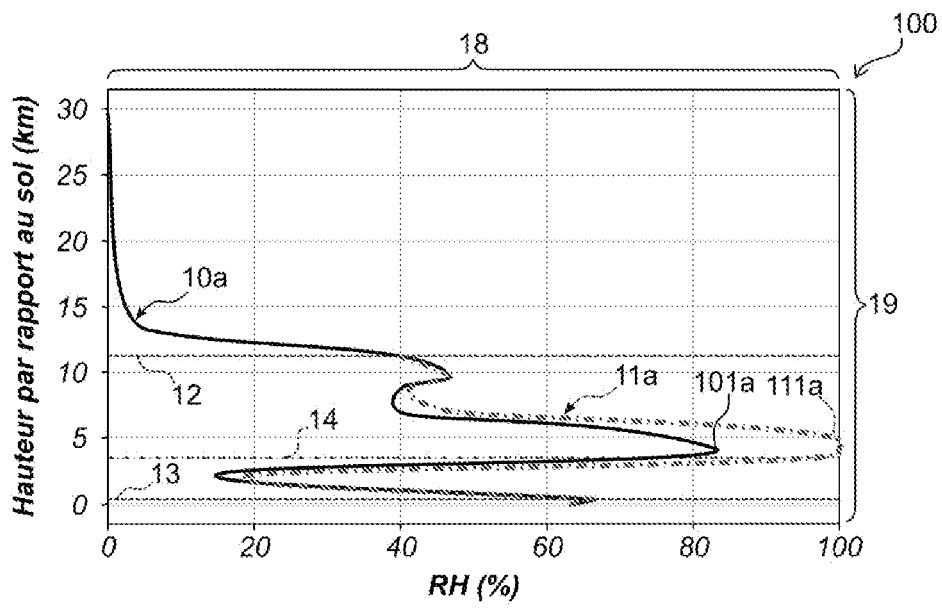


Fig.1

[Fig. 2]

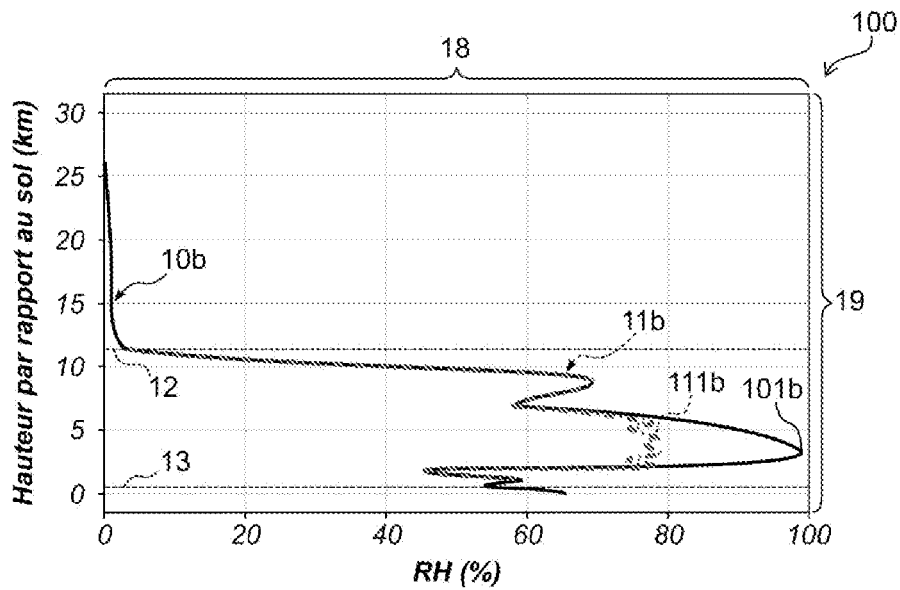


Fig.2

[Fig. 3]

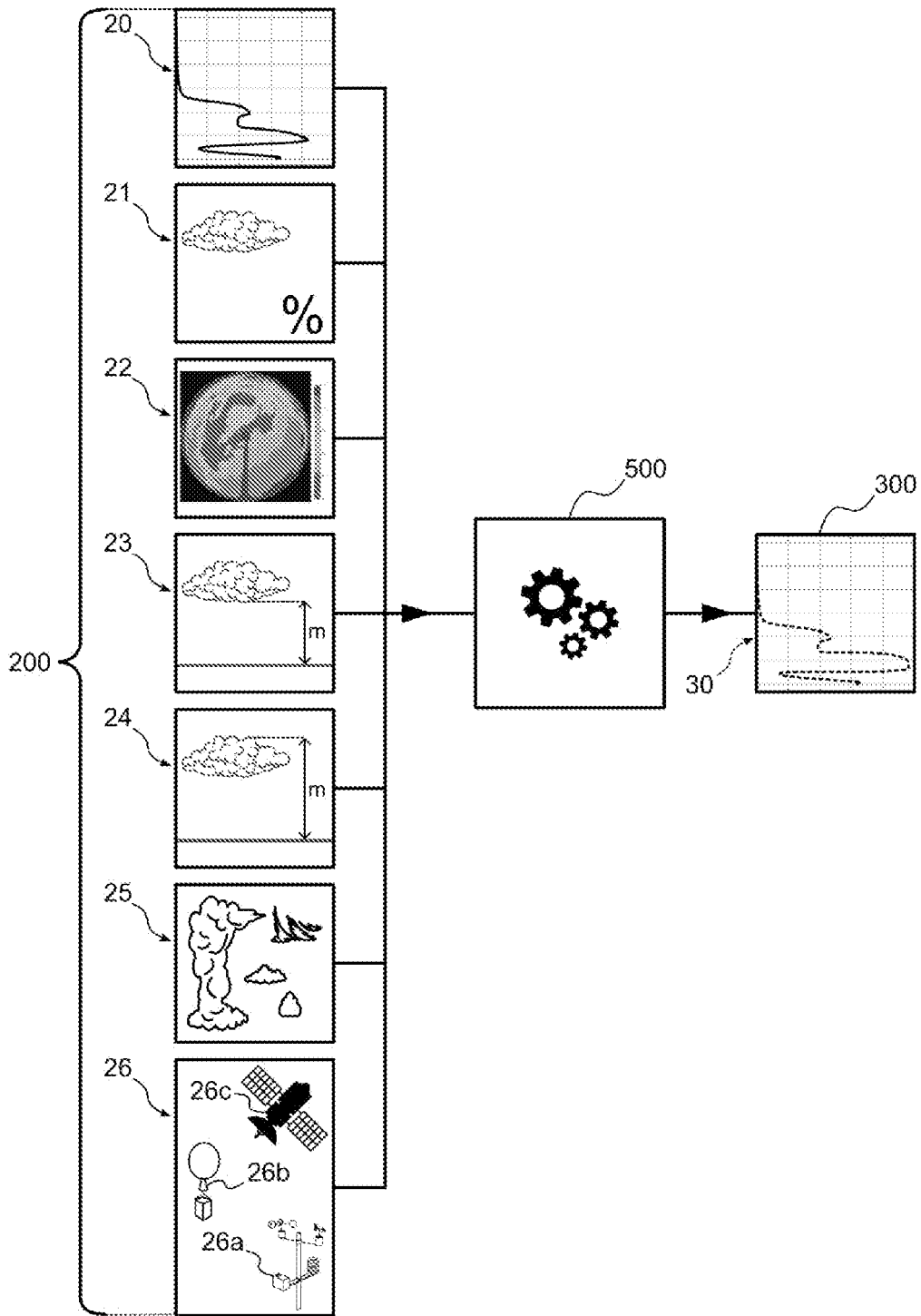
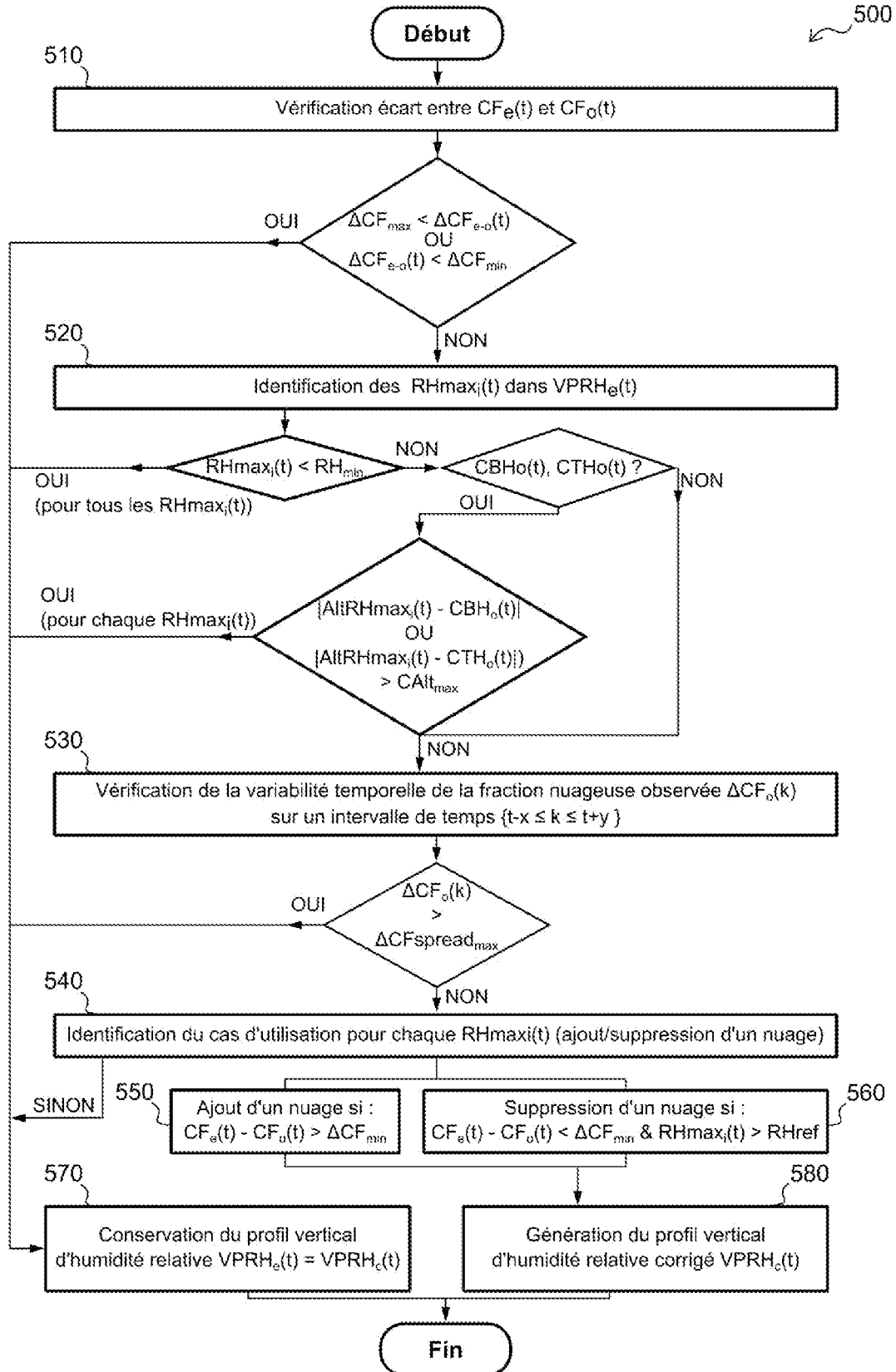
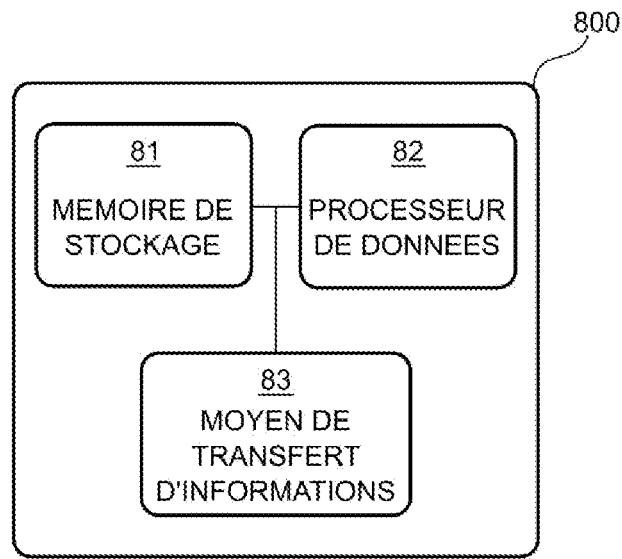


Fig.3

[Fig. 4]



[Fig. 5]

**Fig.5**

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

YANG HANDA ET AL: "Preprocessing WRF initial conditions for coastal stratocumulus forecasting", SOLAR ENERGY, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 133, 22 avril 2016 (2016-04-22), pages 180-193, XP029559545, ISSN: 0038-092X, DOI: 10.1016/J.SOLENER.2016.04.003

MATHIESEN PATRICK ET AL: "A high-resolution, cloud-assimilating numerical weather prediction model for solar irradiance forecasting", SOLAR ENERGY, vol. 92, 9 avril 2013 (2013-04-09), pages 47-61, XP055968107, AMSTERDAM, NL ISSN: 0038-092X, DOI: 10.1016/j.solener.2013.02.018

WO 2016/046309 A1 (REUNIWATT [FR])
31 mars 2016 (2016-03-31)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT