

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/012131 A1

(43) Date de la publication internationale
16 janvier 2025 (16.01.2025)

(51) Classification internationale des brevets :
G01S 19/20 (2010.01) G01S 19/08 (2010.01)
G01S 19/21 (2010.01)

(72) Inventeurs : **PERRIN, Jean-Cédric** ; C/O THALES AVS
FRANCE, 25 rue Jules Védrières, 26000 VALENCE (FR).
RECASENS, Yan ; C/O THALES DMS FRANCE SAS,
77 Avenue Marcel Dassault, 33700 MERIGNAC (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/069043

(74) Mandataire : **HOLTZ, Béatrice** et al. ; LAVOIX, 2 place
d'Estienne d'Orves, 75441 Paris Cedex 09 (FR).

(22) Date de dépôt international :
05 juillet 2024 (05.07.2024)

(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH,

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2307271 07 juillet 2023 (07.07.2023) FR

(71) Déposant : **THALES** [FR/FR] ; 4 Rue de la Verrerie, 92190
MEUDON (FR).

(54) Title: METHOD FOR CALCULATING AND/OR MONITORING THE OPERATION OF A SATELLITE POSITIONING SYSTEM ON BOARD A VEHICLE, AND ASSOCIATED DEVICE AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

(54) Titre : PROCÉDÉ DE CALCUL ET/OU DE SURVEILLANCE DU FONCTIONNEMENT D'UN SYSTÈME DE POSITIONNEMENT PAR SATELLITES EMBARQUÉ DANS UN VÉHICULE, ET DISPOSITIF ET PRODUIT PROGRAMME D'ORDINATEUR ASSOCIÉS

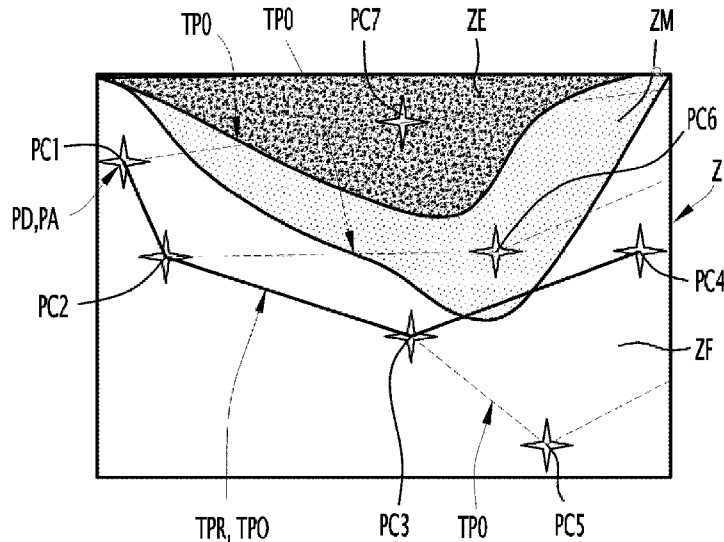


FIG.2

(57) Abstract: The present invention relates to a method for calculating and/or monitoring an operation of a satellite positioning system of a vehicle in a geographical area comprising the following steps: - acquiring spatial and temporal observation coordinates; - acquiring spatial and temporal coordinates of satellites; - acquiring characteristics and spatial and temporal coordinates representative of known positions of interference sources; - acquiring data representative of characteristics of the satellite positioning system; - calculating an impact of the interference sources on the operation of the satellite positioning system for each service and constellation of the GNSS



WO 2025/012131 A1

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

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.

system and for each spatial and temporal observation coordinate as a function of the spatial observation coordinate, of the temporal observation coordinate, of the spatial and temporal coordinates representative of the known positions of the interference sources.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un procédé de calcul et/ou de surveillance d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique comprenant les étapes suivantes : - acquisition de coordonnées spatiales et temporelles d'observation; - acquisition de coordonnées spatio-temporelles des satellites; - acquisition de caractéristiques et de coordonnées spatio-temporelles représentatives de positions connues de sources d'interférence; - acquisition de données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites; - calcul d'un impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites pour chaque service et constellation du système GNSS et pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatio-temporelles représentatives des positions connues des sources d'interférence.

TITRE : Procédé de calcul et/ou de surveillance du fonctionnement d'un système de positionnement par satellites embarqué dans un véhicule, et dispositif et produit programme d'ordinateur associés

5 La présente invention concerne un procédé de calcul et/ou de surveillance du fonctionnement d'un système de positionnement par satellites embarqué dans un véhicule devant évoluer dans une zone géographique et dans une plage horaire.

La présente invention concerne également un produit programme d'ordinateur et un dispositif de calcul et/ou de surveillance associés.

10 Les véhicules de tous types, en particulier les véhicules aériens, terrestres ou navals sont équipés d'un système de positionnement dit par satellites car basé en général sur un récepteur de positionnement par satellites et d'une antenne. Ce système peut également être équipé d'autres senseurs additionnels d'aide au positionnement tels que des centrales inertielles, des senseurs Doppler, des radionavigation, etc. en cas de perte de capacité ou
15 de performance du récepteur de positionnement par satellites. Le système de positionnement par satellites est un ensemble de composants reposant sur une constellation de satellites permettant de fournir à un utilisateur par l'intermédiaire des senseurs le constituant sa position 3D, sa vitesse 3D et l'heure. Le système de positionnement par satellites permet ainsi le positionnement, la navigation et la mesure du
20 temps (Positionnement, Navigation, Temps : PNT) et constitue ainsi un système dit PNT. Dans le domaine de l'aviation civile, les récepteurs de positionnement par satellites sont essentiels à la sécurité des opérations, car ils permettent aux aéronefs d'avoir en permanence une géolocalisation, le temps et une capacité de navigation de façon précise et intègre avec une couverture globale et permanente.

25 Dans le domaine de l'aviation civile, les récepteurs de positionnement par satellites sont utilisés à tous les niveaux : par les aéronefs pour leur système de navigation, par les systèmes de communication, de navigation et de surveillance (CNS) de l'aviation, par la gestion du trafic aérien (en anglais : Air Traffic Management, ATM).

30 De même, l'usage de drones (anglais : Unmanned Aerial Vehicle, UAV) pourvus de récepteurs de positionnement par satellites est en constante augmentation. Ces drones exploitent largement le système de positionnement par satellites. Leurs applications sont de plus en plus nombreuses : livraison commerciale, support logistique en matière de surveillance, de sécurité ou de services d'urgence...et nécessite surveillance et contrôle par la gestion du trafic aérien des drones (anglais : UAV Traffic Management, UTM).

35 La faiblesse de ces récepteurs de positionnement par satellites est leur vulnérabilité aux interférences radiofréquences. En présence d'interférences, leur performance et leur

capacité à fournir un PNT valide et intègre dépend de nombreux paramètres, tels que la qualité du récepteur lui-même, mais aussi des dispositifs de protection embarqués (ex. filtrage), la puissance et le nombre de signaux satellites et d'interférences reçues, les formes d'onde et les fréquences des interférences, le positionnement des émetteurs et la trajectoire 4D du véhicule.

Ces dernières années, les incidents de perturbation du système de positionnement par satellites dus à des sources d'interférence ont augmenté en flèche (en 2022, augmentation de plus de 2 000 % par rapport à 2018), la plupart affectant les vols en route.

L'existence de sources d'interférence (interférence radiofréquence ; anglais Radio Frequency Interference, RFI) comprenant des sources d'interférence involontaires et/ou des brouilleurs de protection intentionnels ont pour effet de dégrader les performances du système de positionnement par satellites, voire rendre indisponible certaines capacités des récepteurs utilisés, telles que l'acquisition, la poursuite, l'intégrité, le traitement bi-fréquences ou multi-constellations, l'utilisation d'un système d'augmentation (ABAS).... Ces sources d'interférence, notamment des brouilleurs de protection intentionnels peuvent être particulièrement nombreux à proximité de certaines zones de conflit par exemple.

Même si les avions peuvent voler en toute sécurité sans système de positionnement par satellites grâce aux senseurs additionnels, l'augmentation massive des sources d'interférence réduit rapidement l'efficacité de l'ensemble du système d'aviation, qui impose une charge de travail plus importante aux pilotes et aux contrôleurs aériens (vérification de localisation, suivi radar), et exige le maintien de services de communication, de navigation et de surveillance complémentaires pour répondre à des exigences plus strictes. 38,5 % du trafic européen en route passe par des régions touchées de façon intermittente mais régulière par les sources d'interférence présentant un risque potentiel pour la sécurité du vol.

En conséquence les sources d'interférence ont un impact direct et nuisible à l'encontre d'un monde aéronautique qui pourtant aspire sans cesse à garantir une meilleure sécurité.

On connaît du document WO 2015/065664 A1 un système permettant de générer une représentation visuelle de sources d'interférence nuisant au fonctionnement d'un système de positionnement par satellites. La représentation visuelle peut comprendre une carte recouverte d'indicateurs visuels indiquant un emplacement et une amplitude de l'interférence.

Toutefois, le système connu ne permet pas de déterminer l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement d'un récepteur par satellites particulier et sur le système de positionnement embarqué, ni l'impact sur les performances et capacités de ce

dernier dans un véhicule devant évoluer dans une zone géographique définie et à différents niveaux d'altitude. Le système connu ne permet pas non plus de déterminer l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement d'un récepteur par satellites à une date et heure précise. Ainsi, le système ne permet pas de prédire ni d'estimer les risques de mauvais fonctionnement du récepteur de positionnement par satellites embarqué lorsque le véhicule se situe à des positions précises dans la zone géographique à un instant précis. De même, le système connu ne permet pas non plus de déterminer l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement d'un système de positionnement par satellites embarqué dans un véhicule devant suivre un plan de vol ou un trajet particulier à une date et heure précise. Enfin, un tel système ne permet pas de réduire les risques de mauvais fonctionnement en proposant un plan de vol ou un trajet 4D assurant un bon fonctionnement du système de positionnement par satellites embarqué.

Le but de l'invention est alors de proposer un procédé de calcul et/ou de surveillance permettant de prédire ou de réduire les risques de mauvais fonctionnement du système de positionnement par satellites utilisé lorsque le véhicule doit évoluer dans une zone géographique, à diverses altitudes et dans une plage horaire données, notamment lorsque le véhicule doit suivre un trajet 4D planifié traversant la zone géographique.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de calcul et/ou de surveillance d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique, le fonctionnement dudit système de positionnement incluant une intégrité, des capacités et des performances de ce système, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- acquisition de coordonnées spatiales et temporelles d'observation, les coordonnées spatiales d'observation se situant dans la zone géographique ;

- acquisition de coordonnées spatio-temporelles des satellites d'un système GNSS pour chaque coordonnée temporelle d'observation ;

- acquisition de caractéristiques et de coordonnées spatio-temporelles représentatives de positions connues de sources d'interférence d'un signal du système GNSS, se situant dans ou à proximité de la zone géographique;

- acquisition de données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites ;

- calcul d'un impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites pour chaque service et constellation du système GNSS et pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation correspondant à cette coordonnée spatiale d'observation, des coordonnées spatio-temporelles des satellites du

système GNSS à la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatio-temporelles représentatives des positions connues des sources d'interférence à la coordonnée temporelle d'observation et des données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites.

5 Le procédé selon l'invention permet ainsi, pour un trajet défini dans l'espace et le temps, de déterminer précisément l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement et les performances du système de positionnement par satellites au cours du temps d'un véhicule évoluant dans la zone géographique. Ainsi, le procédé selon l'invention permet de prédire ou de réduire les risques de mauvais fonctionnement du
10 système de positionnement par satellites de façon précise lorsque le véhicule suit le trajet planifié.

Suivant d'autres aspects avantageux de l'invention, le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

15 - le résultat du calcul d'un impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites comprend au moins un indicateur quantitatif représentatif d'au moins deux capacités et/ou performances choisies parmi une capacité de première acquisition sans initialisation, une capacité de première acquisition avec initialisation, une capacité de ré-acquisition, une capacité de poursuite sans intégrité, une
20 capacité de poursuite avec intégrité, une capacité d'hybridation, une précision du PNT et un rayon d'intégrité ;

- le procédé comporte en outre les étapes suivantes :

25 - obtention d'une trajectoire planifiée du véhicule, la trajectoire planifiée reliant une position de départ à une destination du véhicule et comportant une date de départ du véhicule ou la trajectoire planifiée reliant une position actuelle du véhicule à la destination du véhicule et comportant une date actuelle ; et

30 - détermination des coordonnées spatiales et temporelles d'observation se situant sur la trajectoire planifiée du véhicule à une date estimée à partir de la date de départ du véhicule ou de la date actuelle et d'un temps de trajet estimé pour cette coordonnée spatiale depuis la position de départ du véhicule ou depuis la position actuelle vers cette coordonnée spatiale.

- la trajectoire planifiée du véhicule est obtenue :

35 - en calculant plusieurs trajectoires possibles du véhicule reliant, soit la position de départ à la destination, soit la position actuelle à la destination ;

- en déterminant des coordonnées spatiales et temporelles d'observation se situant sur plusieurs trajectoires possibles du véhicule à une date estimée à

partir de la date de départ du véhicule ou de la date actuelle et d'un temps de trajet estimé pour cette coordonnée spatiale d'observation et cette trajectoire possible depuis la position de départ du véhicule ou depuis la position actuelle vers cette coordonnée spatiale d'observation;

5 - en acquérant les coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS pour chaque coordonnée temporelle d'observation de chaque trajectoire possible ;

10 - en calculant, pour chaque trajectoire possible, l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation associée à cette coordonnée spatiale d'observation, des coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS à la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatio-temporelles
15 représentatives de positions connues des sources d'interférence et des données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites;

20 - en déterminant la trajectoire planifiée parmi les trajectoires possibles en fonction de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation située sur la trajectoire possible ;

- pour chaque trajectoire possible et/ou pour la trajectoire planifiée ou pour tout point de la zone géographique, le calcul de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites comporte le calcul des
25 distances, des élévations et des azimuts de chaque interférence et de chaque satellite du système GNSS à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation de la trajectoire possible et/ou de la trajectoire planifiée et/ou de la zone géographique ;

- le procédé comporte en outre l'étape suivante :

30 - acquisition de données représentatives d'une catégorie du véhicule et/ou d'une forme du véhicule et/ou d'une position de l'antenne sur le véhicule et/ou de caractéristiques de mouvement du véhicule ;

35 - ledit impact sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation est calculé en fonction d'un gain d'antenne de l'antenne du véhicule estimé pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation, à partir des données représentatives de la catégorie du véhicule et/ou de la forme du véhicule et/ou de la position de l'antenne sur le véhicule et/ou d'une

orientation du véhicule à cette coordonnée spatiale et temporelle d'observation estimée sur la base des données représentatives des caractéristiques de mouvement ;

- le procédé comporte en outre l'étape suivante :

- acquisition de données représentatives d'une topographie et d'obstacles de la zone géographique ;

- ledit impact sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiale et temporelle d'observation est en outre calculé en fonction de données représentatives d'une topographie de la zone géographique ;

- le véhicule étant un aéronef, le procédé étant caractérisé par l'étape suivante :

- acquisition de données représentatives de couloirs aériens se situant dans la zone géographique ;

- les trajectoires possibles de l'aéronef reliant, soit la position de départ à la destination, soit la position actuelle à la destination, sont en outre calculées à partir des données représentatives des couloirs aériens, les trajectoires possibles suivant essentiellement les couloirs aériens ;

- l'acquisition des coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence est répétée à intervalles réguliers ;

- le procédé comporte en outre l'étape suivante :

- division de la trajectoire planifiée en une pluralité de tronçons déterminés en fonction de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation situées sur le tronçon respectif notamment si le tronçon est un tronçon avec une prévision de perturbation élevée ou un tronçon avec une prévision de perturbation faible ;

- le procédé comporte en outre l'étape suivante :

- avertissement d'un conducteur et/ou d'un équipage du véhicule lorsque la position actuelle du véhicule s'approche d'un tronçon avec la prévision de perturbation élevée, et/ou en cas de perte de capacité et/ou dégradation de performance ;

- le procédé comporte en outre les étapes suivantes :

- vérification d'un bon fonctionnement, des performances et des capacités du système de positionnement du véhicule à intervalles de temps réguliers vis-à-vis des prédictions;

- si l'écart vis-à-vis des prédictions est supérieur à un seuil, génération d'un message de mise à jour d'une base de données des coordonnées spatiales

représentatives des positions connues de sources d'interférence dans la zone géographique.

- la zone géographique est divisée en une pluralité de cases constituant une grille, la grille comportant de préférence une résolution prédéfinie, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation comportant une pluralité de positions chacune située dans une des cases constituant la grille, de préférence située dans le centre de la case constituant la grille, la zone géographique observées pour un même instant dans le temps, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation se référant toutes à un même instant d'observation.

L'invention concerne également un produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre le procédé de calcul et/ou de surveillance, tel que défini précédemment.

L'invention concerne également un dispositif de calcul et/ou de surveillance d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique, comprenant des moyens techniques adaptés pour mettre en œuvre le procédé de calcul et/ou de surveillance, tel que défini précédemment.

L'invention apparaîtra plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins dans lesquels :

la figure 1 est une représentation schématique d'un dispositif de calcul et/ou de surveillance d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique selon la présente demande ;

la figure 2 est une représentation schématique de plusieurs plans de vol possibles d'un véhicule traversant une zone géographique ;

la figure 3 est une représentation d'une puissance reçue d'une source d'interférence dans la zone géographique dans une bande de fréquence donnée et à un instant donné et une altitude donnée;

la figure 4 est une représentation d'une puissance reçue de la source d'interférence après application du diagramme d'antenne satellite embarquée sur le véhicule dans la zone géographique ;

la figure 5 est une représentation de la densité spectrale de puissance totale de bruit présente dans un récepteur particulier (après réjection, filtrage, corrélation...) vis-à-vis de trois sources d'interférence dans la zone géographique pour trois services d'un système de positionnement par satellites ;

dans la figure 6 :

- la partie A est une représentation des puissances estimées des signaux du système de positionnement par satellites reçus au cours du temps à un point spatial donné de la zone géographique et pour un service donné (ex. L1 C/A);

- la partie B est une représentation du gain d'antenne appliqué à chaque signal satellite reçu par le système de positionnement par satellites au point se situant dans la zone géographique ;

- la partie C est une représentation de la puissance estimée après antenne de chaque signal reçu par le système de positionnement par satellites au point se situant dans la zone géographique ;

la figure 7 est une représentation des capacités estimées du récepteur du système de positionnement par satellites vis-à-vis de trois services et pour toute la zone géographique à un instant t et une altitude donnée;

la figure 8 est une représentation schématique d'une trajectoire planifiée du véhicule divisée en une pluralité de tronçons selon les capacités estimées ;

la figure 9 est une représentation d'une puissance reçue à l'antenne d'une source d'interférence le long d'une trajectoire 4D traversant la zone géographique ;

la figure 10 est une représentation d'une puissance après antenne reçue de la source d'interférence le long de la trajectoire 4D traversant la zone géographique ; et

dans la figure 11 :

- la partie A est une représentation d'une puissance estimée des signaux satellites d'un service donné reçus à l'antenne d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule évoluant le long d'une trajectoire 4D traversant la zone géographique ;

- la partie B est une représentation des gains d'antenne appliqués à chaque signal satellite reçu le long de la trajectoire 4D traversant la zone géographique ;

- la partie C est une représentation de la puissance estimée après antenne de chaque signal du système GNSS reçu le long de la trajectoire 4D traversant la zone géographique,

La figure 1 illustre un dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique Z.

Ce dispositif 10 est apte pour la mise en œuvre d'un procédé de calcul et/ou de surveillance du fonctionnement du système de positionnement par satellites du véhicule dans la zone géographique Z. Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 comprend un module d'entrée 20, un module de traitement 30 et un module de sortie 40.

Le fonctionnement du système de positionnement par satellites au sens de la présente demande peut être décrit par un ou plusieurs critères, de préférence au moins

deux grandeurs, choisis parmi l'intégrité de ce système, une ou plusieurs capacités et une ou plusieurs performances, ces termes étant définis décrits ci-après.

L'intégrité du système de positionnement par satellites est son aptitude à fournir des mesures (par exemple de position, de vitesse, et/ou de temps) sur une sortie, associées avec des garanties de précision. L'intégrité peut notamment être définie comme la capacité du système de positionnement par satellites à fournir une ou plusieurs données de géolocalisation avec un niveau de confiance donné, le système de positionnement pouvant optionnellement comprendre la génération d'un signal d'alerte en cas de perte d'intégrité (invalide) ou d'une valeur d'intégrité dépassant un seuil acceptable. On pourra se référer à la définition de l'annexe 10 à la convention relative à l'aviation civile internationale, 8^{ème} édition, juillet 2023, volume I, supplément D, 3.3.1.

L'intégrité est par exemple décrite par un indicateur binaire (par exemple, validité ou disponibilité) ou encore par un indicateur continu tel que le niveau de confiance sur chacune de l'une ou plusieurs données de géolocalisation ;

Les une ou plusieurs capacités du système de positionnement par satellites comprennent de manière non limitative :

a) la capacité de première acquisition, sans ou avec initialisation, c'est-à-dire la capacité du système de positionnement à acquérir (ou équivalamment à capter ou détecter ou accrocher) pour la première fois un signal émis par un ou plusieurs satellites pour un service GNSS donné (par exemple GPS L1 C/A), notamment au démarrage du système de fonctionnement alors qu'aucun signal satellitaire n'a été encore capté, l'initialisation éventuelle comprenant la fourniture d'une aide au récepteur pour localiser le ou les satellites à rechercher, par exemple un almanach et/ou une position approximative du système de positionnement par satellites et/ou une date-heure ;

b) la capacité de ré-acquisition, c'est-à-dire la capacité du système de positionnement par satellites à retrouver un signal satellitaire capté une première fois à une date de détection et perdu à une date de perte ultérieure à la date de détection ;

c) la capacité de poursuite, sans ou avec intégrité, c'est-à-dire la capacité du système de positionnement par satellites à poursuivre continument dans le temps un signal satellitaire capté une première fois à une date de détection, et ce malgré un éventuel mouvement relatif du récepteur par rapport au satellite et/ou à son environnement terrestre ou aérien. Cette capacité peut être unitaire par satellite ou consolidée afin de déterminer si un PNT peut être calculé et fourni par le récepteur GNSS embarqué (par exemple si au moins quatre satellites sont effectivement poursuivis), et avec quelle précision et intégrité. Dans le cas « avec intégrité », il est entendu que le PNT est obtenu avec un niveau de confiance supérieur à un seuil de confiance prédéterminé ou une valeur de précision inférieure à un

seuil requis (à titre d'exemple la capacité du système de positionnement par satellites peut être sa capacité à fournir une position avec une intégrité inférieure à 0,3 nm). De manière avantageuse, cette capacité à fournir un PNT valide et intègre peut être déterminée au niveau du système de positionnement embarqué lorsqu'il est mis en œuvre en combinaison avec un ou plusieurs senseurs additionnels d'aide au positionnement (tels que des centrales inertielles (hybridation), des senseurs Doppler, des senseurs de radionavigation).

Les capacités du système de positionnement peuvent être chacune caractérisée par un indicateur de disponibilité, notamment par un indicateur de disponibilité par capacité respective, ou par un indicateur global quantitatif, tel qu'un indicateur discret défini entre une valeur minimale et une valeur maximale, chaque valeur discrète indiquant l'ensemble des capacités disponibles. L'indicateur global est par exemple calculé sur la base des capacités calculées unitairement et/ou d'une consolidation des capacités par satellite et/ou par service GNSS. A titre d'exemple non limitatif, la valeur 15 (représentée par le binaire 001111) peut indiquer que seules les capacités de poursuite avec ou sans intégrité, éventuellement avec hybridation et de ré-acquisition sont disponibles mais que les capacités de première acquisition avec ou sans initialisation sont indisponibles à cette position et à cette date pour le système de positionnement par satellites considéré.

La capacité de première acquisition avec ou sans initialisation, la capacité de poursuite avec ou sans intégrité, la capacité de ré-acquisition et la capacité d'hybridation dépendent chacune des caractéristiques intrinsèques du système de positionnement par satellites, notamment de la conception de sa chaîne de mesure, de sa sensibilité ou de sa robustesse à un environnement électromagnétique perturbateur, du positionnement de son antenne sur un véhicule qu'il équipe, des caractéristiques des sources d'interférences (notamment d'une puissance et/ou d'un spectre d'un signal émis par une telle source et/ou de la position au cours du temps de cette source) agissant sur le véhicule et des satellites dont les signaux sont à détecter (constellation et/ou services utilisés par le récepteur, puissance d'émission par service et par satellite, position au cours du temps).

La capacité de ré-acquisition peut être unitaire en ce sens que cette capacité peut être indiquée comme disponible si au moins un satellite précédemment perdu peut être réacquis. Cette capacité peut aussi être une consolidation opérationnelle indiquant qu'un système de positionnement par satellites ne fournissant pas de PNT valide depuis un certain temps a la capacité à une position et une date considérées (position 4D) de réacquérir le nombre de satellites manquant pour fournir un PNT valide (à titre d'exemple, si le récepteur ne poursuit plus que deux satellites, la capacité de ré-acquisition pourra être indiquée comme disponible lorsqu'il sera déterminé que le système de positionnement par

satellites sera en mesure de réacquérir au moins deux autres satellites manquants). De manière analogue,

- la capacité d'acquisition peut être considérée unitairement par satellite et par service GNSS, mais aussi comme la capacité d'acquérir au moins quatre satellites pour un service donné,

- la capacité de poursuite peut être considérée unitairement par satellite et par service GNSS, mais aussi comme la capacité à poursuivre au moins quatre satellites pour un service donné

- la capacité de poursuite avec intégrité peut être considérée comme la capacité à poursuivre au moins cinq satellites pour un service donné ou la capacité du récepteur GNSS à fournir un PNT valide et intègre.

Les performances du système de positionnement par satellites sont définies lorsque celui-ci est en capacité au moins d'acquérir un signal.

Les performances du système de positionnement par satellites peuvent comprendre de manière non limitative, une précision de chaque paramètre du positionnement, de la navigation et de la synchronisation (ou équivalentement, du temps) (en anglais, « positioning, navigation and timing », PNT) et/ou un rayon d'intégrité associé à chaque paramètre du PNT et/ou une rapidité de la chaîne de mesure.

La rapidité de la chaîne de mesure peut notamment être caractérisée par un temps nécessaire à une première acquisition ou à une ré-acquisition d'un signal satellitaire, ces temps dépendant de l'interaction du récepteur avec le satellite dans un environnement donné comprenant de potentielles sources d'interférences, de l'incertitude sur la position et la vitesse du véhicule porteur du système de positionnement par satellites, et/ou de la durée de perte des signaux satellitaires, ainsi que par un temps de réponse du système à un signal à partir de sa réception effective, qui ne dépend que des caractéristiques intrinsèques du système de positionnement.

La précision du PNT à une position donnée du système de positionnement par satellites est, elle aussi, fonction des caractéristiques intrinsèques du système de positionnement, de la dynamique (notamment de l'assiette, du roulis et/ou du cap) du véhicule porteur du système de positionnement par satellites et de l'interaction du système de positionnement par satellites avec son environnement (incluant les satellites et les éventuelles sources d'interférences).

Le module d'entrée 20 et le module de sortie 40 comportent chacun au moins une interface de communication permettant un échange d'informations avec un dispositif de traitement de données tel qu'un serveur ou une interface utilisateur IU par exemple.

Le module de traitement 30 se présente par exemple sous la forme d'un et de plusieurs logiciels stockés dans une mémoire et exécutables par un ou plusieurs processeurs. En variante ou en complément, le module de traitement 30 se présente au moins partiellement sous la forme d'un circuit logique programmable, tel qu'un circuit de type FPGA (de l'anglais « Field-Programmable Gate Array »).

En variante, lorsque le procédé est réalisé sous forme d'un ou plusieurs logiciels, c'est-à-dire sous forme d'un programme d'ordinateur, également appelé produit programme d'ordinateur, il est en outre apte à être enregistré sur un support, non représenté, lisible par ordinateur. Le support lisible par ordinateur est par exemple un medium apte à mémoriser des instructions électroniques et à être couplé à un bus d'un système informatique. A titre d'exemple, le support lisible est un disque optique, un disque magnéto-optique, une mémoire ROM, une mémoire RAM, tout type de mémoire non-volatile (par exemple FLASH ou NVRAM) ou une carte magnétique. Sur le support lisible est alors mémorisé un programme d'ordinateur comprenant des instructions logicielles.

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 permet la mise en œuvre du procédé de calcul et/ou de surveillance du fonctionnement du système de positionnement par satellites du véhicule dans la zone géographique Z. La zone géographique Z peut être une zone géographique fixe, extensible ou mobile. Elle peut être également un couloir autour d'un plan de vol ou d'une trajectoire. Dans la suite, lorsqu'on mentionne « à proximité de la zone géographique Z », on entend une zone géographique élargie incluant la zone géographique Z. Cette zone géographique élargie peut par exemple être définie par une frontière éloignée de la frontière délimitant la zone géographique Z d'une distance prédéterminée.

La zone géographique Z peut être divisée en une pluralité de cases constituant une grille. La grille peut comporter une résolution prédéfinie. Lorsque le procédé effectue une étape pour tout point de la zone géographique, l'étape peut être effectuée, pour chaque case, sur un point se situant dans la case, de préférence au centre de la case. La zone géographique peut ainsi être rastérisée.

Le véhicule est pourvu d'au moins un système de positionnement par satellites comprenant un récepteur, une antenne reliée au récepteur et dans certains exemples, un ou plusieurs dispositifs de robustesse anti-interférences. Le récepteur permet de déterminer sa position et/ou sa vitesse de déplacement, c'est-à-dire aussi la position du véhicule et/ou la vitesse de déplacement du véhicule sur la base de signaux GNSS qu'il reçoit de satellites de navigation. Chaque récepteur peut avoir ses propres caractéristiques et exploiter un ou plusieurs services GNSS. Dans certains exemples, le système de positionnement par satellites comprend en outre un ou plusieurs senseurs additionnels d'aide au

positionnement tels que des centrales inertielle, des senseurs Doppler, de radionavigation, etc.

Les satellites de navigation font partie d'un système GNSS qui peut être un système GPS, Galileo, Glonass, Beidou, SBAS par exemple offrant plusieurs services (à titre
5 d'exemple L1 C/A, L2C) émis sur différentes bandes de fréquences.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une étape d'acquisition de coordonnées spatiales et temporelles d'observation, les coordonnées spatiales d'observation se situant dans la zone géographique Z.

Les coordonnées spatiales et temporelles d'observation comportent une coordonnée
10 spatiale d'observation définissant un point dans la zone géographique et une coordonnée temporelle d'observation associée à la coordonnée spatiale d'observation définissant un instant dans le temps. De préférence, les coordonnées spatiales d'observation sont des coordonnées tridimensionnelles. La coordonnée temporelle d'observation parmi les
15 coordonnées temporelles d'observation acquises intervenant en premier dans le temps et la coordonnée temporelle d'observation parmi les coordonnées temporelles d'observation acquises intervenant en dernier dans le temps peuvent définir une plage temporelle d'observation. La coordonnée spatiale d'observation peut correspondre à une position du véhicule prévue pour un instant correspondant à la coordonnée temporelle d'observation associée à cette coordonnée spatiale d'observation.

20 De façon alternative, la plage temporelle d'observation peut être définie par l'utilisateur en entrant un instant marquant le début de la plage temporelle d'observation et un instant marquant la fin de la plage temporelle d'observation.

L'utilisateur peut être un conducteur du véhicule, un membre de l'équipage du véhicule et/ou une personne en charge de la planification du trajet (route, plan de vol) ou
25 de la sécurité de la circulation (aérienne, navale) par exemple.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une étape d'acquisition de coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS pour chaque coordonnée
temporelle d'observation. Les coordonnées spatio-temporelles des satellites peuvent être
30 acquises en récupérant celles-ci dans une base de données GNSS BDGNSS où elles ont été préalablement déposées. Les coordonnées spatio-temporelles des satellites peuvent également être acquises en récupérant celles-ci dans une mémoire du récepteur ou une mémoire du dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 où elles ont été préalablement déposées.

Les coordonnées spatio-temporelles des satellites peuvent par exemple être des
35 données d'almanach ou des données d'éphémérides. Les données d'almanach et les données d'éphémérides fournissent la position des satellites de navigation dans le ciel à

une date donnée, comme par exemple une parmi les coordonnées temporelles d'observation. Les données d'éphémérides fournissent des données de position plus précises que les données d'almanach. Les données d'éphémérides sont en général stockées dans une base de données actualisée périodiquement pour tenir compte de
5 changements affectant l'orbite des satellites.

La base de données GNSS BDGNSS peut comporter un système de gestion des constellations collectant les données d'almanach et/ou les données éphémérides. Le système de gestion des constellations peut également surveiller et/ou enregistrer les niveaux des signaux GNSS reçus afin d'en déduire les puissances émises pour chaque service par chaque satellite (calibration) et ainsi améliorer la précision des prédictions des
10 niveaux des signaux GNSS reçus dans la zone géographique Z.

A partir des données almanachs et/ou éphémérides, le procédé de calcul et/ou de surveillance et le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 peuvent réaliser la prévision pour chaque constellation des satellites visibles et en bonne santé, des distance/élévation/azimut de chacun à partir de tout point de la zone géographique Z et pendant tout la plage temporelle d'observation souhaitée.
15

Grâce à la détermination de la position des satellites visibles, et, le cas échéant, des mesures réalisées pouvant servir de calibration, le procédé peut mettre en œuvre une étape de calcul de la distance et de la puissance d'un signal reçu de chaque satellite visible en tout point de la zone géographique Z et sur toute la plage temporelle d'observation définie en utilisant des modèles de propagation. En particulier, le procédé peut mettre en œuvre une étape de calcul de la distance et de la puissance d'un signal reçu (par service GNSS) de chaque satellite visible pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation. Ces modèles de propagation peuvent tenir compte d'une perte d'intensité du signal GNSS pendant la propagation du signal GNSS en fonction de la présence d'un espace libre situé entre le récepteur et le satellite et/ou de phénomènes de propagation ionosphérique et/ou de masquage par le terrain et/ou de masquage par des bâtiments.
20
25

Le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une étape d'acquisition de coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence d'un signal du système GNSS couvrant la zone géographique Z. Les coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence peuvent être acquises en récupérant celles-ci dans une base de données où elles ont été préalablement déposées, telle qu'une base de données RFI BDRFI. Selon une possibilité, l'acquisition des coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence peut
30 être répétée à intervalles réguliers.
35

Le procédé de calcul et/ou de surveillance peut en outre comprendre une étape d'acquisition du spectre (fréquence centrale, largeur de bande) et de la forme d'onde et/ou type de modulation du signal d'interférence émis par chaque source d'interférence connue et/ou d'une puissance moyenne du signal d'interférence émis par chaque source d'interférence connue dans la zone géographique Z et/ou d'une puissance minimale du signal d'interférence émis par chaque source d'interférence connue dans la zone géographique Z et/ou d'une puissance maximale du signal d'interférence émis par chaque source d'interférence connue dans la zone géographique Z. Le spectre, la forme d'onde et le type de modulation du signal d'interférence et/ou la puissance moyenne du signal d'interférence et/ou la puissance minimale du signal d'interférence et/ou la puissance maximale du signal d'interférence peut/peuvent être acquise(s) en récupérant celle(s)-ci dans une base de données où elle(s) a/ont été préalablement déposées, telle que la base de données RFI BDRFI.

La base de données RFI BDRFI peut être alimentée par un système de détection / localisation / recensement / caractérisation des sources d'interférence. Le système de détection / localisation / recensement / caractérisation des sources d'interférence peut être apte à recueillir des données provenant de multiples observations (sol, air, espace), par des moyens divers tel que des radars, des enregistrements de vols (commerciaux, fret), des bateaux, se situant de préférence à proximité ou dans la zone géographique Z. Ce système pourrait par exemple être géré par un organisme international (ex. Organisation européenne pour l'équipement de l'aviation civile : EUROCAE, CNS). Ce système peut être apte à analyser et consolider les données provenant des multiples observations déposées sur un réseau via un traitement d'intelligence artificielle en s'appuyant sur des données des sources d'interférence connues stockées dans la base de donnée RFI et/ou des informations remontées par le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 afin de générer / mettre à jour en permanence la base de donnée RFI. Cette base de donnée RFI peut être mondiale ou limitée à une région et est directement exploitée par le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10.

Les sources d'interférence peuvent être stationnaires et/ou émettre le signal d'interférence de façon continue. Les sources d'interférence peuvent également être mobiles et/ou émettre le signal d'interférence de façon intermittente et/ou être constituées de différents types de modulation et autres caractéristiques dynamiques. Dans ce cas, le procédé peut comporter une étape d'acquisition de données représentatives de mouvements attendus des sources d'interférence et/ou de données représentatives des caractéristiques d'émission des sources d'interférence telles qu'une chronologie d'émission du signal d'interférence attendue, d'une modulation du signal d'interférence et/ou d'autres

caractéristiques dynamiques. Les données représentatives de mouvements attendus des sources d'interférence et/ou les données représentatives des caractéristiques d'émission des sources d'interférence peuvent être acquises en récupérant celles-ci dans une base de données où elles ont été préalablement déposées, telle que la base de données RFI BDRFI.

L'étape d'acquisition de coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence peut consister en une acquisition de coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence potentiellement nuisibles pour la zone géographique Z et la plage temporelle d'observation concernées. Cette étape permet de limiter la taille mémoire de la base de données RFI BDRFI et d'effectuer des calculs uniquement sur des sources d'interférence considérés à risque pour la sécurité du trajet.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance peut en outre comprendre une étape d'obtention d'un résultat souhaité en terme de probabilité. Le résultat souhaité en terme de probabilité peut correspondre à un scénario au pire (anglais : worst case) à un scénario au mieux (anglais : best case) ou un scénario moyen (anglais : average case) ou un scénario le plus probable, par exemple. Le résultat souhaité en terme de probabilité peut par exemple être obtenu par une entrée de l'utilisateur effectuée à l'aide de l'interface utilisateur IU ou en récupérant celui-ci dans une base de données où il a été préalablement déposé.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance peut en outre comprendre une étape d'obtention d'une prévision météorologique pour la zone géographique Z et la plage temporelle d'observation. La prévision météorologique peut par exemple être obtenue en récupérant celle-ci dans une base de données où il a été préalablement déposée, tel qu'une base de données météo.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une étape d'acquisition de données représentatives des caractéristiques du système de positionnement par satellites. Ces caractéristiques comprennent des caractéristiques du récepteur et/ou de l'antenne installée et/ou éventuellement de l'un ou plusieurs senseurs additionnels et/ou de l'un ou plusieurs dispositifs de robustesse anti-interférences.

Les caractéristiques de l'antenne du véhicule peuvent notamment comporter un diagramme d'antenne donnant le gain pour chaque azimuth/élévation.

De manière avantageuse, ce diagramme d'antenne est représentatif du diagramme de l'antenne après installation sur le véhicule, de manière à tenir compte des variations de gain induites par le mouvement du véhicule du fait d'une position spécifique du système de positionnement sur ce véhicule. Par exemple, le diagramme d'antenne peut prendre en compte d'éventuels masquages, ou atténuations dus au véhicule, notamment à un plan de

masse du véhicule. A titre d'exemple, l'installation de l'antenne et la position d'une aile d'un aéronef par rapport au système de positionnement par satellites lorsqu'il équipe cet aéronef peut affecter le diagramme d'antenne par rapport au diagramme d'antenne obtenu avec ce même système de positionnement par satellites seul.

5 Les caractéristiques du récepteur de positionnement par satellites embarqué dans le véhicule peuvent notamment comporter le modèle mathématique et/ou les performances et précisions du récepteur, les constellations, services et bandes de fréquences exploités, la robustesse aux interférences et/ou les dispositifs de protection embarqués, la largeur de bande passante RF, les seuils des capacités (à titre d'exemple, capacité d'acquisition de satellite pour un $C/N_0 > 36$ dB-Hz, capacité de poursuite pour un $C/N_0 > 28$ dB-Hz), les temps d'acquisition et de ré-acquisition des satellites.

10 Les caractéristiques du système de positionnement par satellites embarqué dans le véhicule peuvent notamment comporter les performances et précisions d'un ou plusieurs senseurs additionnels, leur possible participation à l'élaboration du PNT du véhicule et de leur précision notamment lors de la perte de certaines capacités du récepteur GNSS (ex. passage en mode Inertie ou RadioNav lorsque la position issue du récepteur GNSS est imprécise et/ou non intègre et/ ou invalide).

15 Les données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites peuvent être acquises en récupérant celles-ci dans une base de données où elles ont été préalablement déposées, telle qu'une base de données de récepteurs connus BDRC et/ou une base de données d'antennes connues BDAC. Les données représentatives de caractéristiques du récepteur et/ou de l'antenne peuvent également être acquises en récupérant celles-ci dans une mémoire du récepteur.

20 Les données représentatives de caractéristiques du récepteur et/ou de l'antenne peuvent correspondre à des caractéristiques d'un récepteur standard et/ou d'une antenne standard. De façon alternative, les données représentatives de caractéristiques du récepteur et/ou de l'antenne peuvent correspondre à des caractéristiques d'un type de récepteur correspondant au récepteur concrètement installé dans le véhicule et/ou d'un type d'antenne correspondant à l'antenne concrètement installée dans le véhicule.

25 Le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une étape de calcul de l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites pour chaque coordonnée spatiale et temporelle en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation correspondant à cette coordonnée spatiale d'observation, des coordonnées spatio-temporelles des satellites à la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatio-temporelles représentatives des positions connues à la coordonnée temporelle d'observation des sources d'interférence

30

35

acquises et des données représentatives des caractéristiques du système de positionnement par satellites.

Le résultat du calcul d'impact des sources d'interférence peut comprendre, pour l'ensemble des sources de manière cumulative, la fourniture d'un ou plusieurs indicateurs quantitatifs de critères représentatifs du fonctionnement du système de positionnement, notamment d'une ou plusieurs capacités telles que la capacité de première acquisition sans ou avec initialisation, la capacité de ré-acquisition, la capacité de poursuite sans ou avec intégrité, la capacité d'hybridation et/ou d'un ou plusieurs indicateurs des performances du système, tels qu'une précision du PNT et/ou un rayon d'intégrité, et/ou une rapidité de la chaîne de mesure.

Le résultat du calcul d'impact des sources d'interférence peut aussi comprendre la fourniture d'une variation absolue ou relative d'un ou plusieurs de ces indicateurs quantitatifs de critères représentatifs du fonctionnement du système de positionnement par rapport à une valeur de référence respective nominale ou prédéterminée.

A titre d'exemple, le résultat du calcul d'impact des sources d'interférence pour chaque coordonnée spatiale et temporelle peut se présenter sous la forme d'un multiplet comprenant au moins deux capacités différentes, par exemple un multiplet (PA, P, RA, PI, NC) où PA est un indicateur binaire représentatif de la capacité de première acquisition sans initialisation, P est un indicateur binaire de la capacité de poursuite avec intégrité, RA est un indicateur binaire de la capacité de ré-acquisition, PI est un indicateur binaire de la capacité de poursuite avec intégrité au niveau de confiance NC.

Le résultat du calcul d'impact des sources d'interférence peut également se présenter sous la forme d'une valeur numérique pour un service donné dont chaque bit représente une capacité (par exemple, la valeur 13 représentée par le binaire 0001111 peut indiquer que les quatre premières capacités sont disponibles), ou de manière unitaire par satellite et par service (par exemple, sous forme d'une table de 32 satellites GPS service L1 C/A (colonnes) dont les capacités en acquisition (A), en ré-acquisition (R), en poursuite (P) sont déterminées sur toute la plage temporelle d'observation à une position donnée de la zone géographique et/ou le long de la trajectoire 4D du véhicule).

A la différence des procédés connus, le calcul d'impact est fait sur la base non seulement de caractéristiques extrinsèques au système de positionnement, telles que les positions relatives des sources d'interférences et des satellites, mais aussi de caractéristiques intrinsèques au système de positionnement (par exemple la conception de sa chaîne de mesure, ainsi que de caractéristiques représentatives de l'interaction entre le système de positionnement et son environnement direct, notamment l'installation et la position du système de positionnement par satellites et de son antenne sur le véhicule et la

position et la dynamique du véhicule (incluant l'assiette, le roulis, le cap, ...) relativement aux satellites et aux sources d'interférences, qui ont un impact significatif sur le fonctionnement du système.

Le calcul d'impact selon l'invention permet donc d'aller bien au-delà de la fourniture
5 d'une carte de brouillage.

L'étape de calcul de l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites peut ainsi comporter le calcul des distances, élévations, et/ou azimut afin d'en déterminer la puissance reçue de chaque source d'interférence pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation, c'est-à-dire
10 soit à chaque position sur le trajet déterminée pour la date estimée à laquelle le véhicule se situe à cette position, soit en tout point de la zone géographique Z et sur toute la plage temporelle d'observation définie, en utilisant des modèles de propagation tenant en compte une perte pendant la propagation du signal d'interférence de cette source d'interférence considérant, le cas échéant, la longueur d'onde du signal d'interférence et/ou la prévision
15 météorologique pour la zone géographique Z et/ou le masquage terrain, ainsi que des caractéristiques du système de positionnement par satellites.

L'étape de calcul de l'impact de chaque source d'interférence du système de positionnement par satellites peut comprendre le calcul d'un gain d'antenne estimé, par exemple sur la base des élévations et/ou des azimuts calculés et des attitudes du véhicule.

L'étape de calcul d'un impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites peut être effectuée en fonction du résultat souhaité en terme de probabilité. Lorsque le résultat souhaité en terme de probabilité correspond au scénario au pire, l'étape de calcul d'un impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites peut se
20 baser sur la puissance maximale du signal d'interférence de la source d'interférence respective, par exemple. Lorsque le résultat souhaité en terme de probabilité correspond au scénario au mieux, l'étape de calcul d'un impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites peut se baser sur la puissance
25 minimale du signal d'interférence de la source d'interférence respective, par exemple. Lorsque le résultat souhaité en terme de probabilité correspond au scénario moyen et/ou le plus probable, l'étape de calcul d'un impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites peut se baser sur la puissance
30 moyenne et/ou la plus probable du signal d'interférence de la source d'interférence respective, par exemple.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance peut en outre comporter les étapes
35 suivantes :

- obtention d'une trajectoire planifiée TPR du véhicule, la trajectoire planifiée TPR reliant une position de départ PD à une destination du véhicule et comportant une date de départ du véhicule ou la trajectoire planifiée TPR reliant une position actuelle PA du véhicule à la destination du véhicule et comportant une date
5 actuelle ; et
- détermination des coordonnées spatiales et temporelles d'observation se situant sur la trajectoire planifiée TPR du véhicule à une date estimée à partir de la date de départ du véhicule ou de la date actuelle et d'un temps de trajet estimé pour cette coordonnée spatiale depuis la position de départ du véhicule ou depuis la
10 position actuelle vers cette coordonnée spatiale.

Les coordonnées spatiales définissant la position de départ PD, la position actuelle PA du véhicule et/ou la destination peuvent par exemple être acquises par une entrée d'un utilisateur effectuée à l'aide de l'interface utilisateur IU. Ces coordonnées spatiales peuvent également être acquises en récupérant celles-ci dans une base de données où elles ont
15 été préalablement déposées. Ces coordonnées spatiales peuvent par exemple être récupérées dans une base de données des Services de la Circulation Aérienne BDSCA à partir d'un plan de vol (anglais : flight plan ou FPLN) préalablement déposé dans cette dernière. Les coordonnées spatiales définissant la position actuelle PA du véhicule peuvent par exemple être acquises par le biais du récepteur.

20 La trajectoire planifiée TPR peut par exemple correspondre à un trajet du véhicule préalablement défini ou calculé. La trajectoire planifiée TPR peut par exemple être obtenue par une entrée de l'utilisateur effectuée à l'aide de l'interface utilisateur IU ou en récupérant celle-ci dans une base de données où elle a été préalablement déposée. La trajectoire planifiée TPR peut se limiter à un plan de vol et par exemple être récupérée de la base de
25 données des Services de la Circulation Aérienne BDSCA où elle est stockée en tant que plan de vol déposé ou être une trajectoire précise liée aux capacités du porteur issue d'un calculateur de trajectoire ou d'un FMS (anglais : Flight Management System).

Le procédé de calcul et/ou de surveillance comprend une étape de calcul d'une date d'arrivée estimée pour la trajectoire planifiée TPR. La date d'arrivée estimée peut être
30 obtenue en additionnant un temps de trajet estimé à la date de départ. Le temps de trajet estimé peut être estimé à partir de temps de trajets antérieurs suivant le même itinéraire ou un itinéraire similaire parcouru par d'autres véhicules ou à partir de simulations tenant entre autre en compte les propriétés du véhicule ou en la récupérant depuis la trajectoire 4D.

La date de départ et la date d'arrivée estimée peuvent définir la plage temporelle
35 d'observation.

Selon une possibilité, la date départ peut être la date d'entrée dans la zone géographique Z et date d'arrivée peut être la date de sortie de la zone géographique.

Le procédé de calcul et/ou de surveillance peut comprendre une étape de détermination de plusieurs positions situées sur la trajectoire planifiée TPR et, pour chacune de ces positions, détermination d'une date estimée à laquelle le véhicule se situe à la position respective. Les dates et positions se situant sur la trajectoire planifiée peuvent ainsi chacune constituer une des coordonnées spatiales et temporaires d'observation. La date estimée à laquelle le véhicule se situe à la position respective peut être estimée à partir de temps de trajets antérieurs suivant le même itinéraire ou un itinéraire similaire parcouru par d'autres véhicules ou à partir d'un calculateur tenant entre autre en compte les propriétés du véhicule.

Les positions situées sur la trajectoire planifiée TPR peuvent être espacées les unes des autres de façon équidistante. Le nombre de positions choisies permet de définir une résolution souhaitée. La résolution souhaitée peut être définie par un utilisateur, par exemple en entrant la résolution souhaitée dans l'interface utilisateur IU. La résolution souhaitée peut être définie en terme de période temporelle ou en terme de distance. Deux positions consécutives peuvent être espacées de 10 secondes ou de 0,2 miles marins par exemple.

Les étapes du procédé mentionnées peuvent être répétées, de préférences répétées à intervalles réguliers. Les étapes du procédé mentionnées peuvent par exemple être répétées lorsque le véhicule a parcouru une partie de son itinéraire. Les étapes du procédé mentionnées peuvent alors être répétées en considération de la position actuelle du véhicule.

Selon une possibilité, la trajectoire planifiée TPR du véhicule est obtenue :

- en calculant plusieurs trajectoires possibles TPO du véhicule reliant, soit la position de départ PD à la destination, soit la position actuelle PA à la destination ;
- en déterminant des coordonnées spatiales et temporelles d'observation se situant sur les plusieurs trajectoires possibles TPO du véhicule à une date estimée à partir de la date de départ du véhicule ou de la date actuelle et d'un temps de trajet estimé pour cette coordonnée spatiale d'observation et cette trajectoire possible TPO depuis la position de départ du véhicule ou depuis la position actuelle vers cette coordonnée spatiale d'observation ;
- en calculant les coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS pour chaque coordonnée temporelle d'observation de chaque trajectoire possible TPO ;

- en calculant, pour chaque trajectoire possible TPO, l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation associée à cette coordonnée spatiale d'observation, des coordonnées spatiales des satellites du système GNSS à la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatiales représentatives des positions connues des sources d'interférence acquises à la coordonnée temporelle d'observation, des caractéristiques des sources d'interférence et des données représentatives des caractéristiques du système de positionnement par satellites et/ou de l'antenne du véhicule ;
- en déterminant la trajectoire recommandée TPR parmi les trajectoires possibles TPO en fonction de l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation située sur chaque trajectoire possible TPO.

Ce procédé permet ainsi de proposer et/ou classer différentes trajectoires TPO ou plans de vol à un opérateur en fonction de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement et notamment sur les capacités et performances du récepteur et/ou système de localisation embarqué sur la trajectoire respective afin de pouvoir sélectionner une trajectoire planifiée TPR à partir des trajectoires possibles TPO.

Lorsque le véhicule est un aéronef, le procédé permet la préparation de plan de vol (FPLN) en prenant en considération les contraintes de présence de sources d'interférence dans la zone géographique Z et des prédictions de pertes des capacités du récepteur au cours du vol selon la configuration spatiale et l'aéronef utilisé.

Selon une possibilité, la trajectoire recommandée en tant que TPR peut correspondre à la trajectoire possible TPO présentant l'impact le plus faible sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites. Selon une alternative, la trajectoire recommandée en tant que TPR peut correspondre à la trajectoire possible TPO présentant un impact sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites en dessous d'un seuil prédéfini (ex. PNT valide, intègre avec précision < 0,1nm à 95%) et présentant un temps de trajet du véhicule minimal et/ou une consommation de carburant du véhicule minimale.

Selon une caractéristique préférentielle, pour chaque trajectoire possible TPO et/ou pour la trajectoire planifiée TPR, le calcul de l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites comporte le calcul des

élevations, des azimuts et des distances de chaque satellite du système GNSS à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation de la trajectoire possible TPO et/ou de la trajectoire planifiée TPR.

Le procédé peut en outre comporter une étape d'acquisition de données représentatives d'une catégorie du véhicule et/ou d'une forme du véhicule et/ou d'une position de l'antenne sur le véhicule et/ou de caractéristiques de mouvement du véhicule (attitudes), l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation étant calculé en fonction du gain d'antenne de l'antenne du véhicule estimé pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation, à partir des données représentatives de la catégorie du véhicule et/ou de la forme du véhicule et/ou de la position de l'antenne sur le véhicule et/ou d'une orientation 3D (attitudes) du véhicule à cette coordonnée spatiale et temporelle d'observation sur la base des données représentatives des caractéristiques de mouvement et des performances dynamiques du véhicule.

Les données représentatives de la catégorie du véhicule et/ou de la forme du véhicule et/ou de la position de l'antenne sur le véhicule et/ou de caractéristiques de mouvement du véhicule peuvent être acquises en récupérant celles-ci dans une base de données où elles ont été préalablement déposées, telle qu'une base de données de véhicules et/ou issues d'un simulateur de vol et/ou calculateur de trajectoire. Par « catégorie du véhicule », on entend le type de véhicule choisi par exemple entre véhicule terrestre, avion, hélicoptère, drone, etc.

Le procédé peut en outre comporter une étape d'acquisition de données représentatives d'une topographie de la zone géographique Z, l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation étant en outre calculé en fonction de données représentatives d'une topographie de la zone géographique Z.

Les données représentatives de la topographie de la zone géographique Z peuvent être acquises dans une base de données dite base de donnée MNE (Modèle Numérique d'Élévation) BDMNE. Les données représentatives de la topographie de la zone géographique Z peuvent comporter des données représentatives d'obstacles tel que des bâtiments et des données d'un modèle numérique du terrain (MNT). Les données représentatives de la topographie permettent d'évaluer des masquages et des pertes de propagation des signaux, utiles et nuisibles, tels que les signaux GNSS ou les signaux d'interférence émis par les sources d'interférence. Ces bases de données sont notamment utiles pour les applications drone ou navales, c'est-à-dire lorsque le véhicule est un drone

ou un bateau. Elles sont également utiles dans les applications terrestres et de vols à basse altitude.

L'étape de calcul d'un impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du récepteur peut comporter le calcul des distances, élévations, et/ou azimut et la puissance reçue de chaque source d'interférence pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation, c'est-à-dire soit à chaque position sur le trajet déterminée pour la date estimée à laquelle le véhicule se situe à cette position, soit en tout point de la zone géographique Z et sur toute la plage temporelle d'observation définie, en utilisant des modèles de propagation précis tenant en outre en compte la perte pendant la propagation du signal d'interférence de cette source d'interférence considérant la topographie du terrain, par application d'équations de Fresnel par exemple.

Lorsque le véhicule est un aéronef, le procédé peut en outre comporter une étape d'acquisition de données représentatives de couloirs aériens se situant dans la zone géographique Z, les trajectoires possibles TPO de l'aéronef reliant, soit la position de départ PD à la destination, soit la position actuelle PA à la destination, étant en outre calculées à partir des données représentatives des couloirs aériens, les trajectoires possibles TPO suivant essentiellement les couloirs aériens.

Telles que représentées dans la figure 2, les trajectoires possibles TPO et/ou la trajectoire recommandée en tant que trajectoire planifiée TPR peut/peuvent comporter une pluralité de points de cheminement (anglais : waypoint) PC1 à PC7 constituant différents plans de vol. Ces plans de vol peuvent coïncider avec les couloirs aériens. La position de départ PD, la position actuelle PA et/ou la destination peut/peuvent constituer des points de cheminement PC1 à PC7. Dans la figure 2, les points de cheminement PC1 à PC7 sont représentés par des étoiles.

Telle que représentée dans la figure 2, la zone géographique Z peut comporter une zone à risque de perturbation faible ZF, une zone à risque de perturbation moyen ZM et/ou une zone à risque de perturbation élevé ZE. La trajectoire planifiée TPR peut être déterminée à partir de quatre trajectoires possibles TPO. Dans l'exemple donné par la figure 2, la trajectoire planifiée TPR choisie (PC1 – PC2 – PC3 – PC4) à partir des quatre trajectoires possibles TPO peut traverser durant une courte durée la zone à risque de perturbation moyen ZM. De façon alternative, la trajectoire planifiée TPR peut être choisie de sorte à rester dans la zone à risque de perturbation faible ZF (PC1 – PC2 – PC3 – PC5), c'est-à-dire sans traverser la zone à risque de perturbation moyen ZM ou la zone à risque de perturbation élevé ZE en effectuant un détour plus important.

Les données représentatives de couloirs aériens peuvent être acquises en récupérant celles-ci dans une base de données où elles ont été préalablement déposées,

tel qu'une base de données de couloirs aériens. La base de données de couloirs aériens peut par exemple être une base de données de navigation standard selon un format dit ARINC 424.

Le procédé peut en outre comporter une étape de division de la trajectoire planifiée TPR et/ou des différentes trajectoires TPO en une pluralité de tronçons, et une étape de détermination, pour chaque tronçon, à partir de l'impact de chaque source d'interférence sur le fonctionnement du récepteur à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation situées sur le tronçon respectif, si le tronçon est un tronçon avec une prévision de perturbation élevée TPE ou un tronçon avec une prévision de perturbation faible TPF ou, le cas échéant, un tronçon avec une prévision de perturbation moyenne TPM.

La prévision de perturbation faible TPF peut correspondre à une probabilité élevée de bon fonctionnement du récepteur et/ou une probabilité élevée d'une intégrité du signal GNSS, par exemple. La prévision de perturbation élevée TPE peut correspondre à une probabilité élevée de mauvais fonctionnement du récepteur et/ou une probabilité élevée de perte du PNT GNSS, par exemple. La prévision de perturbation moyenne TPM peut correspondre à une probabilité élevée de dégradation de performance du récepteur et/ou une probabilité élevée d'une perte d'intégrité du signal GNSS, par exemple.

Le procédé peut en outre comporter une étape d'avertissement d'un conducteur (ou pilote) du véhicule et/ou d'un équipage du véhicule lorsque la position actuelle du véhicule s'approche d'un tronçon avec prévision de perturbation élevée TPE ou, le cas échéant, d'un tronçon avec prévision de perturbation moyenne TPM. L'étape d'avertissement du conducteur peut comporter un avertissement d'une perte d'intégrité, de capacité et ou de performance du récepteur du véhicule. Lorsque le véhicule est un aéronef, l'étape d'avertissement peut comporter une alerte pour prévenir le pilote en tant que conducteur de l'aéronef et/ou l'équipage de l'aéronef d'un dépassement imminent de RNP (anglais : Required Navigation Performance) et/ou d'une perte de capacités imminente du récepteur (par exemple 2 minutes avant la perte de capacité d'acquisition) et/ou d'un passage imminent à un mode de navigation sans faire usage du système de positionnement par satellite (anglais : coasting) afin de pouvoir anticiper et gérer la panne de perte imminente de disponibilité du PNT GNSS en toute sérénité et améliorer la sécurité du vol. Le défaut du récepteur est susceptible de provoquer un stress parmi le conducteur et/ou l'équipage. Ainsi, la possibilité d'être prévenu en avance de ce défaut permet au conducteur du véhicule et/ou à l'équipage du véhicule de se préparer à cette situation et ainsi réduire le risque de stress parmi le conducteur et/ou l'équipage du véhicule.

Le procédé peut en outre comporter une fonction de surveillance consistant à vérifier le fonctionnement du système de positionnement par satellites et/ou des rapports signaux sur bruit, en temps réel ou à intervalles de temps réguliers, vis-à-vis des prédictions. Par exemple, lorsqu'un bon fonctionnement du récepteur est détecté alors que la position actuelle du véhicule se situe sur un tronçon avec prévision de perturbation élevée TPE ou, le cas échéant, sur un tronçon avec prévision de perturbation moyenne TPM, ou lorsqu'un mauvais fonctionnement du récepteur est détecté alors que la position actuelle du véhicule se situe sur un tronçon avec prévision de perturbation faible TPF, le procédé peut comporter un étape de génération d'un message de mise à jour d'une base de données des coordonnées spatiales et temporelles à des fins de mise à jour des positions connues de sources d'interférence dans la zone géographique Z. Lorsqu'un bon fonctionnement du récepteur est détecté alors que la position actuelle du véhicule se situe sur un tronçon avec prévision de perturbation élevée TPE ou sur un tronçon avec prévision de perturbation moyenne TPM, ce message de mise à jour peut comporter une information indiquant une disparition d'au moins une source d'interférence et/ou une atténuation du signal d'interférence d'au moins une source d'interférence à la date/heure d'observation. Lorsqu'un mauvais fonctionnement du récepteur est détecté alors que la position actuelle du véhicule se situe sur un tronçon avec prévision de perturbation faible TPF, ce message de mise à jour peut comporter une information indiquant une apparition d'au moins une source d'interférence et/ou une amplification du signal d'interférence d'au moins une source d'interférence à la date/heure d'observation.

Ainsi, le procédé surveille et compare en temps réel les mesures et les risques de perturbation et assure un rebouclage pour permettre de maintenir à jour la base de donnée RFI. La disparition d'une perturbation prédite permet d'extrapoler une disparition ou atténuation d'une des sources de bouillage connues. La présence d'une perturbation intervenant sans avoir été prédite permet d'extrapoler une apparition d'une nouvelle source d'interférence ou une amplification d'une des sources de bouillage connues. Ces informations peuvent alors être transmises afin qu'un centre de surveillance mette à jour base de donnée RFI après recoupage des différentes informations reçues.

Le procédé peut en outre être caractérisé en ce que la zone géographique Z soit divisée en une pluralité de cases constituant une grille, la grille comportant de préférence une résolution, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation comportant une pluralité de positions chacune située dans une des cases constituant la grille, de préférence située dans le centre de la case constituant la grille, la zone géographique observées pour un même instant dans le temps. De préférence, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation se réfèrent toutes à un même instant d'observation.

Selon une possibilité, la pluralité de cases constituant la grille peut être disposée de façon tridimensionnelle. La grille peut par exemple comporter une couche de fond se situant à la hauteur du sol et au moins une couche élevée correspondant à une altitude définie tel que par exemple une altitude de croisière d'un avion de ligne. L'altitude définie peut par exemple être définie par l'utilisateur. L'utilisateur peut entrer l'altitude définie souhaitée dans l'interface utilisateur IU.

La résolution peut être une résolution prédéfinie ou une résolution définie par l'utilisateur, par exemple en entrant la résolution souhaitée dans l'interface utilisateur IU.

Ainsi, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation peuvent soit correspondre à des positions se situant sur un trajet défini par une trajectoire planifiée TPR et/ou une trajectoire possible TPO ou à des positions définissant la grille.

Le procédé peut en outre comporter une étape de détermination du niveau de signaux des satellites du système GNSS reçus pour le/les service(s) utilisé(s). L'étape de détermination du niveau de signaux des satellites du système de positionnement peut être effectuée pour toutes les coordonnées spatiales et temporelles d'observation acquises, c'est-à-dire soit pour toute position dans la zone géographique Z et/ou sur toute la plage temporelle d'observation soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions. Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du niveau de signaux des satellites du système GNSS reçus pour une position donnée dans la zone géographique pendant la durée d'observation définie et/ou au cours du suivi de la trajectoire. Une telle représentation graphique est donnée dans la figure 6A (point défini) et la figure 11A (au cours du suivi d'une trajectoire) à titre d'exemple.

Le procédé peut en outre comporter une étape de détermination du gain d'antenne du récepteur. La détermination du gain d'antenne peut prendre en compte les caractéristiques de l'antenne du véhicule installée et/ou la position de l'antenne du véhicule et/ou la forme du véhicule, en vue d'un éventuel masquage de l'antenne par le véhicule par exemple. Cette étape de détermination peut en outre tenir compte des caractéristiques de mouvement du véhicule, telles que des attitudes maximales du véhicule (ex. roulis, pente), lorsque le véhicule est un aéronef par exemple. De façon alternative ou additionnelle, cette étape de détermination peut en outre tenir compte des attitudes estimées du véhicule à chaque position observée au cours du suivi de la trajectoire TPR et/ou TPO. Par exemple, lorsque le véhicule est un aéronef et lorsque l'aéronef est prévu de se déplacer en ligne droite, tel qu'un vol à plat, l'étape de détermination peut en outre prendre en compte que l'aéronef présente une attitude horizontale, dans laquelle l'antenne se situe au-dessus du fuselage de l'aéronef et prend une orientation verticale.

L'étape de détermination du gain d'antenne peut être effectuée pour toutes les coordonnées spatiales et temporelle d'observation acquises, c'est à dire soit pour toute position dans la zone géographique Z et/ou sur toute la plage temporelle d'observation soit pour toutes le postions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions. Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du gain d'antenne pour une position donnée dans la zone géographique pendant la durée d'observation définie et/ou au cours du suivi de la trajectoire. Une telle représentation graphique est donnée dans la figure 6B et la figure 11B à titre d'exemple.

Le procédé peut en outre comporter une étape de détermination du niveau de signaux des satellites du système GNSS après antenne reçus. La détermination du niveau de signaux après antenne reçus peut prendre en compte les caractéristiques de l'antenne du véhicule installée et/ou la position de l'antenne du véhicule et/ou la forme du véhicule, en vue d'un éventuel masquage de l'antenne par le véhicule par exemple. Cette étape de détermination peut en outre tenir compte des caractéristiques de mouvement du véhicule, telles que les attitudes maximales du véhicule, lorsque le véhicule est un aéronef par exemple. L'étape de détermination du niveau de signaux après antenne reçus des satellites du système GNSS peut être effectuée pour toutes les coordonnées temporelles d'observation acquises, c'est-à-dire soit pour toute position dans la zone géographique Z et/ou sur toute la plage temporelle d'observation soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions. Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du niveau de signaux après antenne des satellites du système GNSS reçus pour une position donnée dans la zone géographique pendant la durée d'observation définie et/ou au cours du suivi de la trajectoire. Une telle représentation graphique est donnée dans la figure 6C et la figure 11C à titre d'exemple.

De la même manière, le procédé peut en outre comporter une étape de détermination du niveau des signaux d'interférence reçus pour chaque source d'interférence connue. L'étape de détermination du niveau des signaux d'interférence reçus peut être effectuée pour toutes les coordonnées temporelles d'observation acquises, c'est-à-dire soit pour toute position dans la zone géographique Z et/ou sur toute la plage temporelle d'observation soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions. Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du niveau de signaux d'interférence reçus pour une source d'interférence connue et/ou pour l'ensemble des sources d'interférences dans une bande de fréquence GNSS particulière dans laquelle une

représentation graphique du niveau de signaux d'interférence reçus est affichée à l'utilisateur pour la durée d'observation définie et/ou au cours du suivi de la trajectoire. Une telle représentation graphique est donnée dans la figure 3 (pour la zone Z) et la figure 9 (le long de la trajectoire) à titre d'exemple.

5 Le procédé peut en outre comporter une étape de détermination du gain d'antenne du récepteur vis-à-vis de chacune des sources d'interférence. La détermination du gain d'antenne peut prendre en compte les caractéristiques de l'antenne du véhicule installée et/ou la position de l'antenne du véhicule et/ou la forme du véhicule, en vue d'un éventuel masquage de l'antenne par le véhicule par exemple. Cette étape de détermination peut en outre tenir compte des caractéristiques de mouvement du véhicule, tel que des attitudes maximales du véhicule, lorsque le véhicule est un aéronef par exemple. De façon alternative ou additionnelle, cette étape de détermination peut en outre tenir compte des attitudes estimées du véhicule à chaque position observée au cours du suivi de la trajectoire TPR et/ou TPO. Lorsque l'aéronef présente une attitude horizontale, le fuselage masque partiellement les signaux d'interférence provenant d'une position en dessous de l'aéronef.

10 L'étape de détermination du gain d'antenne appliqué aux interférences peut être effectuée pour toutes les coordonnées spatiales et temporelle d'observation acquises, c'est à dire soit pour toute position dans la zone géographique Z et/ou sur toute la plage temporelle d'observation soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions. Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du gain d'antenne et/ou diagramme d'antenne pour une position donnée dans la zone géographique pendant dans la durée d'observation définie et/ou au cours du suivi de la trajectoire.

15 Le procédé peut en outre comporter une étape de détermination du niveau des signaux d'interférence après antenne reçus pour chaque source d'interférence connue. La détermination du niveau de signaux d'interférence après antenne reçus peut prendre en compte les caractéristiques de l'antenne du véhicule et/ou la position de l'antenne du véhicule et/ou la forme du véhicule, en vue d'un éventuel masquage de l'antenne par le véhicule par exemple au cours de la durée d'observation.

20 Cette étape de détermination peut en outre tenir en compte des caractéristiques de mouvement du véhicule, tel qu'une attitude maximale du véhicule, lorsque le véhicule est un aéronef par exemple. L'étape de détermination du niveau des signaux d'interférence après antenne peut être effectuée pour toutes les coordonnées temporelles d'observation acquises, c'est-à-dire soit pour toute position dans la zone géographique Z et/ou sur toute la plage temporelle d'observation soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces

positions. Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du niveau des signaux d'interférence après antenne reçus pour une source d'interférence connue dans laquelle une représentation graphique du niveau de signaux d'interférence après antenne reçus est affichée à l'utilisateur. Une telle représentation graphique est donnée dans la figure 4 (pour la zone Z) et la figure 10 (le long de la trajectoire) à titre d'exemple.

Les niveaux des signaux d'interférence après antenne reçus déterminés permettent également d'établir les zones destructives vis-à-vis du récepteur du véhicule, par exemple en fonction de la robustesse des diodes de protection du récepteur.

Le procédé peut, suite à l'étape de détermination du niveau de signaux des satellites du système GNSS reçus et de l'étape de détermination du niveau de signaux d'interférence reçus pour chaque source d'interférence connue, prendre en compte des caractéristiques du récepteur utilisé pouvant comporter en outre : le service du système GNSS utilisé (par exemple GNSS L1 C/A, L5C, GALILIEO E1, SBAS), un filtrage radiofréquence du récepteur par bande de fréquence, une saturation/désaturation d'un convertisseur analogique numérique (CAN) du récepteur, un comportement et temps de réponse d'une commande automatique de gain (CAG) du récepteur, la présence d'un dispositif anti-interférence intégré au récepteur ainsi que les propriétés d'un tel dispositif anti-interférence, un gain de procédé (anglais : processing gain) lié à un étalement du spectre lors de la corrélation par un code étalé, un seuil d'acquisition de signaux satellites du récepteur, un seuil de ré-acquisition de signaux satellites du récepteur, un seuil de poursuite de signaux satellites du récepteur, un temps d'acquisition et/ou de ré-acquisition de signaux satellites.

Le dispositif anti-interférence peut être par exemple de type phosphate de monoammonium, de type filtre coupe-bande, de type anti ondes porteuses ou de type gain adaptatif. Les propriétés du dispositif anti-interférence peuvent comporter un gain de réjection du dispositif anti-interférence. En fonction du type de dispositif anti-interférence utilisé, des propriétés du dispositif anti-interférence, du service du système GNSS utilisé (L1, L2, L5) et des caractéristiques de l'interférence reçue après antenne (forme d'onde, largeur spectrale, continue/périodique), certaines interférences vont perdre en efficacité (réjection partielle ou totale).

Le gain de procédé peut varier en fonction de la forme spectrale du signal d'interférence (band étroite, bande large, onde porteuse, chirp...), de son type (gaussien, AM/FM modulation...) et du code du service du système GNSS utilisé (C/A, C).

Le procédé peut en outre comporter une étape d'élaboration de la somme spectrale des sources d'interférence avec un bruit thermique et/ou une étape détermination d'une densité spectrale de puissance pour chaque service et/ou bande de fréquence du système GNSS utilisé(e) ou activé(e).

A titre d'exemple, la figure 5 représente un tableau visualisant la puissance résiduelle -après antenne et traitement du récepteur- des différentes sources d'interférence reçues dans la zone géographique affectant potentiellement trois services d'un système GNSS (L1 C/A, L1C, L5C). La colonne de gauche du tableau représente le niveau des signaux d'interférence reçus après antenne en tout point de la zone géographique Z, chaque ligne de cette colonne correspondant à une interférence connue. Les trois colonnes à droite du tableau concernent chacune un niveau du signal d'interférence résiduel après antenne et après une étape de filtrage du signal, de traitement anti-interférence et de corrélation du signal d'interférence avec le service du système GNSS respectif pour chacun des trois services. La première colonne parmi ces trois colonnes concerne le service L1 C/A, la deuxième colonne parmi ces trois colonnes concerne le service L1 C et la troisième colonne, c'est-à-dire la dernière colonne à droite, parmi ces trois colonnes concerne le service L5 C. Pour chacune des trois colonnes à droite du tableau, la première ligne se rapporte à une première interférence connue, la deuxième ligne se rapporte à une deuxième interférence connue et la troisième ligne se rapporte à une troisième interférence connue. Par exemple, la case en haut à droite du tableau représente la puissance résiduelle de la première interférence après antenne, après filtrage, après traitement anti-interférence et après corrélation pour le service L5C. La ligne du bas représente la somme des différents signaux d'interférence résiduels pour chacun des services. Par exemple, la case à gauche de la dernière ligne représente la somme des puissances résiduelles des 3 interférences après antenne, après filtrage, après traitement anti-interférence et après corrélation pour le service L1C/A.

Le procédé peut en outre comporter une étape de calcul de rapport entre le niveau de chaque signal des satellites du système GNSS après antenne reçu et la somme résiduelle des niveaux de signaux d'interférence reçus après antenne, après filtrage, après traitement anti-interférence et après corrélation issus de chacune des sources d'interférence connues. Ce rapport peut être nommé rapport signal/bruit. Cette étape peut être calculée pour toutes les coordonnées spatio-temporelles d'observation acquises, c'est-à-dire soit pour tout point de la zone géographique Z et sur toute la plage temporelle observée soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondant à ces positions.

Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage dans laquelle une représentation graphique du rapport signal/bruit pour chaque satellite et chaque service est affichée à l'utilisateur.

Le procédé peut, suite à l'étape de détermination des rapport signal/bruit, en outre comporter une étape de détermination d'une prédiction de bon fonctionnement du récepteur

pour chacun des services du système GNSS pour toutes les coordonnées spatio-temporelles d'observation acquises, c'est-à-dire soit pour tout point de la zone géographique Z et sur toute la plage temporelle observée, soit pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions.

Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage du bon fonctionnement du récepteur et de ses capacités et performances pour chaque service utilisé dans laquelle une représentation graphique du bon fonctionnement du ou des services respectifs est affichée à l'utilisateur. Cette représentation graphique du bon fonctionnement peut comporter des couches multiples. A titre d'exemple, pour chacun des services utilisés, une première couche parmi les couches multiples peut représenter la capacité poursuite du récepteur, une deuxième couche parmi les couches multiples peut représenter la capacité poursuite du récepteur avec intégrité, une troisième couche parmi les couches multiples peut représenter la capacité de ré-acquisition, une quatrième couche parmi les couches multiples peut représenter la capacité d'acquisition de signaux satellites. Une telle représentation graphique est donnée dans la figure 7 à titre d'exemple pour une zone Z. D'autres couches peuvent être ajoutées comme par exemple la représentation de la capacité poursuite en bi-fréquences, en bi-constellations, la représentation de la précision estimée des positions et vitesses. La représentation graphique du bon fonctionnement peut comporter différents curseurs, par exemple un niveau d'altitude et une date/temps. La représentation graphique des capacités et performances du récepteur peuvent être affichées à l'utilisateur sur fond cartographique.

Lorsque l'étape du bon fonctionnement est calculée pour toutes les positions sur les trajectoires possibles TPO et/ou sur la trajectoire planifiée TPR et pour toutes les dates correspondantes à ces positions, l'étape d'affichage peut comporter l'affichage de bon fonctionnement le long d'une trajectoire 4D correspondant à une trajectoire possible TPO et/ou la trajectoire planifiée TPR. Les capacités et performances le long de la trajectoire 4D peuvent être affichées à l'utilisateur sur fond cartographique ou sur une vue horizontale ou sur une vue verticale ou sur une vue temporelle (anglais : timeline). Cette étape d'affichage permet de présenter à l'utilisateur une vue capacitaire et des performances du récepteur le long et/ou à proximité de la trajectoire 4D. Un exemple d'un affichage de capacités d'un récepteur pour un service donné le long d'une telle trajectoire 4D sur fond cartographique est donné dans la figure 8.

Le procédé peut en outre comporter une étape de calcul de l'impact du fonctionnement présent et futur du récepteur sur le système de positionnement embarqué, notamment d'un estimateur de la date ou du lieu auxquels le véhicule perdra son

hybridation, passera en mode inertiel ou naviguera à l'aide d'un autre senseur de localisation (doppler, radio navigation). De la même manière, les capacités et performances du système de localisation peuvent être affichées à l'utilisateur.

Lorsque le véhicule est un aéronef, le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage d'une représentation des capacités et/ou performances du système de positionnement par satellites autour de la trajectoire 4D donnant également son degré de latitude vis-à-vis d'une modification de la trajectoire planifiée TPR, ou du plan de vol FPLN en cas d'un déroutement potentiel (météo, panne...).

Le procédé peut en outre comporter une étape d'affichage des capacités et/ou performances de la situation présente et future d'un ensemble ou d'un sous ensemble des véhicules opérant dans la zone géographique Z surveillée, permettant également un partage d'informations entre différents acteurs et une aide à la gestion du trafic aérien (ATM, UTM).

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 et le procédé de calcul et/ou de surveillance 10 permettent d'améliorer la planification d'un vol de tout avion ou hélicoptère, de diminuer la charge de travail des pilotes et/ou de la gestion du trafic aérien (pilotes, ATM) et apportent une amélioration de la sécurité aérienne.

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 et le procédé de calcul et/ou de surveillance permettent une préparation de vol de drones avec calcul de trajectoire sécurisée avec une solution PNT toujours disponible.

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 peut être subdivisé en deux entités :
- une entité amont qui prend en compte l'ensemble des caractéristiques du système GNSS, des sources d'interférence, de la topographie de la zone géographique Z, des obstacles dans la zone géographique Z, de la trajectoire 4D, du relief, des obstacles et du temps. Les données résultantes sont génériques ou universelles, et applicables pour tout utilisateur (entrée antenne).

- une entité aval qui va prendre en compte les caractéristiques du porteur, c'est-à-dire du véhicule, et de son système embarqué (antenne, récepteur, porteur, système de positionnement...) et traduire ces données universelles en données utilisateurs au sens capacitaire et performance.

L'entité amont et l'entité aval fournissent une information directement opérationnelle via une représentation géographique et temporelle (présente et future) des impacts des sources d'interférence sur le fonctionnement et notamment sur les capacités et performances du récepteur et/ou du système de positionnement adaptée à chacun des opérateurs.

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 et le procédé de calcul et/ou de surveillance permettent d'apporter une vue précise de la situation présente et future au sens capacitaire et performance du récepteur et/ou du système de positionnement le long et autour de toute trajectoire du véhicule ou dans la zone géographique Z et correspondant au système/porteur utilisé.

5

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 et le procédé de calcul et/ou de surveillance permettent en outre d'alerter en avance l'équipage d'un aéronef de toute perte de capacité ou performance PNT au cours du vol.

Le dispositif de calcul et/ou de surveillance 10 et le procédé de calcul et/ou de surveillance permettent en outre de détecter et informer toute modification d'interférence afin de permettre une mise à jour de la base de donnée RFI.

10

Le système complet permet ainsi de multiples applications telles qu'exposées précédemment et constitue un atout pour l'amélioration de la sécurité, l'information préventive et une aide à la décision/planification.

15

REVENDICATIONS

1. Procédé de calcul et/ou de surveillance d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique (Z), le fonctionnement dudit système de positionnement incluant une intégrité, des capacités et des performances de ce système, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- acquisition de coordonnées spatiales et temporelles d'observation, les coordonnées spatiales d'observation se situant dans la zone géographique (Z) ;
- acquisition de coordonnées spatio-temporelles des satellites d'un système GNSS pour chaque coordonnée temporelle d'observation ;
- acquisition de caractéristiques et de coordonnées spatio-temporelles représentatives de positions connues de sources d'interférence d'un signal du système GNSS, se situant dans ou à proximité de la zone géographique (Z);
- acquisition de données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites ;
- calcul d'un impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites pour chaque service et constellation du système GNSS et pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation correspondant à cette coordonnée spatiale d'observation, des coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS à la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatio-temporelles représentatives des positions connues des sources d'interférence à la coordonnée temporelle d'observation et des données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites.

2. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon la revendication 1, dans lequel le résultat du calcul d'un impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites comprend au moins un indicateur quantitatif représentatif d'au moins deux capacités et/ou performances choisies parmi une capacité de première acquisition sans initialisation, une capacité de première acquisition avec initialisation, une capacité de ré-acquisition, une capacité de poursuite sans intégrité, une capacité de poursuite avec intégrité, une capacité d'hybridation, une précision du PNT et un rayon d'intégrité.

3. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

- obtention d'une trajectoire planifiée (TPR) du véhicule, la trajectoire planifiée (TPR) reliant une position de départ (PD) à une destination du véhicule et comportant une date de départ du véhicule ou la trajectoire planifiée (TPR) reliant une position actuelle (PA) du véhicule à la destination du véhicule et comportant une date actuelle ; et
- détermination des coordonnées spatiales et temporelles d'observation se situant sur la trajectoire planifiée (TPR) du véhicule à une date estimée à partir de la date de départ du véhicule ou de la date actuelle et d'un temps de trajet estimé pour cette coordonnée spatiale depuis la position de départ du véhicule ou depuis la position actuelle vers cette coordonnée spatiale.

4. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon la revendication 3, caractérisé en ce que la trajectoire planifiée (TPR) du véhicule est obtenue :

- en calculant plusieurs trajectoires possibles (TPO) du véhicule reliant, soit la position de départ (PD) à la destination, soit la position actuelle (PA) à la destination ;
- en déterminant des coordonnées spatiales et temporelles d'observation se situant sur plusieurs trajectoires possibles (TPO) du véhicule à une date estimée à partir de la date de départ du véhicule ou de la date actuelle et d'un temps de trajet estimé pour cette coordonnée spatiale d'observation et cette trajectoire possible (TPO) depuis la position de départ du véhicule ou depuis la position actuelle vers cette coordonnée spatiale d'observation;
- en acquérant les coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS pour chaque coordonnée temporelle d'observation de chaque trajectoire possible (TPO)
- en calculant, pour chaque trajectoire possible (TPO), l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation en fonction de la coordonnée spatiale d'observation, de la coordonnée temporelle d'observation associée à cette coordonnée spatiale d'observation, des coordonnées spatio-temporelles des satellites du système GNSS à la coordonnée temporelle d'observation, des coordonnées spatio-temporelles représentatives de positions connues des sources d'interférence et des

données représentatives de caractéristiques du système de positionnement par satellites;

- en déterminant la trajectoire planifiée (TPR) parmi les trajectoires possibles (TPO) en fonction de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation située sur la trajectoire possible (TPO).

5
10
15
5. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon la revendication 4, caractérisé en ce que, pour chaque trajectoire possible (TPO) et/ou pour la trajectoire planifiée (TPR) ou pour tout point de la zone géographique (Z), le calcul de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites comporte le calcul des distances, des élévations et des azimuts de chaque interférence et de chaque satellite du système GNSS à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation de la trajectoire possible (TPO) et/ou de la trajectoire planifiée (TPR) et/ou de la zone géographique (Z).

6. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'étape suivante :

- acquisition de données représentatives d'une catégorie du véhicule et/ou d'une forme du véhicule et/ou d'une position de l'antenne sur le véhicule et/ou de caractéristiques de mouvement du véhicule ; et

20
25
30
en ce que ledit impact sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation est calculé en fonction d'un gain d'antenne de l'antenne du véhicule estimé pour chaque coordonnée spatiale et temporelle d'observation, à partir des données représentatives de la catégorie du véhicule et/ou de la forme du véhicule et/ou de la position de l'antenne sur le véhicule et/ou d'une orientation du véhicule à cette coordonnée spatiale et temporelle d'observation estimée sur la base des données représentatives des caractéristiques de mouvement.

7. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'étape suivante :

- acquisition de données représentatives d'une topographie et d'obstacles de la zone géographique (Z) ; et

35
en ce que ledit impact sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiale et temporelle d'observation est en

autre calculé en fonction de données représentatives d'une topographie de la zone géographique (Z).

5 **8.** Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 prise en combinaison avec la revendication 4, le véhicule étant un aéronef, le procédé étant caractérisé par l'étape suivante :

- acquisition de données représentatives de couloirs aériens se situant dans la zone géographique (Z) ;

10 et en ce que les trajectoires possibles (TPO) de l'aéronef reliant, soit la position de départ (PD) à la destination, soit la position actuelle (PA) à la destination, sont en outre calculées à partir des données représentatives des couloirs aériens, les trajectoires possibles (TPO) suivant essentiellement les couloirs aériens.

15 **9.** Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'acquisition des coordonnées spatiales représentatives de positions connues de sources d'interférence est répétée à intervalles réguliers.

20 **10.** Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 9 prise en combinaison avec la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'étape suivante :

25 - division de la trajectoire planifiée (TPR) en une pluralité de tronçons déterminés en fonction de l'impact des sources d'interférence sur le fonctionnement du système de positionnement par satellites à chacune des coordonnées spatiales et temporelles d'observation situées sur le tronçon respectif notamment si le tronçon est un tronçon avec une prévision de perturbation élevée (TPE) ou un tronçon avec une prévision de perturbation faible (TPF).

30 **11.** Procédé de calcul et/ou de surveillance selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comporte en outre l'étape suivante :

- avertissement d'un conducteur et/ou d'un équipage du véhicule lorsque la position actuelle du véhicule s'approche d'un tronçon avec la prévision de perturbation élevée (TPE), et/ou en cas de perte de capacité et/ou dégradation de performance.

12. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

- vérification d'un bon fonctionnement, des performances et des capacités du système de positionnement du véhicule à intervalles de temps réguliers vis-à-vis des prédictions;
- si l'écart vis-à-vis des prédictions est supérieur à un seuil, génération d'un message de mise à jour d'une base de données des coordonnées spatiales représentatives des positions connues de sources d'interférence dans la zone géographique (Z).

13. Procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que la zone géographique (Z) est divisée en une pluralité de cases constituant une grille, la grille comportant de préférence une résolution prédéfinie, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation comportant une pluralité de positions chacune située dans une des cases constituant la grille, de préférence située dans le centre de la case constituant la grille, la zone géographique observées pour un même instant dans le temps, les coordonnées spatiales et temporelles d'observation se référant toutes à un même instant d'observation.

14. Produit programme d'ordinateur comportant des instructions logicielles qui, lorsqu'elles sont exécutées par un ordinateur, mettent en œuvre le procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications précédentes.

15. Dispositif de calcul et/ou de surveillance d'un fonctionnement d'un système de positionnement par satellites d'un véhicule dans une zone géographique (Z), comprenant des moyens techniques adaptés pour mettre en œuvre le procédé de calcul et/ou de surveillance selon l'une quelconque des revendications 1 à 13.

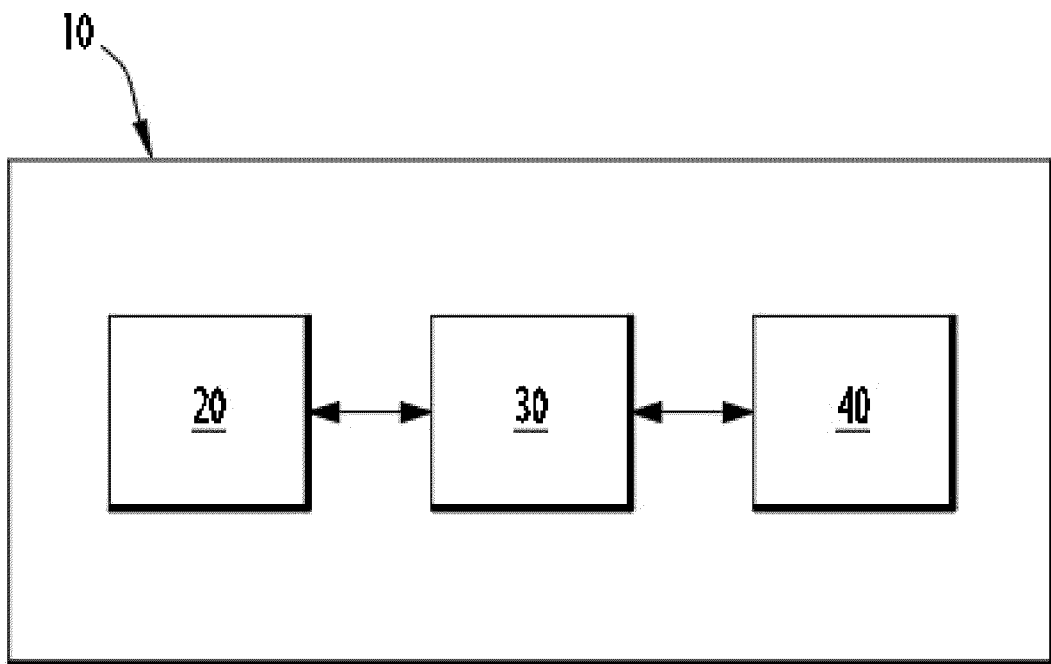


FIG.1

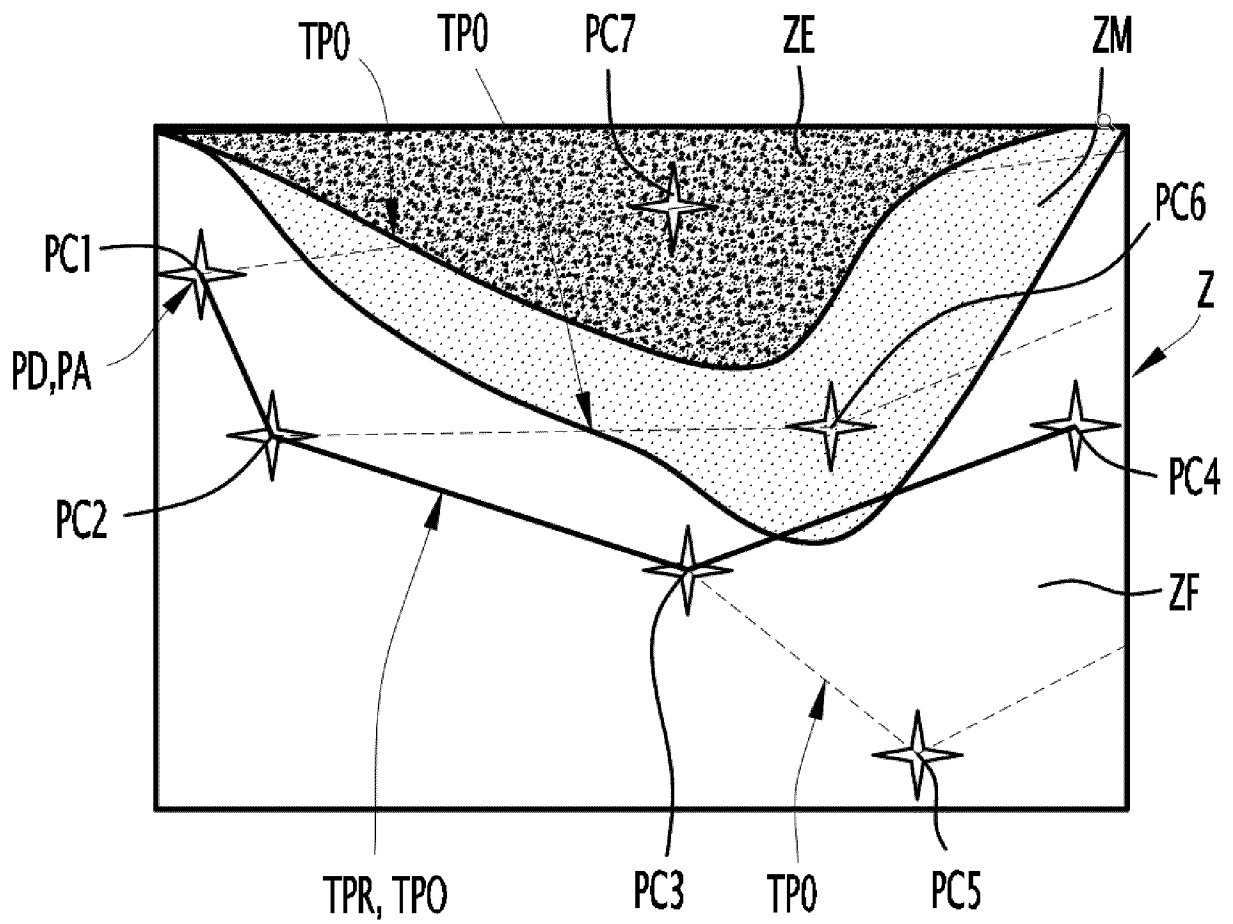


FIG.2

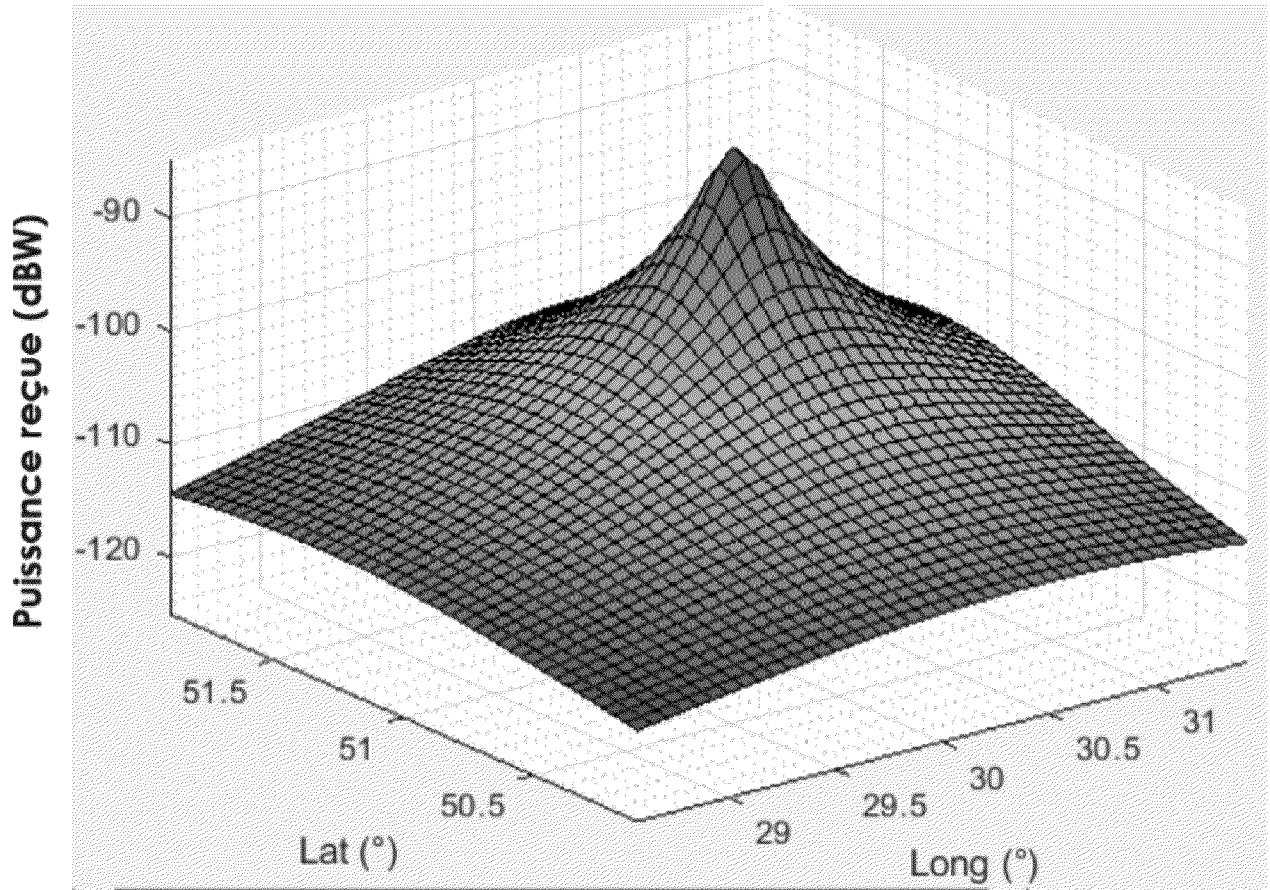


FIG.3

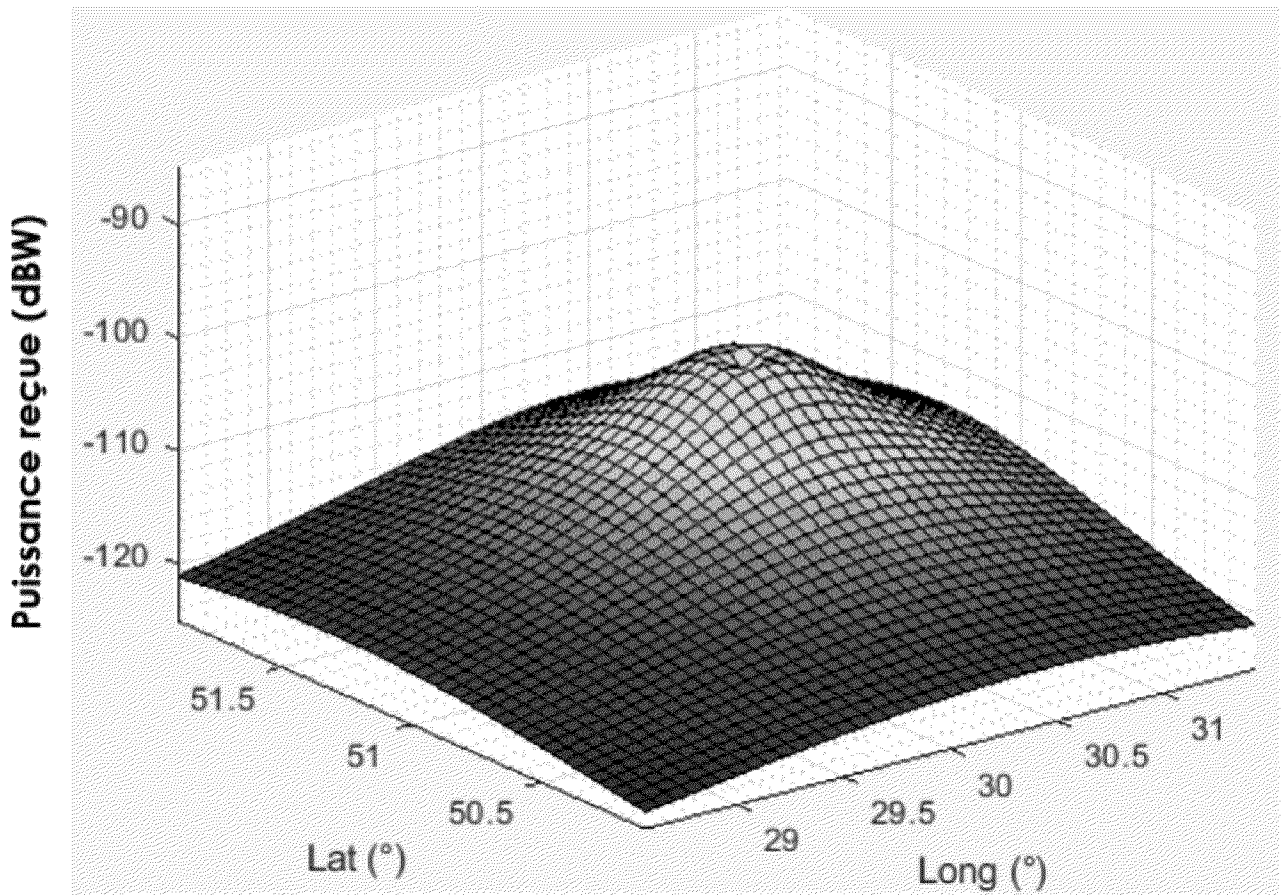


FIG.4

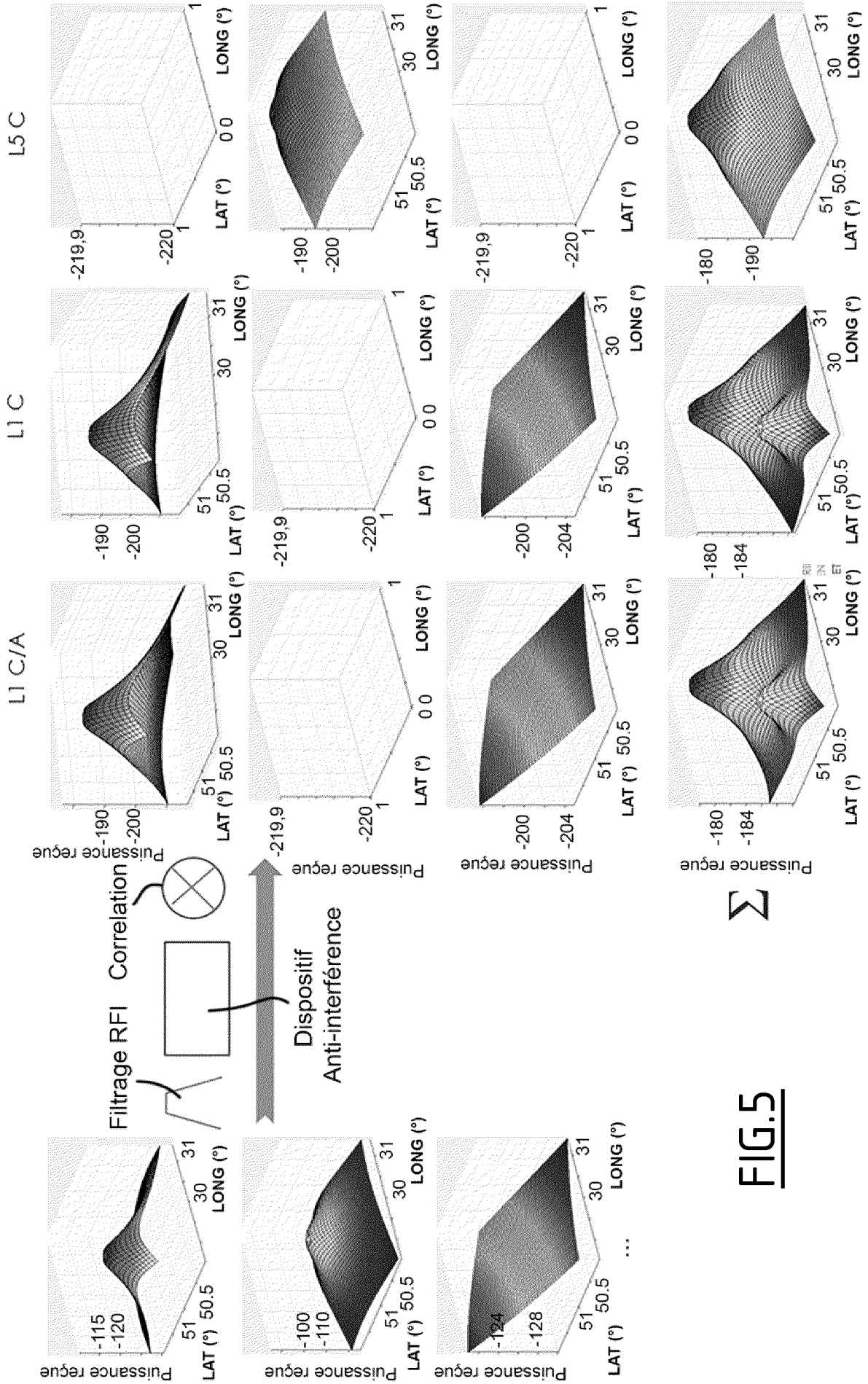
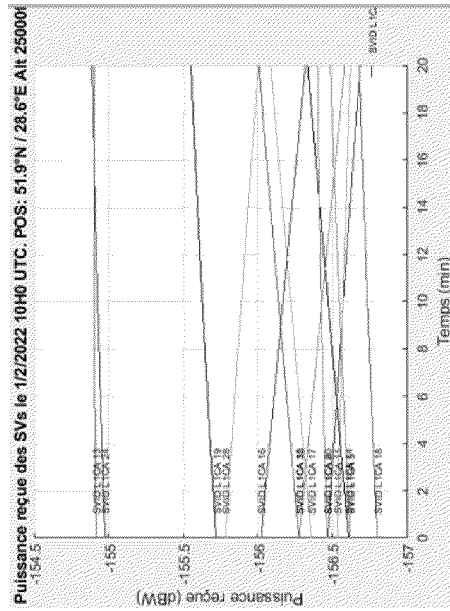


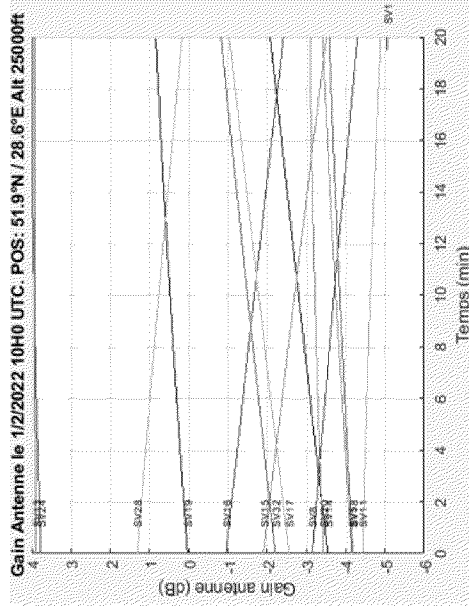
FIG.5

6/11

A.



B.



C.

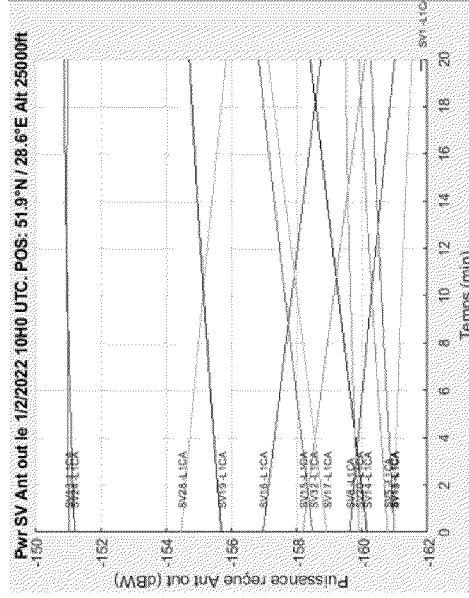


FIG.6

7/11

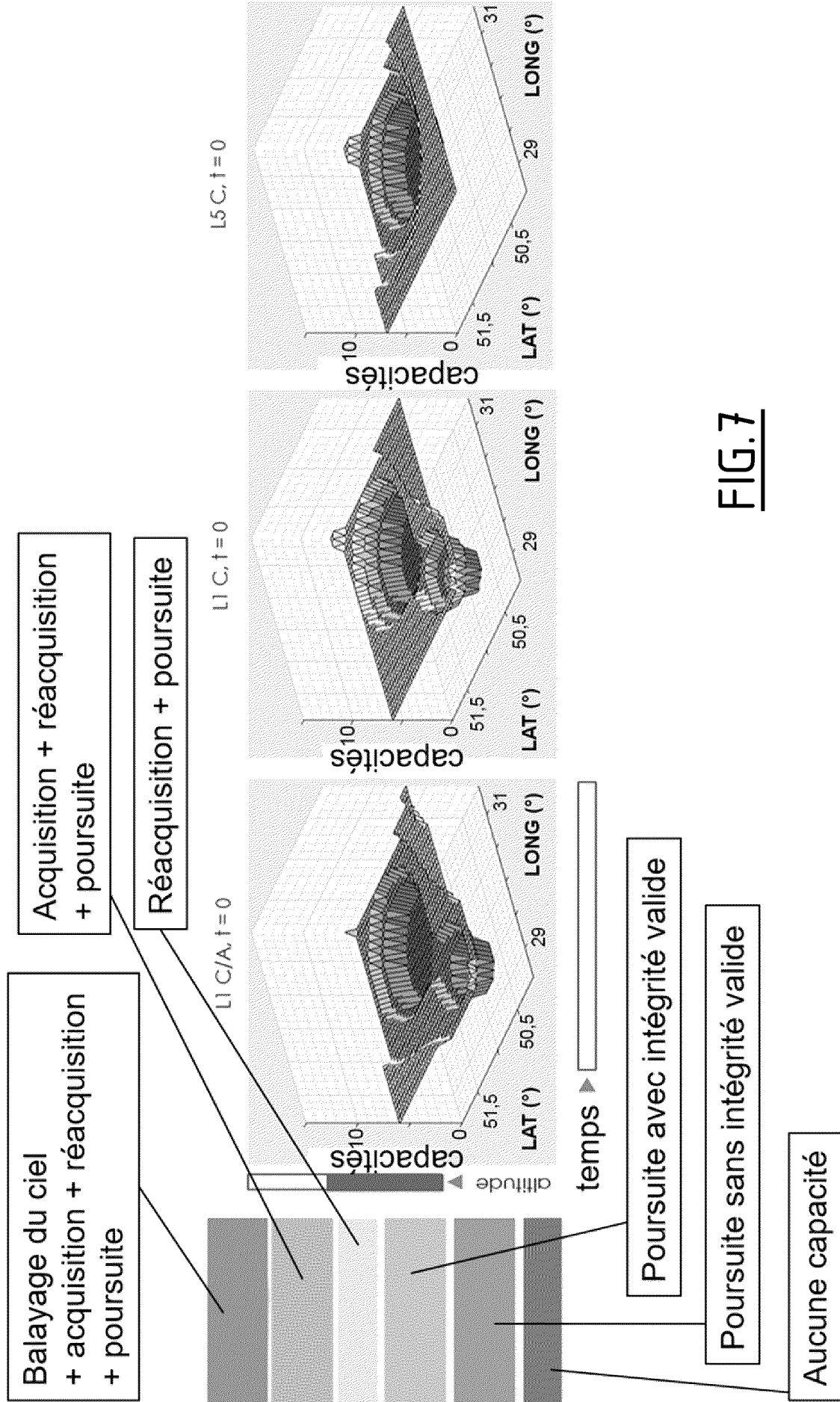


FIG.7

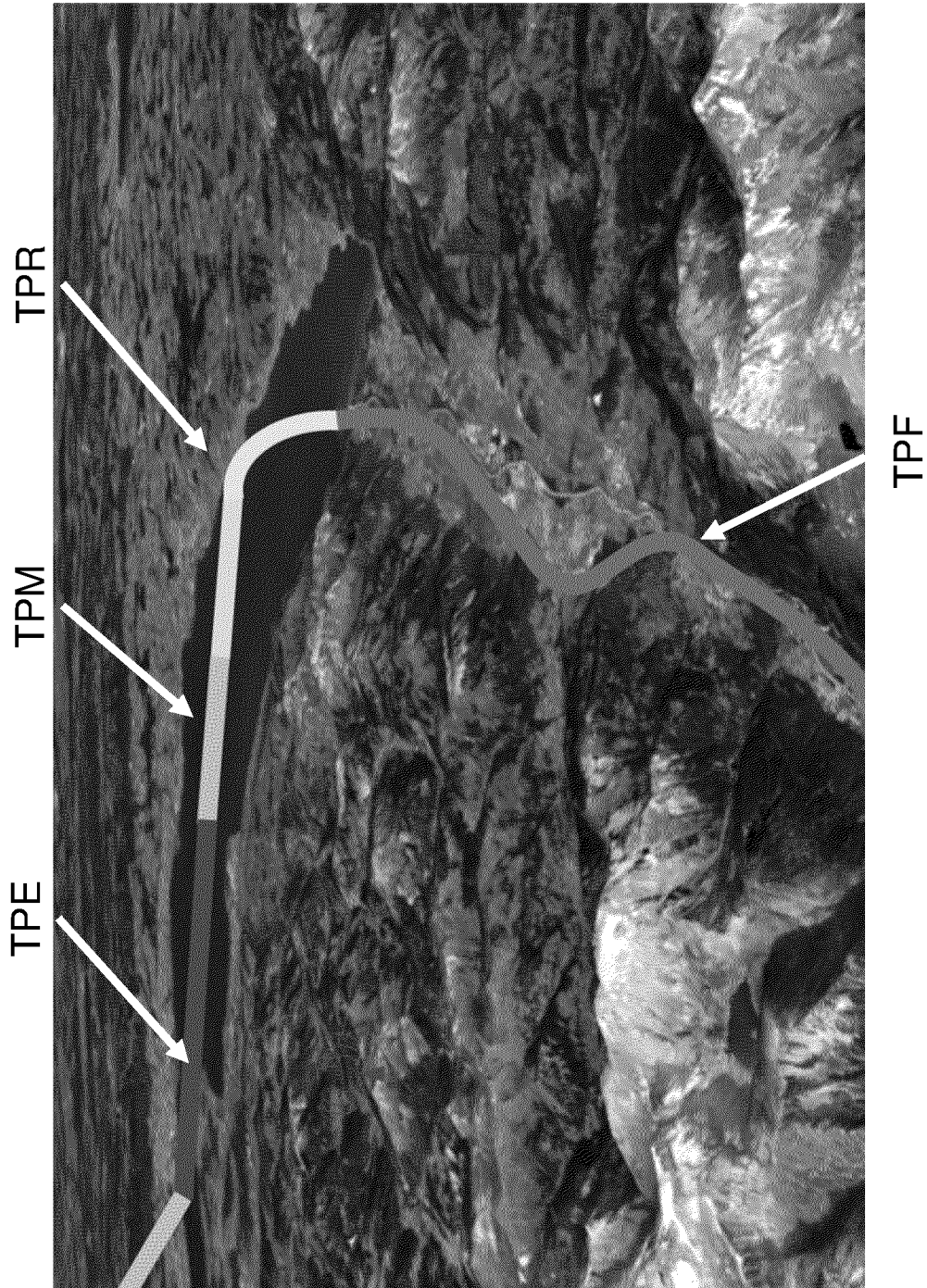


FIG.8

9/11

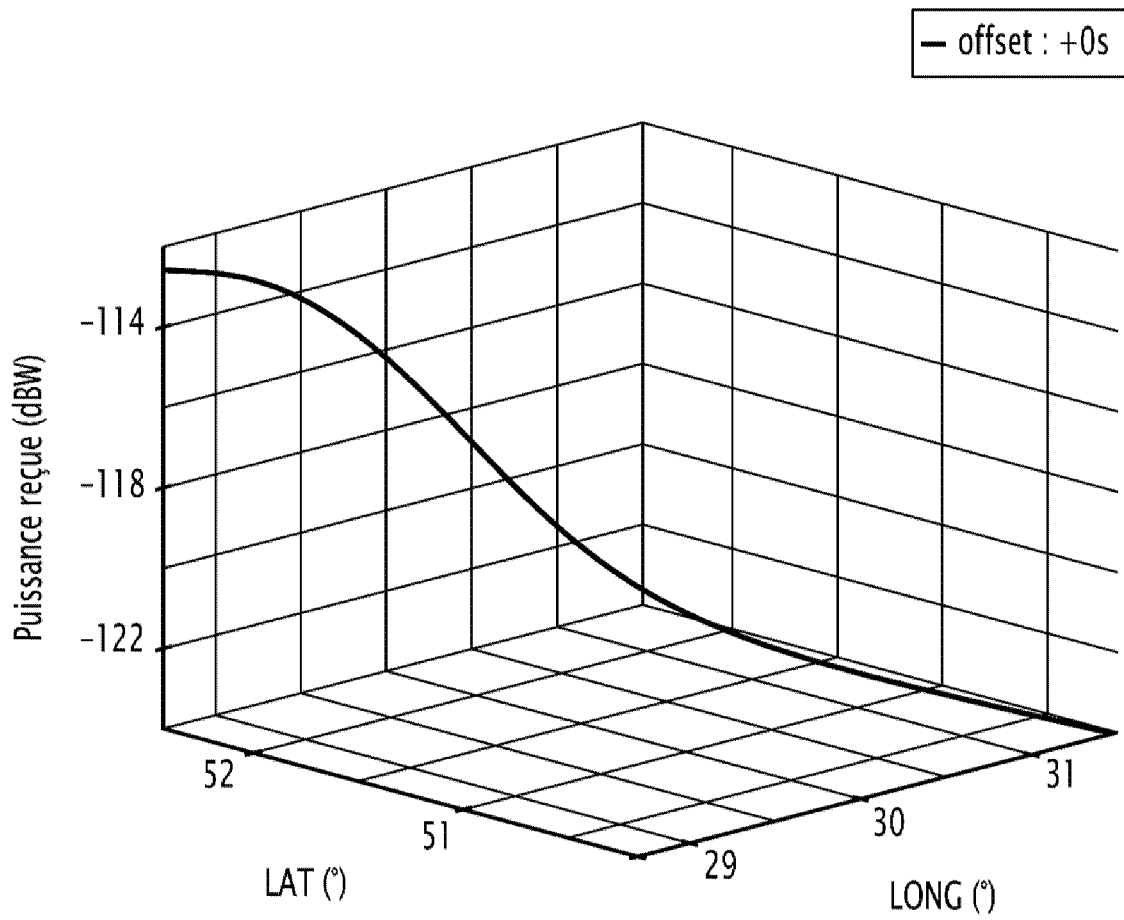


FIG.9

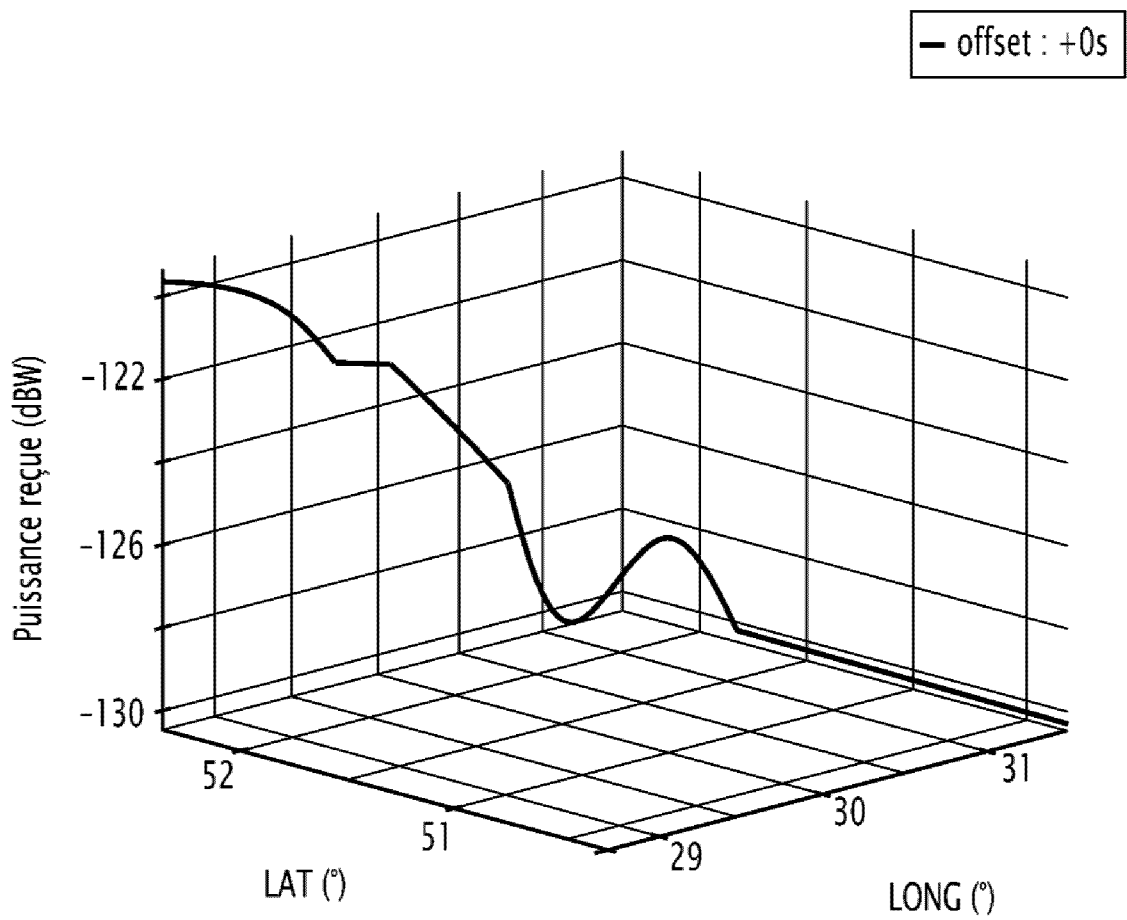


FIG.10

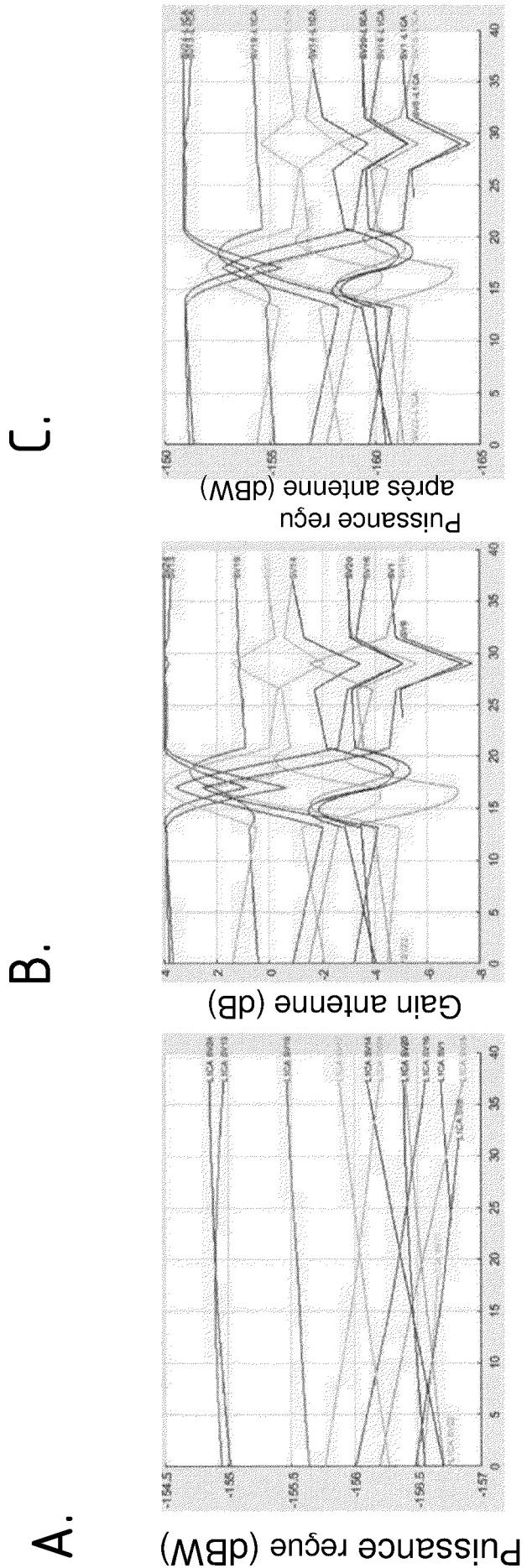


FIG.11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/069043

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01S 19/20</i> (2010.01)i; <i>G01S 19/21</i> (2010.01)i; <i>G01S 19/08</i> (2010.01)n		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
G01S		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
EPO-Internal, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2022018972 A1 (BENNINGTON JEREMY CHARLES [US] ET AL) 20 January 2022 (2022-01-20) paragraphs [0012] - [0013], [0055] - [0066] paragraphs [0103] - [0122]; figures 3B-3C paragraphs [0192] - [0195], [0223]	1-15
A	WO 2015065664 A1 (JAVAD GNSS INC [US]) 07 May 2015 (2015-05-07) cited in the application paragraphs [0008], [0027]	1-15
A	US 2022066044 A1 (MCDONALD JAMES ARTHUR [US] ET AL) 03 March 2022 (2022-03-03) paragraph [0013]	1-15
A	US 2021266091 A1 (AZOULAI LAURENT [FR] ET AL) 26 August 2021 (2021-08-26) the whole document	1-15
A	US 2016282473 A1 (DRISCOLL TOM [US] ET AL) 29 September 2016 (2016-09-29) the whole document	1-15
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
30 August 2024		12 September 2024
Name and mailing address of the ISA/EP		Authorized officer
European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Ribbe, Jonas Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/EP2024/069043

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2022018972	A1	20 January 2022	GB 2601584 A	08 June 2022
				US 2022018972 A1	20 January 2022
WO	2015065664	A1	07 May 2015	US 2015116145 A1	30 April 2015
				WO 2015065664 A1	07 May 2015
US	2022066044	A1	03 March 2022	CN 114114330 A	01 March 2022
				EP 4016132 A1	22 June 2022
				US 2022066044 A1	03 March 2022
US	2021266091	A1	26 August 2021	CN 113296124 A	24 August 2021
				FR 3107630 A1	27 August 2021
				US 2021266091 A1	26 August 2021
US	2016282473	A1	29 September 2016	US 2016282473 A1	29 September 2016
				US 2019011571 A1	10 January 2019

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2024/069043

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. G01S19/20 G01S19/21
ADD. G01S19/08

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

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

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

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

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

EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2022/018972 A1 (BENNINGTON JEREMY CHARLES [US] ET AL) 20 janvier 2022 (2022-01-20) alinéas [0012] - [0013], [0055] - [0066] alinéas [0103] - [0122]; figures 3B-3C alinéas [0192] - [0195], [0223] -----	1 - 15
A	WO 2015/065664 A1 (JAVAD GNSS INC [US]) 7 mai 2015 (2015-05-07) cité dans la demande alinéas [0008], [0027] -----	1 - 15
A	US 2022/066044 A1 (MCDONALD JAMES ARTHUR [US] ET AL) 3 mars 2022 (2022-03-03) alinéa [0013] ----- - / - -	1 - 15

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

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

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

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

30 août 2024

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

12/09/2024

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ribbe, Jonas

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2024/069043

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2021/266091 A1 (AZOULAI LAURENT [FR] ET AL) 26 août 2021 (2021-08-26) le document en entier -----	1 - 15
A	US 2016/282473 A1 (DRISCOLL TOM [US] ET AL) 29 septembre 2016 (2016-09-29) le document en entier -----	1 - 15

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/069043

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2022018972 A1	20-01-2022	GB 2601584 A US 2022018972 A1	08-06-2022 20-01-2022
WO 2015065664 A1	07-05-2015	US 2015116145 A1 WO 2015065664 A1	30-04-2015 07-05-2015
US 2022066044 A1	03-03-2022	CN 114114330 A EP 4016132 A1 US 2022066044 A1	01-03-2022 22-06-2022 03-03-2022
US 2021266091 A1	26-08-2021	CN 113296124 A FR 3107630 A1 US 2021266091 A1	24-08-2021 27-08-2021 26-08-2021
US 2016282473 A1	29-09-2016	US 2016282473 A1 US 2019011571 A1	29-09-2016 10-01-2019