

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

22 Date de dépôt : 03.02.16.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 04.08.17 Bulletin 17/31.

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 :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *SO.NO.PAR Société à responsabilité limitée — FR.*

72 Inventeur(s) : *BADOCHÉ JACQUES Guy.*

73 Titulaire(s) : *SO.NO.PAR Société à responsabilité limitée.*

74 Mandataire(s) : *CABINET NETTER.*

54 **DISPOSITIF DE PREVISION D'ALTITUDE DE LA LIMITE PLUIE-NEIGE.**

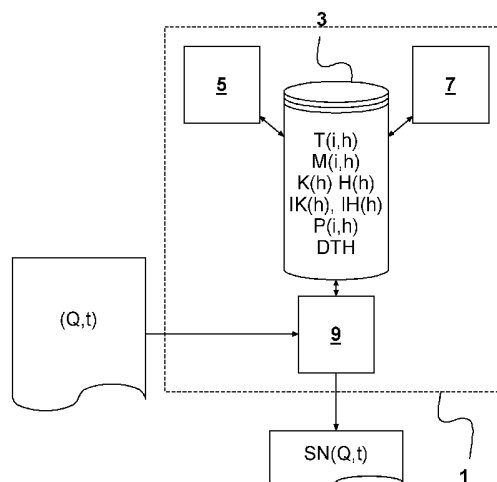
57 Un dispositif (1) de prévision d'altitude de la limite pluie-neige comprend :

- une mémoire (3) pour recevoir des ensembles de données météorologiques, chaque ensemble de données météorologiques associant une portion géographique (i), un instant (h), une température (T), une indication de précipitation (P), au moins une altitude (K, H, IK, IH), et un type de masse d'air (M) indiquant si une masse d'air associée à la portion géographique (i) pour un instant (h) est considérée comme entrante ou sortante d'une zone géographique correspondant à l'union des portions géographiques (i), chaque ensemble de données météorologiques étant initialisé avec un type de masse d'air (M) indiquant une masse d'air sortante, et les instants (h) étant choisis de sorte que les ensembles de données météorologiques peuvent être regroupés par instant (h) pour une portion géographique (i) donnée,

- un trieur (5) agencé pour parcourir un groupe d'ensembles de données météorologiques comprenant un instant (h) courant, et, pour un ensemble donné de ce groupe, modifier le type de masse d'air (M) pour indiquer une masse d'air entrante lorsque la différence entre d'une part la température (T) de l'ensemble donné et d'autre part la température (T) d'un ensemble associant la portion géographique (i)

de l'ensemble donné et un instant (h-2; h-1) antérieur à l'instant (h) courant est supérieure à une valeur seuil (T1; T2),

- un calculateur (7)



FR 3 047 375 - A1



### Dispositif de prévision d'altitude de la limite pluie-neige

L'invention relève du domaine de la prévision météorologique, en particulier la prévision automatique des altitudes de limite pluie-neige et des phénomènes neigeux à  
5 basse altitude.

Il est connu de détecter la présence d'hydrométéores dans l'atmosphère, c'est-à-dire d'eau sous diverses phases (liquide, solide - cristallisée sous diverses formes -, ou mixte). Les radars à double polarisation sont les outils les plus communs pour réaliser  
10 des telles détections. Néanmoins, cette détection se fait dans le faisceau radar à une altitude élevée par rapport au sol et à un instant donné, et ne préjuge donc pas de la présence au sol d'hydrométéores solides ou mixtes. De plus, cette détection ne peut pas servir de prévision à court terme. Même associée à un algorithme de mesure du déplacement des hydrométéores, elle ne permet pas de prévoir la phase des  
15 hydrométéores qui vont chuter en des lieux d'altitude différente. En outre, d'autres variables comme la température au lieu de la prévision peuvent changer au fur et à mesure des déplacements des hydrométéores.

Il est généralement admis que connaître l'altitude de la limite basse de la couche de  
20 fusion (c'est-à-dire l'épaisseur de cette couche en dessous de l'altitude de l'isotherme 0°C) permet d'estimer la nature des hydrométéores au sol : lorsque cette couche de fusion est proche du sol, un phénomène neigeux se produit car les hydrométéores n'ont pas le temps de fondre avant d'atteindre le sol. À l'inverse, une couche de fusion située à une altitude élevée par rapport au sol indique un phénomène  
25 pluvieux.

En hiver et en altitude, par exemple au-dessus de 1 000 mètres, le sol est presque en permanence au-dessus de la couche de fusion. Par conséquent, toute précipitation prend la forme de neige. Étudier l'altitude de la couche de fusion présente peu d'intérêt dans  
30 ce contexte. Prévoir la présence d'hydrométéores suffit à prévoir les chutes de neige.

En plaine, par exemple au-dessous de 1 000 mètres d'altitude, la prévision d'évolution du profil vertical de température devrait théoriquement permettre de prévoir les phénomènes neigeux dans le temps et l'espace. La prévision de l'évolution du profil vertical de température à court terme, par exemple dans les 12 prochaines heures, est  
5 très difficile, notamment à cause de variations rapides de l'altitude de la couche de fusion dans les phénomènes de neige « par isothermie » : les précipitations se produisent d'abord sous forme de pluie avec des températures de l'air faiblement positives à proximité du sol. En altitude, la fonte de la neige qui tombe est associée à une libération de chaleur latente qui induit un refroidissement de l'air. En conséquence,  
10 la limite pluie/neige s'abaisse, la fonte se produit de plus en plus près du sol et finit par l'atteindre. Les précipitations se produisent alors en plaine sous forme de neige.

Afin d'offrir une fiabilité acceptable aux prévisions, les conditions initiales en entrée des modèles de prévisions existants nécessitent des mises à jour fréquentes pour tenir  
15 compte des évolutions rapides de l'altitude de la couche de fusion. Or les modèles mis en œuvre, notamment le modèle « AROME » utilisé par Météo-France, présentent des temps de calcul d'environ 3 heures, auxquels s'ajoute le temps d'interprétation des données brutes par les météorologues.

20 Il est généralement considéré qu'il existe une fenêtre d'au moins 4 heures durant laquelle la présence de neige est imprévisible. Seuls les capteurs de neige au sol sont alors efficaces pour détecter (nécessairement *a posteriori*) les chutes de neige.

Selon une seconde approche, notamment mise en œuvre en Suisse, la température au  
25 sol, mise à jour toutes les 10 minutes en un point donné, et la prévision immédiate par extrapolation des images radar, mise à jour toutes les 5 minutes, sont couplées. Une probabilité de précipitation (chute d'hydrométéores) par zone géographique est tirée de l'extrapolation des images radar. Simultanément, un modèle autorégressif utilisant un gradient de température verticale standard de  $0,65^{\circ}\text{C}/\text{hm}$  et une estimation de l'humidité  
30 relative basée sur des mesures antérieures permet de calculer une probabilité de forme solide de l'eau au point de mesure à partir de la température au sol. Le produit de la probabilité de précipitation et de la probabilité de forme solide des hydrométéores

donne une probabilité de chute de neige. Les résultats sont interpolés en tout point géographique souhaité à partir des points géographiques pour lesquels des mesures sont disponibles. Cette seconde approche présente une fiabilité insatisfaisante.

- 5 Aucun dispositif ni procédé ne permet donc une prévision fiable de neige à court terme et à basse altitude. Cela limite l'efficacité des mesures préventives et curatives, notamment dans le domaine de la sécurité routière et aéroportuaire.

L'invention vient améliorer la situation.

10

La Demanderesse propose un dispositif de prévision d'altitude de la limite pluie-neige comprenant une mémoire pour recevoir des ensembles de données météorologiques, chaque ensemble de données météorologiques associant une portion géographique (i), un instant, une température, une indication de précipitation, au moins une altitude, et un

15 type de masse d'air indiquant si une masse d'air associée à la portion géographique pour un instant est considérée comme entrante ou sortante d'une zone géographique correspondant à l'union des portions géographiques, chaque ensemble de données météorologiques étant initialisé avec un type de masse d'air indiquant une masse d'air sortante, et les instants étant choisis de sorte que les ensembles de données

20 météorologiques peuvent être regroupés par instant pour une portion géographique donnée, un trieur agencé pour parcourir un groupe d'ensembles de données météorologiques comprenant un instant courant, et, pour un ensemble donné de ce groupe, modifier le type de masse d'air pour indiquer une masse d'air entrante lorsque la différence entre d'une part la température de l'ensemble donné et d'autre part la

25 température d'un ensemble associant la portion géographique de l'ensemble donné et un instant antérieur à l'instant courant est supérieure à une valeur seuil, et un calculateur agencé pour calculer, à un instant donné, une altitude prévue de la limite pluie-neige pour chaque type de masse d'air, chacune à partir d'une altitude d'isotherme moyenne estimée pour le type de masse d'air respectif pour les deux instants immédiatement

30 antérieurs à l'instant donné pour des portions géographiques dans lesquelles des précipitations sont détectées à l'instant donné, laquelle altitude d'isotherme estimée pour l'instant donné et un type de masse d'air donné est calculée à partir de la moyenne,

pour les ensembles de données météorologiques comprenant l'instant et le type de masse d'air donnés, de la somme de l'altitude de l'ensemble respectif et d'une altitude calculée à partir de la température de l'ensemble respectif et d'un gradient vertical de température.

5

Un tel dispositif permet d'établir une prévision des phénomènes neigeux en plaine, à basse altitude et à court terme avec une fiabilité satisfaisante. De telles prévisions permettent aux services d'interventions routiers de cibler avec précision les zones géographiques soumises à une chute de neige dans les prochaines 4 heures. Ceci permet  
10 des interventions en amont des premiers flocons, ou du moins très rapidement après leur chute.

Ces prévisions permettent plus généralement une meilleure organisation des interventions en fonction des événements prévus. Un tel dispositif de prévision peut  
15 alimenter un système centralisé de pilotage des équipes d'interventions, avantageusement assisté par un système de géolocalisation. Un tel dispositif permet de combler l'absence d'informations intermédiaires entre les prévisions à long terme et à faible précision, et les détecteurs de neige, par définition fiables mais de nature intrinsèquement tardive. La prévision à court terme peut être utilisée de manière  
20 conjointe avec la prévision à long terme afin d'adapter le degré de vigilance des services d'intervention.

Le dispositif proposé peut présenter l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seule ou en combinaison :

- 25 - l'altitude calculée à partir de la température de l'ensemble respectif et d'un gradient vertical de température correspond au produit du gradient vertical de température par la différence entre la température de l'ensemble respectif et la température d'isotherme dont l'altitude correspond à celle de la limite pluie-neige,  
-le trieur est agencé pour déterminer si le type de masse d'air doit être modifié en  
30 comparant la température de l'ensemble donné et d'autre part la température d'un ensemble associant la portion géographique de l'ensemble donné et l'instant immédiatement antérieur à l'instant courant,

- le trieur est agencé pour déterminer si le type de masse d'air doit être modifié en comparant la température de l'ensemble donné et d'autre part la température d'un ensemble associant la portion géographique de l'ensemble donné et le deuxième instant immédiatement antérieur à l'instant courant,
- 5 - le trieur est en outre agencé pour modifier le type de masse d'air pour indiquer une masse d'air sortante des ensembles de données météorologiques comprenant un instant donné, lorsque tous les ensembles de données comprenant l'instant immédiatement précédent ledit instant donné présentent un type de masse d'air indiquant une masse d'air entrante,
- 10 - l'altitude d'isotherme estimée pour chaque type de masse d'air résulte d'une linéarisation de l'évolution des valeurs d'altitude d'isotherme moyenne aux instants antérieurs,
  - le calculateur est en outre agencé pour réitérer les calculs, pour des instants postérieurs à l'instant courant, après les calculs pour l'instant courant,
- 15 - le calculateur est en outre agencé pour corriger l'altitude d'isotherme estimée pour un instant donné pour le type de masse d'air entrante, lorsqu'une température inférieure à la température d'isotherme dont l'altitude est recherchée est détectée à l'instant donné,
  - le dispositif comprend en outre un comparateur agencé pour comparer l'altitude d'isotherme estimée pour un instant et une portion géographique à une altitude du sol
- 20 d'un emplacement de ladite portion géographique, et en déduire une prévision de chute de neige audit emplacement à l'instant lorsque ladite altitude est plus élevée.

L'invention concerne en outre un procédé de prévision d'altitude de la limite pluie-neige comprenant :

- 25 a. recevoir des ensembles de données météorologiques, chaque ensemble de données météorologiques associant une portion géographique, un instant, une température, une indication de présence de précipitation, au moins une altitude, et un type de masse d'air indiquant si une masse d'air associée à la portion géographique pour un instant est considérée comme entrante ou sortante d'une zone géographique
- 30 correspondant à l'union des portions géographiques, les instants étant choisis successifs, de sorte que les ensembles de données météorologiques peuvent être regroupés par instant pour une portion géographique donnée,

- b. initialiser chaque ensemble de données météorologiques avec un type de masse d'air indiquant une masse d'air sortante,
- c. parcourir un groupe d'ensembles de données météorologiques comprenant un instant courant, et, pour un ensemble donné de ce groupe, modifier le type de masse d'air pour indiquer une masse d'air entrante lorsque la différence entre d'une part la température de l'ensemble donné et d'autre part la température d'un ensemble associant la portion géographique de l'ensemble donné et un instant antérieur à l'instant courant est supérieure à une valeur seuil,
- 5 d. calculer une altitude d'isotherme estimée pour un instant et un type de masse d'air donnés à partir de la moyenne, pour les ensembles de données météorologiques comprenant l'instant et le type de masse d'air donnés, de la somme de l'altitude de l'ensemble respectif et d'une altitude calculée à partir de la température de l'ensemble respectif et d'un gradient vertical de température,
- 10 d. calculer, pour l'instant donné, une altitude de la limite pluie-neige pour chaque type de masse d'air, chacune à partir de l'altitude d'isotherme moyenne estimée pour le type de masse d'air respectif pour les deux instants immédiatement antérieurs à l'instant donné pour des portions géographiques dans lesquelles des précipitations sont détectées à l'instant donné.
- 15
- 20 D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :
- la figure 1 montre les interactions des composants d'un dispositif selon l'invention,
  - la figure 2 représente un exemple de réalisation d'une première fonction mise en œuvre par le dispositif de la figure 1,
  - 25 - la figure 3 représente un exemple de réalisation d'une deuxième fonction mise en œuvre par le dispositif de la figure 1, et
  - la figure 4 représente un exemple de réalisation d'une troisième fonction mise en œuvre par le dispositif de la figure 1.
- 30 Les dessins et la description ci-après contiennent, pour l'essentiel, des éléments de caractère certain. Ils pourront donc non seulement servir à mieux faire comprendre la présente invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

La présente description est de nature à faire intervenir des éléments susceptibles de protection par le droit d'auteur et/ou le copyright. Le titulaire des droits n'a pas d'objection à la reproduction à l'identique par quiconque du présent document de brevet ou de sa description, telle qu'elle apparaît dans les dossiers officiels. Pour le reste, il

5 réserve intégralement ses droits.

Il est fait référence à la figure 1. Un dispositif de prévision d'isotherme est référencé 1 dans son ensemble. Le dispositif 1 comprend une mémoire 3, à laquelle accèdent un trieur 5, un calculateur 7 et un comparateur 9.

10

Dans le cadre de l'invention, la mémoire 3 peut être tout type de stockage de données propre à recevoir des données numériques : disque dur, disque dur à mémoire flash (SSD en anglais), mémoire flash sous toute forme, mémoire vive, disque magnétique, stockage distribué localement ou dans le cloud, etc. Les données calculées par le

15 dispositif peuvent être stockées sur tout type de mémoire similaire à la mémoire 3, ou sur celle-ci. Ces données peuvent être effacées après que le dispositif ait effectué ses tâches ou conservées.

Dans le cadre de l'invention, le trieur 5, le calculateur 7 et le comparateur 9 sont des

20 éléments accédant directement ou indirectement à la mémoire 3. Ils peuvent être réalisés sous la forme d'un code informatique approprié exécuté sur un ou plusieurs processeurs. Par processeurs, il doit être compris tout processeur adapté au calcul. Un tel processeur peut être réalisé de toute manière connue, sous la forme d'un microprocesseur pour ordinateur personnel, d'une puce dédiée de type FPGA ou SoC (« system on chip » en

25 anglais), d'une ressource de calcul sur une grille, d'un microcontrôleur, ou de toute autre forme propre à fournir la puissance de calcul nécessaire à la réalisation décrite plus bas. Un ou plusieurs de ces éléments peuvent également être réalisés sous la forme de circuits électroniques spécialisés tel un ASIC. Une combinaison de processeur et de circuits électroniques peut également être envisagée.

30

Dans l'exemple décrit ici, la mémoire 3 stocke des données météorologiques sous forme d'ensembles associant :



- une portion géographique  $i$ ,
  - une altitude  $z$  de la mesure de la température au sol,
  - un instant  $h$ ,
  - une température au sol  $T$ ,
- 5
- une altitude de la limite pluie-neige :  $K$  ou  $H$ ,
  - une altitude de la limite pluie-neige entre  $h$  et  $h+1$   $IK$  ou  $IH$ ,
  - un type de masse d'air  $M$ , et
  - une indication de précipitation  $P$ , détectée par la donnée radar ou/et par l'observation au sol.
- 10
- La mémoire 3 stocke aussi un ou plusieurs coefficients DTH, sous forme de gradients de température verticale indicés. En effet, on considère ici qu'en chaque portion géographique  $i$ , la température varie dans la direction verticale en respectant un coefficient sensiblement constant. Dans l'exemple décrit ici, cinq coefficients DTH
- 15 valant respectivement  $0,40^\circ$  ;  $0,65^\circ$  ;  $0,80^\circ$  ;  $0,95^\circ$  et  $1,00^\circ$  pour 100 mètres de dénivelé du haut vers le bas. Ces valeurs assurent de couvrir la majorité des gradients de température en basse altitude. Dans l'exemple décrit ici, c'est le coefficient DTH égal à  $1,00^\circ$  pour 100 mètres de dénivelé du haut vers le bas qui est utilisé.
- 20
- L'indice  $i$  permet d'identifier chacune des portions géographiques. Il prend la valeur d'un entier compris entre 1 et  $I$ , où  $I$  représente le nombre total de portions géographiques gérées par le dispositif. La zone géographique de travail est ainsi divisée en  $I$  portions géographiques. Les données représentatives des portions géographiques  $i$  prennent, ici, la forme de coordonnées de type GPS délimitant chaque portion
- 25 géographique  $i$ . Par exemple, la zone géographique de travail peut être délimitée par un carré d'environ 150 kilomètres de côté tandis qu'un maillage de la zone géographique définit des portions géographiques  $i$  carrées d'un kilomètre de côté. Dans cet exemple, la zone géographique de travail est constituée de 22500 portions géographiques de même forme, de même taille et adjacentes les unes aux autres. L'indice  $i$  prend donc les
- 30 valeurs d'entiers entre 1 et  $I$ , où  $I$  est égal à 22500. Cet exemple de nombre de portions géographiques  $i$  et de taille de la zone géographique est adapté pour couvrir par exemple une des régions de plaine autour des Alpes françaises.

La zone géographique est inscrite dans la couverture d'un radar(en général 200km x 200km) apte à détecter les précipitations de manière connue dans l'état de l'art. En variante, les formes et dimensions peuvent varier, notamment en fonction du territoire à traiter. Par exemple, la zone géographique peut être délimitée de manière à être couverte  
5 par plusieurs radars existants et/ou un ou plusieurs capteurs au sol. Les dimensions et formes des portions géographiques  $i$  peuvent être hétérogènes au sein d'une zone géographique, par exemple pour améliorer la finesse de prévision sur des portions géographiques présentant un comportement météorologique spécifique.

10 Afin de ne pas estimer l'évolution de la limite pluie-neige entre deux instants  $h$  avec des données provenant de portions géographiques différentes, les données ne sont utilisées pour estimer l'altitude de la limite pluie-neige dans la partie précipitante de chaque masse d'air qu'aux instants  $h$  où toutes les données des portions géographiques sont mises à jour. Lorsque les données d'une des portions géographiques sont mises à jour  
15 avec une plus grande fréquence, ces données ne seront utilisées à chaque mise à jour que pour déterminer la présence de la masse d'air sur cette aire géographique aux instants correspondants. Comme cela apparaîtra avec la figure 4, cela permet d'augmenter la précision de prévision de neige. Ainsi, dans le cadre de la figure 2, toutes les données sont prises en compte, et dans le cadre de la figure 3, seules les  
20 données correspondant à des instants  $h$  pour lesquels les données sont disponibles pour toutes les portions géographiques sont prises en compte.

L'écart entre l'instant  $h$  et l'horizon de prévision  $h+1$  est choisi de durée constante, et correspond à l'échéance de prévision fiable à très court terme, c'est-à-dire avec une  
25 heure à quatre (jamais au-delà) d'avance sur un phénomène.

La température  $T$  d'un ensemble de données représente la température dans la portion géographique  $i$  associée pour une altitude connue. Cette température  $T$  peut être issue d'une mesure par un thermomètre local, généralement au sol, être tirée d'autres types de  
30 mesures par exemple satellitaires, ou encore être déduite par l'application de modèles météorologiques connus en tant que tels.

L'altitude de l'isotherme IK ou IH représente l'altitude à partir de laquelle une température de référence correspondant à la limite pluie-neige est trouvée dans la portion géographique  $i$  associée. Dit autrement, au-dessus de cette altitude, une température plus basse est attendue, tandis que sous cette altitude, une température plus élevée est attendue.

Cette altitude est exprimée, ici, en mètres et par référence au niveau de la mer. Dans l'exemple décrit ici, l'isotherme  $1,5^{\circ}\text{C}$  est choisie comme température de référence car elle est considérée comme représentative de la limite basse de la couche de fusion, c'est-à-dire la couche de l'atmosphère qui, lorsqu'elle est traversée par des hydrométéores solides, permet à au moins 70% de ses derniers de fondre (voir l'article « *Sensitivity of Precipitation Phase over the Swiss Alps to Different Meteorological Variables* », S. Froidurot et al., Journal of Hydrometeorology, April 2014, Vol. 15, No.2 : pp. 685-696).

Par conséquent, des précipitations qui traversent cette limite basse avant d'atteindre le sol ont une forme liquide : il pleut. Au contraire, lorsque cette limite basse est proche du sol ou sous le niveau du sol, alors les précipitations ne fondent pas avant de toucher le sol : il neige. Bien entendu, d'autres paramètres peuvent en pratique influencer ces phénomènes météorologiques. La fusion peut être partielle (neige fondue) ou instable (pluie verglaçante). En fonction des phénomènes que l'on souhaite prévoir et de situations particulières, la valeur choisie de l'isotherme étudiée peut être différente de  $1,5^{\circ}\text{C}$ .

Les références K et H distinguent une altitude dans une portion géographique  $i$  en fonction de son association à un type de masse d'air M comme décrit ci-après.

Un des défauts qui handicapent les dispositifs de l'art antérieur est qu'ils traitent toutes les portions géographiques précipitantes de manière isolée. La Demanderesse a découvert que rassembler les portions géographiques précipitantes selon le type de masse d'air qui les occupe à un instant donné permet d'estimer de manière plus fiable

l'évolution de l'altitude de la limite pluie-neige dans cette masse d'air et donc de fournir une prévision de cette altitude.

Le type de masse d'air  $M$  située sur une portion géographique  $i$  à un instant  $h$  est une variable booléenne. Dans l'exemple décrit ici, chaque portion géographique  $i$  se voit attribuer soit une masse d'air entrante dans la zone géographique de travail, soit une masse d'air sortante de la zone géographique de travail. Lorsque la portion géographique  $i$  est associée à une masse sortante, l'indice  $M$  prend la valeur 0. Lorsqu'elle est associée à une masse entrante, l'indice  $M$  prend la valeur 1. Ainsi, à chaque instant  $h$ , la zone géographique peut être décomposée en deux sous zones, chaque sous-zone étant formée par la réunion des portions géographiques associées à une masse entrante, respectivement sortante. Météorologiquement parlant, la masse entrante désigne la masse d'air derrière un front d'air dans le sens d'avancée dudit front tandis que la masse sortante désigne la masse située devant ledit front.

15

Du fait des dimensions retenues pour la zone géographique de l'exemple décrit ici, un seul front d'air sera présent. Si une zone géographique plus importante était choisie, il pourrait être pertinent de définir plusieurs types de masses d'air, chacun associé à un front présent dans cette zone.

20

La prévision de neige  $SN$  en un point  $Q$  dans une portion géographique  $i$  et à un instant  $t$  est aussi une variable booléenne. Elle est attachée à la présence de précipitation prévue par extrapolation des déplacements des échos météorologiques radar. Lorsque la précipitation prévue est nulle, l'indice  $SN$  prend la valeur 0. Dans le cas contraire, la prévision de neige va dépendre non seulement de la masse d'air dans laquelle se trouvera le point  $Q$ , mais également de l'altitude du point  $Q$  : si celle-ci est au dessus de la limite pluie-neige prévue, l'indice  $SN$  prend la valeur 1. La prévision par extrapolation des déplacements des échos météorologiques radar est un moyen connu utilisant la comparaison des échos entre images fournies par les radars à simple ou double polarisation avec une fréquence en général de 5 minutes. La fiabilité au seuil de 70% varie en fonction de l'échéance de prévision : elle dépasse rarement 1h et est toujours nulle au-delà de 4h. La prévision de précipitation en un point  $Q$  est donc mise à

30

jour toutes les 5 minutes alors que la prévision de neige associée est mise à jour à chaque instant  $h$  d'évaluation de la limite pluie-neige et jusqu'à  $h+1$ . En variante, la prévision  $P$  pourrait être exprimée sous la forme d'un pourcentage indiquant le risque de précipitation.

5

Il est maintenant fait référence à la figure 2 qui représente un exemple de mise en œuvre d'une fonction par le trieur 5. Le trieur 5 a pour fonction l'attribution d'un type de masse d'air à chaque portion géographique pour chaque instant  $h$ .

10 Dans une opération 500, le trieur 5 exécute une fonction d'initialisation  $\text{Init}()$ . La fonction  $\text{Init}()$  a pour rôle d'associer toutes les portions géographiques à une masse d'air entrant. En effet, lorsque la prévision débute, il n'est pas possible de connaître a priori la répartition entre masse entrante et masse sortante, et il est logique de considérer que toutes les portions géographiques sont associées à une masse sortante. Ainsi, la fonction

15  $\text{Init}()$  associe à chaque portion géographique  $i$  un type de masse d'air  $M$  égal à 0 pour l'instant  $h$  initial. La fonction  $\text{Init}()$  initialise également deux indices  $i$  et  $h$  avec la valeur 1. Ces indices vont être parcourus séquentiellement, d'abord en  $i$ , puis en  $h$ , afin d'affecter par la suite à chaque portion géographique  $i$  un type de masse d'air pour l'instant  $h$ .

20

Ensuite, dans une opération 510, le trieur 5 interroge la mémoire 3 avec le couple de la portion géographique  $i$  courante et de l'instant  $h$  courant, afin de déterminer l'absence de précipitation à l'instant  $h$ .

25 On notera que les portions géographiques sur lesquelles il ne pleut pas et qui sont sortantes restent sortantes (jusqu'à la réinitialisation de l'opération 570). Cela est voulu car, en l'absence de précipitation, le phénomène d'absorption de la chaleur latente de l'atmosphère à basse altitude pour permettre la fusion de la neige n'est pas responsable de la variation d'altitude des isothermes. Comme c'est ce phénomène auquel l'invention

30 s'attache, il n'est pas utile de détecter une présence de masse d'air différente qui ne serait pas liée à une précipitation. Par conséquent, s'il existe une masse d'air entrante sans précipitation, elle ne présente pas d'intérêt et reste marquée sortante.

Si l'indication de précipitation P pour l'instant h est non nulle, le trieur 5 exécute une opération 520 dans laquelle il interroge la mémoire 3 avec le couple formé par la portion géographique i courante et l'instant h courant pour déterminer si le type de masse d'air M associée à la portion géographique i est entrant, c'est-à-dire si M a la valeur 1.

En effet, du fait des dimensions et des phénomènes choisis dans l'exemple décrit ici, une fois qu'une portion géographique donnée est associée à une masse d'air entrante, il n'est pas nécessaire de changer cette association jusqu'à ce que toutes les autres portions géographiques soient également associées à une masse d'air entrante. Dit autrement, une portion géographique ne peut changer de masse d'air entrante vers masse d'air sortante que lorsque le front a balayé toute la zone géographique.

Si le type de masse d'air M est sortant (M a la valeur 0), alors le trieur 5 va exécuter deux tests pour déterminer si le type de masse d'air associé doit être changé. Ainsi, dans une opération 530, le trieur 5 détermine si la température T de la portion géographique i entre les instants h-1 et h (séparés d'une heure dans l'exemple décrit ici) a varié de manière absolue d'une température supérieure à une valeur seuil T1. Si ce n'est pas le cas, alors dans une opération 535, le trieur 5 détermine si la température T de la portion géographique i entre les instants h-2 et h (séparés de deux heures dans l'exemple décrit ici) a varié de manière absolue d'une température supérieure à une valeur seuil T2. Dans l'exemple décrit ici, la valeur seuil T1 est choisie égale à 1,5°C, et la valeur seuil T2 est choisie égale à 2°C. Dans les deux cas, cela représente un changement de température important sur une durée inférieure à deux heures.

Si l'une des opérations 530 ou 535 détecte un dépassement de seuil, alors le changement de température identifié est considéré comme indiquant que le front est passé sur la portion géographique en question, et que le type de masse d'air qui lui est associé doit être modifié. Cela est réalisé dans une opération 540.

Si l'une des opérations 510 et 520 est négative, ou si les deux opérations 530 et 535 sont négatives, alors le type de masse d'air ne doit pas être changé. Dans ce cas, ou après

l'opération 540, un test est réalisé dans une opération 550 pour déterminer si toutes les portions géographiques ont été parcourus pour l'instant h. Si ce n'est pas le cas, alors l'indice i est incrémenté dans une opération 555 pour passer à la portion géographique suivante, et la boucle reprend avec l'opération 510.

5

Si toutes les portions géographiques ont été parcourues pour l'instant h, alors, dans une opération 560, le trieur 5 détermine si toutes les portions géographiques sont associées à une masse d'air entrante ou s'il ne pleut plus sur aucune portion géographique en exécutant une fonction Rst(). Si c'est le cas, alors dans une opération 565, une fonction  
10 Reinit() opère de la même manière que la fonction Init(), mais sans réinitialiser les indices i et h.

Ensuite, ou lorsque le test de l'opération 560 est négatif, l'indice h est incrémenté dans une opération 570, puis un test dans une opération 580 détermine si tous les instants h  
15 ont été parcourus. Si ce n'est pas le cas, l'indice i est réinitialisé pour désigner la première portion géographique dans une opération 585, et la boucle reprend avec l'opération 510. Sinon, la fonction se termine dans une opération 590.

Dans l'exemple décrit ici, toutes les données de température sont obtenues à des instants  
20 identiques pour toutes les portions géographiques. Ainsi, toutes les portions géographiques sont parcourues par la boucle des opérations 510 à 560, puis l'indice h est incrémenté. Comme décrit précédemment, lorsque certaines portions géographiques présentent des données mises jour de manière plus fréquente que toutes les heures, les opérations 510 à 560 peuvent être réalisées pour les instants correspondants, afin de  
25 connaître avec plus de précision l'appartenance de ces portions géographiques à une masse entrante ou sortante.

Cela permet d'être plus précis au moment de la prévision de neige comme décrit avec la figure 4. Dans ce cas, la fonction de la figure 2 peut être modifiée pour inverser le  
30 parcours des indices i et h : tous les indices h sont parcourus pour une portion géographique i donnée, puis l'indice i est incrémenté.

À l'issue de la figure 2, seuls sont retenus les instants  $h$  pour lesquels des données sont disponibles pour toutes les portions géographiques en vue de l'exécution de la fonction décrite avec la figure 3.

- 5 Il est maintenant fait référence à la figure 3 qui représente un exemple de mise en œuvre d'une fonction par le calculateur 7. Le calculateur 7 a pour fonction la détermination de l'altitude d'isotherme pour les masses d'air entrante et sortante à partir des données calculées par le trieur 5.
- 10 Le calculateur part, dans une opération 700, d'indices  $i$  et  $h$  initialisés avec la valeur 1. La fonction de la figure 7 comprend deux parties. Dans une première partie, des altitudes d'isotherme à la température de référence sont calculées pour chaque portion géographique associée une précipitation, en fonction d'un coefficient DTH . Une fois que toutes les altitudes d'isotherme à la température de référence ont été calculées avec  
15 le coefficient DTH le plus pertinent. Ensuite, dans une seconde partie, les altitudes d'isotherme de la température de référence pour les premier et deuxième types de masse d'air sont calculées.

Ainsi, dans une opération 705, le calculateur 7 interroge la mémoire 3 avec le couple  
20 formé par la portion géographique  $i$  et l'instant  $h$  courants, et détermine si l'indication de précipitation  $P$  qui y est associée indique l'absence de précipitation.

Si, au contraire, la prévision de précipitation  $P$  indique une précipitation, c'est-à-dire si  $P$  a la valeur 1, alors, dans une opération 710, le calculateur 7 interroge la mémoire  
25 afin de déterminer quelle altitude d'isotherme élémentaire va être calculée. Pour cela, le type de masse d'air  $M$  associé au couple formé par la portion géographique  $i$  courante et l'instant  $h$  courants est testé, par exemple en testant si  $M$  a la valeur 1, ce qui correspond à une masse d'air entrante.

30 Si c'est le cas, alors dans une opération 715, le calculateur 7 appelle la mémoire 3 avec le couple de données associant la portion géographique  $i$  et l'instant  $h$  courants. Il en extrait une température  $T$  dans la portion géographique  $i$ , à l'instant  $h$  courant, ainsi



qu'une altitude  $z$  à laquelle cette température a été déterminée. La température  $T$  résulte, par exemple, d'une mesure au sol effectuée à une altitude connue.

Le calculateur 7 obtient également le coefficient DTH, et calcule en conséquence  
5 l'altitude d'isotherme élémentaire de masse d'air entrante  $K(i,h)$  pour la portion géographique  $i$  à l'instant  $h$  et le coefficient DTH en appliquant la formule de l'opération 715, dans laquelle Tiso est la température pour l'isotherme correspondant à la température de référence.

10 Cette formule calcule l'altitude de l'isotherme Tiso en ajoutant à l'altitude à laquelle la température  $T$  a été mesurée une hauteur correspondant à la différence entre la température  $T$  et la température d'isotherme Tiso, multipliée par le gradient de température DTH.

15 Dans l'exemple décrit ici, on souhaite localiser la température de fusion des hydrométéores. Pour cela, la température de l'isotherme Tiso, dite température de référence, est choisie égale à  $1,5^{\circ}\text{C}$ .

Si le type de masse d'air  $M$  est sortant, alors une opération 720 est exécutée. Dans cette  
20 opération, la formule est identique à celle de l'opération 715, mais c'est une altitude d'isotherme de référence de masse d'air sortante  $H(i,h)$  qui est calculée. Cela est important car les isothermes de masse d'air entrante et de masse d'air sortante sont traitées séparément selon le type de masse d'air.

25 Néanmoins, en variante, les opérations 710 à 720 pourraient être réalisées de manière différente, en effectuant le calcul de la formule des opérations 715 et 720 et en affectant un label à l'altitude d'isotherme élémentaire résultante en fonction du type de masse d'air, les calculs ultérieurs pouvant se baser sur ce label.

30 Ensuite, ou lorsque l'opération 705 indique qu'aucune précipitation n'est attendue pour la portion géographique  $i$  à l'instant  $h$ , un test est réalisé dans une opération 725 pour déterminer si les altitudes d'isotherme de référence de toutes les portions géographiques

ont été déterminées pour l'instant  $h$ . Si ce n'est pas le cas, alors l'indice  $i$  est incrémenté dans une opération 730 pour déterminer les altitudes d'isotherme de références de la portion géographique suivante à l'instant  $h$ , puis la première partie reprend avec l'opération 705.

5

Une fois que les altitudes d'isotherme de référence ont été calculées pour toutes les portions géographiques à l'instant  $h$ , la deuxième partie peut être exécutée.

Pour cela, deux altitudes d'isothermes  $K(h)$  et  $H(h)$  sont calculées dans une  
10 opération 735 au moyen d'une fonction  $Avg()$ . La fonction  $Avg()$  utilise les valeurs d'altitudes d'isotherme élémentaires  $K$  et  $H$  calculées avec la première boucle et calcule leur moyenne respective. Ainsi,  $K(h)$  est la moyenne sur  $i$  des  $K(i,h)$  et  $H(h)$  est la moyenne sur  $i$  des  $H(i,h)$ .

15 Le calculateur 7 met alors en œuvre une opération 740, dans laquelle la valeur de l'altitude d'isotherme  $IK(h+1)$ , pour toutes les portions géographiques  $i$ , entre l'instant  $h$  et l'instant  $h+1$  lui succédant. Il est considéré que l'altitude de l'isotherme  $IK(h+1)$  va évoluer de manière linéaire par rapport à l'instant précédent. Ainsi, l'isotherme  $IK(h)$  est calculée comme la somme de  $K(h)$  et de la linéarisation de l'évolution de  $K(h)$  dans  
20 le temps, c'est-à-dire la moitié de la différence entre  $K(h)$  et  $K(h-1)$ .

De la même manière, le calculateur 7 détermine dans une opération 745 la valeur de l'isotherme  $IH(h+1)$  comme la somme de  $H(h)$  et de la linéarisation de l'évolution de  $H(h)$  dans le temps, c'est-à-dire différence entre  $H(h)$  et  $H(h-1)$  divisée par deux (car  
25 la différence est prise sur deux unités de temps).

En variante, les opérations 740 et 755 peuvent être réalisées en ordre inverse ou en parallèle.

30 Ensuite, le calculateur 7 exécute une opération 750 optionnelle. Dans cette opération, le calculateur 7 exécute une fonction  $Exc()$ . La fonction  $Exc()$  vient corriger certains cas exceptionnels.

Par exemple, il peut arriver que l'isotherme évolue plus rapidement pour la masse d'air entrante que la prévision est capable de le calculer. Ainsi, pour la masse d'air entrante, la température de chacune des portions géographiques associée est déterminée, et si une ou plusieurs de ces portions présente une température inférieure à Tiso (1,5°C dans l'exemple décrit), c'est l'altitude la plus faible associée à chacune de ces mesures qui est retenue comme  $IK(h+1)$ . En effet, puisque la température Tiso (ou une température qui lui est inférieure) a déjà été constatée, il n'y a pas de sens à définir une altitude d'isotherme  $IK(h+1)$  qui soit plus importante.

10 Le calculateur 7 teste alors l'indice h pour voir si toutes les prédictions ont été réalisées dans une opération 755. Si ce n'est pas le cas, alors l'indice h est incrémenté dans une opération 760, et l'indices i est réinitialisé à 1 dans une opération 765.

Si toutes les prévisions d'isotherme ont été réalisées pour tous les instants h, alors la fonction se termine dans une opération 790.

Après ces opérations, la mémoire 3 stocke des ensembles de données météorologiques dans lesquels, pour chaque couple de portion géographique i et d'instant h, une altitude d'isotherme IK ou IH est associée. Cette altitude d'isotherme IK ou IH peut être utilisée à diverses fins d'ordre météorologique. Dans la suite, l'altitude de l'isotherme de référence, ici l'isotherme 1,5°C, est utilisée pour prévoir une chute de neige.

Il est maintenant fait référence à la figure 4 représente un exemple de mise en œuvre d'une fonction par le comparateur 9. Dans cette fonction, le comparateur 9 détermine une prévision de neige pour un emplacement Q à un instant t donné.

Dans une opération 900, le comparateur 9 exécute une fonction Init(). La fonction Init() détermine les coordonnées du point Q, ainsi que l'indice h qui correspond à l'instant de prévision souhaité.

30

Ensuite, dans une opération 910, le comparateur 9 exécute une fonction PG() qui détermine la portion géographique à laquelle est associée le point Q.

Le comparateur 9 exécute une opération 920, dans laquelle une fonction  $Prev()$  reçoit comme argument un couple formé avec la portion géographique  $i$  et l'instant  $t$  courant, et détermine si la prévision de précipitation indique l'absence de précipitation.

- 5 Dans l'exemple décrit ici, la mémoire 3 reçoit toutes les prévisions de précipitation pour chaque portion géographique à l'intérieur de chaque tranche horaire. En variante, ces prévisions pourraient faire l'objet d'une requête spécifique auprès d'un serveur.

10 Si une précipitation est prévue, c'est-à-dire si  $P$  a la valeur 1, alors l'instant  $h$  le plus proche précédant l'instant  $t$  pour lequel une altitude de limite pluie-neige a été calculée est déterminé. Ensuite, dans une opération 930, le comparateur 9 exécute une fonction  $SN()$  qui reçoit l'altitude  $z$  du point  $Q$  et les valeurs  $i$  et  $h$  comme arguments. Si aucune précipitation n'est prévue, alors la fonction se termine.

- 15 La fonction  $SN()$  a pour fonction de déterminer une prévision de neige en fonction des variables  $i$  et  $t$ . Pour cela, le comparateur 9 détermine si la portion géographique  $i$  est associée à une masse d'air entrante ou à sortante.

20 Si la portion géographique  $i$  est associée à une masse d'air entrante, alors l'altitude  $z$  du point  $Q$  et l'altitude d'isotherme  $IK(h)$  sont comparées. Si  $z$  est inférieure à  $IK(h)$  alors  $SN()$  indique une absence de prévision de neige. Si  $z$  est supérieure à  $IK(h)$  alors  $SN()$  indique une prévision de neige.

25 Si la portion géographique  $i$  est associée à une masse d'air sortante, alors l'altitude  $z$  du point  $Q$  et l'altitude d'isotherme  $IH(h)$  sont comparées. Si  $z$  est inférieure à  $IH(h)$  alors  $SN()$  indique une absence de prévision de neige. Si  $z$  est supérieure à  $IH(h)$  alors  $SN()$  indique une prévision de neige.

30 Ensuite, la fonction se termine dans une opération 940 avec le retour de la prévision de neige (ou son absence).

La fonction représentée avec la figure 4 est assez simple, et retourne une prévision pour un emplacement donné. Il est néanmoins aisé de l'adapter à des situations plus complexes et/ou riches. Par exemple, comme les prévisions de précipitations peuvent avoir une fréquence plus importante (par exemple une prévision par tranche de cinq minutes) que celle des instants  $h$  (qui sont en général séparés par une heure), il est possible de mettre à jour les prévisions de neige pour un emplacement donné toutes les cinq minutes. De même, lorsqu'un trajet est envisagé, il est possible de proposer des prévisions de neige tout au long de ce trajet en établissant les prévisions de neige le long du parcours aux moments auquel un conducteur est supposé passer chaque point concerné. De plus, ces prévisions peuvent être communiquées de diverses manières et en particulier sur une forme conforme au brevet FR 2 864 850, ou tout autre dispositif permettant d'afficher de manière ergonomique de telles prévisions.

Dans ce qui précède, les prévisions ont été présentées sous la forme de données booléennes. En variantes, les calculs pourraient être réalisés différemment afin de retourner une valeur représentative d'une probabilité au lieu d'une valeur booléenne.

L'invention ne se limite pas aux exemples de dispositif de prévision d'isotherme décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

## Revendications

1. Dispositif (1) de prévision d'altitude de la limite pluie-neige comprenant
- une mémoire (3) pour recevoir des ensembles de données météorologiques, chaque ensemble de données météorologiques associant une portion géographique (i), un instant (h), une température (T), une indication de précipitation (P), au moins une altitude (K, H, IK, IH), et un type de masse d'air (M) indiquant si une masse d'air associée à la portion géographique (i) pour un instant (h) est considérée comme entrante ou sortante d'une zone géographique correspondant à l'union des portions géographiques (i), chaque ensemble de données météorologiques étant initialisé avec un type de masse d'air (M) indiquant une masse d'air sortante, et les instants (h) étant choisis de sorte que les ensembles de données météorologiques peuvent être regroupés par instant (h) pour une portion géographique (i) donnée,
  - un trieur (5) agencé pour parcourir un groupe d'ensembles de données météorologiques comprenant un instant (h) courant, et, pour un ensemble donné de ce groupe, modifier le type de masse d'air (M) pour indiquer une masse d'air entrante lorsque la différence entre d'une part la température (T) de l'ensemble donné et d'autre part la température (T) d'un ensemble associant la portion géographique (i) de l'ensemble donné et un instant (h-2 ; h-1) antérieur à l'instant (h) courant est supérieure à une valeur seuil (T1 ; T2),
  - un calculateur (7) agencé pour calculer, à un instant (h) donné, une altitude prévue de la limite pluie-neige (IK, IH) pour chaque type de masse d'air (M), chacune à partir d'une altitude d'isotherme moyenne (K, H) estimée pour le type de masse d'air (M) respectif pour les deux instants immédiatement antérieurs à l'instant donné (h) pour des portions géographiques dans lesquelles des précipitations sont détectées à l'instant donné (h), laquelle altitude d'isotherme (K, H) estimée pour l'instant donné (h) et un type de masse d'air (M) donné est calculée à partir de la moyenne, pour les ensembles de données météorologiques comprenant l'instant (h) et le type de masse d'air (M) donnés, de la somme de l'altitude (z) de l'ensemble respectif et d'une altitude calculée à partir de la température (T) de l'ensemble respectif et d'un gradient vertical de température (DTH).

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel l'altitude calculée à partir de la température (T) de l'ensemble respectif et d'un gradient vertical de température (DTH) correspond au produit du gradient vertical de température (DTH) par la différence entre la température (T) de l'ensemble respectif et la température d'isotherme dont l'altitude correspond à celle de la limite pluie-neige.

3. Dispositif (1) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel le trieur (5) est agencé pour déterminer si le type de masse d'air (M) doit être modifié en comparant la température (T) de l'ensemble donné et d'autre part la température (T) d'un ensemble associant la portion géographique (i) de l'ensemble donné et l'instant (h-1) immédiatement antérieur à l'instant (h) courant.

4. Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le trieur (5) est agencé pour déterminer si le type de masse d'air (M) doit être modifié en comparant la température (T) de l'ensemble donné et d'autre part la température (T) d'un ensemble associant la portion géographique (i) de l'ensemble donné et le deuxième instant (h-2) immédiatement antérieur à l'instant (h) courant.

5. Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le trieur (5) est en outre agencé pour modifier le type de masse d'air (M) pour indiquer une masse d'air sortante des ensembles de données météorologiques comprenant un instant donné, lorsque tous les ensembles de données comprenant l'instant immédiatement précédent ledit instant donné présentent un type de masse d'air (M) indiquant une masse d'air entrante.

6. Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'altitude d'isotherme (IK, IH) estimée pour chaque type de masse d'air (M) résulte d'une linéarisation de l'évolution des valeurs d'altitude d'isotherme moyenne aux instants antérieurs.

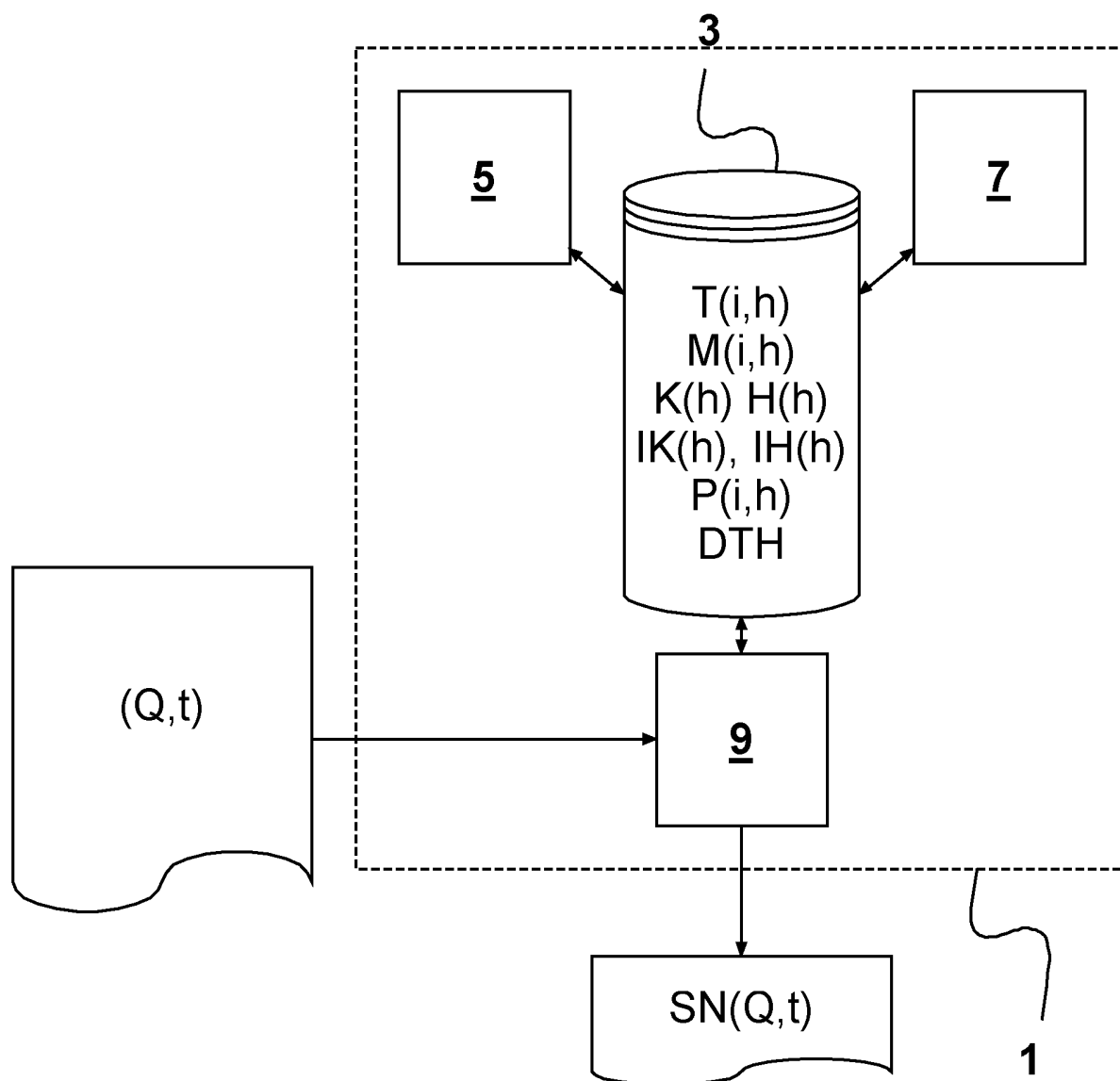
7. Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le calculateur (7) est en outre agencé pour réitérer les calculs, pour des instants (h+1 ; h+2) postérieurs à l'instant (h) courant, après les calculs pour l'instant (h) courant.
- 5 8. Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le calculateur (7) est en outre agencé pour corriger l'altitude d'isotherme (IK, IH) estimée pour un instant (h) donné pour le type de masse d'air entrante, lorsqu'une température (T) inférieure à la température d'isotherme dont l'altitude est recherchée est détectée à l'instant (h) donné.
- 10 9. Dispositif (1) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un comparateur (9) agencé pour comparer l'altitude d'isotherme (IK, IH) estimée pour un instant (h) et une portion géographique (i) à une altitude du sol (z) d'un emplacement de ladite portion géographique (i), et en déduire une prévision de chute de neige audit emplacement à l'instant (h) lorsque ladite altitude (z) est plus élevée.
- 15 10. Procédé de prévision d'altitude de la limite pluie-neige comprenant
- a. recevoir des ensembles de données météorologiques, chaque ensemble de données météorologiques associant une portion géographique (i), un instant
- 20 (h), une température (T), une indication de présence de précipitation (P), au moins une altitude (K, H, IK, IH), et un type de masse d'air (M) indiquant si une masse d'air associée à la portion géographique (i) pour un instant (h) est considérée comme entrante ou sortante d'une zone géographique correspondant à l'union des portions géographiques (i), les instants (h) étant
- 25 choisis successifs, de sorte que les ensembles de données météorologiques peuvent être regroupés par instant (h) pour une portion géographique (i) donnée,
- b. initialiser chaque ensemble de données météorologiques avec un type de masse d'air (M) indiquant une masse d'air sortante,
- 30 c. parcourir un groupe d'ensembles de données météorologiques comprenant un instant (h) courant, et, pour un ensemble donné de ce groupe, modifier le type de masse d'air (M) pour indiquer une masse d'air entrante lorsque la



- différence entre d'une part la température (T) de l'ensemble donné et d'autre part la température (T) d'un ensemble associant la portion géographique (i) de l'ensemble donné et un instant (h-2 ; h-1) antérieur à l'instant (h) courant est supérieure à une valeur seuil (T1 ; T2),
- 5 d. calculer une altitude d'isotherme (K, H) estimée pour un instant (h) et un type de masse d'air (M) donnés à partir de la moyenne, pour les ensembles de données météorologiques comprenant l'instant (h) et le type de masse d'air (M) donnés, de la somme de l'altitude (z) de l'ensemble respectif et d'une
- 10 altitude calculée à partir de la température (T) de l'ensemble respectif et d'un gradient vertical de température (DTH),
- e. calculer, pour l'instant (h) donné, une altitude de la limite pluie-neige (IK, IH) pour chaque type de masse d'air (M), chacune à partir de l'altitude d'isotherme moyenne (K, H) estimée pour le type de masse d'air (M) respectif pour les deux instants immédiatement antérieurs à l'instant donné (h) pour des portions géographiques dans
- 15 lesquelles des précipitations sont détectées à l'instant donné (h).

1/4

Fig. 1



2/4

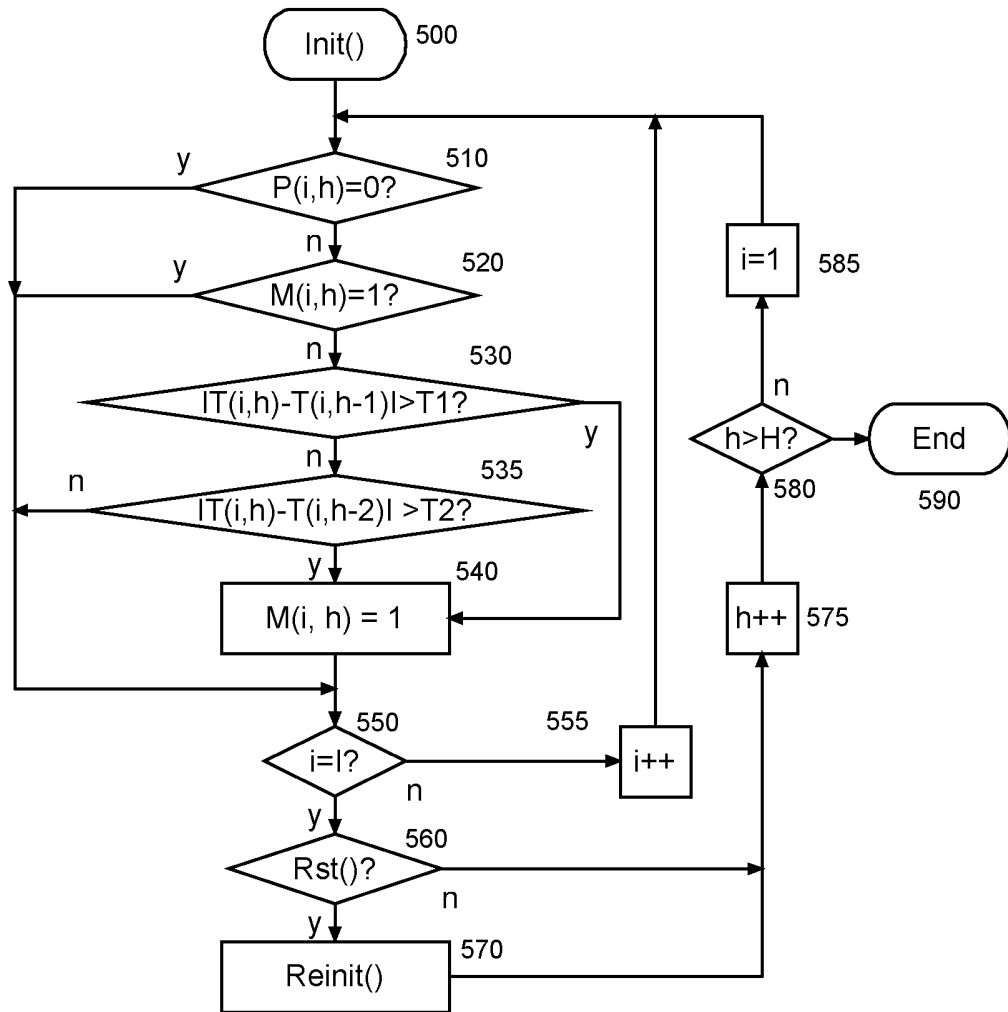


Fig. 2

3/4

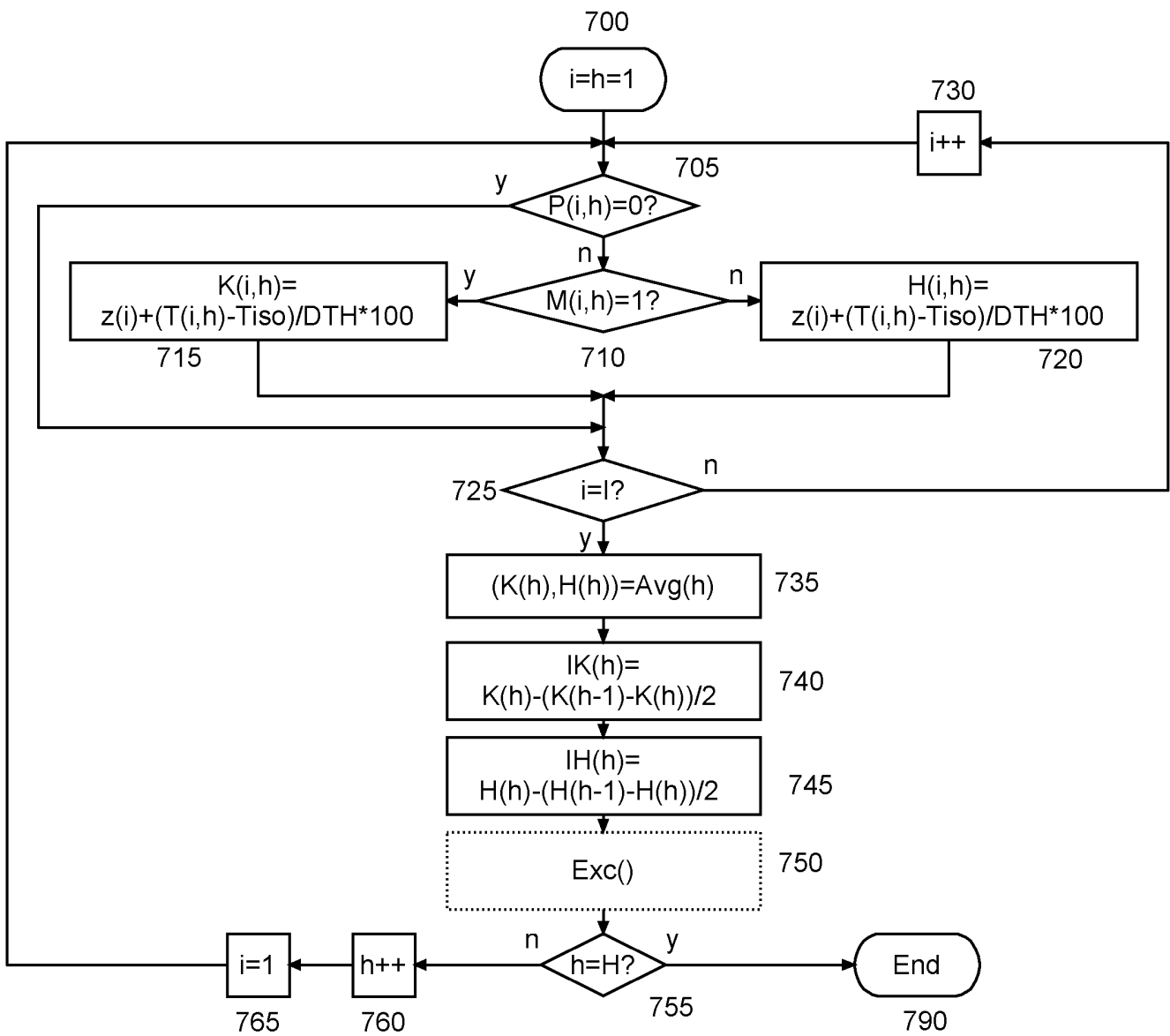


Fig. 3

4/4

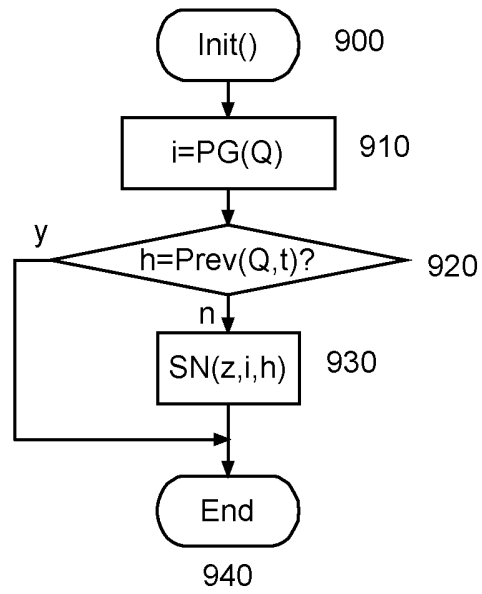


Fig. 4

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement  
national

FA 827142  
FR 1650858

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		
X	GJERTSEN U ET AL: "The water phase of precipitation-a comparison between observed, estimated and predicted values", ATMOSPHERIC RESEARCH, ELSEVIER, AMSTERDAM, NL, vol. 77, no. 1-4, 1 septembre 2005 (2005-09-01), pages 218-231, XP027775217, ISSN: 0169-8095 [extrait le 2005-09-01] * sections 2.1 et 2.2 *	1-10	H04L29/02 G01W1/10
X	Per Und ET AL: "HIRLAM-5 Scientific Documentation",  1 décembre 2002 (2002-12-01), XP055325907, Extrait de l'Internet: URL:http://hirlam.org/index.php/component/docman/doc_download/270-hirlam-scientific-documentation-december-2002?Itemid=70 [extrait le 2016-12-05] * pages 4-5, 25 *	1-10	
X	US 8 594 936 B1 (KOVAL JOSEPH PAUL [US] ET AL) 26 novembre 2013 (2013-11-26) * colonne 6, ligne 16 - colonne 6, ligne 49 * * colonne 13, ligne 29 - colonne 15, ligne 55 *	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)  G01W G01S G06F G06Q
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
9 décembre 2016		Veillas, Erik	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1650858 FA 827142**

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 09-12-2016

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 8594936	B1	26-11-2013	AUCUN
-----			