



## Description

### Titre de l'invention : Procédé de détection du sol dans un nuage de points obtenu par télédétection laser 3D

- [0001] L'invention concerne un procédé de détection du sol dans un nuage de points obtenu par télédétection laser 3D, aussi appelé LIDAR 3D, en particulier mis en œuvre dans le cadre d'une assistance à la conduite d'un véhicule automobile, en particulier pour les véhicules automobiles autonomes.
- [0002] La télédétection laser, plus communément connue sous son nom anglophone de *light detection and ranging*, et en particulier sous l'acronyme LIDAR, est une technique bien connue de l'homme du métier. Il est en particulier connu les scanners LIDAR 3D, qui permettent d'effectuer une cartographie d'un environnement par création d'un nuage de points obtenu par émission laser.
- [0003] Une difficulté générale connue dans la cartographie par Lidar est de détecter correctement le sol dans le nuage de points LIDAR 3D.
- [0004] En effet, le principe général et simplifié du LIDAR 3D consiste en un faisceau laser très fin émis dans une direction donnée de l'espace.
- [0005] Lorsque ce faisceau rencontre un obstacle, le faisceau est réfléchi. En mesurant le temps de vol (temps nécessaire à la lumière pour aller du capteur à la cible puis pour revenir), on détermine la distance entre le capteur et la cible.
- [0006] Dans les applications automobiles, afin de mesurer tout l'espace autour du véhicule, les fabricants disposent plusieurs diodes émettrices visant un point de l'espace faisant un angle différent par rapport au plan horizontal du véhicule automobile. En ajoutant un système permettant de faire tourner les diodes émettrices, ou un système tel qu'un miroir mobile permettant de faire tourner les faisceaux laser, il est possible de mesurer l'ensemble de l'espace autour du véhicule. Chaque diode laser mesure l'espace selon la surface d'un cône faisant un angle donné par rapport à un plan horizontal. On parle de nappe laser.
- [0007] L'ensemble des points de mesure forme un nuage de points 3D (*Point Cloud*, en anglais) correspondant à l'ensemble des échos renvoyés par les obstacles se trouvant dans l'environnement autour du véhicule. Il s'agit d'une discrétisation de l'espace correspondant à l'intersection entre la géométrie des nappes laser et les obstacles. Chaque point qui peut s'exprimer aussi bien en coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ) qu'en coordonnées cartésiennes ( $x, y, z$ ).
- [0008] La principale problématique est relative à l'analyse de la scène, autrement dit de l'environnement du véhicule, à partir de ce nuage de points 3D. Cela nécessite de détecter et classer les objets qui se trouvent dans la scène, par exemple identifier un

piéton, un véhicule, ou tout autre obstacle à partir de ce nuage de points.

- [0009] Aussi une étape de détection des obstacles comprend le regroupement de points appartenant à un même obstacle, appelé partitionnement de l'espace, *clustering* en anglais. Cette étape de détection impose à la fois l'identification des obstacles mobiles comme un piéton, ou un véhicule et des obstacles statiques comme les immeubles ou le sol.
- [0010] À cet effet, une première sous-étape de l'étape de détection consiste à séparer les points appartenant au sol et ceux n'appartenant pas au sol, autrement dit les points qui se trouvent au-dessus du sol. Le *clustering* est ainsi effectué dans cette sous-étape.
- [0011] La problématique est alors de trouver un procédé permettant d'effectuer une détection fiable et robuste du sol dans un nuage de points LIDAR
- [0012] La littérature scientifique a décrit plusieurs solutions à ce problème.
- [0013] On connaît en particulier le document « *Model based vehicle tracking for autonomous driving in urban environments* », A. Petrovskaya et S. Thrun, Proc. Robot. Sci. Syst. IV Zurich Switz., vol. 34, 2008
- [0014] Dans ce document d'art antérieur, les données envoyées par le LIDAR sont transmises en coordonnées sphériques. Pour une direction de visé donnée (angle d'azimut  $\theta$  fixé), l'algorithme utilise l'ensemble des points de mesure correspondant à différent angle d'élévation  $\varphi$ . Ces points se trouvent dans un plan vertical (plan vertical d'azimut fixé). Le traitement commence par le point correspondant à la diode laser qui fait l'angle de visé le plus bas et se termine par la diode laser qui fait l'angle de visé le plus haut.
- [0015] Le principe du procédé consiste à regarder l'angle formé entre deux paires de points successifs. À titre d'illustration, en référence à la figure 1 d'art antérieur, pour trois points consécutifs A, B et C, la pente  $\alpha$  entre AB et BC doit être faible, dans le cas où les trois points sont dans un même plan, ici le sol. En normalisant AB et BC, leur produit scalaire doit donc être proche de 1. Un simple seuil sur le produit permet de classer les points en sol ou non sol. Toutefois une telle solution n'est pas suffisamment fiable.
- [0016] Le document « *A Fast Ground Segmentation Method for 3D Point Cloud* », Phuong Chu, Seoungjae Cho, Sungdae Sim, Kiho Kwak and Kyungeun Cho - juin 2017, vise alors à améliorer la fiabilité du procédé précédent. Ce second document d'art antérieur fournit ainsi une méthode de généralisation du procédé précédent, en référence aux figures 2a et 2b d'art antérieur, dans lequel l'algorithme démarre à partir d'un point 0 situé sous le capteur 2. Ce point 0 est considéré comme faisant partie du sol. Autrement dit le point 0 est une projection du capteur sur le sol.
- [0017] Pour un angle d'azimut donné, le procédé parcourt l'ensemble des points situés dans un plan vertical Z. Pour déterminer si chacun des points appartient au sol ou non, le

procédé parcourt la liste des points de proche en proche.

[0018] Par illustration sur figures 2a et 2b d'art antérieur, le point A correspond au laser dont l'angle par rapport à l'horizontal est le plus bas.

[0019] Le procédé part du point 0, considéré comme sol. Il passe au point suivant : le point A. Celui-ci est considéré comme appartenant au sol également. Le procédé calcule ensuite l'angle entre l'horizon, angle vertical =  $0^\circ$ , et la droite formée par ces deux points.

[0020] Si l'angle calculé est supérieur à une valeur de seuil prédéfinie, alors le point est classifié comme non sol. Dans ce cas, comme un obstacle est détecté, car le point n'appartient pas au sol, le procédé comprend une deuxième condition pour classifier de nouveau un point faisant partie du sol. Cette condition peut se produire par exemple dans le cas d'une route bordée d'une haie séparant la chaussée et le trottoir. Le trottoir est à la même hauteur que la chaussée. Le procédé cherche à détecter le trottoir comme sol. Une condition de hauteur  $h_{\min}$  par rapport au dernier point identifié comme sol est donc utilisée, telle que représenté figure 2b. Sur cette figure, les points A, B, F et G sont identifiés comme formant le sol et les points C, D, E, H et I comme étant distincts du sol.

[0021] Toutefois cette solution n'est pas totalement optimisée et il existe donc le besoin d'une solution améliorée permettant d'accroître les performances et la robustesse de la détection du sol.

[0022] On propose un procédé de détection du sol dans un nuage de points provenant d'un scanner de télédétection laser, comprenant :

- une étape d'acquisition d'un ensemble de données de détection formant un nuage de points, chaque donnée de l'ensemble de données comprenant la position d'un point de détection en coordonnées sphériques ;

- une étape de construction d'une matrice polaire dans laquelle les données de détection acquises sont arrangées de sorte que :

- Les colonnes correspondent aux valeurs d'angle d'azimut des coordonnées sphériques ;
- Les lignes correspondent aux valeurs d'angle d'élévation des coordonnées sphériques ; et
- Pour chaque point de détection, la matrice associe une valeur de distance du point audit scanner de télédétection laser ;

- une étape de calcul de la différence de hauteur, séparant un premier point et un deuxième point, les deux points étant selon l'arrangement dans la matrice polaire deux points consécutifs de sorte que les deux points présentent deux valeurs d'élévation consécutives dans la matrice polaire;

- une étape de calcul d'une valeur de hauteur maximale en fonction de ladite valeur de

distance du point ; et

-une étape de comparaison de ladite différence de hauteur avec ladite valeur de hauteur maximale ;

le procédé détectant que le point correspond à une valeur de sol lorsque l'étape de comparaison détermine que ladite différence de hauteur est inférieure ou égale à ladite valeur de hauteur maximale.

- [0023] Ainsi on peut obtenir un procédé apte à détecter le sol dans un nuage de points LIDAR 3D de manière fiable, robuste et avec un temps de calcul relativement faible.
- [0024] Avantageusement et de manière non limitative, ladite valeur de distance comprend la distance du point en coordonnées polaires. Ainsi, on peut obtenir une construction relativement rapide de la matrice polaire.
- [0025] Avantageusement et de manière non limitative, ladite valeur de distance comprend la projection du point sur un plan horizontal dans un repère en coordonnées cartésiennes. Ainsi, on peut améliorer le temps de calcul du procédé en stockant directement la valeur de projection dans la matrice.
- [0026] Avantageusement et de manière non limitative, la matrice polaire associe en outre pour chaque point de détection des valeurs de distance du point dans des coordonnées cartésiennes. Ainsi on améliore encore les temps de calcul en précalculant les valeurs de coordonnées cartésiennes de chaque point.
- [0027] Avantageusement et de manière non limitative, le procédé précalcule, au cours d'une étape préliminaire, au moins une valeur trigonométrique fonctions des valeurs d'élévation des points acquis. Ainsi on optimise encore plus le temps de calcul en effectuant de manière préliminaire des calculs trigonométriques relativement coûteux en temps de calcul.
- [0028] L'invention concerne aussi un dispositif de détection du sol dans un nuage de points provenant d'un scanner de télédétection laser, comprenant :
  - Des moyens d'acquisition d'un ensemble de données de détection formant nuage de points, chaque donnée de l'ensemble de données comprenant la position d'un point de détection en coordonnées sphériques ;
  - Des moyens de construction d'une matrice polaire dans laquelle les données de détection acquises sont arrangées de sorte que :
    - Les colonnes correspondent aux valeurs d'angle d'azimut des coordonnées sphériques ;
    - Les lignes correspondent aux valeurs d'angle d'élévation des coordonnées sphériques ; et
    - Pour chaque point de détection, la matrice associe une valeur de distance du point audit scanner de télédétection laser ;
  - Des moyens de calcul de la différence de hauteur, séparant un premier point et un

deuxième point, les deux points étant selon l'arrangement dans la matrice polaire deux points consécutifs de sorte que les deux points présentent deux valeurs d'élévation consécutives dans la matrice polaire ;

-Des moyens de calcul d'une valeur de hauteur maximale en fonction de ladite valeur de distance du point ; et

-Des moyens de comparaison de ladite différence de hauteur avec ladite valeur de hauteur maximale ;

le dispositif détectant que le point correspond à une valeur de sol lorsque les moyens de comparaison déterminent que ladite différence de hauteur est inférieure ou égale à ladite valeur de hauteur maximale.

[0029] L'invention concerne aussi un véhicule automobile comprenant un scanner de télé-détection laser et un dispositif tel que décrit précédemment.

[0030] D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite ci-après d'un mode de réalisation particulier de l'invention, donné à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

[fig.1] est une représentation schématique d'un premier procédé de détection de l'art antérieur ;

[fig.2a] et

[fig.2b] sont des représentations schématiques d'un deuxième procédé de détection de l'art antérieur ;

[fig.3] est un organigramme du procédé selon le mode de réalisation principal de l'invention ;

[fig.4] est une représentation de la transformation entre les coordonnées cartésiennes et les coordonnées polaires d'un point acquis par le LIDAR 3D selon l'invention ;

[fig.5] est une représentation schématique de la différence d'élévation entre deux points acquis ; et

[fig.6] est une représentation schématique de la projection d'un point sur un plan horizontal.

[0031] Selon le mode de réalisation principal de l'invention, en référence à la figure 3, un procédé 3 de détection du sol dans un ensemble de points obtenus par un LIDAR 3D, comprend une première étape d'acquisition 30 de l'ensemble des points du nuage de points en coordonnées sphériques  $(\rho, \theta, \varphi)$ .

[0032] À cet effet, en référence à la figure 4, Le LIDAR 4 mis en œuvre par l'invention présente un champ de vision vertical Z de 40°, soit compris sensiblement entre  $[-25^\circ, +15^\circ]$ , avec une variation résiduelle possible de 1° à 5° de degrés, et une vision horizontale à 360°.

[0033] Tous les rayons lasers émis par le LIDAR 4 peuvent être vus comme émis par un point d'origine O dans un système de coordonnées sphériques  $(\rho, \theta, \varphi)$ , dans lequel  $\rho$

est la mesure de distance, et  $\theta$  et  $\varphi$  sont les angles respectivement azimuth et élévation.

[0034] Le procédé 3 procède ensuite à la transformée de chaque point obtenu en coordonnées polaire vers des coordonnées cartésiennes.

[0035] Ensuite le procédé procède à une étape de construction d'une matrice polaire 31 sous la forme suivante :

$$\begin{matrix} & \theta_1, \dots, \theta_M \\ \begin{matrix} \varphi_1, \dots, \varphi_N \\ \vdots \\ \varphi_1, \dots, \varphi_N \\ \vdots \\ \varphi_1, \dots, \varphi_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} \rho_{1,1} & \rho_{1,2} & \rho_{1,3} & \dots & \rho_{1,M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_{i,1} & \rho_{i,2} & \rho_{i,3} & \dots & \rho_{i,M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_{N,1} & \rho_{N,2} & \rho_{N,3} & \dots & \rho_{N,M} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

[0036] Une matrice polaire  $I_{N \times M}$  représente des coordonnées sphériques sous forme de matrice, comprenant N rangs représentant les angles verticaux  $\varphi$  déterminés physiquement par le LIDAR, M colonnes sont les angles d'azimut  $\theta$  entre  $0^\circ$  à  $360^\circ$ .

[0037] Soit la résolution de l'angle d'azimut est  $\Delta\theta$ , l'angle azimut  $\theta_j$  dans la j-ième colonne est égal à  $\Delta\theta \times j$ . La valeur  $\rho_{i,j}$  correspond à la mesure laser dans la direction  $(\varphi_i, \theta_j)$ . On peut donc définir une valeur de mesure laser  $P_{i,j}$  selon une direction  $(\varphi_i, \theta_j)$  dans la matrice  $I_{N \times M}$  par l'équation suivante :

$$[0038] \quad P_{i,j} = [\rho_{i,j}, \varphi_i, \theta_j]^T, \quad i \in [1, N], \quad j \in [1, M] \quad (5)$$

[0039] N et M étant respectivement le nombre d'angles verticaux et d'azimuts.

[0040] Par exemple, pour le LIDAR mis en œuvre dans le présent mode de réalisation de l'invention, il existe N=32 angles verticaux et M=1800 angles d'azimut lorsque le LIDAR tourne à une fréquence de 10 Hz. Aussi la matrice est une matrice de dimensions 32x1800.

[0041] Les coordonnées correspondantes de chaque mesure laser  $P_{i,j}$  sont ensuite transformées en coordonnées cartésiennes.

[0042] À cet effet, pour chaque point 3D  $(\rho, \theta, \varphi)$  en coordonnées sphériques, la transformation en coordonnées cartésiennes (X, Y, Z) peut être obtenue par les équations suivantes :

$$[0043] \quad X = \rho * \cos(\theta) * \cos(\varphi) \quad (1)$$

$$[0044] \quad Y = \rho * \sin(\theta) * \cos(\varphi) \quad (2)$$

$$[0045] \quad Z = \rho * \sin(\varphi) \quad (3)$$

[0046] Et  $\rho^{xy}$ , la projection de  $\rho$  dans le plan XY est :

$$[0047] \quad \rho^{xy} = \rho * \cos(\varphi) \quad (4)$$

[0048] Ainsi, le procédé de construction d'une matrice polaire  $I_{N \times M}$  définit tout d'abord une matrice dans laquelle :

- Les colonnes M correspondent à un angle d'azimut donné  $\theta$  ; et

- Les lignes N correspondent à une valeur donnée de l'angle d'élévation  $\varphi$  (angle formé entre l'horizontal et la direction de visée verticale de la diode laser).

- [0049] Pour chaque couple (ligne, colonne) de la matrice, on affecte un quadruplet ( $\rho_{i,j}, X_{i,j}, Y_{i,j}, Z_{i,j}$ ) correspondant respectivement à la distance du point en coordonnées sphériques, et les distances selon les directions X, Y, Z, en coordonnées cartésiennes ; et  $\rho_{i,j}^{xy}$  étant la projection du point  $P_{i,j}$  sur le plan (XY) dans un repère en coordonnées cartésiennes.
- [0050] En effet, pour une optimisation des temps de calculs, on préfère affecter le quadruplet ( $\rho_{i,j}^{xy}, X_{i,j}, Y_{i,j}, Z_{i,j}$ ) qui est équivalent au quadruplet ( $\rho_{i,j}, X_{i,j}, Y_{i,j}, Z_{i,j}$ ) mais qui permet d'économiser le nombre de calculs du procédé selon l'invention.
- [0051] Cette structure de données présente l'avantage de combiner en même temps une structure de données en coordonnées sphériques permettant de trouver facilement le voisin d'un point donné et une structure de données en coordonnées cartésiennes permettant de calculer facilement des distances dans l'espace cartésien. Cette structure combine donc les deux avantages.
- [0052] Ensuite on procède, pour chaque valeur de couple (i, j) 32, 34 de la matrice polaire au calcul 33 de deux vecteurs  $\Delta Z_{i,j}$  et  $\Delta Z^{\max}$ , en référence aux figures 5 et 6.
- [0053] D'une part, en coordonnées cartésiennes, on a  $\Delta Z_{i,j}$  qui correspond à la différence de hauteur séparant 2 points consécutifs  $P_{i,j}$  et  $P_{i+1,j}$  (correspondant à 2 directions d'élévation consécutives  $\varphi_i$  et  $\varphi_{i+1}$ , soit :
- [0054]  $\Delta Z_{i,j} = Z_{i+1,j} - Z_{i,j}$
- [0055] Où  $Z_{i,j}$  est la hauteur du point  $P_{i,j}$  ; et
- [0056]  $Z_{i+1,j}$  est la hauteur du point  $P_{i+1,j}$ .
- [0057] D'autre part on obtient dans le triangle 50 de la figure 5 :
- [0058]  $\tan(\alpha_{i,j}) = \Delta Z_{i,j} / \Delta \rho_{i,j}^{x,y}$  avec
- [0059]  $\Delta Z_{i,j}$  la différence de hauteur entre les points  $P_{i,j}$  et  $P_{i+1,j}$  ; et
- [0060]  $\Delta \rho_{i,j}^{x,y}$  la différence de distance  $\rho^{xy}$  dans le plan (XY) entre les points  $P_{i,j}$  et  $P_{i+1,j}$ .
- [0061] Puisque la projection du point  $P_{i,j}$  dans le plan (XY), tel que représenté figure 6, peut s'exprimer par  $\rho_{i,j}^{xy} = \rho_{i,j} \cdot \cos(\varphi_i)$ , alors :
- [0062]  $\Delta \rho_{i,j}^{xy} = \rho_{i+1,j} \cdot \cos(\varphi_{i+1}) - \rho_{i,j} \cdot \cos(\varphi_i)$ .
- [0063]  $\varphi_i$  et  $\varphi_{i+1}$  étant des valeurs connues, on tabule  $\cos(\varphi_i)$  et  $\cos(\varphi_{i+1})$  au début du procédé, autrement dit on précalcule ces valeurs de sorte à ne plus les recalculer

pendant la mise en œuvre du procédé.

- [0064] Par conséquent, la condition  $\alpha_{i,j} < \alpha_{\max}$ , pour déterminer si un point fait partie du sol, devient  $\frac{\Delta Z_{i,j}}{\Delta \rho_{i,j}^{x,y}} < \tan(\alpha_{\max})$ .

- [0065] La valeur  $\alpha_{\max}$  est une valeur de seuil prédéterminée qui est à titre d'exemple pour ce mode de réalisation fixée à  $45^\circ$ . Toutefois, cette valeur est donnée à titre non limitatif et l'homme du métier peut la modifier, notamment de manière empirique, de sorte à maximiser les performances de la détection.

- [0066] On peut donc définir une borne maximale  $\Delta Z^{\max}$  pour  $\Delta Z_{i,j}$ . Cette borne maximale  $\Delta Z^{\max}$  vaut :

- [0067]  $\Delta Z^{\max} = \Delta \rho_{i,j}^{x,y} \cdot \tan(\alpha^{\max})$

- [0068] Soit encore  $\Delta Z^{\max} = [\rho_{i+1,j} \cdot \cos(\varphi_{i+1}) - \rho_{i,j} \cdot \cos(\varphi_i)] \cdot \tan(\alpha^{\max})$

- [0069] Cette expression ne dépendant que de  $\rho_{i,j}$  et  $\rho_{i+1,j}$  puisque  $\cos(\varphi_i)$ ,  $\cos(\varphi_{i+1})$  et  $\tan(\alpha^{\max})$  sont des constantes qui peuvent être précalculées.

- [0070] Ainsi, la progression logique s'effectue en fonction des valeurs d'élévation, le procédé parcourant une double boucle 32, 34 dans laquelle pour chaque 32 colonne  $j \in [1, M]$  de la matrice, autrement dit pour valeur d'azimut, le procédé va parcourir 34 toutes les lignes  $i \in [1, N]$  d'élévation. Le calcul s'effectuant par propagation des différences entre les élévations successives à azimut égal.

- [0071] Ensuite on met en œuvre une étape de comparaison 35 de  $\Delta Z_{i,j}$  et  $\Delta Z^{\max}$  pour déterminer si un point appartient au sol ou non.

- [0072] En effet si  $\Delta Z_{i,j} \leq \Delta Z^{\max}$ , référence 36, alors le point correspondant au couple  $(\varphi_i, \theta_j)$  correspond à un point du sol.

- [0073] A contrario si  $\Delta Z_{i,j} > \Delta Z^{\max}$ , référence 37, alors le point correspondant au couple  $(\varphi_i, \theta_j)$  n'est pas un point du sol, et par conséquent est un point provenant d'un obstacle.

- [0074] Ainsi, la condition d'appartenance d'un point au sol, basée sur une condition d'angle se simplifie considérablement en combinant les coordonnées cartésiennes et sphériques, ce qui permet d'augmenter la vitesse de calcul.

- [0075] En effet, dans le cas de la condition en angle, le calcul  $\alpha_{i,j} = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Z_{i,j}}{\Delta \rho_{i,j}^{x,y}}\right)$  est

particulièrement coûteux en temps de calcul.

- [0076] Ainsi, l'invention permet d'obtenir une détection fiable, robuste et rapide du sol dans un nuage de points provenant d'un scanner LIDAR 3D.

[0077]

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé de détection du sol dans un nuage de points provenant d'un scanner de télédétection laser (4), caractérisé en ce que le procédé comprend :

- une étape d'acquisition (30) d'un ensemble de données de détection formant un nuage de points, chaque donnée de l'ensemble de données comprenant la position d'un point (p) de détection en coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ) ;
- une étape de construction (31) d'une matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) dans laquelle les données de détection acquises sont arrangées de sorte que :
  - Les colonnes (M, j) correspondent aux valeurs d'angle d'azimut ( $\theta$ ) des coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ) ;
  - Les lignes (N, i) correspondent aux valeurs d'angle d'élévation ( $\varphi$ ) des coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$ ) ; et
  - Pour chaque point ( $p_{i,j}$ ) de détection, la matrice ( $I_{N \times M}$ ) associe une valeur de distance ( $\rho_{i,j}$ ,  $\rho^{xy}_{i,j}$ ) du point audit scanner de télédétection laser (4) ;
- une étape de calcul de la différence de hauteur ( $\Delta Z_{i,j}$ ), séparant un premier point ( $P_{i,j}$ ) et un deuxième point ( $P_{i+1,j}$ ), les deux points étant selon l'arrangement dans la matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) deux points consécutifs ( $P_{i,j}$ ,  $P_{i+1,j}$ ) de sorte que les deux points présentent deux valeurs d'élévation ( $\varphi$ ) consécutives ( $\varphi_i$ ,  $\varphi_{i+1}$ ) dans la matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) ;
- une étape de calcul d'une valeur de hauteur maximale ( $\Delta Z^{\max}$ ) en fonction de ladite valeur de distance ( $\rho_{i,j}$ ,  $\rho^{xy}_{i,j}$ ) du point (p) ; et
- une étape de comparaison (35) de ladite différence de hauteur ( $\Delta Z_{i,j}$ ) avec ladite valeur de hauteur maximale ( $\Delta Z^{\max}$ ) ;

le procédé détectant que le point (p) correspond à une valeur de sol lorsque l'étape de comparaison détermine que ladite différence de hauteur ( $\Delta Z_{i,j}$ ) est inférieure ou égale à ladite valeur de hauteur

maximale ( $\Delta Z^{\max}$ ).

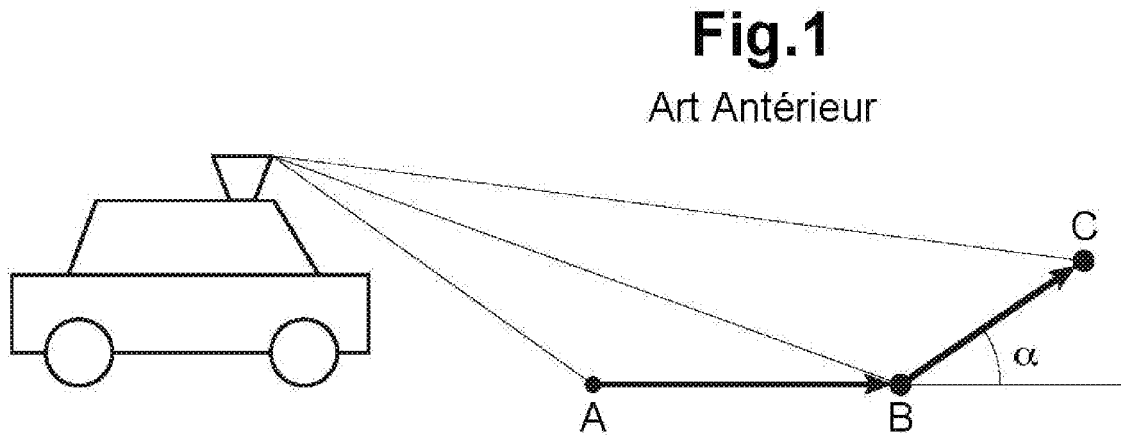
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite valeur de distance comprend la distance ( $\rho_{i,j}$ ) du point (p) en coordonnées polaires.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que ladite valeur de distance comprend la projection ( $\rho_{i,j}^{xy}$ ) du point ( $\rho_{i,j}$ ) sur un plan horizontal (XY) dans un repère en coordonnées cartésiennes (X,Y,Z).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) associe en outre pour chaque point ( $p_{i,j}$ ) de détection des valeurs de distance ( $X_{i,j}$ ,  $Y_{i,j}$ ,  $Z_{i,j}$ ) du point (p) dans des coordonnées cartésiennes.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le procédé précalcule, au cours d'un étape préliminaire, au moins une valeur trigonométrique fonctions des valeurs d'élévation ( $\phi$ ) des points (p) acquis.
- [Revendication 6] Dispositif de détection du sol dans un nuage de points provenant d'un scanner de télédétection laser (4), caractérisé en ce que le dispositif comprend :
- Des moyens d'acquisition d'un ensemble de données de détection formant un nuage de points, chaque donnée de l'ensemble de données comprenant la position d'un point (p) de détection en coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ ) ;
  - Des moyens de construction d'une matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) dans laquelle les données de détection acquises sont arrangées de sorte que :
    - Les colonnes (M, j) correspondent aux valeurs d'angle d'azimut ( $\theta$ ) des coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ ) ;
    - Les lignes (N, i) correspondent aux valeurs d'angle d'élévation ( $\phi$ ) des coordonnées sphériques ( $\rho$ ,  $\theta$ ,  $\phi$ ) ;
    - et
    - Pour chaque point ( $p_{i,j}$ ) de détection, la matrice ( $I_{N \times M}$ ) associe une valeur de distance ( $\rho_{i,j}$ ,  $\rho_{i,j}^{xy}$ ) du point audit scanner de télédétection laser (4) ;
  - Des moyens de calcul de la différence de hauteur ( $\Delta Z_{i,j}$ ), séparant un premier point ( $P_{i,j}$ ) et un deuxième point ( $P_{i+1,j}$ )

- ), les deux points étant selon l'arrangement dans la matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) deux points consécutifs ( $P_{i,j}, P_{i+1,j}$ ) de sorte que les deux points présentent deux valeurs d'élévation ( $\varphi$ ) consécutives ( $\varphi_i, \varphi_{i+1}$ ) dans la matrice polaire ( $I_{N \times M}$ ) ;
- Des moyens de calcul d'une valeur de hauteur maximale ( $\Delta Z^{\max}$ ) en fonction de ladite valeur de distance ( $\rho_{i,j}, \rho_{i,j}^{xy}$ ) du point (p) ; et
  - Des moyens de comparaison de ladite différence de hauteur ( $\Delta Z_{i,j}$ ) avec ladite valeur de hauteur maximale ( $\Delta Z^{\max}$ ) ;

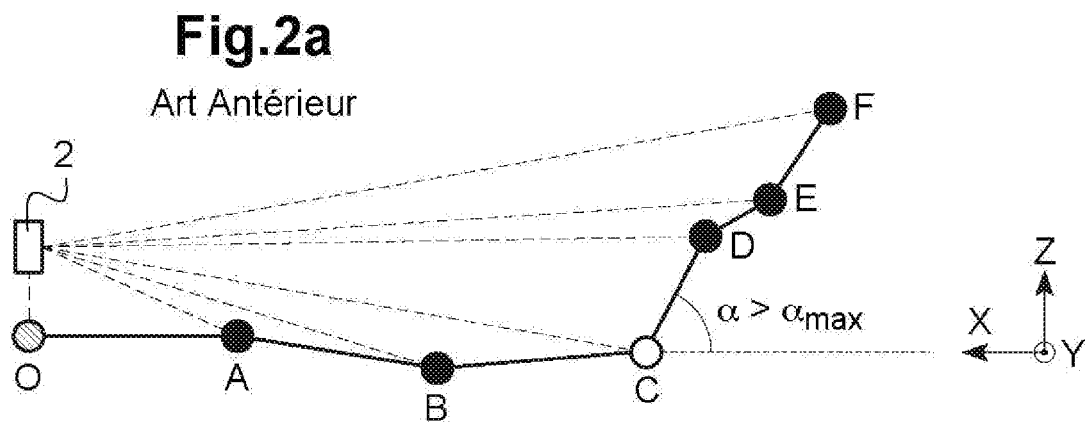
le dispositif détectant que le point (p) correspond à une valeur de sol lorsque les moyens de comparaison déterminent que ladite différence de hauteur ( $\Delta Z_{i,j}$ ) est inférieure ou égale à ladite valeur de hauteur maximale ( $\Delta Z^{\max}$ ).

[Revendication 7] Véhicule automobile comprenant un scanner de télédétection laser (4) et un dispositif selon la revendication 6.

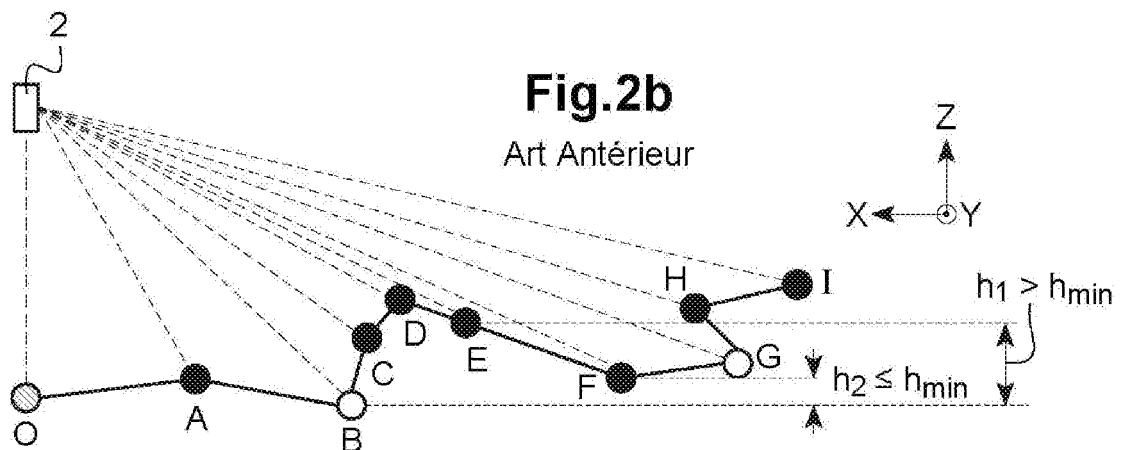
[Fig. 1]



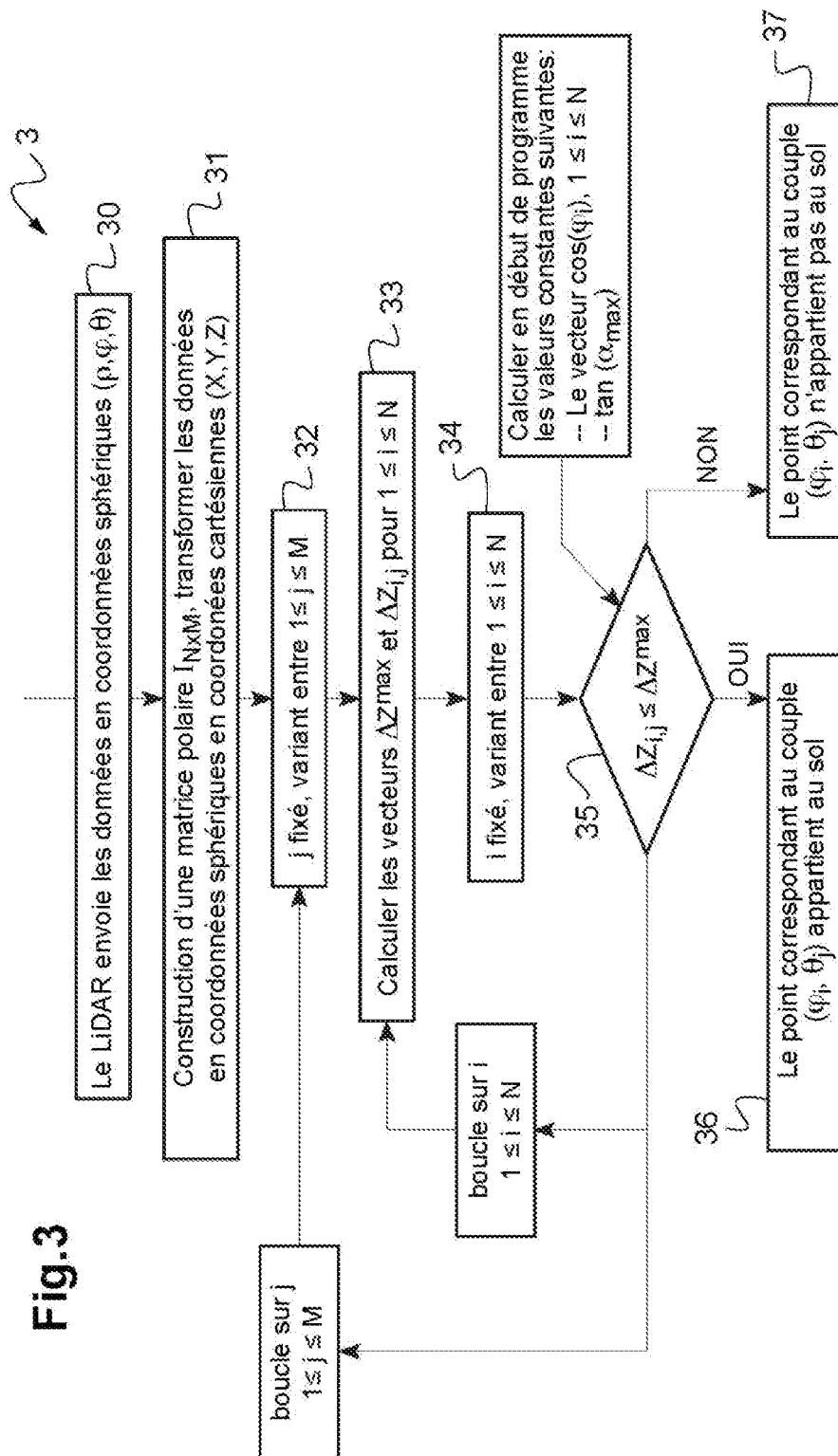
[Fig. 2a]



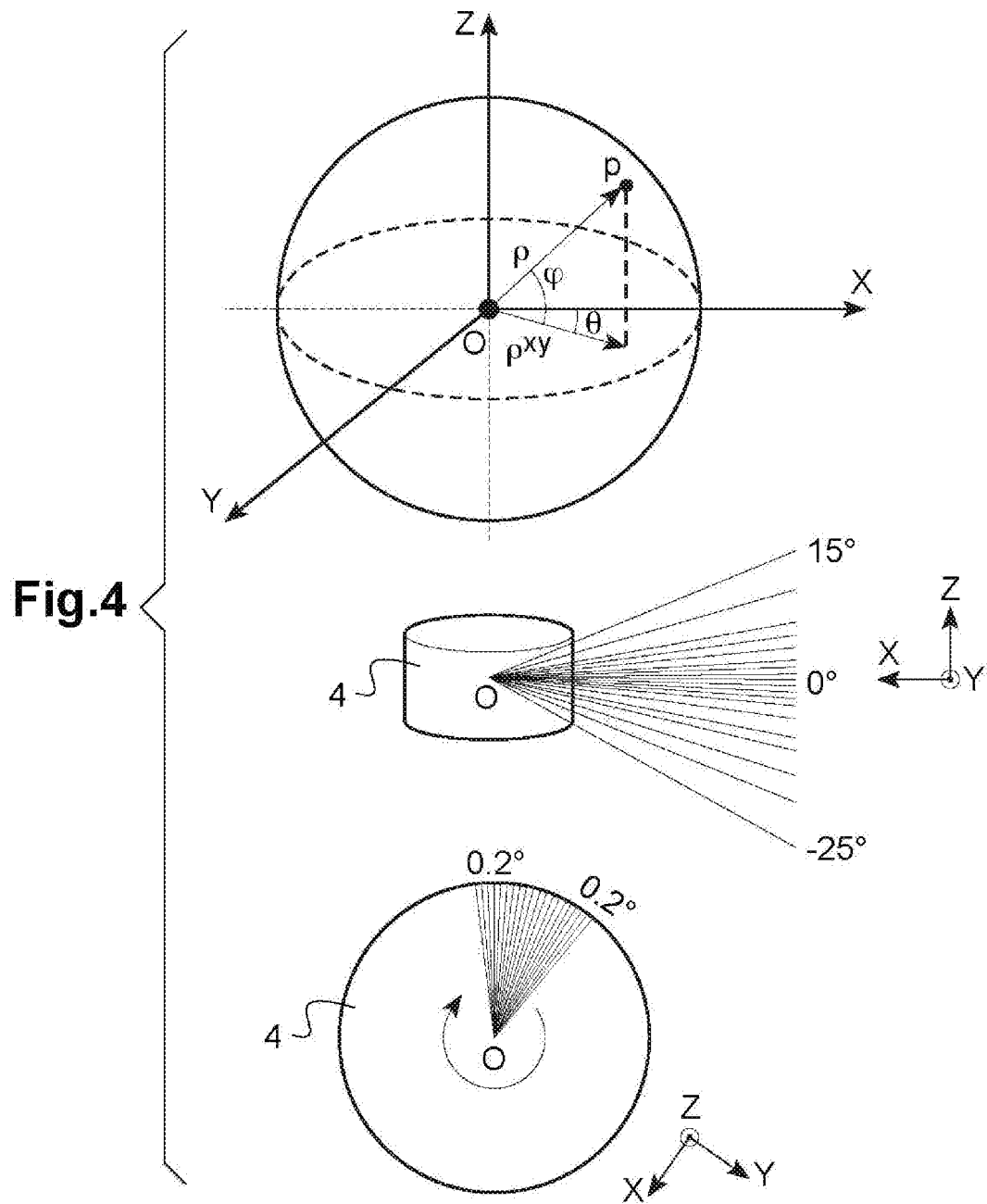
[Fig. 2b]



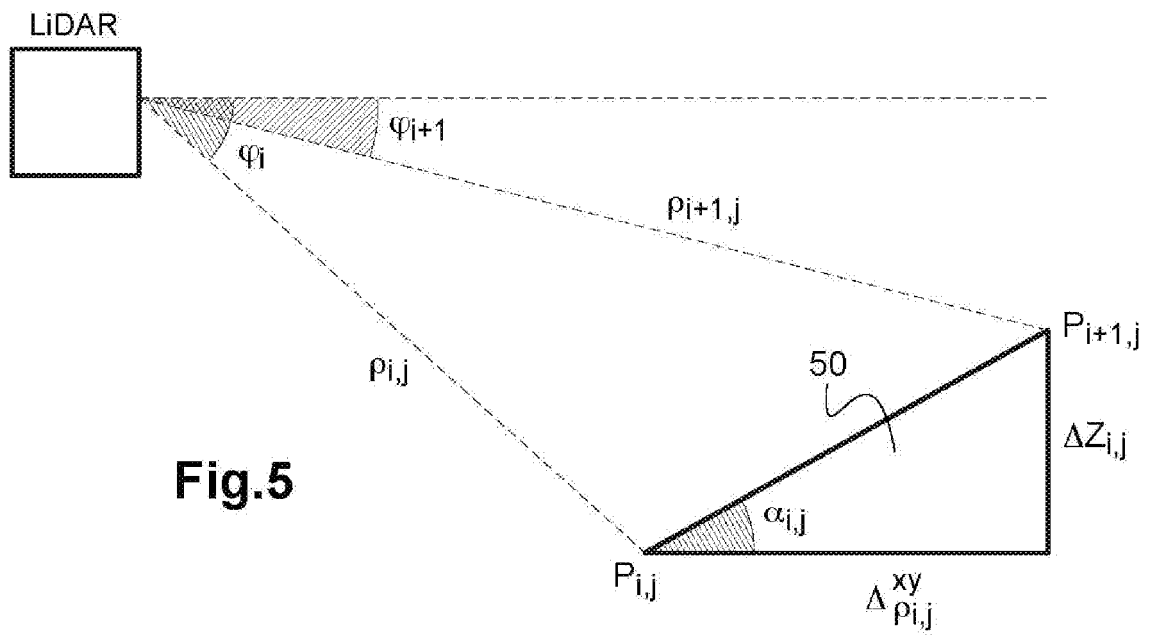
[Fig. 3]



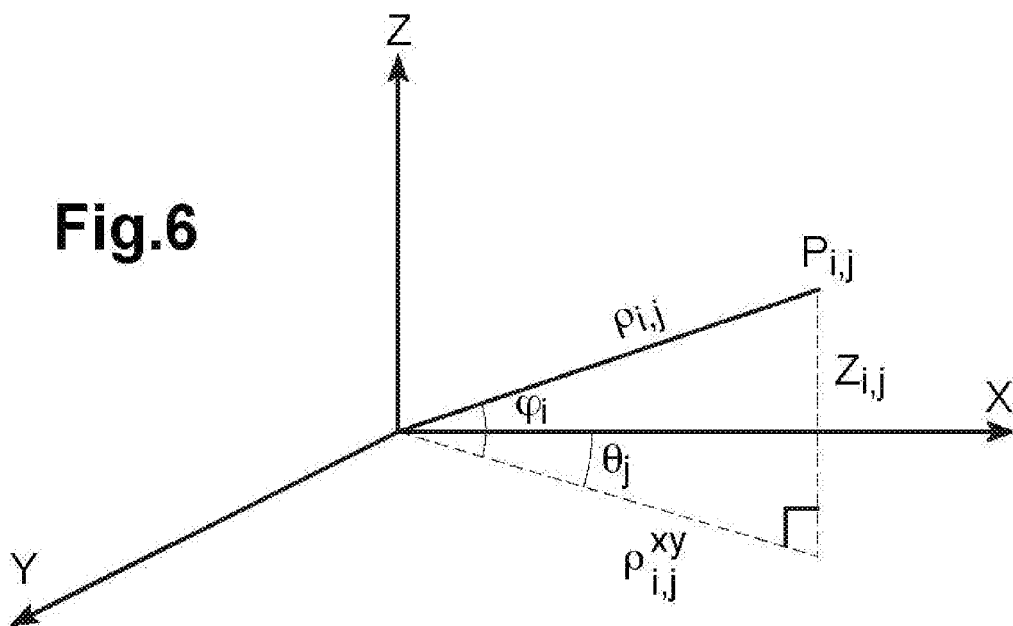
[Fig. 4]



[Fig. 5]

**Fig.5**

[Fig. 6]

**Fig.6**

# RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement  
national

FA 873329  
FR 1910674

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Revendication(s)<br>concernée(s)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Catégorie                                                                                                                                                                                                                              | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                      | US 8 825 260 B1 (SILVER DAVID HARRISON<br>[US] ET AL) 2 septembre 2014 (2014-09-02)<br>* colonne 11, ligne 23 - 27; colonne 11,<br>ligne 49 - ligne 52; colonne 11, ligne<br>53 - ligne 55; colonne 12, ligne 52 -<br>ligne 57; colonne 13, ligne 30 - ligne<br>32; colonne 13, ligne 39 - ligne 40;;<br>figures 2, 5, 6A * | 1-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | G01S17/89                                       |
| A                                                                                                                                                                                                                                      | US 2017/067738 A1 (KIM JEONG KU [KR])<br>9 mars 2017 (2017-03-09)<br>* alinéa [0050] *                                                                                                                                                                                                                                      | 1-7                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHÉS (IPC)         |
|                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | G01S<br>G06K                                    |
| Date d'achèvement de la recherche                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Examineur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                 |
| 26 février 2020                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Kirscher, Jérôme                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                 |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                 |
| X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>.....<br>& : membre de la même famille, document correspondant |                                                 |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE**  
**RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1910674 FA 873329**

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 **26-02-2020**  
 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<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|-------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------|
| US 8825260 B1                                   | 02-09-2014             | US 8825260 B1                           | 02-09-2014             |
|                                                 |                        | US 9097804 B1                           | 04-08-2015             |
| -----                                           |                        |                                         |                        |
| US 2017067738 A1                                | 09-03-2017             | DE 102016216294 A1                      | 09-03-2017             |
|                                                 |                        | KR 20170028603 A                        | 14-03-2017             |
|                                                 |                        | US 2017067738 A1                        | 09-03-2017             |
| -----                                           |                        |                                         |                        |