

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

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

3 099 671

②1 N° d'enregistrement national : 20 04048

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : H 04 B 7/14 (2019.12), H 04 B 17/30

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 23.04.20.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.02.21 Bulletin 21/05.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés : Division demandée le 23/04/20 bénéficiant de la date de dépôt du 31/07/19 de la demande initiale n° 1908699.

○ Demande(s) d'extension :

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

⑦2 Inventeur(s) : LEVY Jean-Christophe, GUERIN Arnaud et GUERIN Alexandre.

⑦3 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

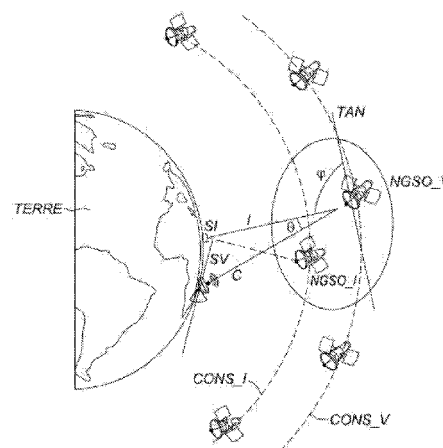
⑦4 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE.

⑤4 Procédé de détermination des contraintes d'un système non-géostationnaire vis-à-vis d'un autre système non-géostationnaire.

⑤7 L'invention concerne un procédé de détermination de contraintes opérationnelles pour une première constellation de satellites non-géostationnaires (CONS\_I) émettant en direction d'une station terrestre (SV) vis-à-vis d'une seconde constellation de satellites non-géostationnaires (CONS\_V) en liaison avec la station, les contraintes comprenant une puissance d'émission maximale des satellites de la première constellation, le procédé comprenant :

- détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\varphi$ , I/N) de deux angles ( $\theta$ ,  $\varphi$ ) et d'un rapport interférence à bruit (I/N), les angles ( $\theta$ ,  $\varphi$ ) définissant une position d'un satellite (NGSO\_I) de la première constellation par rapport à la station et à un satellite (NGSO\_V) de la seconde constellation et le rapport interférence à bruit étant le rapport entre des interférences (I) émises par la première constellation sur une liaison entre la station et le satellite de la seconde constellation et du bruit (N) de la liaison, la détermination des triplets étant réalisée pour qu'une distribution de rapports signal à bruit et interférence (R) cumulés sur un intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence (REF);
- détermination d'au moins la puissance maximale d'émission d'au moins un satellite de la première constellation à partir des triplets.

Figure pour l'abrégé: Fig. 2b



FR 3 099 671 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de détermination des contraintes d'un système non-géostationnaire vis-à-vis d'un autre système non-géostationnaire**

- [0001] L'invention concerne un procédé de détermination de contraintes opérationnelles à respecter pour une première constellation de satellites non-géostationnaires émettant en direction d'une station terrestre en un point sur Terre vis-à-vis d'une seconde constellation de satellites non-géostationnaires en liaison avec la même station terrestre. Ce procédé permet également de déterminer les contraintes opérationnelles à respecter pour une première station terrestre en liaison avec une première constellation de satellites non-géostationnaires émettant en direction d'un satellite appartenant à une seconde constellation de satellites non-géostationnaires et en liaison avec une seconde station terrestre en un point sur Terre.
- [0002] La réglementation internationale impose aux différents systèmes non-géostationnaires de se coordonner afin d'éviter de se brouiller les uns les autres. Cette coordination se traduit généralement par la définition et la mise en place de niveaux d'interférences acceptables et par des contraintes opérationnelles qui peuvent induire une réduction de la capacité de certains systèmes.
- [0003] Le besoin de coordination est une véritable contrainte car il impose de protéger et/ou de se protéger de tous les types de stations des autres constellations sur les zones de service de ces autres constellations, si les zones sont connues, voire même de protéger ou de se protéger pour tous les points sur Terre, sans connaître la direction dans laquelle pointe le terminal victime d'une interférence.
- [0004] [fig.1] représente un schéma des solutions existantes pour coordonner des systèmes non-géostationnaires. Un satellite NGSO1 d'une première constellation non-géostationnaire CONS1 est en liaison avec une station terrestre S1 en un point sur Terre. Un angle topocentrique  $\theta$  est défini entre le satellite NGSO1, la station terrestre S1 et un satellite NGSO2 d'une seconde constellation non-géostationnaire CONS2. Le satellite NGSO2 ne pourra émettre en direction de la station terrestre S1 que si l'angle topocentrique  $\theta$  est supérieur à un angle prédéterminé, par exemple égal à  $10^\circ$ .
- [0005] Cette condition sur l'angle topocentrique impose de fortes contraintes sur la constellation interférente CONS2, qui sont supérieures aux besoins du système subissant les interférences de la constellation CONS2, ce système comprenant la première constellation CONS1 et la station terrestre S1. Ces contraintes sont donc assez strictes et non flexibles.
- [0006] De plus, cela implique un nombre important de contraintes opérationnelles à prendre

en compte par le module opérationnel de management des ressources radio.

[0007] L'invention vise à remédier aux inconvénients précités de l'art antérieur, plus particulièrement elle vise à proposer un procédé de détermination des contraintes opérationnelles pour une première constellation de satellites non-géostationnaires émettant en direction d'une station terrestre en liaison avec une seconde constellation de satellites non-géostationnaires. Elle vise également à proposer un procédé de détermination des contraintes opérationnelles pour une première station terrestre émettant en direction d'un satellite non-géostationnaire d'une constellation de satellites non-géostationnaires en liaison avec une seconde station terrestre. Le procédé selon l'invention permet notamment d'adapter le seuil angulaire topocentrique au-dessous duquel l'émission des satellites de la première constellation ou de la première station terrestre est interdite, et ainsi d'obtenir des contraintes s'adaptant à une situation opérationnelle précise.

[0008] Un objet de l'invention est donc un procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles à respecter pour une première constellation de satellites non-géostationnaires émettant en direction d'une station terrestre en un point sur Terre vis-à-vis d'une seconde constellation de satellites non-géostationnaires en liaison avec la station terrestre, les contraintes opérationnelles comprenant au moins une puissance d'émission maximale des satellites de la première constellation, le procédé comprenant les étapes de :

- détermination de triplets de valeurs limites de deux angles et d'un rapport interférence à bruit, les deux angles définissant une position d'un satellite de la première constellation par rapport à un axe formé par la station terrestre et un satellite de la seconde constellation et le rapport interférence à bruit étant le rapport entre des interférences émises par la première constellation sur une liaison entre la station terrestre et le satellite de la seconde constellation et du bruit de la liaison, la détermination des triplets étant réalisée de manière à ce qu'une distribution de rapports signal à bruit et interférence cumulés sur un intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence, les rapports signal à bruit et interférence étant les rapports entre un signal utile de la liaison et le bruit et les interférences ;

- détermination d'au moins la puissance maximale d'émission d'au moins un satellite de la première constellation à partir des triplets de valeurs.

[0009] Selon des modes de réalisation :

- Les triplets de valeurs limites sont déterminés par les étapes suivantes :

- 1) sélectionner, pour chaque instant d'un intervalle de temps, des satellites de la première constellation et un satellite de la seconde constellation et déterminer, pour chaque instant de l'intervalle de temps, un triplet de valeurs d'angles définissant une position des satellites sélectionnés de la première constellation vis-à-vis d'un axe

formé par la station terrestre et le satellite sélectionné de la seconde constellation et de rapport signal à bruit et interférence, le rapport signal à bruit et interférence étant le rapport signal à bruit et interférence des satellites sélectionnés de la première constellation vis-à-vis de la liaison entre la station terrestre et le satellite sélectionné de la seconde constellation ;

2) déterminer les instants de l'intervalle de temps et ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence du triplet de ces instants de manière à ce qu'une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence ;

3) déterminer des triplets de valeurs aux instants déterminés et une équation de surface paramétrée par les triplets, les triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  étant les angles  $(\theta, \phi)$  définissant la position d'un satellite sélectionné de la première constellation et  $I/N$  étant un rapport interférence à bruit sur la liaison déterminé par les rapports signal à bruit et interférence ajustés, les points de cette équation de surface représentant les triplets de valeurs limites  $(\theta, \phi, I/N)$ .

- La sélection des satellites dans l'étape 1) est faite de manière à minimiser un rapport signal à bruit et interférence sur une liaison entre la station terrestre et un satellite de la seconde constellation.

- Le procédé comprend les étapes suivantes effectuées après l'étape 3) :

4) pour chaque instant de l'intervalle de temps et pour un satellite de la seconde constellation en liaison avec la station terrestre, sélectionner des satellites de la première constellation ayant des valeurs d'angle et un rapport interférence à bruit sur la liaison entre la station terrestre et le satellite de la seconde constellation, tels que pour ces valeurs d'angle, le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal au rapport interférence à bruit obtenu par l'équation de surface pour ces mêmes valeurs d'angle ;

5) déterminer les instants de l'intervalle de temps et ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence des satellites de la première constellation sélectionnés de ces instants de manière à minimiser l'écart entre une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps des satellites sélectionnés et une distribution de référence, la distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés étant supérieure à la distribution de référence ;

6) déterminer une deuxième équation de surface paramétrée par les valeurs d'angle et de rapport interférence à bruit ajustés à partir des rapports signal à bruit et interférence ajustés des satellites sélectionnés aux instants déterminés à l'étape 5), les points de cette deuxième équation de surface représentant les triplets de valeurs limites  $(\theta, \phi, I/N)$ .

- Le procédé comprend les étapes suivantes effectuées après l'étape 3) :

3') déterminer les valeurs d'angle définissant la position d'un satellite de la première

constellation émettant en direction de la station terrestre en liaison avec un satellite de la seconde constellation et de rapport interférence à bruit du satellite de la première constellation sur la liaison entre la station terrestre et le satellite de la seconde constellation ;

3'') comparer le rapport interférence à bruit au rapport interférence à bruit déterminé par l'équation de surface pour les valeurs d'angle déterminées en 3'), de sorte que :

- si le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal à celui déterminé par l'équation de surface, conserver ou augmenter la puissance d'émission du satellite de la première constellation de manière à ce que son rapport interférence à bruit reste inférieur à celui de l'équation de surface ;

- si le rapport interférence à bruit est supérieur à celui obtenu avec l'équation de surface, diminuer la puissance d'émission du satellite de la première constellation de manière à ce que son rapport interférence à bruit soit supérieur ou égal à celui de l'équation de surface.

- Le procédé est mis en œuvre pour une pluralité d'hypothèses de positions de stations terrestres.

- Les satellites de la première constellation et le satellite de la seconde constellation sélectionnés à l'étape 1) sont ceux minimisant la valeur d'un angle définissant la position des satellites de la première constellation par rapport à l'axe formé entre la station terrestre et un satellite de la seconde constellation.

[0010] Un autre objet de l'invention est un procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles à respecter pour une première station terrestre en un point sur Terre, émettant en direction d'un satellite non-géostationnaire d'une constellation de satellites non-géostationnaires en liaison avec une seconde station terrestre vis-à-vis de la liaison entre le satellite et la seconde station terrestre, les contraintes opérationnelles comprenant au moins une puissance d'émission maximale de la première station terrestre, le procédé comprenant les étapes de :

- détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N) de deux angles et d'un rapport interférence à bruit, les deux angles définissant une position de la première station terrestre par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire et le rapport interférence à bruit étant le rapport entre des interférences émises par la première station terrestre sur la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire et du bruit de la liaison, la détermination des triplets étant réalisée de manière à ce qu'une distribution de rapports signal à bruit et interférence cumulés sur un intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence, les rapports signal à bruit et interférence étant les rapports entre un signal utile de la liaison et le bruit et les interférences ;

- détermination d'au moins la puissance maximale d'émission de la première station

terrestre à partir des triplets de valeurs.

[0011] Selon des modes de réalisation :

- Les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ) sont déterminés par les étapes suivantes :

1) sélectionner, pour chaque instant d'un intervalle de temps, des premières stations terrestres et un satellite non-géostationnaire en liaison avec la seconde station terrestre, et déterminer, pour chaque instant de l'intervalle de temps, un triplet de valeurs d'angles définissant une position des premières stations terrestres sélectionnées par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire et de rapport signal à bruit et interférence, le rapport signal à bruit et interférence étant le rapport signal à bruit et interférence des premières stations sélectionnées vis-à-vis de la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire ;

2) déterminer les instants de l'intervalle de temps et ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence du triplet de ces instants de manière à ce qu'une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence ;

3) déterminer des triplets de valeurs ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ) aux instants déterminés et une équation de surface paramétrée par les triplets ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ), les triplets de valeurs étant les angles définissant la position des premières stations terrestres sélectionnées par rapport à l'axe formé par la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire et  $I/N$  étant un rapport interférence à bruit sur la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire déterminé par les rapports signal à bruit et interférence ajustés, les points de cette équation de surface représentant les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ).

- La sélection des stations terrestres et du satellite non-géostationnaire à l'étape 1) est réalisée de manière à minimiser un rapport signal à bruit et interférence sur une liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire sélectionné.

- Le procédé comprend les étapes suivantes effectuées après l'étape 3) :

4) pour chaque instant de l'intervalle de temps et pour la seconde station terrestre, sélectionner des premières stations terrestres en des points sur Terre et un satellite non-géostationnaire en liaison avec la seconde station terrestre, tels que les premières stations terrestres ont des valeurs d'angle et un rapport interférence à bruit sur la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire, et que pour ces valeurs d'angle, le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal au rapport interférence à bruit obtenu par l'équation de surface pour ces mêmes valeurs d'angle ;

5) déterminer les instants de l'intervalle de temps et ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence des premières stations terrestres sélectionnées de ces instants, de manière à minimiser l'écart entre une distribution des rapports signal à

bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps des premières stations sélectionnées et une distribution de référence, la distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés étant supérieure à la distribution de référence ;

6) déterminer une deuxième équation de surface paramétrée par les valeurs d'angle et de rapport interférence à bruit ajustés à partir des rapports signal à bruit et interférence ajustés des premières stations terrestres sélectionnées aux instants déterminés à l'étape 5), les points de cette deuxième équation de surface représentant les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N).

- Le procédé comprend les étapes suivantes effectuées après l'étape 3) :

3') déterminer les valeurs d'angle définissant la position d'une première station terrestre émettant en direction d'un satellite non-géostationnaire en liaison avec la seconde station terrestre et le rapport interférence à bruit de la première station terrestre sur la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire ;

3'') comparer le rapport interférence à bruit au rapport interférence à bruit déterminé par l'équation de surface pour les valeurs d'angle déterminées en 3'), de sorte que :

- si le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal à celui déterminé par l'équation de surface, conserver ou augmenter la puissance d'émission de la première station terrestre de manière à ce que son rapport interférence à bruit reste inférieur à celui de l'équation de surface.

- si le rapport interférence à bruit est supérieur à celui obtenu avec l'équation de surface, diminuer la puissance d'émission de la première station terrestre de manière à ce que son rapport interférence à bruit soit supérieur ou égal à celui de l'équation de surface ;

- Le procédé est mis en œuvre pour une pluralité d'hypothèses de positions de la seconde station terrestre.

- Les premières stations terrestres et le satellite non-géostationnaire sélectionnés à l'étape 1) sont ceux minimisant une valeur d'angle définissant la position des premières stations terrestres par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire sélectionné.

[0012] Un autre objet de l'invention est un programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution du procédé de détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N) selon l'invention, lorsque le programme est exécuté par un processeur.

[0013] Encore un autre objet de l'invention est un support d'enregistrement lisible par un processeur sur lequel est enregistré un programme comportant des instructions pour l'exécution du procédé de détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N) selon l'invention ; lorsque le programme est exécuté par un processeur.

[0014] D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux figures annexées données à titre d'exemple et

qui représentent, respectivement :

- [0015] [fig.1], déjà décrite, un schéma représentant les contraintes actuelles des constellations de satellites non-géostationnaires vis-à-vis d'un autre système non-géostationnaire selon l'art antérieur ;
- [0016] [fig.2a] et
- [0017] [fig.2b], deux schémas du principe du procédé selon l'invention pour deux cas d'application ;
- [0018] [fig.3], un schéma des étapes du procédé selon un premier mode de réalisation ;
- [0019] [fig.4], un schéma des étapes du procédé selon un second mode de réalisation ;
- [0020] [fig.5] et
- [0021] [fig.6], deux figures représentant le principe de l'étape 2) du procédé selon l'invention ; et
- [0022] [fig.7], une figure représentant une équation surfacique obtenue par le procédé selon l'invention.
- [0023] [fig.2a] présente un schéma du principe du procédé selon l'invention dans un premier cas d'application. Ce premier cas d'application représente une liaison descendante. Une constellation CONS\_V, comprenant plusieurs satellites situés sur une orbite non-géostationnaire et comprenant des moyens aptes à communiquer avec une ou plusieurs stations terrestres, comprend un satellite non-géostationnaire NGSO\_V en liaison avec une station terrestre SV située en un point sur Terre. Le satellite NGSO\_V envoie et/ou reçoit donc des signaux C dits utiles à la station terrestre SV.
- [0024] Une autre constellation CONS\_I comprend un satellite non-géostationnaire NGSO\_I émettant des signaux I vers la station terrestre SV. Ces signaux peuvent brouiller la liaison entre la station terrestre SV et le satellite victime NGSO\_V et constituer une source d'interférence pour cette liaison. La constellation CONS\_V et le satellite NGSO\_V subissant ces interférences sont notés constellation victime et satellite victime dans la suite de la description.
- [0025] On définit l'angle topocentrique  $\theta$  comme l'angle formé entre le satellite NGSO\_V et le satellite NGSO\_I à partir de la station terrestre SV, et l'angle d'élévation  $\phi$  comme l'angle formé entre le plan TAN tangent au sol à la station terrestre SV et l'axe formé par la station terrestre SV et le satellite NGSO\_I. Ces deux angles  $\theta$  et  $\phi$  permettent de définir une position du satellite NGSO\_I par rapport au satellite NGSO\_V et à la station SV.
- [0026] L'objectif du procédé est de définir la valeur maximale de puissance du signal d'interférence I que peut émettre le satellite NGSO\_I vers la station SV pour une valeur d'angle topocentrique  $\theta$  et une valeur d'angle d'élévation  $\phi$  fixées, en générant un niveau d'interférences acceptable vis-à-vis de la constellation CONS\_V. Autrement dit, l'objectif du procédé est de déterminer une puissance maximale pour chaque

satellite NGSO\_I de la constellation CONS\_I en tenant compte des interférences générées éventuelles vis-à-vis de satellites NGSO\_V d'une autre constellation CONS\_V situés dans son voisinage. Pour cela, on détermine des triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , R) d'un angle topocentrique  $\theta$ , d'un angle d'élévation  $\phi$  et d'un rapport signal à bruit et interférence R de manière à ce qu'une distribution de rapports signal à bruit et interférence R cumulés sur un intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence REF.

- [0027] Le rapport signal à bruit et interférence R est le rapport entre un signal utile C de la liaison entre la station terrestre SV et le satellite NGSO\_V de la constellation victime CONS\_V et le bruit N et les interférences I émises par la constellation interférente CONS\_I sur cette liaison. Autrement dit, le rapport signal à bruit et interférence R est égal à  $C / (N+I)$ .
- [0028] A partir du rapport signal à bruit et interférence R, il est possible de déduire la puissance maximale d'émission d'un satellite NGSO\_I de la constellation interférente CONS\_I à partir des triplets de valeurs déterminés et à l'aide de relations théoriques connues du domaine. Plus particulièrement, on peut déterminer pour une valeur donnée d'angle topocentrique  $\theta$  et une valeur donnée d'angle d'élévation  $\phi$ , la puissance maximale d'émission à partir du rapport signal à bruit et interférence du triplet de valeurs comprenant les valeurs d'angles données.
- [0029] [fig.2b] présente un schéma du principe du procédé selon l'invention dans un second cas d'application, représentant une liaison montante. Une constellation CONS\_V, comprenant plusieurs satellites situés sur une orbite non-géostationnaire et comprenant des moyens aptes à communiquer avec une ou plusieurs stations terrestres, comprend un satellite non-géostationnaire NGSO\_V en liaison avec une station terrestre SV située en un point sur Terre. Le satellite NGSO\_V envoie et/ou reçoit donc des signaux C dits utiles à la station terrestre SV.
- [0030] Une autre station terrestre SI, dite station interférente, est en liaison avec une seconde constellation CONS\_I de satellites non-géostationnaires, notamment avec un satellite non-géostationnaire NGSO\_I. Cette autre station terrestre SI émet également des signaux I vers le satellite NGSO\_V en liaison avec la station terrestre SV. Ces signaux I peuvent brouiller la liaison entre la station terrestre SV et le satellite NGSO\_V, dit victime, et constituer une source d'interférence pour cette liaison.
- [0031] Afin d'identifier la position de la station terrestre interférente SI, on définit un angle  $\theta$  formé entre la station SV et la station interférence SI à partir du satellite non-géostationnaire victime NGSO\_V, et un angle d'élévation  $\phi$  comme l'angle formé entre le plan TAN tangent à l'orbite de la constellation victime CONS\_V et au satellite NGSO\_V et l'axe formé par la station terrestre interférente SI et le satellite NGSO\_V. Ces deux angles  $\theta$  et  $\phi$  permettent de définir la position de la station SI par rapport au

satellite NGSO\_V et à la station SV.

- [0032] L'objectif du procédé, pour ce second cas d'application, est de définir la valeur maximale de puissance du signal d'interférence  $I$  que peut émettre la station SI vers le satellite NGSO\_V pour une valeur d'angle  $\theta$  et une valeur d'angle  $\phi$  fixées, en générant un niveau d'interférences acceptable vis-à-vis de la constellation CONS\_V. Autrement dit, l'objectif du procédé est de déterminer une puissance maximale pour chaque station terrestre SI en tenant compte des interférences générées éventuelles vis-à-vis de satellites NGSO\_V d'une constellation CONS\_V en liaison avec une station terrestre SV située dans son voisinage. Pour cela, on détermine des triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $R$ ) des angles  $\theta$ ,  $\phi$  et d'un rapport signal à bruit et interférence  $R$  de manière à ce qu'une distribution de rapports signal à bruit et interférence  $R$  cumulés sur un intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence REF.
- [0033] Le rapport signal à bruit et interférence  $R$  est le rapport entre un signal utile  $C$  de la liaison entre la station terrestre SV et le satellite NGSO\_V de la constellation victime CONS\_V et le bruit  $N$  et les interférences  $I$  émises par la station interférente SI sur cette liaison. Autrement dit, le rapport signal à bruit et interférence  $R$  est égal à  $C / (N+I)$ .
- [0034] A partir du rapport signal à bruit et interférence  $R$ , il est possible de déduire la puissance maximale d'émission de la station SI à partir des triplets de valeurs déterminés et à l'aide de relations théoriques connues du domaine. Plus particulièrement, on peut déterminer pour des valeurs données d'angles  $\theta$  et  $\phi$ , la puissance maximale d'émission à partir du rapport signal à bruit et interférence du triplet de valeurs comprenant les valeurs d'angles données.
- [0035] [fig.3] présente un schéma des étapes du procédé selon un premier mode de réalisation. On se place dans le premier cas d'application (figure 2a) pour la description des figures 3 à 7.
- [0036] Dans une première étape 201, on sélectionne, pour chaque instant d'un intervalle de temps et pour une station terrestre SV en un point sur Terre, des satellites de la constellation interférence CONS\_I et un satellite NGSO\_V de la constellation victime CONS\_V selon un critère de sélection. Dans l'exemple décrit, on sélectionne les satellites de la constellation interférente CONS\_I et un satellite NGSO\_V qui minimisent le rapport signal à bruit et interférence  $R$  sur la liaison entre la station terrestre SV et le satellite de la constellation victime CONS\_V. Cependant, on peut également sélectionner le satellite NGSO\_V de la constellation victime présentant la plus haute élévation dans cette constellation vis-à-vis de la station terrestre SV. On peut également sélectionner un satellite interférent CONS\_I ayant la plus longue durée de visibilité vis-à-vis de la station terrestre SV et/ou d'un satellite particulier de la constellation victime CONS\_V.

- [0037] On détermine ensuite, pour ces mêmes instants, un triplet de valeurs ( $\theta$ ,  $\phi$ , R) d'angle topocentrique  $\theta$ , d'angle d'élévation  $\phi$  et de rapport signal à bruit et interférence R pour ces satellites sélectionnés par rapport à la station terrestre SV. L'angle topocentrique  $\theta$  est l'angle minimal formé par le satellite NGSO\_V de la constellation victime CONS\_V sélectionné, la station terrestre SV et les satellites sélectionnés NGSO\_I de la constellation interférente CONS\_I. L'angle d'élévation  $\phi$  est l'angle minimal formé entre le plan tangent TAN au sol à la station terrestre SV et l'axe formé entre la station terrestre SV et les satellites sélectionnés NGSO\_I de la constellation interférente CONS\_I. Le rapport signal à bruit et interférence R est le rapport signal à bruit et interférence des satellites interférents NGSO\_I de la constellation interférente CONS\_I sur la liaison entre la station terrestre SV et le satellite victime NGSO\_V de la constellation victime CONS\_V. Ce rapport R est déterminé par simulation.
- [0038] Puis dans une seconde étape 202, on détermine les instants de l'intervalle de temps pour lesquels on peut ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence R du triplet de valeurs ( $\theta$ ,  $\phi$ , R) de ces instants de manière à ce qu'une distribution des rapports signal à bruit et interférence R cumulés sur l'intervalle de temps soit supérieure à la distribution de référence REF.
- [0039] [fig.5] et [Fig. 6] illustrent l'étape 202 du procédé.
- [0040] La figure 5 représente le pourcentage de temps %t de l'intervalle de temps en fonction du rapport signal à bruit et interférence  $R = C / (N+I)$ . La courbe REF représente la distribution de référence et la courbe N1 représente les rapports signal à bruit et interférence cumulés des satellites des constellations victime et interférents sélectionnés vis-à-vis de la station terrestre, tandis que la courbe N2 représente ces mêmes rapports signal à bruit et interférence après l'identification des instants de temps dont la valeur du rapport signal à bruit et interférence est ajustée pour que la courbe N1 soit supérieure à la distribution de référence REF.
- [0041] La figure 6 représente le rapport signal à bruit et interférence R en fonction des différents instants t de l'intervalle de temps. Ce sont ces rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps (donc cumulés sur tous les instants t) qui permettent d'obtenir la courbe N1 de la figure 5. Les instants de temps identifiés INST sont représentés sur la figure 6 et leur valeur de rapport signal à bruit et interférence R est modifiée de manière obtenir la courbe N2 de la figure 5.
- [0042] Pour déterminer ces instants t de l'intervalle de temps à partir des figures 5 et 6, on suppose que la courbe N1 de la figure 5 suit une loi de probabilité suivante :
- [0043] 
$$P_{N1} (X \geq x_n) = p_n \quad (1)$$
- [0044] où X représente une variable aléatoire du rapport signal à bruit et interférence R,  $x_n$  une valeur particulière d'un rapport signal à bruit et interférence,  $p_n$  la probabilité de temps correspondant à la valeur de rapport signal à bruit et interférence  $x_n$  et n est un

entier inférieur ou égal au nombre total d'instants de temps de l'intervalle de temps.

[0045] On suppose également que la distribution de référence REF suit la loi de probabilité suivante :

$$[0046] \quad P_{REF}(X \geq x) = p \quad (2)$$

[0047] avec  $p$  une probabilité de temps correspondant à la valeur de rapport signal à bruit et interférence  $x$  et  $X$  une variable aléatoire représentant un rapport signal à bruit et interférence.

[0048] Si la courbe N1 devient inférieure à la distribution de référence REF pour toutes les probabilités  $p$ , alors cela signifie qu'il existe un entier  $i$  et  $m$  tels que :

$$[0049] \quad P_{N1}(X \geq x_i) = p_i \text{ et } P_{REF}(X \geq x_m) = p_i \text{ avec } x_i < x_m \quad (3)$$

[0050] et tels que :

$$[0051] \quad P_{N1}(X \geq x_m) = p_m \text{ avec } p_m < p_i \quad (4)$$

[0052] On cherche alors à obtenir une loi de la courbe N1 telle que :

$$[0053] \quad P_{N1}(X \geq x_i) = p_m \quad (5)$$

[0054] On commence par identifier la plus grande valeur de  $i$  ne respectant pas le critère de l'équation (5), ce qui signifie que pour  $X = x_{i+1}$ , le critère sera respecté. On modifie alors la valeur  $x_i$  qui devient égale à  $x_{i+1}$ , c'est-à-dire que la valeur de rapport signal à bruit  $x_i$  devient égale à  $x_{i+1}$ .

[0055] On applique cela pour toutes les autres valeurs de  $i$  ne respectant pas le critère de l'équation (5) en parcourant les  $i$  dans le sens décroissant.

[0056] Cela permet d'identifier les valeurs  $x_i$  de rapports signal à bruit et interférence à modifier. Il faut maintenant identifier les instants de temps  $t$  correspondant à ces valeurs  $x_i$ . Pour cela, sur la figure 6, on peut identifier tous les rapports signal à bruit et interférence égaux aux valeurs  $x_i$  identifiées, puis modifier les valeurs de rapport signal à bruit et interférence de ces instants de manière à ce que la distribution des rapports signal à bruit et interférence  $R$ , comprenant les valeurs modifiées, cumulés sur l'intervalle de temps soit supérieure à la distribution de référence REF.

[0057] Dans la troisième étape 203, on détermine des triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  aux instants déterminés à l'étape précédente. Les triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  représentent les angles  $(\theta, \phi)$  définissant la position d'un satellite sélectionné NGSO\_I de la première constellation CONS\_I et  $I/N$  étant un rapport interférence à bruit sur la liaison déterminé par les rapports signal à bruit et interférence  $R$  ajustés à l'étape précédente pour les instants déterminés.

[0058] On détermine également dans cette étape une équation de surface paramétrée par les triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$ . Les points de l'équation de surface représentent les triplets de valeurs limites  $(\theta, \phi, I/N)$  autorisées pour les satellites de la constellation interférente CONS\_I vis-à-vis de la liaison entre la station terrestre SV et le satellite

victime NGSO\_V.

- [0059] Dans une quatrième 203' et une cinquième 203'' étapes optionnelles, on va vérifier si un satellite de la constellation interférente CONS\_I émettant en direction de la station terrestre SV émet un niveau de brouillage suffisamment faible pour préserver la liaison entre la station terrestre et un satellite non-géostationnaire de la constellation victime CONS\_V.
- [0060] Pour cela, on détermine dans la quatrième étape 203' les valeurs d'angle topocentrique  $\theta$ , d'angle d'élévation  $\phi$  et de rapport interférence à bruit I/N pour le satellite de la constellation interférente CONS\_I émettant vers la station terrestre SV en liaison avec le satellite de la constellation victime CONS\_V.
- [0061] Puis, on compare dans l'étape suivante 203'' le rapport interférence à bruit I/N au rapport interférence à bruit déterminé par l'équation de surface de l'étape 203 pour les valeurs d'angle  $\theta$  et  $\phi$  déterminées précédemment en 203'.
- [0062] Si, le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal au rapport déterminé par l'équation de surface, cela signifie que le satellite interférent interfère peu sur la liaison entre la station terrestre et le satellite de la constellation victime. Il n'est donc pas nécessaire de diminuer la puissance d'émission du satellite interférent. Il peut éventuellement être possible d'augmenter la puissance d'émission du satellite interférent, à condition que la valeur de rapport signal à bruit et interférence reste inférieure au rapport déterminé par l'équation de surface.
- [0063] Si, le rapport signal à bruit et interférence est supérieur au rapport déterminé par l'équation de surface, cela signifie que le satellite interférent brouille la liaison entre la station terrestre et le satellite de la constellation victime. Il est donc nécessaire de diminuer la puissance d'émission du satellite interférent de manière à ce que son rapport signal à bruit et interférence soit supérieur ou égal à celui déterminé par l'équation de surface. Au lieu de diminuer la puissance d'émission du satellite interférent, il est également possible d'utiliser un autre satellite de la constellation interférente CONS\_I pour baisser le niveau d'interférence.
- [0064] La figure 7 représente une équation surfacique déterminée lors de la troisième étape 203 du procédé. L'équation surfacique EQ\_SURF dépend des deux angles  $\theta$  et  $\phi$  définissant la position d'un satellite de la constellation interférence par rapport à la liaison entre la station terrestre SV et un satellite de la constellation victime et du rapport signal à bruit et interférence R défini par le rapport entre le signal utile de la liaison entre la station terrestre et le satellite de la constellation victime et la somme du bruit et des interférences sur cette liaison venant du satellite de la constellation interférente. L'angle  $\theta$  peut être un angle topocentrique formé entre un satellite de la constellation interférente, la station terrestre et un satellite de la constellation victime, et l'angle  $\phi$  un angle d'élévation formé entre le plan tangent à la station terrestre et

l'axe formé entre la station terrestre et le satellite de la constellation interférente.

- [0065] Les points de cette équation surfacique EQ\_SURF définis par un triplet de valeurs ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N) représentent, pour des valeurs d'angle  $\theta$  et  $\phi$  données, le rapport interférence à bruit I/N maximal et donc le niveau d'interférence maximal que peut avoir le satellite de la constellation interférente sur la liaison.
- [0066] [fig.4] présente un schéma des étapes du procédé selon un second mode de réalisation. Les première 201, deuxième 202 et troisième 203 étapes sont identiques aux étapes 201, 202 et 203 décrites en référence à la figure 3.
- [0067] Dans ce second mode de réalisation, trois étapes supplémentaires 204, 205 et 206 sont réalisées pour ajuster l'équation surfacique déterminée à la troisième étape 203 à une situation opérationnelle.
- [0068] On sélectionne donc, dans la quatrième étape 204, pour chaque instant de l'intervalle de temps et pour un satellite de la constellation victime en liaison avec la station terrestre, les satellites de la constellation interférente qui présentent des valeurs d'angle topocentrique  $\theta$ , d'angle d'élévation  $\phi$  et de rapport interférence à bruit I/N, telles que pour ces valeurs d'angles  $\theta$  et  $\phi$ , le rapport interférence à bruit I/N est inférieur ou égal au rapport interférence à bruit déterminé par l'équation surfacique de l'étape 203 pour ces mêmes valeurs d'angle  $\theta$  et  $\phi$ .
- [0069] Puis dans la cinquième étape 205, on détermine les instants de l'intervalle de temps pour lesquels on peut ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence de manière à ce que la distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps des satellites sélectionnés de la constellation interférente vis-à-vis de la liaison entre la station terrestre et le satellite de la constellation victime soit supérieure à la distribution de référence.
- [0070] Enfin dans la sixième étape 206, on détermine une seconde équation de surface paramétrée par les valeurs d'angle  $\theta$  et  $\phi$  et de rapports interférence à bruit I/N ajustés à partir des rapports signal à bruit et interférence, ajustés à l'étape 205, des satellites sélectionnés aux instants déterminés à l'étape précédente. Les points de cette seconde équation de surface représentent les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N) corrigés. Cette seconde équation de surface permet de protéger les deux systèmes non-géostationnaires (celui comprenant la constellation interférente et celui comprenant la constellation victime et la station terrestre) tout en relâchant les contraintes définies par la première équation de surface et correspondant à la pire configuration de brouillage entre les deux constellations, alors qu'opérationnellement, les satellites des deux constellations peuvent être dans une configuration plus favorable.
- [0071] Selon un autre mode de réalisation, le procédé est réalisé pour une pluralité d'hypothèses de stations terrestres. Pour cela, si on réalise le procédé pour N stations terrestres en liaison avec un satellite de la constellation victime CONS\_V, on répète les

étapes 201, 202 et 203 (et éventuellement les étapes 203', 203'', 204, 205 et 206) N fois, chaque répétition étant réalisée pour une station différente des précédentes répétitions. Il faudra donc à chaque répétition de l'étape 1) redéfinir les satellites de la constellation interférente CONS\_I et le satellite de la constellation victime CONS\_V pour chaque instant qui minimisent le rapport signal à bruit et interférence sur la liaison.

[0072] Selon un mode de réalisation, la sélection des satellites des deux constellations vis-à-vis de la station terrestre est faite de manière à sélectionner le pire cas, par exemple en prenant le satellite, parmi ceux minimisant le rapport signal à bruit et interférence, donnant le plus petit angle topocentrique  $\theta$ .

[0073] Selon un autre mode de réalisation, il est également possible de déterminer des triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , R) où R représente le rapport signal à bruit et interférence des satellites de la constellation interférente sur la liaison entre la station terrestre et un satellite de la constellation victime. Ainsi, on peut également déterminer une troisième équation de surface à partir de ces triplets de valeurs ( $\theta$ ,  $\phi$ , R).

[0074] Pour cela, on utilise les triplets de valeurs ( $\theta$ ,  $\phi$ , R) issus des instants déterminés à l'étape 202 pour paramétrer une troisième équation de surface.

[0075] Cependant, si l'on utilise l'équation de surface paramétrée par les triplets ( $\theta$ ,  $\phi$ , R), on cherchera à sélectionner les satellites interférents présentant des valeurs de rapport R supérieures à celles données par la troisième équation de surface pour des valeurs d'angles données.

[0076] Par exemple, pour l'étape 204, on sélectionne les satellites de la constellation interférente tels que pour une valeur d'angle topocentrique  $\theta$  donnée et pour une valeur d'angle  $\phi$  d'élévation, le rapport signal à bruit et interférence R est supérieure au rapport R déterminé par la troisième équation surfacique pour ces mêmes valeurs d'angle.

[0077] Selon un autre exemple, pour l'étape 203'', on compare les rapports signal à bruit et interférence R avec les rapports déterminés par la troisième équation surfacique pour des valeurs d'angle topocentrique et d'élévation déterminées à l'étape 203', et on diminue la puissance d'émission des satellites de la constellation interférente si le rapport R est inférieur à celui déterminé par la troisième équation surfacique.

[0078] Néanmoins, l'utilisation du rapport I/N est privilégiée, car le rapport I/N est indépendant des caractéristiques radiofréquences propres à la liaison entre la station terrestre et le satellite de la constellation victime.

[0079] Les figures ont été décrites pour le premier cas d'application. Il est également possible d'appliquer le procédé pour le second cas d'application, à savoir pour une liaison montante, dans laquelle c'est une station terrestre SI qui émet des signaux de brouillage I vers la liaison entre la station terrestre SV et un satellite de la constellation

victime. Cela correspond à la situation présentée en figure 2b.

- [0080] Dans ce cas d'application, on sélectionne dans l'étape 201, pour chaque instant d'un intervalle de temps, des premières stations terrestres SI en des points sur Terre, différent du point de la station terrestre SV, et un satellite non-géostationnaire d'une constellation non-géostationnaire en liaison avec la station terrestre SV, qui minimisent un rapport signal à bruit et interférence R sur la liaison entre la station terrestre SV et le satellite non-géostationnaire sélectionné. On détermine également, pour chaque instant de l'intervalle de temps, un triplet  $(\theta, \phi, R)$  de valeurs d'angle  $(\theta, \phi)$  définissant une position des premières stations terrestres SI sélectionnées par rapport à un axe formé par la station terrestre SV et le satellite non-géostationnaire et de rapport signal à bruit et interférence R. Les rapports R étant les rapports signal à bruit et interférence des premières stations sélectionnées vis-à-vis de la liaison entre la station terrestre et le satellite non-géostationnaire.
- [0081] Dans la seconde étape 202, on détermine les instants de l'intervalle de temps et on ajuste, pour ces instants, la valeur de rapport signal à bruit et interférence du triplet  $(\theta, \phi, R)$  de ces instants de manière à ce qu'une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence (REF).
- [0082] On détermine ensuite dans l'étape 203 des triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  aux instants déterminés et une équation de surface paramétrée par les triplets  $(\theta, \phi, I/N)$ . Les triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  sont les angles  $(\theta, \phi)$  définissant la position des premières stations terrestres sélectionnées par rapport à l'axe formé par la seconde station terrestre SV et le satellite non-géostationnaire NGSO\_V et le rapport interférence à bruit I/N sur la liaison entre la station terrestre SV et le satellite non-géostationnaire déterminé par les rapports signal à bruit et interférence (R) ajustés. Les points de cette équation de surface représentent les triplets de valeurs limites  $(\theta, \phi, I/N)$ .
- [0083] Dans le cas où on souhaite s'adapter à une situation opérationnelle, les étapes décrites en référence à la figure 4 sont les suivantes pour ce cas d'application :
- [0084] Dans l'étape 204, pour chaque instant de l'intervalle de temps et pour la seconde station terrestre SV, on sélectionne des premières stations terrestres en des points sur Terre et un satellite non-géostationnaire en liaison avec la station terrestre SV, tels que les premières stations terrestres ont des valeurs d'angle  $(\theta, \phi)$  et un rapport interférence à bruit (I/N) sur la liaison entre la station terrestre SV et le satellite non-géostationnaire de la constellation victime, et que pour ces valeurs d'angle, le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal au rapport interférence à bruit obtenu par l'équation de surface pour ces mêmes valeurs d'angle.
- [0085] Puis dans l'étape 205, on détermine les instants de l'intervalle de temps et on ajuste la valeur de rapport signal à bruit et interférence (R) des premières stations terrestres

sélectionnées de ces instants, de manière à minimiser l'écart entre une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps des premières stations sélectionnées et une distribution de référence (REF), la distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés étant supérieure à la distribution de référence.

- [0086] Enfin, dans l'étape 206, on détermine une deuxième équation de surface paramétrée par les valeurs d'angle et de rapport interférence à bruit ajustés à partir des rapports signal à bruit et interférence ajustés des premières stations terrestres sélectionnées aux instants déterminés à l'étape 205. Les points de cette deuxième équation de surface représentent les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N).
- [0087] Pour le cas de la figure 3, on détermine dans l'étape 203', les valeurs d'angle ( $\theta$ ,  $\phi$ ) définissant la position d'une première station terrestre émettant en direction d'un satellite non-géostationnaire en liaison avec la station terrestre SV et le rapport interférence à bruit (I/N) de la première station terrestre sur la liaison entre la station terrestre et le satellite non-géostationnaire.
- [0088] Puis on compare dans l'étape 203'' le rapport interférence à bruit au rapport interférence à bruit déterminé par l'équation de surface pour les valeurs d'angle déterminées dans l'étape 203', de sorte que :
- si le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal à celui déterminé par l'équation de surface, conserver ou augmenter la puissance d'émission de la première station terrestre de manière à ce que son rapport interférence à bruit reste inférieur à celui de l'équation de surface ;
  - si le rapport interférence à bruit est supérieur à celui obtenu avec l'équation de surface, diminuer la puissance d'émission de la première station terrestre de manière à ce que son rapport interférence à bruit soit supérieur ou égal à celui de l'équation de surface.
- [0089] Comme pour le premier cas d'application, on peut mettre en oeuvre le procédé pour une pluralité d'hypothèses de positions de la station terrestre SV.
- [0090] De même, les premières stations terrestres et le satellite non-géostationnaire sélectionnés à l'étape 201 peuvent être ceux minimisant une valeur d'angle, par exemple  $\theta$ , définissant la position des premières stations terrestres par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire sélectionné.
- [0091] Le procédé selon l'invention a été décrit dans le cadre de deux constellations non-géostationnaires. Cependant, le procédé n'est pas limité à cela, il peut également être utilisé dans un contexte plus général faisant intervenir une constellation non-géostationnaire et une constellation géostationnaire. Cela peut par exemple être dans le cas où une constellation géostationnaire (satellite de la constellation ou station terrestre en liaison avec la constellation géostationnaire) émet des signaux de brouillage sur une

liaison entre une station terrestre sur Terre et une constellation non-géostationnaire. Cela peut également être dans le cas où une constellation non-géostationnaire (satellite de la constellation ou station terrestre en liaison avec la constellation non-géostationnaire) émet des signaux de brouillage sur une liaison avec une station terrestre sur Terre et une constellation géostationnaire.

- [0092] L'invention peut être mise en œuvre en tant que programme d'ordinateur comportant des instructions pour son exécution. Le programme d'ordinateur peut être enregistré sur un support d'enregistrement lisible par un processeur. Le support peut être électronique, magnétique, optique ou électromagnétique.
- [0093] En particulier, l'invention peut être implémentée par un dispositif comprenant un processeur et une mémoire. Le processeur peut être un processeur générique, un processeur spécifique, un circuit intégré propre à une application (connu aussi sous le nom anglais d'ASIC pour « Application-Specific Integrated Circuit ») ou un réseau de portes programmables in situ (connu aussi sous le nom anglais de FPGA pour « Field-Programmable Gate Array »).
- [0094] Le dispositif peut utiliser un ou plusieurs circuits électroniques dédiés ou un circuit à usage général. La technique de l'invention peut se réaliser sur une machine de calcul reprogrammable (un processeur ou un micro-contrôleur par exemple) exécutant un programme comprenant une séquence d'instructions, ou sur une machine de calcul dédiée (par exemple un ensemble de portes logiques comme un FPGA ou un ASIC, ou tout autre module matériel).
- [0095] Selon un mode de réalisation, le dispositif comprend au moins un support de stockage lisible par ordinateur (RAM, ROM, EEPROM, mémoire flash ou une autre technologie de mémoire, CD-ROM, DVD ou un autre support à disque optique, cassette magnétique, bande magnétique, disque de stockage non transitoire lisible par ordinateur) codé avec un programme d'ordinateur (c'est-à-dire plusieurs instructions exécutables) qui, lorsqu'il est exécuté sur un processeur ou plusieurs processeurs, effectue les fonctions des modes de réalisation de l'invention décrits précédemment.
- [0096] A titre d'exemple d'architecture matérielle adaptée à mettre en œuvre l'invention, un dispositif selon l'invention peut comporter un bus de communication auquel sont reliées une unité centrale de traitement ou microprocesseur (CPU, acronyme de « Central Processing Unit » en anglais), une mémoire morte (ROM, acronyme de « Read Only Memory » en anglais) pouvant comporter les programmes nécessaires à la mise en œuvre de l'invention ; une mémoire vive ou mémoire cache (RAM, acronyme de « Random Access Memory » en anglais) comportant des registres adaptés à enregistrer des variables et paramètres créés et modifiés au cours de l'exécution des programmes précités ; et une interface de communication ou E/S (I/O, acronyme de « Input/Output » en anglais) adaptée à transmettre et à recevoir des données.

[0097] La référence à un programme d'ordinateur qui, lorsqu'il est exécuté, effectue l'une quelconque des fonctions décrites précédemment, ne se limite pas à un programme d'application s'exécutant sur un ordinateur hôte unique. Au contraire, les termes programme d'ordinateur et logiciel sont utilisés ici dans un sens général pour faire référence à tout type de code informatique (par exemple, un logiciel d'application, un micro logiciel, un microcode, ou toute autre forme d'instruction d'ordinateur) qui peut être utilisé pour programmer un ou plusieurs processeurs pour mettre en œuvre des aspects des techniques décrites ici. Les moyens ou ressources informatiques peuvent notamment être distribués (« Cloud computing »), éventuellement avec selon des technologies de pair-à-pair. Le code logiciel peut être exécuté sur n'importe quel processeur approprié (par exemple, un microprocesseur) ou cœur de processeur ou un ensemble de processeurs, qu'ils soient prévus dans un dispositif de calcul unique ou répartis entre plusieurs dispositifs de calcul (par exemple tels qu'éventuellement accessibles dans l'environnement du dispositif). Le code exécutable de chaque programme permettant au dispositif programmable de mettre en œuvre les processus selon l'invention, peut être stocké, par exemple, dans le disque dur ou en mémoire morte. De manière générale, le ou les programmes pourront être chargés dans un des moyens de stockage du dispositif avant d'être exécutés. L'unité centrale peut commander et diriger l'exécution des instructions ou portions de code logiciel du ou des programmes selon l'invention, instructions qui sont stockées dans le disque dur ou dans la mémoire morte ou bien dans les autres éléments de stockage précités.

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles à respecter pour une première station terrestre (SI) en un point sur Terre, émettant en direction d'un satellite non-géostationnaire (NGSO\_V) d'une constellation de satellites (CONS\_V) non-géostationnaires en liaison avec une seconde station terrestre (SV) vis-à-vis de la liaison entre le satellite (NGSO\_V) et la seconde station terrestre (SV), les contraintes opérationnelles comprenant au moins une puissance d'émission maximale de la première station terrestre (SI), le procédé comprenant les étapes de :

- détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ) de deux angles ( $\theta$ ,  $\phi$ ) et d'un rapport interférence à bruit, les deux angles ( $\theta$ ,  $\phi$ ) définissant une position de la première station terrestre (SI) par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre (SV) et le satellite non-géostationnaire (NGSO\_V) et le rapport interférence à bruit ( $I/N$ ) étant le rapport entre des interférences (I) émises par la première station terrestre (SI) sur la liaison entre la seconde station terrestre (SV) et le satellite non-géostationnaire (NGSO\_V) et du bruit (N) de la liaison, la détermination des triplets étant réalisée de manière à ce qu'une distribution de rapports signal à bruit et interférence (R) cumulés sur un intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence (REF), les rapports signal à bruit et interférence (R) étant les rapports entre un signal utile (C) de la liaison et le bruit (N) et les interférences (I) ;
- détermination d'au moins la puissance maximale d'émission de la première station terrestre (SI) à partir des triplets de valeurs.

[Revendication 2]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles selon la revendication 1 dans lequel les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ) sont déterminés par les étapes suivantes :

- 1) sélectionner (201), pour chaque instant d'un intervalle de temps, des premières stations terrestres (SI) et un satellite non-géostationnaire (NGSO\_V) en liaison avec la seconde station terrestre (SV), et déterminer, pour chaque instant de l'intervalle de temps, un triplet ( $\theta$ ,  $\phi$ , R) de valeurs d'angles ( $\theta$ ,  $\phi$ ) définissant une position des premières stations terrestres (SI) sélectionnées par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre (SV) et le satellite non-géostationnaire (NGSO\_V) et de rapport signal à bruit et interférence (R), le rapport signal à bruit et interférence étant le rapport signal à bruit et interférence

des premières stations sélectionnées vis-à-vis de la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire ;

2) déterminer (202) les instants de l'intervalle de temps et ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence du triplet  $(\theta, \phi, R)$  de ces instants de manière à ce qu'une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps soit supérieure à une distribution de référence (REF) ;

3) déterminer (203) des triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  aux instants déterminés et une équation de surface paramétrée par les triplets  $(\theta, \phi, I/N)$ , les triplets de valeurs  $(\theta, \phi, I/N)$  étant les angles  $(\theta, \phi)$  définissant la position des premières stations terrestres sélectionnées par rapport à l'axe formé par la seconde station terrestre (SV) et le satellite non-géostationnaire (NGSO\_V) et  $I/N$  étant un rapport interférence à bruit sur la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire déterminé par les rapports signal à bruit et interférence (R) ajustés, les points de cette équation de surface représentant les triplets de valeurs limites  $(\theta, \phi, I/N)$ .

[Revendication 3]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles selon la revendication 2, dans lequel la sélection des stations terrestres et du satellite non-géostationnaire à l'étape 1) est réalisée de manière à minimiser un rapport signal à bruit et interférence (R) sur une liaison entre la seconde station terrestre (SV) et le satellite non-géostationnaire sélectionné.

[Revendication 4]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles selon l'une des revendications 2 ou 3 comprenant les étapes suivantes effectuées après l'étape 3) :

4) pour chaque instant de l'intervalle de temps et pour la seconde station terrestre (SV), sélectionner (204) des premières stations terrestres en des points sur Terre et un satellite non-géostationnaire en liaison avec la seconde station terrestre, tels que les premières stations terrestres ont des valeurs d'angle  $(\theta, \phi)$  et un rapport interférence à bruit ( $I/N$ ) sur la liaison entre la seconde station terrestre (SV) et le satellite non-géostationnaire, et que pour ces valeurs d'angle, le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal au rapport interférence à bruit obtenu par l'équation de surface pour ces mêmes valeurs d'angle ;

5) déterminer (205) les instants de l'intervalle de temps et ajuster la valeur de rapport signal à bruit et interférence (R) des premières stations terrestres sélectionnées de ces instants, de manière à minimiser l'écart

entre une distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés sur l'intervalle de temps des premières stations sélectionnées et une distribution de référence (REF), la distribution des rapports signal à bruit et interférence cumulés étant supérieure à la distribution de référence ;  
 6) déterminer (206) une deuxième équation de surface paramétrée par les valeurs d'angle et de rapport interférence à bruit ajustés à partir des rapports signal à bruit et interférence ajustés des premières stations terrestres sélectionnées aux instants déterminés à l'étape 5), les points de cette deuxième équation de surface représentant les triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ , I/N).

[Revendication 5]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles selon l'une des revendications 2 ou 3 dans lequel le procédé comprend les étapes suivantes effectuées après l'étape 3) :  
 3') déterminer (203') les valeurs d'angle ( $\theta$ ,  $\phi$ ) définissant la position d'une première station terrestre émettant en direction d'un satellite non-géostationnaire en liaison avec la seconde station terrestre et le rapport interférence à bruit (I/N) de la première station terrestre sur la liaison entre la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire ;  
 3'') comparer (203'') le rapport interférence à bruit au rapport interférence à bruit déterminé par l'équation de surface pour les valeurs d'angle déterminées en 3'), de sorte que :  
 - si le rapport interférence à bruit est inférieur ou égal à celui déterminé par l'équation de surface, conserver ou augmenter la puissance d'émission de la première station terrestre de manière à ce que son rapport interférence à bruit reste inférieur à celui de l'équation de surface ;  
 - si le rapport interférence à bruit est supérieur à celui obtenu avec l'équation de surface, diminuer la puissance d'émission de la première station terrestre de manière à ce que son rapport interférence à bruit soit supérieur ou égal à celui de l'équation de surface.

[Revendication 6]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles selon l'une des revendications 2 à 5 dans lequel le procédé est mis en œuvre pour une pluralité d'hypothèses de positions de la seconde station terrestre (SV).

[Revendication 7]

Procédé, mis en œuvre par ordinateur, de détermination de contraintes opérationnelles selon l'une des revendications 2 à 6 dans lequel les premières stations terrestres et le satellite non-géostationnaire sélectionnés à l'étape 1) sont ceux minimisant une valeur d'angle ( $\theta$ ) dé-

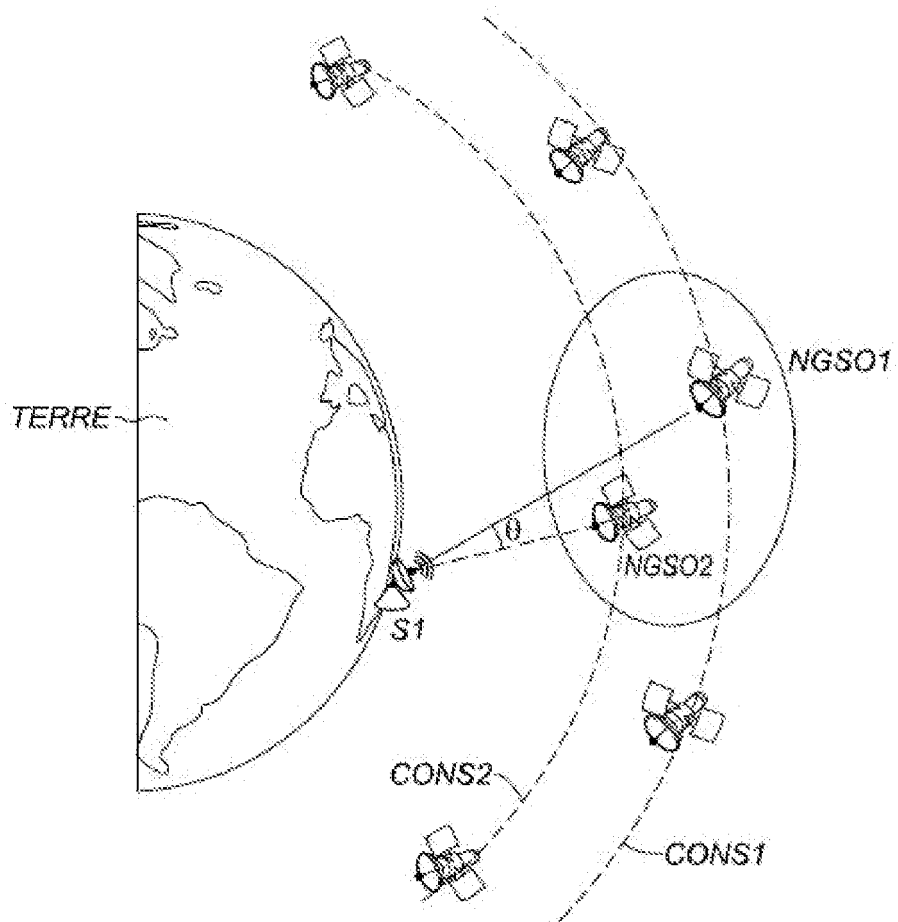
finissant la position des premières stations terrestres par rapport à un axe formé par la seconde station terrestre et le satellite non-géostationnaire sélectionné.

[Revendication 8] Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution du procédé de détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ) selon l'une quelconque des revendications précédentes, lorsque le programme est exécuté par un processeur.

[Revendication 9] Support d'enregistrement lisible par un processeur sur lequel est enregistré un programme comportant des instructions pour l'exécution du procédé de détermination de triplets de valeurs limites ( $\theta$ ,  $\phi$ ,  $I/N$ ) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, lorsque le programme est exécuté par un processeur.

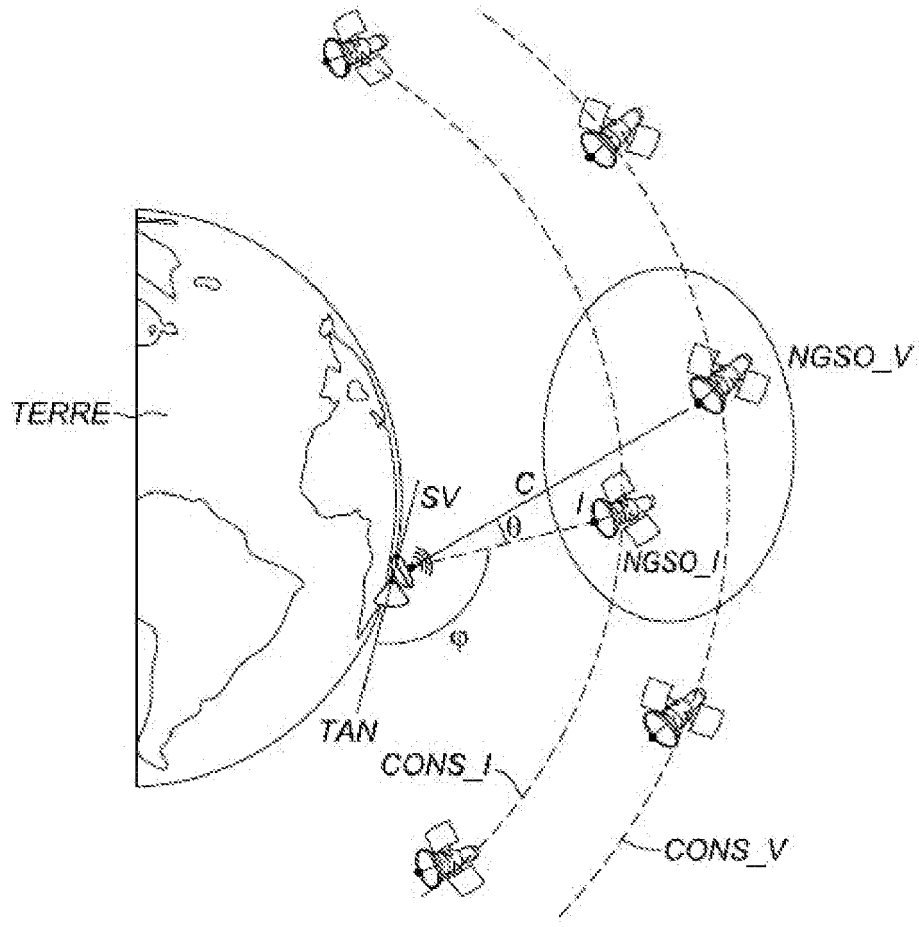
[Fig. 1]

Fig. 1



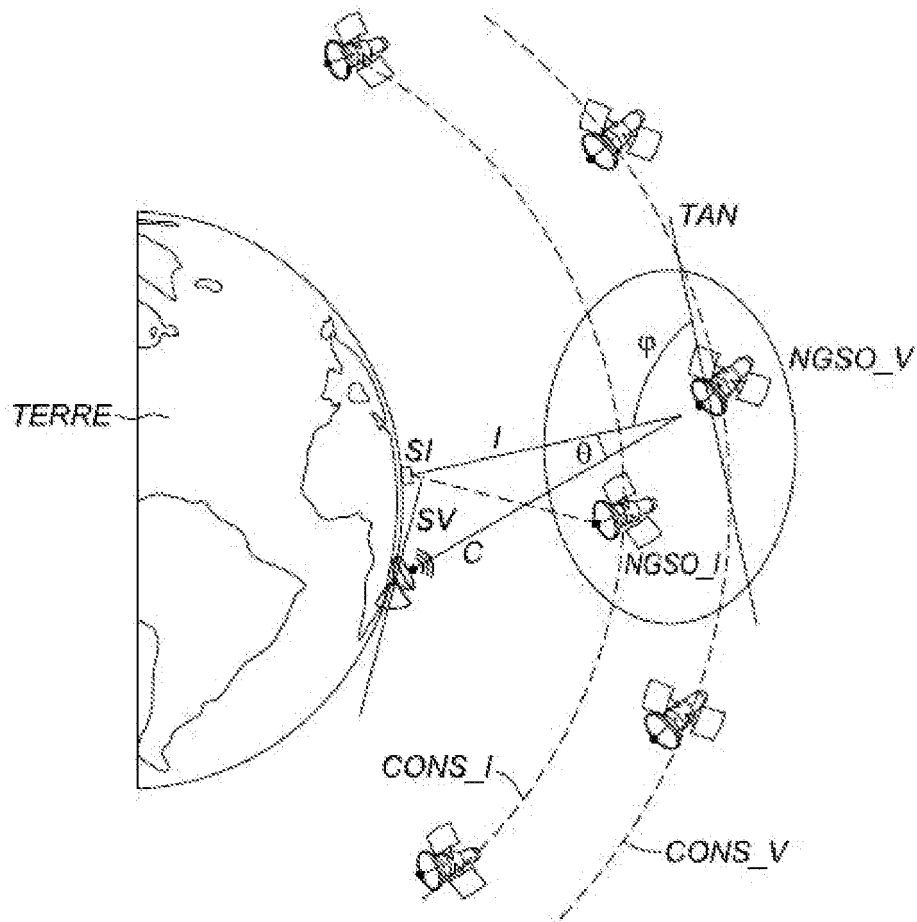
[Fig. 2a]

Fig. 2a



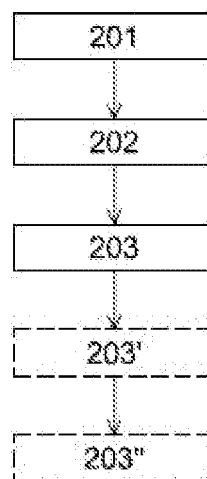
[Fig. 2b]

Fig. 2b

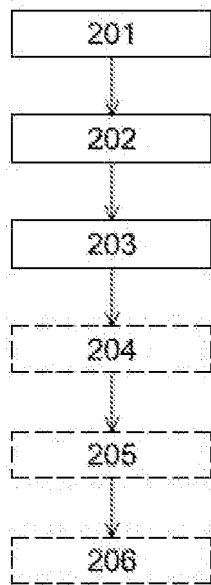


[Fig. 3]

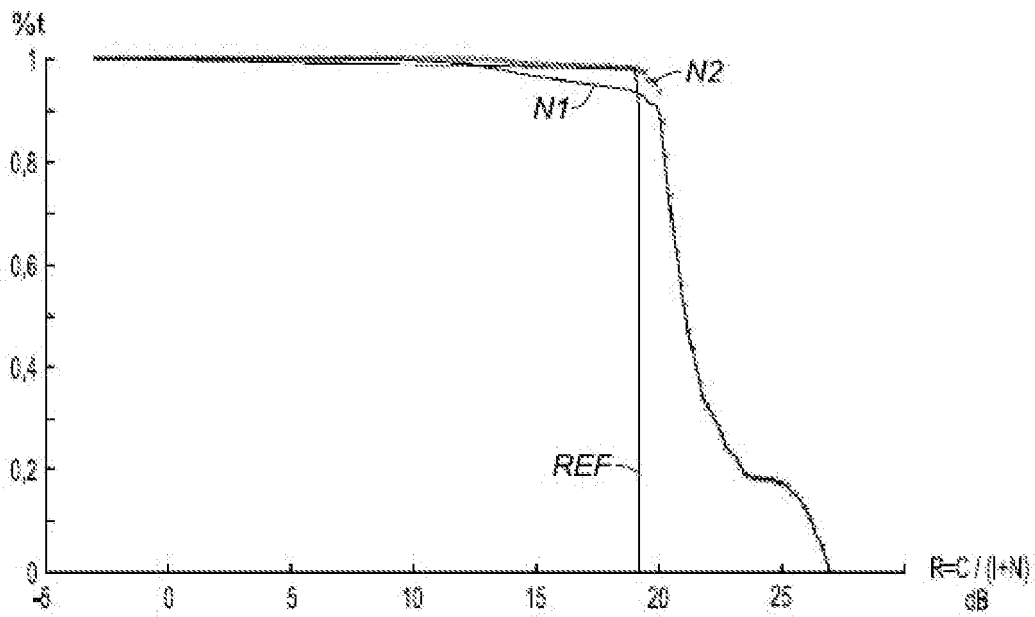
Fig. 3



[Fig. 4]

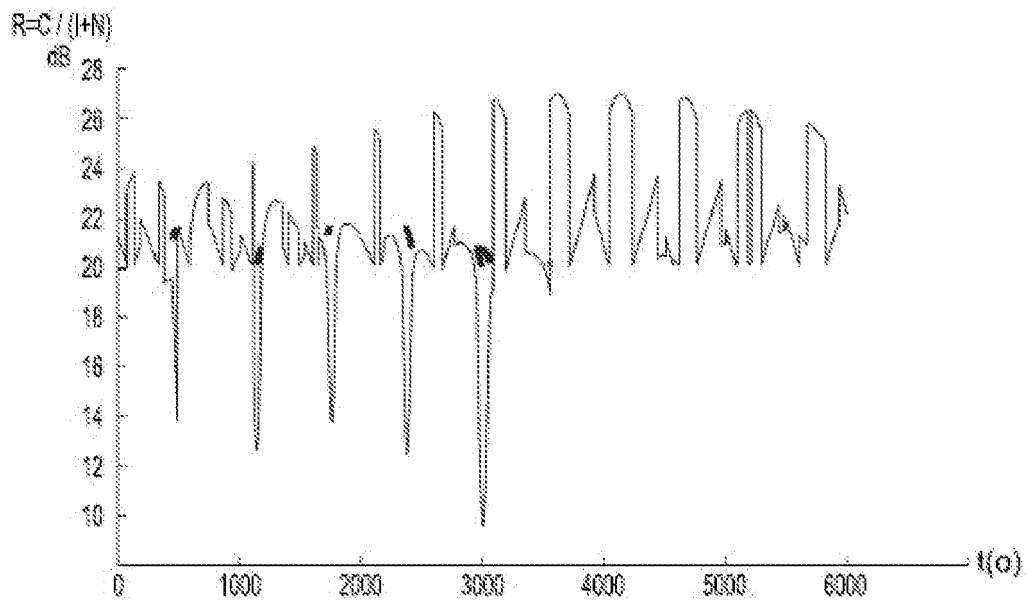
*Fig. 4*

[Fig. 5]

*Fig. 5*

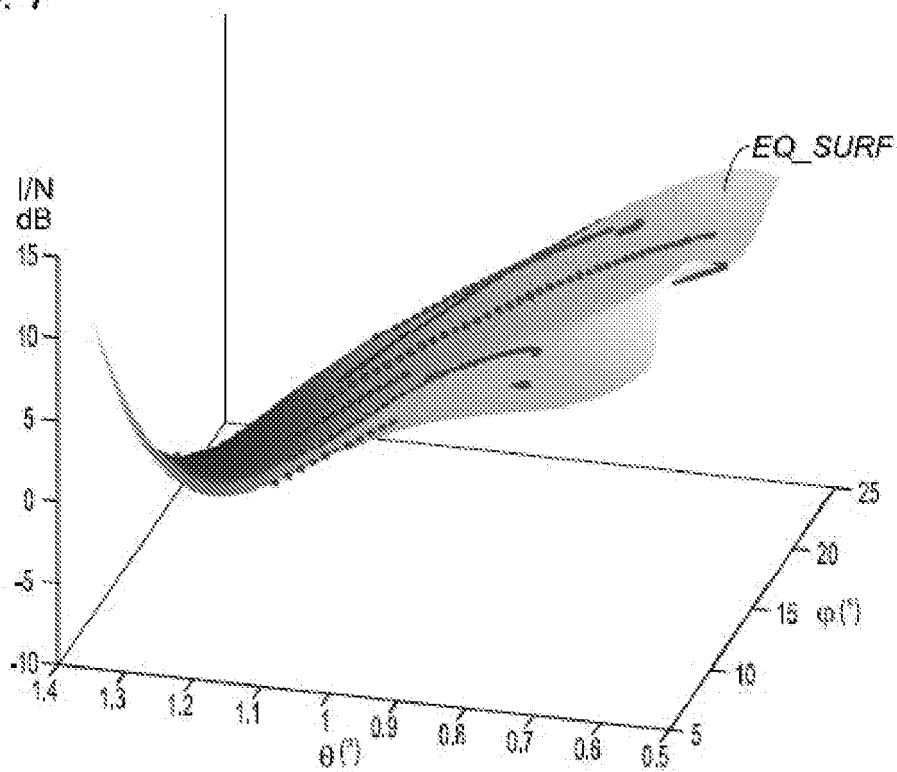
[Fig. 6]

Fig. 6



[Fig. 7]

Fig. 7





**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 881391  
FR 2004048

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 6 011 951 A (KING JANET L [US] ET AL) 4 janvier 2000 (2000-01-04) * colonne 12; figure 6 *	1,8,9	H04B7/14 H04B17/30 H04B7/195 H04B7/19 H04B17/309
A	EP 3 182 615 A1 (THALES SA [FR]) 21 juin 2017 (2017-06-21) * alinéas [0087] - [0092]; figures 5a,5b *	1,8,9	
A	WO 2017/177343 A1 (TELESAT CANADA [CA]) 19 octobre 2017 (2017-10-19) * alinéas [0046] - [0049] *	1,8,9	
A	WO 2009/051907 A1 (O3B NETWORKS LTD [GB]; WYLER GREGORY T [US]) 23 avril 2009 (2009-04-23) * pages 20-25 *	1	
A	US 2001/045494 A1 (HIGGINS ROBERT P [US]) 29 novembre 2001 (2001-11-29) * alinéas [0064] - [0080] *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S H04B
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		20 octobre 2020	Esbri, Oriol
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2004048 FA 881391**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **20-10-2020**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6011951	A	04-01-2000	AUCUN	
-----				
EP 3182615	A1	21-06-2017	CA 2952132 A1	18-06-2017
			EP 3182615 A1	21-06-2017
			FR 3045989 A1	23-06-2017
			US 2017181173 A1	22-06-2017
-----				
WO 2017177343	A1	19-10-2017	AU 2017251218 A1	29-11-2018
			BR 112018070877 A2	05-02-2019
			CA 2927217 A1	14-10-2017
			CA 3020760 A1	19-10-2017
			CL 2018002927 A1	25-01-2019
			CN 109155669 A	04-01-2019
			CO 2018011303 A2	31-10-2018
			EA 201892334 A1	29-03-2019
			EP 3443688 A1	20-02-2019
			JP 2019514295 A	30-05-2019
			PE 20181880 A1	05-12-2018
			US 2019181946 A1	13-06-2019
			WO 2017177343 A1	19-10-2017
			ZA 201806772 B	31-07-2019
-----				
WO 2009051907	A1	23-04-2009	AU 2008314537 A1	23-04-2009
			EP 2210289 A1	28-07-2010
			KR 20100088632 A	09-08-2010
			WO 2009051907 A1	23-04-2009
-----				
US 2001045494	A1	29-11-2001	US 2001045494 A1	29-11-2001
			US 2003025041 A1	06-02-2003
			US 2003034422 A1	20-02-2003
-----				