

## **Recommandation UIT-R S.1503-4 (09/2023)**

Série S: Services fixe par satellite

**Description fonctionnelle à utiliser pour le développement d'outils logiciels destinés à déterminer la conformité des réseaux ou des systèmes à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite aux limites spécifiées dans l'Article 22 du Règlement des radiocommunications**

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/publ/R-REC/fr>)

| Séries     | Titre  |
|------------|--|
| <b>BO</b>  | Diffusion par satellite  |
| <b>BR</b>  | Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision                   |
| <b>BS</b>  | Service de radiodiffusion sonore   |
| <b>BT</b>  | Service de radiodiffusion télévisuelle   |
| <b>F</b>   | Service fixe   |
| <b>M</b>   | Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés               |
| <b>P</b>   | Propagation des ondes radioélectriques   |
| <b>RA</b>  | Radio astronomie   |
| <b>RS</b>  | Systèmes de télédétection  |
| <b>S</b>   | <b>Service fixe par satellite</b>  |
| <b>SA</b>  | Applications spatiales et météorologie   |
| <b>SF</b>  | Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe |
| <b>SM</b>  | Gestion du spectre   |
| <b>SNG</b> | Reportage d'actualités par satellite   |
| <b>TF</b>  | Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires  |
| <b>V</b>   | Vocabulaire et sujets associés   |

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2024

© UIT 2024

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R S.1503-4

**Description fonctionnelle à utiliser pour le développement d'outils logiciels destinés à déterminer la conformité des réseaux ou des systèmes à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite aux limites spécifiées dans l'Article 22 du Règlement des radiocommunications**

(2000-2005-2013-2018-2023)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation contient une description fonctionnelle du logiciel que doit utiliser le Bureau des radiocommunications de l'UIT pour examiner les fiches de notifications relatives aux systèmes à satellites non géostationnaires du service fixe par satellite (SFS) du point de vue de leur conformité aux limites de validation spécifiées dans le Règlement des radiocommunications.

**Mots clés**

Puissance surfacique équivalente (epfd), non OSG, méthodologie.

**Abréviations/Glossaire**

Angle alpha ( $\alpha$ ): angle minimal entre la droite en direction du satellite non OSG et les droites en direction de l'arc OSG, tel qu'observé au niveau de la station terrienne qui communique avec un satellite OSG.

Gabarit de p.i.r.e.: gabarit de puissance isotrope rayonnée équivalente utilisé pour définir les émissions de la station terrienne non OSG dans le calcul de la puissance surfacique équivalente(liaison montante) ou les émissions du satellite non OSG pour le calcul de la puissance surfacique équivalente(liaison inter-satellites).

epfd: puissance surfacique équivalente, définie au numéro **22.5C.1** du Règlement des radiocommunications (RR) pour laquelle trois cas doivent être envisagés:

epfd(liaison descendante): émissions en provenance de systèmes à satellites non OSG et à destination de la station terrienne d'un satellite OSG;

epfd(liaison montante): émissions en provenance de la station terrienne non OSG et à destination d'un satellite OSG;

epfd(liaison inter-satellites): émissions inter-satellites en provenance d'un système à satellites non OSG et à destination d'un système à satellites OSG.

Gabarit de puissance surfacique: gabarit de puissance surfacique utilisé pour définir les émissions du satellite non OSG dans le calcul de la puissance surfacique équivalente(liaison descendante).

WCG: configuration dans le cas le plus défavorable, l'emplacement de la station terrienne OSG et celui du satellite OSG qui, selon l'analyse, seraient à l'origine des valeurs les plus élevées de puissance surfacique équivalente pour une seule source de brouillage pour des données d'entrée bien précises.

**Recommandations et Rapports UIT-R sur le sujet**

Recommandation UIT-R BO.1443 – Diagrammes de référence des antennes de stations terriennes du service de radiodiffusion par satellite à utiliser pour l'évaluation des brouillages faisant intervenir des satellites non géostationnaires dans les bandes de fréquences visées à l'Appendice **30** du Règlement des radiocommunications

Recommandation UIT-R S.672 – Diagramme de rayonnement à utiliser comme objectif de conception pour les antennes de satellite dans le service fixe par satellite employant des satellites géostationnaires

Recommandation UIT-R S.1428 – Diagrammes de rayonnement de référence de station terrienne du SFS, à utiliser pour l'évaluation des brouillages faisant intervenir des satellites non OSG dans des bandes de fréquences comprises entre 10,7 GHz et 30 GHz

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la CMR-2000 a adopté, dans l'Article **22** du Règlement des radiocommunications (RR), des limites pour une seule source de brouillage applicables aux systèmes à satellites non OSG du SFS dans certaines parties de la gamme 10,7-30 GHz, pour protéger les réseaux à satellite OSG fonctionnant dans les mêmes bandes de fréquences contre les brouillages inacceptables;
- b) que ces bandes de fréquences sont actuellement utilisées ou qu'il est envisagé de les utiliser de manière intensive pour les systèmes OSG;
- c) que, lors de l'examen conformément aux numéros **9.35** et **11.31** du RR, le Bureau examine les systèmes à satellites non OSG du SFS pour vérifier qu'ils respectent les limites de puissance surfacique équivalente (epfd) pour une seule source de brouillage indiquées dans les Tableaux **22-1A**, **22-1B**, **22-1C**, **22-1D**, **22-1E**, **22-2** et **22-3** de l'Article **22** du RR;
- d) que, pour procéder à l'examen réglementaire mentionné au point c) du *considérant*, le Bureau des radiocommunications (BR) a besoin d'un outil logiciel permettant de calculer les niveaux de puissance produits par ces systèmes, sur la base des caractéristiques spécifiques de chacun des systèmes du SFS non OSG soumis au Bureau pour coordination ou notification, selon le cas;
- e) que les systèmes du SFS OSG et les systèmes du SRS OSG ont des caractéristiques propres et qu'il sera nécessaire d'évaluer les brouillages pour diverses combinaisons de caractéristiques d'antenne, de niveaux et de probabilité de brouillage;
- f) qu'il est nécessaire pour les concepteurs de réseaux à satellite (du SFS non OSG, du SFS OSG et du SRS OSG) de connaître la base sur laquelle le BR va s'appuyer pour procéder à ces vérifications;
- g) que la CMR-19 a adopté une méthode qui permet d'évaluer l'incidence des brouillages causés par des systèmes non OSG aux réseaux OSG dans la gamme de fréquences 37,5-51,4 GHz, en utilisant les statistiques d'epfd en tant que données d'entrée;
- h) que ces outils ont peut-être déjà été conçus ou sont en cours d'élaboration et peuvent être proposés au BR,

*recommande*

d'utiliser la description fonctionnelle spécifiée dans l'Annexe 1 pour la mise au point d'outils logiciels de calcul des niveaux de puissance produits par les systèmes du SFS non OSG et de vérification de la conformité de ces niveaux aux limites spécifiées dans les Tableaux **22-1A**, **22-1B**, **22-1C**, **22-1D**, **22-1E**, **22-2** et **22-3** de l'Article **22** du RR.

NOTE – L'UIT-R est convenu de poursuivre les travaux visant à élaborer une nouvelle révision de la présente Recommandation et a préparé à cet effet un projet de programme de travail et un document de travail.

## Annexe 1

**Description fonctionnelle du logiciel qu'utilise le Bureau des  
radiocommunications pour vérifier que les systèmes non OSG  
du SFS respectent les limites de puissance  
surfactive équivalente**

## TABLE DES MATIÈRES

|  | <b>Page</b> |
|--|-------------|
| PARTIE A – Contraintes et hypothèses de base.....                                      | 5           |
| A1 Généralités.....  | 5           |
| A2 Hypothèses de base.....   | 7           |
| A3 Méthode de modélisation .....   | 10          |
| PARTIE B – paramètres d'entrée.....  | 10          |
| B1 Introduction .....  | 10          |
| B2 Paramètres fournis par le BR qui sont utilisés par le logiciel.....                 | 11          |
| B3 Données d'entrée relatives au système non OSG utilisées par le logiciel .....       | 11          |
| B4 Gabarits de puissance surfactive/p.i.r.e. ....                                      | 15          |
| B5 Validation des paramètres d'entrée.....   | 16          |
| Pièce jointe de la Partie B .....  | 18          |
| PARTIE C – Production des gabarits de puissance surfactive/p.i.r.e. ....               | 26          |
| C1 Définition.....   | 26          |
| C2 Production des gabarits de puissance surfactive du satellite .....                  | 26          |
| C3 Production de gabarits de p.i.r.e. ....   | 36          |
| C4 Format des gabarits de puissance surfactive et de p.i.r.e.....                      | 38          |
| PARTIE D – Logiciel pour l'examen des fiches de notification de systèmes non OSG ..... | 48          |
| D1 Introduction .....  | 48          |
| D2 Nombre d'exécutions à effectuer .....   | 50          |
| D3 Cas le plus défavorable (WCG).....  | 52          |
| D4 Calcul de la taille du pas de temps et du nombre de pas de temps.....               | 86          |

|   |   |     |
|---|---|-----|
| D5  | Description du calcul de l'epfd .....   | 99  |
| D6  | Géométrie et algorithmes .....  | 120 |
| D7  | Structure et format des résultats .....   | 142 |
| PARTIE E – Test de fiabilité des résultats donnés par le logiciel ..... |   | 144 |
| E1  | Évaluation de la précision de calcul du logiciel proposé.....                                     | 144 |
| E2  | Évaluation des statistiques d'epfd(↓/↑) obtenues par le BR.....                                   | 145 |
| E3  | Vérification des gabarits de puissance surfacique.....  | 145 |
| E4  | Recommencement du test du logiciel du BR après modifications ou mises à jour<br>éventuelles ..... | 145 |
| PARTIE F – Environnement d'exploitation du logiciel.....                |   | 145 |
| F1  | Système d'exploitation.....   | 145 |
| F2  | Interfaces avec les logiciels et bases de données existantes.....                                 | 145 |
| F3  | Manuel de l'utilisateur .....   | 146 |

## PARTIE A

**Contraintes et hypothèses de base****A1 Généralités****A1.1 Objet**

L'algorithme logiciel décrit dans la présente Annexe est destiné à être appliqué par le BR lors de l'examen de fiches de notification de systèmes du SFS non OSG, afin de vérifier la conformité aux limites figurant dans les Tableaux **22-1A**, **22-1B**, **22-1C**, **22-1D**, **22-1E**, **22-2** et **22-3** de l'Article **22** du RR.

Sous certaines conditions, l'algorithme pourrait aussi permettre d'examiner si la coordination est requise entre les systèmes non OSG du SFS et de grandes stations terriennes, au titre des numéros **9.7A** et **9.7B** de l'Article **9**, sur la base des critères donnés dans l'Appendice **5** du RR.

L'algorithme utilise les paramètres du système non OSG afin d'obtenir les statistiques d'epfd. Celles-ci peuvent ensuite servir de données d'entrée pour d'autres méthodes qui permettent d'évaluer les brouillages causés par des systèmes non OSG à des réseaux OSG dans les bandes pour lesquelles aucune limite d'epfd n'est prévue dans l'Article **22** du RR.

Pour élaborer l'algorithme utilisé dans la présente Recommandation, on a pris pour référence un satellite OSG en orbite équatoriale présentant un angle d'inclinaison nul. L'analyse à réaliser pour déterminer si un satellite non OSG respecte les limites de puissance surfacique équivalente prescrites dans l'Article **22** du RR repose sur le calcul des valeurs de puissance surfacique équivalente mesurées au niveau du satellite OSG de référence ou d'une station terrienne pointant en direction de ce satellite. Il se pourrait qu'un réseau à satellite OSG exploité à des angles d'inclinaison non nuls subisse des niveaux de puissance surfacique équivalente plus élevés que ceux prédits par l'algorithme, en notant que les analyses au titre des numéros **22.5C**, **22.5D**, **22.5F** sont menées en prenant l'hypothèse d'une inclinaison nulle. L'analyse au titre des numéros **9.7A** et **9.7B** a toutefois pour objet de déterminer si une coordination est requise, en partant du niveau seuil de déclenchement de la coordination qui figure dans l'Appendice **5** du RR. Par conséquent, dans le cas qui nous intéresse, d'autres méthodes, dont celles partant de l'hypothèse d'un angle d'inclinaison non nul pour le satellite OSG, pourraient représenter des solutions de remplacement acceptables.

**A1.2 Diagramme fonctionnel du logiciel**

Le diagramme fonctionnel de l'algorithme logiciel décrit dans la présente Annexe est représenté à la Fig. 1. Il comprend la partie données initiales et la partie calcul pour l'administration notificatrice et le BR. La partie données contient l'ensemble complet des paramètres relatifs au système non OSG notifié, un ensemble de paramètres de référence relatifs au système OSG ainsi que les limites d'epfd fournies par le BR.

La partie calcul sert à effectuer les estimations nécessaires à l'examen de la conformité des systèmes non OSG notifiés avec les limites d'epfd. Cette partie s'appuie sur un concept de gabarit de puissance surfacique de liaison descendante (voir la Note 1), un gabarit de p.i.r.e. de liaison montante (voir la Note 2) et un gabarit de p.i.r.e. inter-satellites (voir la Note 3).

NOTE 1 – Le gabarit de puissance surfacique est la puissance surfacique maximale produite par une station spatiale non OSG et est définie dans la Partie C.

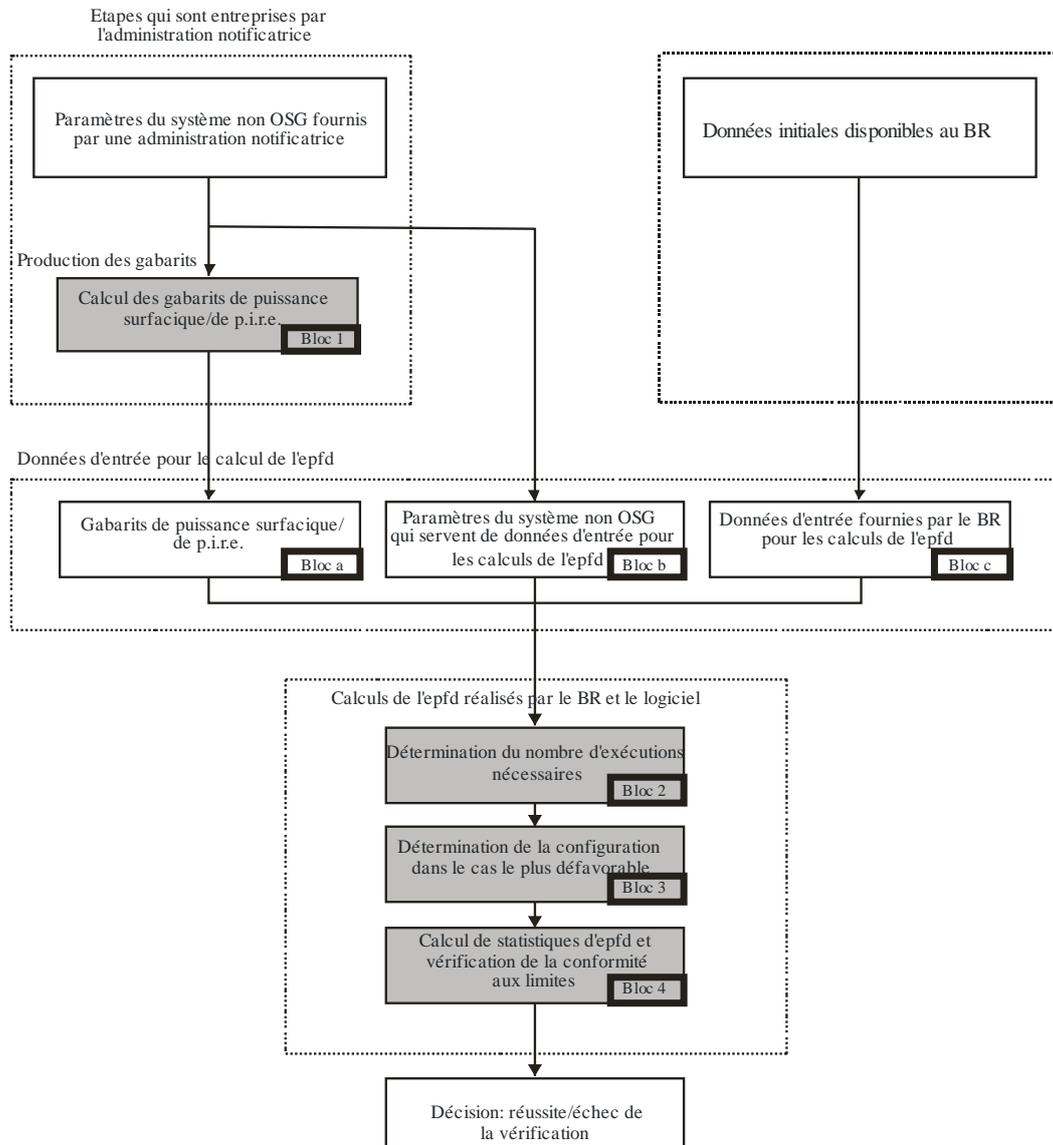
NOTE 2 – Le gabarit de p.i.r.e. est la p.i.r.e. maximale rayonnée par une station terrienne non OSG; il dépend de la latitude et de l'angle formé par l'axe de visée du faisceau principal de l'antenne d'émission et un point situé sur l'arc OSG.

NOTE 3 – Le gabarit de p.i.r.e. inter-satellites est la p.i.r.e. maximale rayonnée par une station spatiale non OSG; il dépend de la latitude et de l'angle formé par la droite orientée vers le point au sol à la verticale du satellite et un point situé sur l'arc OSG.

Il appartient à l'administration notificatrice, telle qu'elle a été identifiée dans le Bloc 1, de calculer les gabarits de puissance surfacique/de p.i.r.e., qu'elle fournira ensuite avec les autres paramètres du système non OSG (Blocs a et b). Le BR fournit des paramètres supplémentaires, par exemple les limites d'epfd(Bloc c).

FIGURE 1

### Différentes étapes de la vérification de l'epfd – Principaux blocs logiques



S.1503-01

### A1.3 Répartition des responsabilités entre les administrations et le BR pour l'utilisation des logiciels

Compte tenu de la grande complexité des caractéristiques spécifiques des différentes configurations de systèmes non OSG dans les logiciels, il serait judicieux de confier une certaine part de responsabilité concernant les tests des limites d'epfd aux administrations notificatrices des systèmes non OSG. Ainsi, la procédure de vérification de la conformité avec les limites d'epfd comporterait

deux étapes. La première inclurait le calcul d'un gabarit pour la puissance surfacique/p.i.r.e. produite par les stations du réseau non OSG brouilleur. Ce gabarit tiendrait compte de toutes les caractéristiques des configurations spécifiques des systèmes non OSG (par exemple le pointage du faisceau et les puissances d'émission possibles). La première étape s'achèverait avec la fourniture du gabarit de puissance surfacique/de p.i.r.e. au BR.

Dans l'étape 2, les calculs seraient effectués par le BR. Cette deuxième étape comprendrait les opérations suivantes:

- Identification du nombre d'exécutions nécessaires pour un réseau non OSG, compte tenu des fréquences notifiées pour ce réseau et des gammes de fréquences auxquelles s'appliquent des limites d'epfd prescrites dans l'Article 22 du Règlement des radiocommunications (Bloc 2).
- Définition de la géométrie d'epfd maximale d'une station spatiale OSG et d'une station terrienne de ce réseau (Bloc 3). Cela permet la vérification des possibilités de partage pour un réseau non OSG notifié avec un réseau OSG du SFS ou du SRS.
- Établissement des statistiques d'epfd(Bloc 4).
- Décision en ce qui concerne la conformité des brouillages à des limites d'epfd appropriées (Bloc 4).

Les estimations sont fondées sur les paramètres des systèmes non OSG (Blocs a et b) fournis par une administration notificatrice et les données initiales (Bloc c) disponibles au BR.

Une administration peut utiliser un logiciel qui fait appel à des algorithmes définis dans la présente Annexe, avec les données sur les réseaux non OSG, pour l'établissement des statistiques des brouillages causés à ses propres réseaux OSG et la vérification de la conformité avec les limites d'epfd. Cela peut faciliter la résolution des différends probables entre le BR et les administrations concernées.

Les éléments du diagramme fonctionnel du logiciel examinés sont décrits en détail dans les paragraphes qui suivent. Les parties sont les suivantes:

- Partie A – Présentation des limitations de base et des principales spécifications du système pour le logiciel dans son ensemble.
- Partie B – Examen des paramètres des réseaux non OSG et des données initiales pour les Blocs a et b.
- Partie C – Présentation des définitions et des algorithmes d'estimation des gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e. relatifs aux stations terriennes et aux stations spatiales des réseaux non OSG. Examen des spécificités de ces gabarits utilisés dans la simulation (Bloc 1).
- Partie D – Spécifications générales du logiciel d'examen des fiches de notification des réseaux non OSG, algorithmes d'établissement des statistiques d'epfd et format des données de sortie. La Partie D couvre les points visés aux Blocs 2, 3 et 4.
- Parties E, F – Spécifications du logiciel pour ce qui est de l'évaluation du logiciel fourni et de la vérification des résultats du logiciel en termes de validité.

## **A2 Hypothèses de base**

### **A2.1 Unités de mesure**

Pour obtenir des résultats de simulation adéquats et éviter les erreurs, on utilise un système d'unités de mesure commun dans le Tableau 1 pour décrire le logiciel. La liste des unités de mesure pour les paramètres physiques de base est donnée dans ce tableau.

TABLEAU 1

**Système d'unités de mesure pour les paramètres physiques de base utilisés  
pour décrire les performances du logiciel**

| Paramètre   | Unités                                      |
|---|---|
| Distance  | km  |
| Angle   | degrés                                      |
| Temps   | s   |
| Vitesse de rotation linéaire  | km/s  |
| Vitesse de rotation angulaire   | degrés/s                                    |
| Fréquence   | MHz   |
| Largeur de bande de fréquence   | kHz   |
| Puissance   | dBW   |
| Densité spectrale de puissance  | dB(W/Hz)                                    |
| Puissance surfacique  | dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) |
| Nombre moyen de stations terriennes non OSG exploitées sur une même fréquence, par unité de surface | 1/km <sup>2</sup>                           |
| epfd↓, epfd ou epfd <sub>is</sub>   | dB(W/BW <sub>ref</sub> )                    |
| Gain d'antenne  | dBi   |
| Position géographique à la surface de la Terre  | degrés                                      |

## A2.2 Constantes

La description fonctionnelle du logiciel d'examen des fiches de notification des réseaux non OSG au BR utilise les constantes figurant dans le Tableau 2.

TABLEAU 2

**Constantes à utiliser avec le logiciel**

| Paramètre                                 | Notation   | Valeur numérique                    | Unités                          |
|---|------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Rayon de la Terre                         | $R_e$      | 6 378,145                           | km                              |
| Rayon de l'orbite géostationnaire         | $R_{geo}$  | 42 164,2                            | km                              |
| Constante de gravitation                  | $\mu$      | $3,986\ 012 \times 10^5$            | km <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> |
| Vitesse de la lumière                     | $c$        | $2,997\ 924\ 58 \times 10^5$        | km/s                            |
| Vitesse de rotation angulaire de la Terre | $\omega_e$ | $4,178\ 074\ 582\ 3 \times 10^{-3}$ | degrés/s                        |
| Période de rotation de la Terre           | $T_e$      | 86 164,090 54                       | s                               |
| Facteur de non-sphéricité de la Terre     | $J_2$      | 0,001 082 636                       | –                               |

### A2.3 Modèle de Terre

L'attraction terrestre est le principal facteur qui définit le mouvement orbital d'un satellite. Parmi les autres facteurs citons:

- les variations de l'orbite dues à la non-sphéricité de la Terre et aux irrégularités de répartition des masses;
- les attractions solaire et lunaire;
- la résistance du milieu pour le satellite;
- la pression de radiation du soleil, etc.

La description fonctionnelle du logiciel dans la présente Annexe tient compte des perturbations orbitales uniquement dues à la non-sphéricité de la Terre. Cela se justifie par le fait que l'effet des autres facteurs perturbateurs est bien moindre. La non-sphéricité de la Terre provoque des perturbations séculaires et périodiques de la longitude du nœud ascendant et de l'argument du périégée de l'orbite. La Partie D6.3 décrit les expressions permettant de tenir compte de l'effet de la non-sphéricité de la Terre.

Les orbites correspondant à certaines trajectoires au sol répétitives peuvent être très sensibles à la précision du modèle d'orbite utilisé. Les administrations peuvent également fournir au BR les vitesses moyennes de précession qu'elles ont elles-mêmes déterminées indépendamment, lesquelles pourraient être utilisées par le logiciel à la place des valeurs calculées au moyen de l'équation figurant au § D6.3.

### A2.4 Types de constellations

L'algorithme utilisé dans la présente Recommandation a été conçu de façon à pouvoir être utilisé au moins avec les systèmes à satellites non OSG figurant dans le Tableau 3.

Les constellations peuvent contenir des sous-constellations dotées de formes et de paramètres orbitaux différents, mais toutes les sous-constellations d'une constellation doivent être répétitives ou non répétitives. Si la constellation est répétitive, la période de répétition spécifiée doit être adaptée à tous les satellites non OSG, y compris à toutes les sous-constellations.

TABLEAU 3

#### Classification par type d'orbite

| Type | Forme de l'orbite         | Équatoriale? | Répétitive? |
|------|---------------------------|--------------|-------------|
| A    | Circulaire                | Non          | Oui         |
| B    | Circulaire                | Non          | Non         |
| C    | Circulaire                | Oui          | Sans objet  |
| D    | Elliptique <sup>(1)</sup> | Non          | Oui         |
| E    | Elliptique <sup>(1)</sup> | Non          | Non         |

<sup>(1)</sup> Dans l'hypothèse où le système elliptique possède son périégée et son apogée aux valeurs extrêmes en latitude, autrement dit l'arc actif est situé sur la latitude la plus haute ou la plus basse.

### A3 Méthode de modélisation

L'approche décrite dans la présente Annexe suppose une modélisation dans le temps selon laquelle les niveaux de brouillage sont évalués par pas de temps. La Section D4 donne une définition de la méthode utilisée pour calculer la taille et le nombre total des pas de temps à utiliser. Une autre approche facultative est définie dans cette même section: elle utilise un pas de temps double et permet ainsi de réduire la durée des exécutions sans nuire à la décision finale.

## PARTIE B

### Paramètres d'entrée

#### B1 Introduction

##### B1.1 Rappel

Certains paramètres d'un réseau non OSG et d'autres données doivent être spécifiés afin de pouvoir exécuter les fonctions logicielles indispensables:

- *Fonction 1*: Fournir les gabarits de puissance surfacique pour les satellites non OSG (liaison descendante) et le gabarit de p.i.r.e. pour les stations terriennes émettant en direction de ces satellites (liaison montante) ou du satellite non OSG (intersatellite).
- *Fonction 2*: Appliquer le gabarit de puissance surfacique/p.i.r.e. dans le calcul des niveaux d'epfd↓ de liaison descendante, d'epfd↑ de liaison montante et/ou d'epfd intersatellite (distributions cumulatives temporelles des epfd).
- *Fonction 3*: Vérifier si les niveaux des gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e. sont compatibles avec les paramètres d'émission de base du réseau non OSG, seulement en cas de différend.

Les rôles respectifs de l'administration responsable du réseau non OSG et du BR sont examinés dans le § A1.3.

Le BR a besoin de paramètres détaillés pour assurer la Fonction 2. La présente section porte donc essentiellement sur les paramètres nécessaires pour répondre à cette exigence.

Les paramètres fournis devraient être cohérents: en d'autres termes, dans le cas où l'administration modifierait son réseau (modification de la constellation par exemple) en changeant sa puissance surfacique/sa p.i.r.e., il serait nécessaire de fournir au BR un nouveau gabarit.

##### B1.2 Champ d'application et vue d'ensemble

La présente section identifie les données d'entrée du logiciel en quatre sections:

- la section B2 définit les données d'entrée fournies par le BR;
- la section B3 définit les données d'entrée fournies par l'opérateur du système non OSG, sauf les gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e.;
- la section B4 définit les gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e.;
- la Pièce jointe à la Partie B, dans laquelle on effectue une mise en correspondance entre ces paramètres et les tableaux de la base de données SRS.

Il convient de noter que dans les tableaux ci-dessous, les noms de variables entre crochets indiquent un indice et non un texte provisoire.

## B2 Paramètres fournis par le BR qui sont utilisés par le logiciel

Le BR fournit deux types de données. Le premier correspond au type d'exécution:

|          |  |
|----------|--|
| RunType  | L'un des types { Article 22, 9.7A, 9.7B }                                    |
| SystemID | Identité du système à examiner (système non OSG ou grande station terrienne) |

Le second correspond aux niveaux seuil d'epfd à utiliser comme critères de réussite/d'échec. Le logiciel a accès à ces données lors des différentes exécutions et ces données se présentent sous forme d'une série d'enregistrements comme suit:

|                        |   |
|------------------------|---|
| epfddirection          | une des directions { descendante, montante, inter-satellites }  |
| VictimService          | un des services { SFS, SRS }  |
| StartFrequencyMHz      | Début de la gamme de fréquences à laquelle s'applique le seuil d'epfd   |
| EndFrequencyMHz        | Fin de la gamme de fréquences à laquelle s'applique le seuil d'epfd   |
| VictimAntennaType      | Code de référence du diagramme d'antenne à utiliser dans des requêtes adressées à la bibliothèque DLL de diagrammes de gain d'antenne fournis par l'UIT   |
| VictimAntennaDishSize  | Taille du réflecteur parabolique pour le diagramme de rayonnement de l'antenne brouillée à utiliser dans des requêtes adressées à la bibliothèque DLL de diagrammes de gain d'antenne fournis par l'UIT |
| VictimAntennaBeamwidth | Ouverture de faisceau pour le diagramme de rayonnement de l'antenne brouillée à utiliser dans les requêtes adressées à la bibliothèque DLL de diagrammes de gain d'antenne fournis par l'UIT            |
| RefBandwidthHz         | Largeur de bande de référence, en Hz, pour le niveau d'epfd   |
| NumPoints              | Nombre de points dans le gabarit de la valeur seuil d'epfd  |
| epfdthreshold[N]       | Niveau d'epfd en dBW/m <sup>2</sup> /largeur de bande de référence  |
| epfdpercent[N]         | Pourcentage de temps associé au seuil d'epfd  |

## B3 Données d'entrée relatives au système non OSG utilisées par le logiciel

Elles comprennent des paramètres relatifs à la constellation, des paramètres orbitaux pour chaque station spatiale et un ou plusieurs ensembles de paramètres d'exploitation du système.

### B3.1 Paramètres relatifs à la constellation de satellites non OSG

|                         |   |
|-------------------------|---|
| $N_{sat}$               | Nombre de satellites non OSG  |
| H_MIN                   | Altitude d'exploitation minimale (km)   |
| DoesRepeat              | Fanion pour indiquer que le mouvement initial de la constellation selon la trajectoire, le maintien en position étant utilisé pour conserver la trajectoire |
| AdminSuppliedPrecession | Fanion pour indiquer que le champ de précession du modèle d'orbite de la constellation est fourni par l'administration.                                     |
| $W_{\delta}$            | Plage de maintien en position (degrés)  |
| ORBIT_PRECESS           | Vitesse de précession fournie par l'administration (degrés/seconde)   |

### B3.2 Paramètres relatifs à la station spatiale non OSG

Pour chacun des satellites non OSG, les paramètres suivants définissent l'emplacement de la constellation au début de la simulation.

|      |  |
|------|--|
| A[N] | Demi-grand axe de l'orbite (km)                  |
| E[N] | Excentricité de l'orbite                         |
| I[N] | Inclinaison de l'orbite (degrés)                 |
| O[N] | Longitude du nœud ascendant de l'orbite (degrés) |
| W[N] | Argument du périégée (degrés)                    |
| V[N] | Anomalie vraie (degrés)                          |

### B3.3 Paramètres d'exploitation des systèmes non OSG

Les données suivantes représentent l'ensemble des paramètres requis pour définir les opérations d'un système non OSG. Les ensembles de paramètres peuvent être différents selon la bande de fréquence, mais pour une bande donnée utilisée par le système non OSG, il n'y a qu'un ensemble de paramètres d'exploitation.

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Freq_Min                   | Fréquence minimale pour laquelle cet ensemble de paramètres s'applique  |
| Freq_Max                   | Fréquence maximale pour laquelle cet ensemble de paramètres s'applique  |
| MIN_EXCLUDE[Latitude]      | Angle de zone d'exclusion (degrés): angle minimal par rapport à l'arc OSG au niveau de la station terrienne non OSG, auquel le système non OSG pourra fournir un service à cet emplacement; défini au niveau de la station terrienne (angle $\alpha$ ) pour la latitude correspondante. La valeur de MIN_EXCLUDE à une latitude donnée sera calculée par interpolation linéaire entre les points de données.<br>Ce champ peut varier entre les plans orbitaux du système non OSG via le champ orb_id. Si orb_id est égal à zéro, la zone d'exclusion des données s'applique à tous les plans orbitaux |
| MIN_ELEV[Latitude][Azimut] | Angle d'élévation minimal de la station terrienne non OSG lorsqu'elle reçoit ou transmet (degrés) par latitude et par azimut. La latitude la plus proche dans la table sera utilisée, puis une interpolation linéaire sera effectuée en azimut  |
| MIN_DURATION [Latitude]    | Durée minimale de poursuite du satellite pour la latitude indiquée (secondes): on utilisera la valeur de latitude la plus proche dans la table  |
| MAX_CO_FREQ[Latitude]      | Nombre maximal de satellites non OSG faisant l'objet d'une poursuite qui fonctionnent sur la même fréquence pour la latitude indiquée: on utilisera la valeur de latitude la plus proche dans la table  |
| ES_DENSITY                 | Nombre moyen de stations terriennes non OSG actives à un moment donné (/km <sup>2</sup> )   |
| ES_DISTANCE                | Distance moyenne entre la station terrienne et le centre de la cellule ou le centre de l'empreinte du faisceau (km)   |
| ES_LAT_MIN                 | Limite minimale de l'intervalle de latitude de la station terrienne non OSG (degrés)  |
| ES_LAT_MAX                 | Limite maximale de l'intervalle de latitude de la station terrienne non OSG (degrés)  |

|                  |   |
|------------------|---|
| MIN_ANGLE_AT_ES  | Angle minimal (degrés) à la surface de la Terre entre les droites passant par deux satellites non OSG actifs. Ce paramètre est considéré comme nul s'il n'est pas renseigné. Sans objet si MIN_DURATION[Latitude] a une valeur non nulle  |
| MIN_ANGLE_AT_SAT | Angle minimal (degrés) au niveau du satellite non OSG entre les droites passant par deux stations terriennes non OGS actives. Ce paramètre est considéré comme nul s'il n'est pas renseigné   |
| MAX_CO_FREQ_SAT  | Nombre maximal de stations terriennes non géostationnaires poursuivies sur la même fréquence par un satellite non géostationnaire prises en compte dans le calcul d'epfd(liaison montante). En l'absence de valeur, on suppose que le nombre maximal de stations terriennes poursuivies sur la même fréquence par un satellite non géostationnaire est égal au nombre de stations terriennes créées en vue de l'exécution de l'algorithme epfd↑ |

Ces paramètres seraient fournis au format XML au moyen de l'en-tête suivant:

```
<non_gso_operating_parameters es_lat_max="+90" es_lat_min="-90" es_distance="200"
es_density="0.00001" c_name="orb_id" b_name="azimuth" a_name="latitude"
high_freq_mhz="F2" low_freq_mhz="F1" param_id="1" angle_at_es="5" min_angle_at_sat=5>
```

où:

| Champ            | Type ou intervalle  | Unité           | Exemple              |
|------------------|---|-----------------|----------------------|
| ntc_id           | Entier  | –               | 12345678             |
| sat_name         | Chaîne  | –               | My satellite network |
| param_id         | Entier  | –               | 1                    |
| low_freq_mhz     | Double précision  | MHz             | 10 000               |
| high_freq_mhz    | Double précision  | MHz             | 12 000               |
| a_name           | Intervalle de {latitude} de –90 à +90 degrés  | –               | latitude             |
| b_name           | Intervalle d' {azimut} de 000 à 360 degrés  | –               | azimut               |
| c_name           | Intervalle d' {orb_id} de 01 à 9999<br>0 doit être utilisé pour indiquer que les paramètres sont applicables à toutes les orbites | –               | orb_id               |
| es_density       | Double précision  | km <sup>2</sup> | 0,000 1              |
| es_distance      | Double précision  | km              | 200                  |
| es_lat_min       | Double précision  | degrés          | –90                  |
| es_lat_max       | Double précision  | degrés          | +90                  |
| min_angle_at_sat | Double précision, intervalle de 0 à +90 degrés  | degrés          | 15                   |
| min_angle_at_es  | Double précision, intervalle de 0 à +90 degrés  | degrés          | 5                    |
| max_co_freq      | Entier, intervalle de 0 à 9999  | –               | 2                    |
| max_co_freq_sat  | Entier, intervalle de 0 à 9999  | –               | 2                    |
| min_duration     | Entier, intervalle de 0 à 99 999  | secondes        | 400                  |
| elev_angle       | Double précision, intervalle de 0 à +90 degrés  | degrés          | 5                    |

Après l'en-tête, les données XML contiennent des tableaux de MIN\_EXCLUDE qui peuvent varier en orb\_id et en latitude, tandis que les valeurs de MIN\_DURATION et MAX\_CO\_FREQ ne varient qu'en latitude. Le tableau MIN\_ELEV peut varier à la fois en latitude et en azimut.

Il est à noter que si le type de la station terrienne non OSG défini dans le gabarit de p.i.r.e. est spécifique et non typique, alors les champs *es\_density* et *es\_distance* ne sont pas utilisés.

Les paramètres d'exploitation non OSG seraient stockés dans la même base de données que les gabarits de puissance surfacique et de p.i.r.e.

Un fichier XML de paramètres d'exploitation non OSG pourrait donc se présenter par exemple sous la forme suivante:

```
<?xml version="1.0"?>
<satellite_system sat_name="MySatName" ntc_id="12345678">
  <non_gso_operating_parameters es_lat_max="+90" es_lat_min="-90" es_distance="200"
es_density="0.00001" c_name="orb_id" b_name="azimuth" a_name="latitude" high_freq_mhz="F2"
low_freq_mhz="F1" param_id="1" min_angle_at_sat = "0" min_angle_at_es =0>
  <min_exclude c="1">
    <exclusion_zone_angle a="-75">0</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="-45">3</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="-15">5</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="15">5</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="45">3</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="75">0</exclusion_zone_angle>
  </min_exclude>
  <min_exclude oc="2">
    <exclusion_zone_angle a="-75">0</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="-45">4</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="-15">6</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="15">6</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="45">6</exclusion_zone_angle>
    <exclusion_zone_angle a="75">0</exclusion_zone_angle>
  </min_exclude>
  <max_co_freq a="0">2</max_co_freq>
  <min_duration a="-50">400</min_duration>
  <min_duration a="0">1000</min_duration>
  <min_duration a="50">400</min_duration>
  <min_elev a="-30">
    <elev_angle b="0">30</elev_angle>
    <elev_angle b="90">40</elev_angle>
    <elev_angle b="280">30</elev_angle>
    <elev_angle b="370">40</elev_angle>
  </min_elev>
</satellite_system>
```

```

<min_elev a="0">
  <elev_angle b="0">20</elev_angle>
  <elev_angle b="90">30</elev_angle>
  <elev_angle b="280">20</elev_angle>
  <elev_angle b="370">30</elev_angle>
</min_elev>
<min_elev a="30">
  <elev_angle b="0">30</elev_angle>
  <elev_angle b="90">40</elev_angle>
  <elev_angle b="280">30</elev_angle>
  <elev_angle b="370">40</elev_angle>
</min_elev>
</non_gso_operating_parameters>
</satellite_system>

```

## B4 Gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e.

### B4.1 Gabarit de puissance surfacique (liaison descendante) pour un système non OSG

|   |  |
|---|--|
| FreqMin   | Limite inférieure de la gamme de fréquences, en MHz, pour le gabarit de puissance surfacique considéré   |
| FreqMax   | Limite supérieure de la gamme de fréquences, en MHz, pour le gabarit de puissance surfacique considéré   |
| RefBW   | Le niveau de puissance dans le gabarit de puissance surfacique devrait être rapporté (en kHz) à la même largeur de bande de référence que les seuils d'epfd indiqués dans les tableaux de l'Article 22 pour les gammes de fréquences considérées. Si les tableaux de l'Article 22 donnent deux largeurs de bande de référence (par exemple, 40 kHz et 1 MHz), il convient d'utiliser la plus petite  |
| MaskType  | Un des gabarits { $\alpha$ , ou (az,el)}   |
| Option 1<br>pfd_mask (satellite,<br>latitude, $\alpha$ , $\Delta L$ ) | Le gabarit de puissance surfacique est défini par: <ul style="list-style-type: none"> <li>– le satellite non OSG;</li> <li>– la latitude du point à la verticale du satellite non OSG;</li> <li>– l'écart angulaire <math>\alpha</math> entre cette station spatiale non OSG et l'arc OSG, tel que défini au § D6.4.4);</li> <li>– la différence de longitude <math>\Delta L</math> entre le point à la verticale du satellite non OSG et le point sur l'arc OSG où l'angle <math>\alpha</math> est minimal (voir la définition au § D6.4.4).</li> </ul> |
| Option 2<br>pfd_mask (satellite,<br>latitude, Az, El)                 | Le gabarit de puissance surfacique est défini par: <ul style="list-style-type: none"> <li>– le satellite non OSG;</li> <li>– la latitude du point à la verticale du satellite non OSG;</li> <li>– l'angle d'azimut défini au § D6.4.5;</li> <li>– l'angle d'élévation défini au § D6.4.5.</li> </ul>   |

**B4.2 Gabarit de p.i.r.e.(liaison montante) pour un système non OSG**

|  |   |
|--|---|
| FreqMin                                | Limite inférieure de la gamme de fréquences, en MHz, pour le gabarit de puissance surfacique considéré  |
| FreqMax                                | Limite supérieure de la gamme de fréquences, en MHz, pour le gabarit de puissance surfacique considéré  |
| RefBW                                  | Le niveau de puissance dans le gabarit de puissance surfacique devrait être rapporté (en kHz) à la même largeur de bande de référence que les seuils d'epfd indiqués dans les tableaux de l'Article 22 pour les gammes de fréquences considérées. Si les tableaux de l'Article 22 donnent deux largeurs de bande de référence (par exemple, 40 kHz et 1 MHz), il convient d'utiliser la plus petite |
| ES_ID                                  | Référence d'une station terrienne non OSG ou -1 dans le cas où l'on utilise une station terrienne générique   |
| MaskFormat                             | LatitudeAndAngleGSOArc ou LatitudeAzimuthElevationDeltaLong   |
| ES_e.i.r.p.[Lat] [θ]                   | p.i.r.e. d'une station terrienne non OSG en fonction de la latitude et de l'angle formé par la ligne partant de l'axe de visée de la station terrienne non OSG et la ligne joignant la station terrienne non OSG et un point sur l'arc OSG  |
| ES_e.i.r.p.[Lat][Az][El][Delta LongES] | p.i.r.e. d'une station terrienne non OSG en fonction de la latitude de ladite station, du pointage actuel (azimut, élévation) et de la différence de longitude entre la station terrienne non OSG et le point sur l'arc OSG   |

**B4.3 Gabarit de p.i.r.e.(liaison inter-satellites) pour un système non OSG**

|                       |   |
|-----------------------|---|
| FreqMin               | Limite inférieure de la gamme de fréquences, en MHz, pour le gabarit de p.i.r.e. considéré  |
| FreqMax               | Limite supérieure de la gamme de fréquences, en MHz, pour le gabarit de p.i.r.e. considéré  |
| RefBW                 | Le niveau de puissance dans le gabarit de puissance surfacique devrait être rapporté (en kHz) à la même largeur de bande de référence que les seuils d'epfd indiqués dans les tableaux de l'Article 22 pour les gammes de fréquences considérées. Si les tableaux de l'Article 22 donnent deux largeurs de bande de référence (par exemple, 40 kHz et 1 MHz), il convient d'utiliser la plus petite |
| SAT_e.i.r.p.[Lat] [θ] | p.i.r.e. d'un satellite non OSG en fonction de la latitude et l'angle, vu depuis le satellite non OSG, entre le point au sol à la verticale du satellite non OSG et un point sur l'arc OSG  |

**B5 Validation des paramètres d'entrée**

La présente section décrit les conditions minimales de validation des paramètres d'entrée: des contrôles complémentaires peuvent être effectués.

**B5.1 Paramètres d'une station spatiale non OSG**

La présente méthode est applicable aux types de systèmes non OSG dont les caractéristiques orbitales sont définies dans le Tableau 3. Pour que cette hypothèse soit toujours respectée, les tests suivants doivent être effectués pour chaque satellite non OSG:

*Test pour orbite circulaire ou quasi circulaire:*

Si  $e > 0$  et  $e < \text{MAX\_CIRCULAR\_E}$  alors:

```
{
  Message d'avertissement: le paramètre excentricité =  $e$  est positionné de sorte que l'orbite
  soit circulaire
  Affecter  $e = 0$  et continuer
}
```

*Vérifier que le système HEO possède une valeur  $\omega = \pm\pi/2$ :*

Si l'excentricité  $\geq \text{MAX\_CIRCULAR\_E}$  alors

```
{
  Faire en sorte que  $w$  soit dans l'intervalle  $\{-\pi, +\pi\}$ 
  Si  $(\text{abs}(\pi/2 - \text{abs}(w))) > \text{MAX\_HELO\_DELTAW}$ 
  {
    Message d'erreur: l'apogée de l'orbite n'est pas situé à la latitude maximale
    Exit
  }
}
```

On suppose que:

$\text{MAX\_CIRCULAR\_E} = 0,01$

$\text{MAX\_HELO\_DELTAW} = 1e-5$  degrés

Dans le cas des systèmes qui utilisent de multiples sous-constellations, il faut vérifier que ces dernières sont toutes répétitives ou non répétitives.

## **B5.2 Intervalles des paramètres d'exploitation des systèmes non OSG**

Il convient de contrôler les paramètres d'exploitation des systèmes non OSG suivants:

$\text{MIN\_EXCLUDE}[\text{Latitude}] \geq 0$

$\text{MIN\_ELEV}[\text{Latitude}, \text{Azimut}] \geq 0$

$\text{MIN\_DURATION}[\text{Latitude}] \geq 1$  seconde

$\text{MAX\_CO\_FREQ}[\text{Latitude}] \geq 0$

$\text{ES\_DENSITY} > 0$

$\text{ES\_DISTANCE} \geq 0$  ( $\text{ES\_DISTANCE} = 0$  signifie qu'une seule station terrienne peut être présente dans l'empreinte OSG brouillée)

$+90^\circ > \text{ES\_LAT\_MIN} \geq -90^\circ$

$+90^\circ \geq \text{ES\_LAT\_MAX} > -90^\circ$

$\text{ES\_LAT\_MAX} > \text{ES\_LAT\_MIN}$

$\text{MIN\_ANGLE\_AT\_ES} \geq 0$

$\text{MIN\_ANGLE\_AT\_SAT} \geq 0$

$$\text{MAX\_CO\_FREQ\_SAT} \geq 0$$

### B5.3 Gabarits et fichiers XML des paramètres d'exploitation des systèmes

Il convient de contrôler les paramètres d'exploitation des systèmes non OSG suivants:

- il n'y a qu'un seul ensemble de paramètres d'exploitation des systèmes non OSG par gamme de fréquences;
- il existe un ensemble de paramètres d'exploitation des systèmes non OSG pour chaque gamme de fréquences à examiner;
- si la valeur MIN\_EXCLUDE varie en fonction du plan orbital, une valeur est définie pour chaque plan orbital.

Il faut aussi vérifier que tous les gabarits de p.i.r.e. des stations terriennes au format LatitudeAndAngleGSOArc décroissent de façon monotone.

## Pièce jointe

### de la Partie B

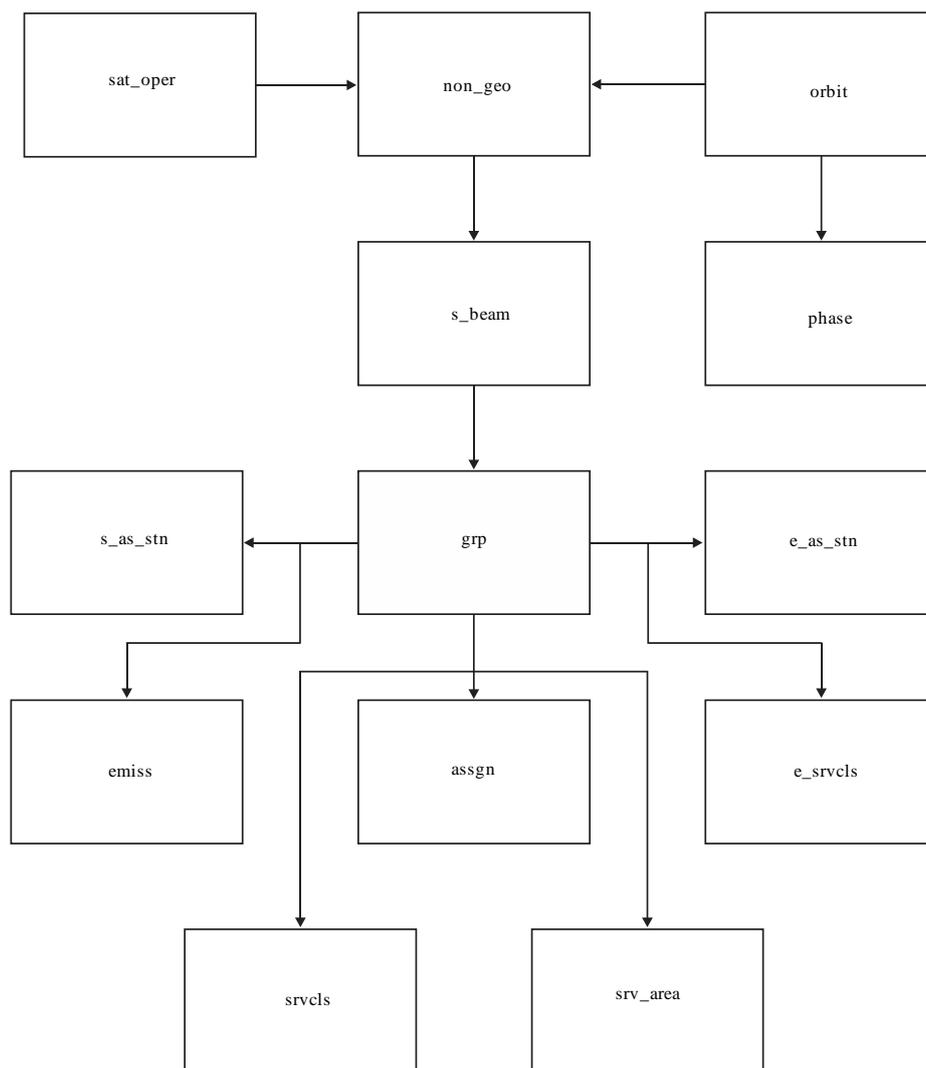
Dans cette Pièce jointe sont décrits les paramètres extraits de la base de données SRS que le logiciel de calcul de l'epfd utilise. Si un fichier étendu de paramètres d'exploitation du système est fourni, il convient d'utiliser les valeurs indiquées dans ce fichier XML plutôt que celles données dans le tableau SRS concerné.

Le Tableau 4 donne la liste des renseignements à fournir au titre de l'Appendice 4 du RR pour les systèmes à satellites non OSG enregistrés dans la base de données des systèmes de réseaux spatiaux (SNS) du BR. La relation entre les tableaux de la base de données est illustrée dans la Fig. 2. Les renseignements concernant les gabarits et les tableaux relatifs aux liaisons n'apparaissent pas dans la Fig. 2 mais sont décrits dans le Tableau 4.

#### Description du format

| Valeur | Description   |
|--------|---|
| X      | Utilisé pour décrire les données alphanumériques<br>Par exemple, X(9) indique un champ à 9 caractères contenant des données alphanumériques<br>XXX équivaut à X (3) |
| 9      | Utilisé pour décrire les chiffres   |
| '.'    | Indique la position d'une décimale  |
| S      | désigne un signe ( $\pm$ )<br>p. ex.: S999,99 implique un champ numérique dont les valeurs varient entre -999,99 et + 999,99  |

FIGURE 2  
Extrait des relations entre entités de la base de données SRS



S.1503-4E

TABLEAU 4  
Données SRS pour l'analyse de l'epfd

Fiche de notification

| Élément de données | Type de données | Format | Description  | Validation     |
|--------------------|-----------------|--------|--|----------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique de la fiche de notification  | Clé primaire   |
| ntc_type           | Texte           | X      | Code indiquant si la fiche de notification concerne un satellite géostationnaire [G], un satellite non géostationnaire [N], une station terrienne spécifique [S] ou une station terrienne type [T] | valeur != zéro |
| d_rcv              | Date/heure      | 9(8)   | Date de réception de la fiche de notification  |                |

| Élément de données | Type de données | Format | Description  | Validation   |
|--------------------|-----------------|--------|--|--|
| ntf_rsn            | Texte           | X      | Code indiquant si la fiche de notification a été soumise au titre des numéros RR1488 [N], RR1060 [C], RR1107 [D], 9.1 [A], 9.6 [C], 9.7A [D], 9.17 [D], 11.2 [N], 11.12 [N], des AP30/30A-des Articles 2A, 4 et 5 [B], AP30B-Articles 6 et 7 [P], AP30B-Article 8 [N] ou Rés. 49 [U] | Le logiciel recherche une valeur qui est 'C' ou 'N'  |
| st_cur             | Texte           | XX     | État d'avancement du traitement de la fiche de notification  | Le logiciel recherche une valeur qui est '50' dans la vérification au titre du numéro <b>9.7A</b> de l'Article 9 |

### Système non OSG

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation   |
|--------------------|-----------------|--------|---|--------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique de la fiche de notification   | Clé primaire |
| sat_name           | Texte           | X(20)  | Nom du satellite  |              |
| nbr_sat_td         | Nombre          | 9      | Nco pour les liaisons montantes   |              |
| density            | Nombre          | 9(9)   | Densité moyenne de stations terriennes non OSG pour les liaisons montantes  |              |
| avg_dist           | Nombre          | 9(9)   | Distance moyenne entre les stations terriennes non OSG exploitées sur la même fréquence pour les liaisons montantes |              |
| f_x_zone           | Texte           | X      | Devrait avoir la valeur «Y» quand la zone d'exclusion repose sur l'angle alpha                                      |              |
| x_zone             | Nombre          | 9(9)   | Taille de la zone d'exclusion   |              |

### Orbite

| Élément de données | Type de données | Format | Description  | Validation                   |
|--------------------|-----------------|--------|--|------------------------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique de la fiche de notification                              | Clé étrangère                |
| orb_id             | Nombre          | 99     | Numéro de séquence du plan orbital   | Clé primaire                 |
| nbr_sat_pl         | Nombre          | 99     | Nombre de satellites par plan orbital non géostationnaire                      | valeur != zéro && valeur > 0 |
| right_asc          | Nombre          | 999,99 | Écart angulaire (degrés) entre le nœud ascendant et l'équinoxe vernal          | valeur != zéro               |
| inclin_ang         | Nombre          | 999,9  | Angle d'inclinaison de l'orbite du satellite par rapport au plan de l'équateur | valeur != zéro               |

## Orbite (suite)

| Élément de données | Type de données | Format  | Description   | Validation                               |
|--------------------|-----------------|---------|---|--|
| apog               | Nombre          | 9(5).99 | Altitude maximale (km) du satellite non géostationnaire au-dessus de la Terre ou d'un autre corps de référence<br>Les distances supérieures à 99 999 km sont exprimées sous forme d'un produit des valeurs des champs «apogée» et «apog_exp» (voir ci-dessous)<br>Exemple: 125 000 = $1,25 \times 10^5$       | valeur != zéro && valeur > 0             |
| apog_exp           | Nombre          | 99      | Partie Exposant de l'apogée exprimé en puissance de 10<br>Pour indiquer l'exposant, indiquer 0 pour $10^0$ , 1 pour $10^1$ , 2 pour $10^2$ , etc.   | valeur != zéro && valeur >= 0            |
| perig              | Nombre          | 9(5).99 | Altitude minimale (km) du satellite non géostationnaire au-dessus de la Terre ou d'un autre corps de référence<br>Les distances supérieures à 99 999 km sont exprimées sous forme d'un produit des valeurs des champs «apogée» et «apog_exp» (voir ci-dessous)<br>Exemple: 125 000 = $1,25 \times 10^5$       | valeur != zéro && valeur > 0             |
| perig_exp          | Nombre          | 99      | Exposant du périégée exprimé en puissance de 10<br>Pour indiquer l'exposant, indiquer 0 pour $10^0$ , 1 pour $10^1$ , 2 pour $10^2$ , etc.  | valeur != zéro && valeur ≥ 0             |
| perig_arg          | Nombre          | 999,9   | Écart angulaire (degrés) entre le nœud ascendant et le périégée d'une orbite elliptique<br>Si le numéro <b>9.11A</b> du RR s'applique   |  |
| op_ht              | Nombre          | 99,99   | Altitude d'exploitation minimale (km) du satellite non géostationnaire au-dessus de la Terre ou d'un autre corps de référence<br>Les distances supérieures à 99 km sont exprimées sous forme d'un produit des valeurs des champs «op_ht» et «op_ht_exp» (voir ci-dessous)<br>Exemple: 250 = $2,5 \times 10^2$ | valeur != zéro && valeur > 0             |
| op_ht_exp          | Nombre          | 99      | Exposant de l'altitude d'exploitation exprimé en puissance de 10<br>Pour indiquer l'exposant, indiquer 0 pour $10^0$ , 1 pour $10^1$ , 2 pour $10^2$ , etc.   | valeur != zéro && valeur ≥ 0             |
| f_stn_keep         | Texte           | X       | Fanion indiquant si la station spatiale utilise [Y] ou n'utilise pas [N] le maintien en position pour conserver une trajectoire répétitive au sol   | valeur != zéro && (valeur == 'Y'    'N') |

**Orbite (fin)**

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation  |
|--------------------|-----------------|--------|---|---|
| rpt_prd_dd         | Nombre          | 999    | Partie jours de la (des) période(s) de répétition de la constellation   |   |
| rpt_prd_hh         | Nombre          | 99     | Partie heures de la (des) période(s) de répétition de la constellation  |   |
| rpt_prd_mm         | Nombre          | 99     | Partie minutes de la (des) période(s) de répétition de la constellation   |   |
| rpt_prd_ss         | Nombre          | 99     | Partie secondes de la (des) période(s) de répétition de la constellation  |   |
| f_precess          | Texte           | X      | Fanion indiquant si la station spatiale devrait [Y] ou ne devrait pas [N] être modélisée avec une vitesse de précession spécifique du nœud ascendant de l'orbite au lieu du terme J2  | valeur != zéro && (valeur == 'Y'    'N')                |
| precession         | Nombre          | 999,99 | Pour une station spatiale qui doit être modélisée avec une vitesse de précession spécifique du nœud ascendant de l'orbite au lieu du terme J2, la vitesse de précession (degrés/jour) mesurée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans le plan de l'équateur              | Si f_precess == 'Y' alors valeur != zéro && valeur ≥ 0  |
| long_asc           | Nombre          | 999,99 | Longitude du nœud ascendant pour le jème plan orbital, mesurée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre dans le plan de l'équateur à partir du méridien de Greenwich vers le point où l'orbite du satellite coupe, dans le sens sud-nord, le plan de l'équateur (0°= j < 360°) | valeur != zéro && valeur ≥ 0                            |
| keep_rnge          | Nombre          | 99,9   | Tolérance de longitude pour la longitude du nœud ascendant  | Si f_stn_keep == 'Y' alors valeur != zéro && valeur ≥ 0 |

**Phase**

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation                   |
|--------------------|-----------------|--------|---|------------------------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique de la fiche de notification   | Clé étrangère                |
| orb_id             | Nombre          | 99     | Numéro de séquence du plan orbital  | Clé étrangère                |
| orb_sat_id         | Nombre          | 99     | Numéro de séquence du satellite dans le plan orbital  | valeur != zéro && valeur ≥ 0 |
| phase_ang          | Nombre          | 999,9  | Angle de phase initial du satellite dans le plan orbital<br>Si le numéro 9.11A du RR s'applique | valeur != zéro && valeur ≥ 0 |

## Grp

| Élément de données | Type de données | Format    | Description   | Validation   |
|--------------------|-----------------|-----------|---|--|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)      | Identificateur unique de la fiche de notification   | Clé étrangère  |
| grp_id             | Nombre          | 9(9)      | Identificateur unique du groupe   | Clé primaire   |
| emi_rcp            | Texte           | X         | Code identifiant un faisceau comme étant un faisceau d'émission [E] ou de réception [R]   | valeur != zéro && (valeur == 'E'    'R')               |
| beam_name          | Texte           | X(8)      | Désignation du faisceau d'antenne du satellite  |  |
| elev_min           | Nombre          | S9(3).99  | Angle d'élévation minimal auquel toute station terrienne associée peut émettre vers un satellite non géostationnaire<br>ou<br>Angle d'élévation minimal auquel la station de radioastronomie effectue des observations monoparabole ou d'interférométrie à très grande base | valeur != zéro && valeur >= 0                          |
| freq_min           | Nombre          | 9(6).9(6) | Fréquence minimale en MHz (fréquence assignée – demi-largeur de bande) (de toutes les fréquences correspondant à ce groupe)   | valeur != zéro && valeur > 0                           |
| freq_max           | Nombre          | 9(6).9(6) | Fréquence maximale en MHz (fréquence assignée + demi-largeur de bande) (de toutes les fréquences correspondant à ce groupe)   | valeur != zéro && valeur > 0                           |
| d_rcv              | Date/heure      | 9(8)      | Date de réception de la liste des assignations de fréquence appartenant au groupe   |  |
| noise_t            | Nombre          | 9(6)      | Température de bruit du système de réception  | Validé uniquement pour les vérifications <b>9.7A/B</b> |

## srv\_cls

| Élément de données | Type de données | Format | Description                     | Validation                   |
|--------------------|-----------------|--------|---------------------------------|------------------------------|
| grp_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique du groupe | Clé étrangère                |
| seq_no             | Nombre          | 9(4)   | Numéro de séquence              | valeur != zéro && valeur ≥ 0 |
| stn_cls            | Texte           | XX     | Classe de la station            |                              |

## sat\_oper

| Élément de données | Type de données | Format | Description  | Validation            |
|--------------------|-----------------|--------|--|-----------------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique du groupe  | Clé étrangère         |
| lat_fr             | Nombre          | 9(9)   | Début de la gamme de latitudes   | -90 ≤ lat_fr < lat_to |
| lat_to             | Nombre          | 9(9)   | Fin de la gamme de latitudes   | lat_fr < lat_to ≤ 90  |
| nbr_op_sat         | Nombre          | 9      | Nco en liaison descendante, à utiliser pour les latitudes entre lat_fr et lat_to | > 0                   |

**mask\_info**

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation  |
|--------------------|-----------------|--------|---|---|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique du groupe   | Clé étrangère   |
| mask_id            | Nombre          | 9(4)   | Numéro de séquence  | Clé étrangère   |
| f_mask             | Texte           | X      | Code identifiant un gabarit comme étant un gabarit de p.i.r.e. de station terrienne («E») ou un gabarit de p.i.r.e. de station spatiale («S») ou encore un gabarit de puissance surfacique de la station spatiale ('P') | valeur != zéro &&<br>(valeur == 'E'    'S'    'P')        |
| f_mask_type        | Texte           | X      | Code décrivant le format du gabarit: «A» = alpha, «Z» = azimut/élévation, «O» = hors axe et «D» = azimut, élévation et deltaLong  | valeur != zéro &&<br>(valeur == 'A'    'Z'    'O'    'D') |

**e\_as\_stn**

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation                                  |
|--------------------|-----------------|--------|---|---|
| grp_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique du groupe   | Clé étrangère                               |
| seq_no             | Nombre          | 9(4)   | Numéro de séquence  | valeur != zéro && valeur >= 0               |
| stn_name           | Texte           | X(20)  | Nom de la station d'émission ou de réception  |   |
| stn_type           | Texte           | X      | Code indiquant si la station terrienne est une station terrienne spécifique «S» ou une station terrienne type «T» | valeur != zéro &&<br>(valeur == 'S'    'T') |
| bmwidth            | Nombre          | 999,99 | Ouverture angulaire du lobe principal de rayonnement exprimée en degrés avec deux décimales                       | valeur != zéro && valeur > 0                |

**mask\_lnk1**

| Élément de données | Type de données | Format | Description  | Validation                   |
|--------------------|-----------------|--------|--|------------------------------|
| grp_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique du groupe                      | Clé étrangère                |
| mask_id            | Nombre          | 9(4)   | Identificateur unique du gabarit                     | Clé étrangère                |
| orb_id             | Nombre          | 99     | Numéro de séquence du plan orbital                   | Clé étrangère                |
| sat_orb_id         | Nombre          | 99     | Numéro de séquence du satellite dans le plan orbital | valeur != zéro && valeur ≥ 0 |

**mask\_ink2**

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation    |
|--------------------|-----------------|--------|---|---------------|
| grp_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique du groupe                     | Clé étrangère |
| seq_e_as           | Nombre          | 9(4)   | Numéro de séquence de la station terrienne associée | Clé étrangère |
| mask_id            | Nombre          | 9(4)   | Identificateur unique du gabarit                    | Clé étrangère |

**mask\_ink3**

| Élément de données | Type de données | Format | Description  | Validation    |
|--------------------|-----------------|--------|--|---------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique de la fiche de notification              | Clé étrangère |
| param_id           | Nombre          | 9(4)   | Identificateur unique des paramètres d'exploitation du système | Clé étrangère |

**Tableaux utilisés dans les calculs au titre des numéros 9.7A/9.7B de l'Article 9****e\_stn**

| Élément de données | Type de données | Format     | Description   | Validation     |
|--------------------|-----------------|------------|---|----------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)       | Identificateur unique de la fiche de notification   | Clé étrangère  |
| stn_name           | Texte           | X(20)      | Nom de la station terrienne   | valeur != zéro |
| sat_name           | Texte           | X(20)      | Nom de la station spatiale associée   | valeur != zéro |
| lat_dec            | Nombre          | S9(2).9(4) | Latitude, en degrés, avec quatre décimales  | valeur != zéro |
| long_dec           | Nombre          | S9(2).9(4) | Longitude, en degrés, avec quatre décimales   | valeur != zéro |
| long_nom           | Nombre          | S999,99    | Longitude nominale de la station spatiale associée, indiquer «-» pour Ouest et «+» pour Est | valeur != zéro |

**e\_ant**

| Élément de données | Type de données | Format | Description   | Validation     |
|--------------------|-----------------|--------|---|----------------|
| ntc_id             | Nombre          | 9(9)   | Identificateur unique de la fiche de notification                                       | Clé étrangère  |
| emi_rcp            | Texte           | X      | Code identifiant un faisceau comme étant un faisceau d'émission [E] ou de réception [R] | valeur != zéro |
| bmwidth            | Nombre          | 999,99 | Ouverture du faisceau de l'antenne de la station terrienne                              |                |
| gain               | Nombre          | S99,9  | Gain isotrope maximal de l'antenne de la station terrienne                              |                |

## PARTIE C

**Production des gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e.****C1 Définition**

L'objet de la production des gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e. est de définir une enveloppe de la puissance rayonnée par les stations spatiales non OSG et par les stations terriennes non OSG de sorte que les résultats des calculs englobent ce qui serait rayonné, quelle que soit la stratégie d'attribution des ressources et de commutation utilisée pendant différentes périodes de la vie utile d'un système non OSG.

Ces gabarits constituent des contraintes réglementaires du fait que le système du SFS non OSG ne doit jamais dépasser ces valeurs; ils peuvent être calculés au moyen de la méthode décrite ci-dessous. Ils représentent une enveloppe de la puissance produite par un système; cette enveloppe restreint la vitesse de variation de la puissance surfacique ou de la p.i.r.e. entre différents points de données ainsi que les valeurs minimales que peuvent prendre les points extrêmes dans les matrices. Il est à noter qu'un système peut ne pas émettre à certaines latitudes: dans ce cas, il convient d'utiliser une valeur «null» égale à  $-1000$  dBW.

**C2 Production des gabarits de puissance surfacique du satellite****C2.1 Présentation générale**

Le gabarit de puissance surfacique du satellite est défini par la puissance surfacique maximale produite par une station spatiale du système brouilleur non OSG vu d'un point quelconque de la surface de la Terre. Il est recommandé de fournir un gabarit de puissance surfacique quadridimensionnel que le BR puisse utiliser dans son logiciel de vérification; ce gabarit est défini selon l'une des deux options suivantes:

*Option 1:* En fonction:

- du satellite non OSG;
- de la latitude du point à la verticale du satellite non OSG;
- de l'écart angulaire  $\alpha$  entre cette station spatiale non OSG et l'arc OSG, vu d'un point quelconque à la surface de la Terre, tel que défini au § D6.4.4;
- de la différence de longitude  $\Delta L$  entre le point à la verticale du satellite non OSG et le point sur l'arc OSG où l'angle  $\alpha$  est minimal, tel que défini au § D6.4.4.

*Option 2:* En fonction:

- du satellite non OSG;
- de la latitude du point à la verticale du satellite non OSG;
- de l'angle d'azimut du satellite non OSG, défini dans le § D6.4.5;
- de l'angle d'élévation du satellite non OSG, défini dans le § D6.4.5.

Quels que soient les paramètres utilisés pour produire le gabarit de puissance surfacique, ce gabarit doit être converti dans l'un des formats définis pour les options ci-dessus.

Il convient de prendre en considération le fait que la station spatiale non OSG peut produire simultanément un nombre maximal donné de faisceaux, de façon à concevoir le système en conséquence et à ne pas imposer de contraintes trop lourdes aux systèmes non OSG.

Les techniques de limitation des brouillages utilisées par le système non OSG, par exemple l'évitement de l'arc OSG, sont mises en œuvre pour calculer le gabarit de puissance surfacique. L'évitement de l'arc OSG définit une zone de non-fonctionnement au sol dans le champ de visibilité d'une station spatiale non OSG. La position de cette zone de non-fonctionnement au sol va se déplacer en fonction de la latitude du point à la verticale du satellite non OSG. Pour obtenir un modèle plus précis dans le cas d'un système non OSG, la latitude du point à la verticale du satellite non OSG est prise comme paramètre pour le calcul du gabarit de puissance surfacique.

## C2.2 Description des techniques de limitation des brouillages

Il convient de décrire précisément la technique de limitation des brouillages mise en œuvre dans le système non OSG pour pouvoir la modéliser en vue du calcul de l'epfd.

En ce qui concerne l'utilisation d'une zone de non-fonctionnement autour de l'arc OSG, il existe au moins deux façons différentes de modéliser un système non OSG selon l'architecture d'une cellule:

- Respect d'une zone de non-fonctionnement sur l'ensemble de la cellule: un faisceau d'une station spatiale non OSG est éteint si l'écart angulaire entre cette station spatiale non OSG et l'arc OSG en un point quelconque de la cellule non OSG est inférieur à  $\alpha_0^\circ$  (angle d'évitement de l'arc OSG).
- Respect d'une zone de non-fonctionnement au centre de la cellule: un faisceau de la station spatiale non OSG est éteint lorsque le centre de la cellule voit cette station spatiale non OSG à un angle inférieur à  $\alpha_0^\circ$  par rapport à l'arc OSG.

On peut utiliser d'autres techniques de limitation des brouillages qui ne sont pas présentées ici. L'administration responsable du système non OSG fournira des informations sur ces techniques en vue de la description et de la vérification du gabarit de puissance surfacique.

## C2.3 Calcul de la puissance surfacique

### C2.3.1 Calcul de la puissance surfacique

La puissance surfacique rayonnée par une station spatiale non OSG en un point quelconque à la surface de la Terre est la somme des puissances surfaciques produites par tous les faisceaux illuminant les cellules et fonctionnant dans la même bande de fréquences.

Certains systèmes non OSG ont des antennes de poursuite qui pointent en direction de cellules fixes à la surface de la Terre et ne suivent pas le mouvement de l'engin spatial. Étant donné que le gabarit de puissance surfacique est calculé en fonction de l'emplacement du satellite non OSG, son élaboration suppose certaines hypothèses. L'utilisation d'une hypothèse simplificatrice comme celle selon laquelle les cellules suivent le mouvement de l'engin spatial risque de conduire à des distributions géographiques inexactes des niveaux epfd.

Étant donné que les systèmes non OSG utilisent des techniques de limitation des brouillages, les faisceaux principaux ne seront pas alignés. Par conséquent, pour tenir compte des effets de dépolarisation, il faut inclure les contributions copolaire et contrapolaire de la polarisation comme sources de brouillage.

La mise en œuvre des gabarits de puissance surfacique prend explicitement en compte à la fois la polarisation copolaire et la polarisation contrapolaire entre satellites non OSG et stations terriennes OSG pour des types de polarisation similaires (circulaire-circulaire et linéaire-linéaire). L'isolement entre des systèmes de différents types de polarisation (circulaire-linéaire) n'est pas directement pris en compte. Une étude a montré que la valeur moyenne de la puissance totale de brouillage sur tous les taux d'ellipticité et sur toutes les orientations de l'ellipse de polarisation correspond à une très petite augmentation de 0,048 dB de la puissance de brouillage reçue au niveau

de l'antenne du SRS. Les limites de n'importe quelle contribution de la polarisation contrapolaire, vraisemblablement difficiles à atteindre, vont de  $-30$  dB à  $+3$  dB.

On a alors:

$$pfd = 10 \log \left( \sum_i^{N_{co}} 10^{pfd\_co_i/10} + \sum_j^{N_{cross}} 10^{pfd\_cross_j/10} \right)$$

où:

- pfd*: puissance surfacique rayonnée par une station spatiale non OSG (dB/(W/m<sup>2</sup>), dans la largeur de bande de référence)
- i*: indice des faisceaux illuminés présentant la polarisation considérée
- N<sub>co</sub>*: nombre maximal de faisceaux présentant la polarisation considérée qui peuvent être illuminés simultanément
- pfd<sub>coi</sub>*: puissance surfacique produite au point considéré à la surface de la Terre par un faisceau présentant la polarisation considérée (dB(W/m<sup>2</sup>)), dans la largeur de bande de référence
- j*: indice des faisceaux illuminés présentant une polarisation opposée à la polarisation considérée
- N<sub>cross</sub>*: nombre maximal de faisceaux présentant une polarisation opposée à la polarisation considérée qui peuvent être actifs simultanément
- pfd<sub>crossj</sub>*: puissance surfacique produite au point considéré à la surface de la Terre par un faisceau présentant une polarisation opposée à la polarisation considérée (dB(W/m<sup>2</sup>)), dans la largeur de bande de référence

et

$$pfd\_co_i = P_i + G_i - 10 \log_{10} (4 \pi d^2)$$

où:

- P<sub>i</sub>*: puissance maximale émise par le faisceau *i* dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>))
- BW<sub>ref</sub>: largeur de bande de référence (kHz)
- G<sub>i</sub>*: gain produit par le faisceau *i* présentant la polarisation considérée au point considéré à la surface de la Terre (dBi)
- d*: distance entre la station spatiale non OSG et le point considéré à la surface de la Terre (si le gain de l'antenne du satellite non OSG est isoflux, *d* est l'altitude de la station spatiale non OSG) (m)

et

$$pfd\_cross_j = P_j + G\_cross_j - 10 \log_{10} (4 \pi d^2)$$

dans laquelle:

- G<sub>crossj</sub>*: gain contrapolaire produit par le faisceau *j* illuminé présentant une polarisation opposée à la polarisation considérée, au point considéré à la surface de la Terre (dBi)

Les paramètres utilisés pour générer le gabarit de puissance surfacique/p.i.r.e. devraient correspondre aux performances du satellite non OSG pendant sa durée de vie prévue. Les niveaux de puissance surfacique doivent former une enveloppe qui couvre toutes les combinaisons possibles de trafic et de faisceau, et représenter les valeurs de crête possibles de la puissance surfacique dans la direction

donnée pendant la durée de vie du système. Les systèmes à satellites non OSG qui utilisent des antennes adaptatives dont la taille de faisceau et les lobes latéraux sont ajustables devraient employer la combinaison qui donne la puissance surfacique maximale pendant la durée de vie prévue, dans chaque direction, pour le calcul du gabarit de puissance surfacique. Par conséquent, la puissance surfacique pour tous les angles d'exploitation du satellite sera la puissance surfacique maximale qui serait produite, par exemple, lorsqu'il y a une zone de trafic élevée dans cette direction. Cette approche est compatible avec l'algorithme de la Partie D qui permet de calculer l'epfd en tenant compte des contraintes de réutilisation des fréquences au sein du système non OSG.

### C2.3.2 Gain de l'antenne de satellite au point considéré à la surface de la Terre

Il s'agit dans la présente section de déterminer le gain dans la direction d'un point M situé à la surface de la Terre lorsque l'antenne du satellite pointe vers une cellule  $i$ . Les coordonnées de l'antenne peuvent être définies par quatre systèmes de coordonnées différents:

$\varphi$ : coordonnées sphériques

v:  $u = \sin \theta \cos \varphi$ ,  $v = \sin \theta \sin \varphi$

B:  $A = \theta \cos \varphi$ ,  $B = \theta \sin \varphi$

(Az, El):  $\sin (El) = \sin \theta \sin \varphi$ ,  $\text{tg} (Az) = \text{tg} \theta \cos \varphi$

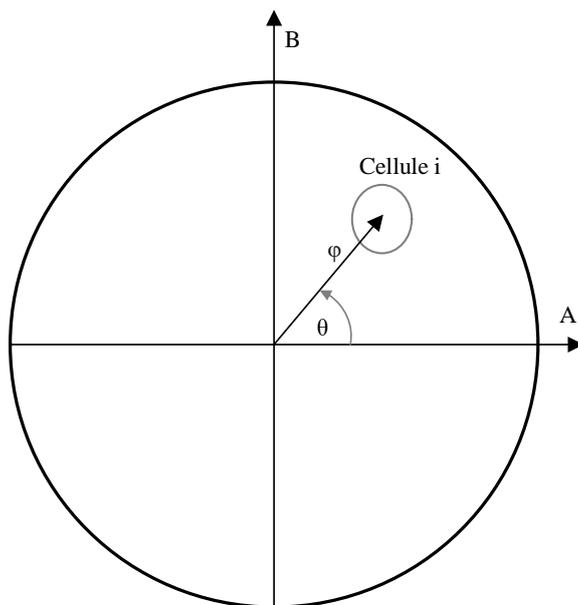
Le gain de l'antenne peut être exprimé sous différents formats et systèmes de coordonnées. Étant donné que la principale donnée d'entrée du calcul d'epfd est le gabarit de puissance surfacique, et non le diagramme du gain d'antenne ayant servi à obtenir ce dernier, le format et le système de coordonnées du diagramme de gain d'antenne pourront varier dans le présent document. En particulier, il est important de noter que les équations ci-dessus, relatives à la conversion entre les systèmes  $(\theta, \varphi)$  et  $(Az, El)$ , sont différentes de celles présentées au § D3.1.3.1, qui sont destinées à être appliquées dans l'algorithme de calcul de la géométrie du cas le plus défavorable.

Par exemple, les calculs suivants sont effectués dans le référentiel de l'antenne (A, B).

L'échantillonnage du diagramme d'antenne du système non OSG devrait être adapté afin que l'interpolation n'aboutisse pas à des niveaux de gain sensiblement différents des valeurs réelles.

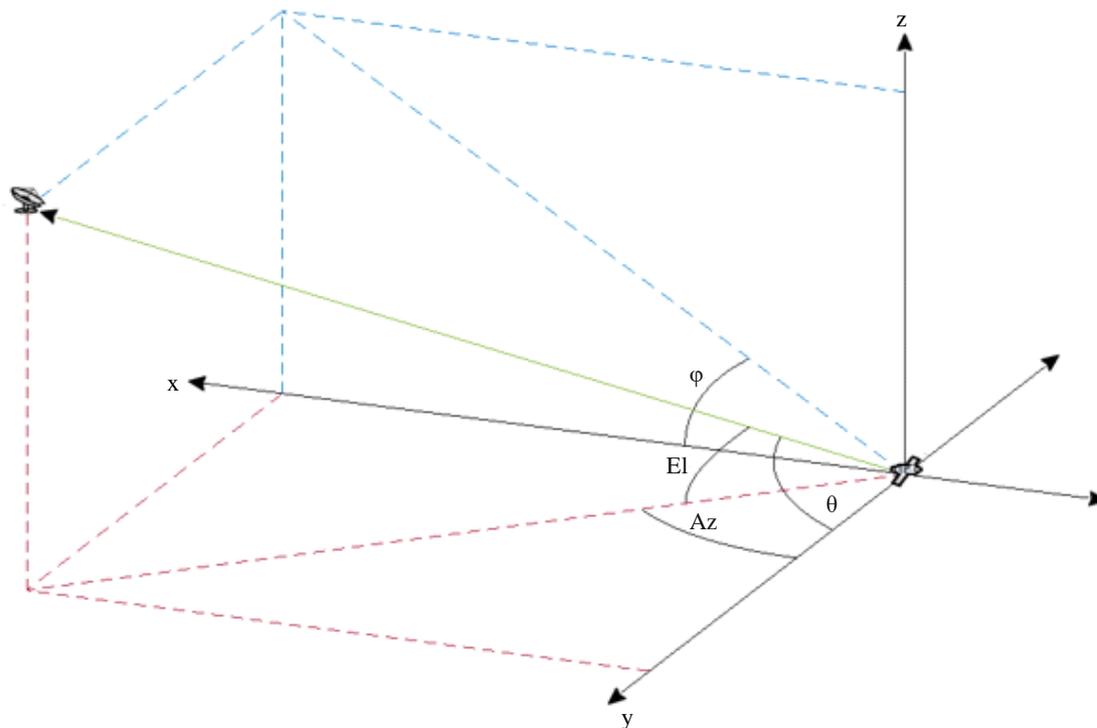
La Figure 3 présente la géométrie dans le plan de l'antenne (A, B), tandis que la Fig. 4 présente la géométrie entre les angles  $(\theta, \varphi)$  et  $(Az, El)$ , tels que définis ci-dessus.

FIGURE 3  
Plan de l'antenne (A, B)



S.1503-03

FIGURE 4  
Géométrie reposant sur  $(\theta, \varphi)$  et  $(Az, El)$ , illustrée au moyen d'un cadre de référence centré sur le satellite



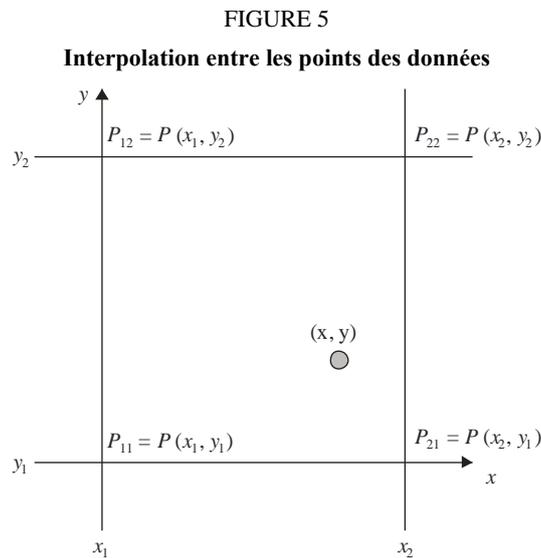
S.1503-04

Les coordonnées du point M à la surface de la Terre sont  $(a, b)$  dans le plan de l'antenne (A, B), correspondant à  $(\theta_M, \varphi_M)$  dans un référentiel polaire.

Les coordonnées du point C centre de la cellule i, sont  $(A_c, B_c)$  dans le plan de l'antenne (A, B), et dans le référentiel sphérique  $(\theta_c, \varphi_c)$ .

Pour les diagrammes de gain d'antenne du satellite avec les descriptions fonctionnelles (c'est-à-dire avec les équations), le gain au point M peut être calculé directement à partir des coordonnées C  $(A_c, B_c)$  et M  $(a, b)$ . Pour d'autres diagrammes, les gains d'antenne du satellite sont fournis dans une grille de points (A, B) et le point M  $(a, b)$  peut être situé entre quatre points de la grille (A, B).

En règle générale, il est donc nécessaire de procéder à une interpolation entre les points des données. On considère une grille de valeurs P pour une fourchette de valeurs de  $x = \{x_1, x_2, \dots\}$  et de valeurs de  $y = \{y_1, y_2, \dots\}$  comme dans la Fig. 5.



Il est possible de calculer la valeur du paramètre P au point  $(x, y)$  en identifiant les valeurs limites et donc:

$$\lambda_x = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\lambda_y = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Alors, il est possible d'interpoler la valeur de P comme suit:

$$P = (1 - \lambda_x)(1 - \lambda_y)P_{11} + \lambda_x(1 - \lambda_y)P_{21} + (1 - \lambda_x)\lambda_y P_{12} + \lambda_x\lambda_y P_{22}$$

L'échantillonnage du diagramme d'antenne du satellite non OSG devrait être adapté afin que l'interpolation ne conduise pas à des approximations trop grossières.

Les mêmes critères devraient être utilisés lors de l'échantillonnage du gabarit de puissance surfacique.

## C2.4 Méthode

Le gabarit de puissance surfacique est défini par la puissance surfacique maximale produite par une station spatiale dans le système non OSG brouilleur et sous forme d'une fonction des paramètres définis en option 1 ou en option 2. Pour générer le gabarit de puissance surfacique, la position des cellules à l'intérieur de l'empreinte au sol du satellite non OSG est déterminée en fonction du pointage de faisceau utilisé par le système non OSG. Pour les satellites ayant des antennes orientables, le satellite peut pointer vers la même zone sur la Terre sur l'ensemble de sa trajectoire dans le ciel.

Ces cellules sont fixes par rapport à la surface de la Terre. Pour les satellites dont l'angle de pointage de l'antenne est fixe par rapport au satellite, les cellules sont fixes par rapport au satellite mais se déplacent par rapport à la Terre.

### C2.4.1 Option 1

L'option 1 a été décrite pour un gabarit de puissance surfacique défini sous forme d'une fonction de l'écart angulaire  $\alpha$ , à titre d'exemple.

Le gabarit de puissance surfacique est défini sous forme d'une fonction de l'écart angulaire entre cette station spatiale non OSG et l'arc OSG vu depuis un point quelconque de la surface de la Terre, et de la distance  $\Delta L$  en longitude entre le point à la verticale du satellite non OSG et le satellite OSG.

L'angle  $\alpha$  est par conséquent l'angle topocentrique minimal mesuré depuis cette station terrestre particulière entre la station spatiale non OSG brouilleuse et un point quelconque sur l'arc OSG visible.

L'objectif de ce gabarit est de définir un niveau possible maximal de puissance surfacique rayonnée par la station spatiale non OSG sous forme d'une fonction de l'écart angulaire entre la station spatiale non OSG et l'arc OSG en un point quelconque de la Terre, par intervalle de  $\Delta L$ .

En chaque point de l'empreinte du satellite non OSG, la valeur de la puissance surfacique dépend:

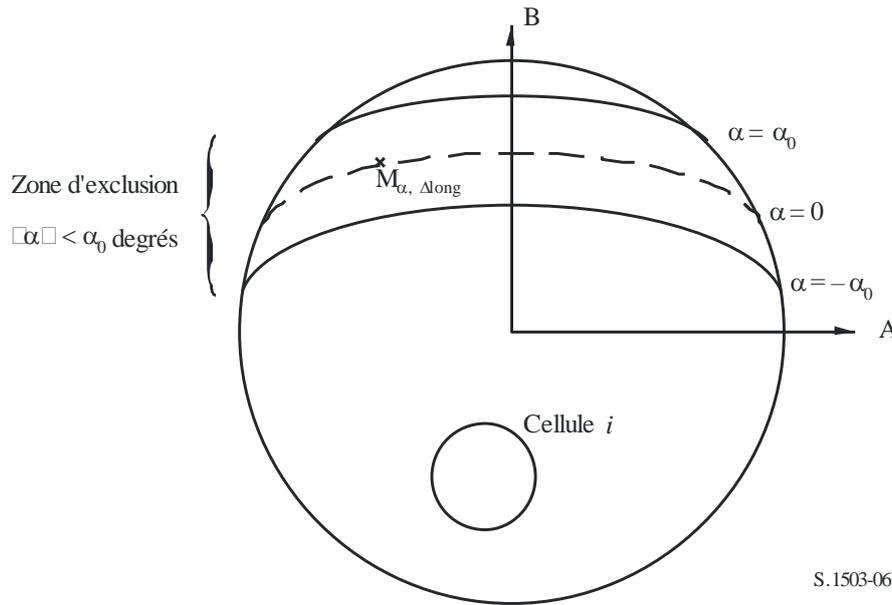
- de la configuration des faisceaux ponctuels qui sont illuminés par le satellite;
- du nombre maximal de faisceaux fonctionnant sur la même fréquence qui peuvent être illuminés simultanément;
- du nombre maximal de faisceaux fonctionnant sur la même fréquence, copolaires qui peuvent être illuminés simultanément;
- de la puissance maximale disponible au niveau du répéteur du satellite.

La méthode proposée de production du gabarit de puissance surfacique est expliquée dans les étapes suivantes:

*Étape 1:* A un instant donné, dans le champ de visibilité d'une station spatiale non OSG,  $N_{total}$  est le nombre maximal de cellules qui peuvent être vues à l'angle d'élévation minimal de service.

*Étape 2:* Dans le champ de visibilité d'une station spatiale non OSG, il est possible de tracer les courbes iso- $\alpha$ , c'est-à-dire le lieu des points à la surface de la Terre où  $\alpha$  a la même valeur (voir les Figs 6 et 7).

FIGURE 6  
Champ de visibilité d'une station spatiale non OSG (Option 1)



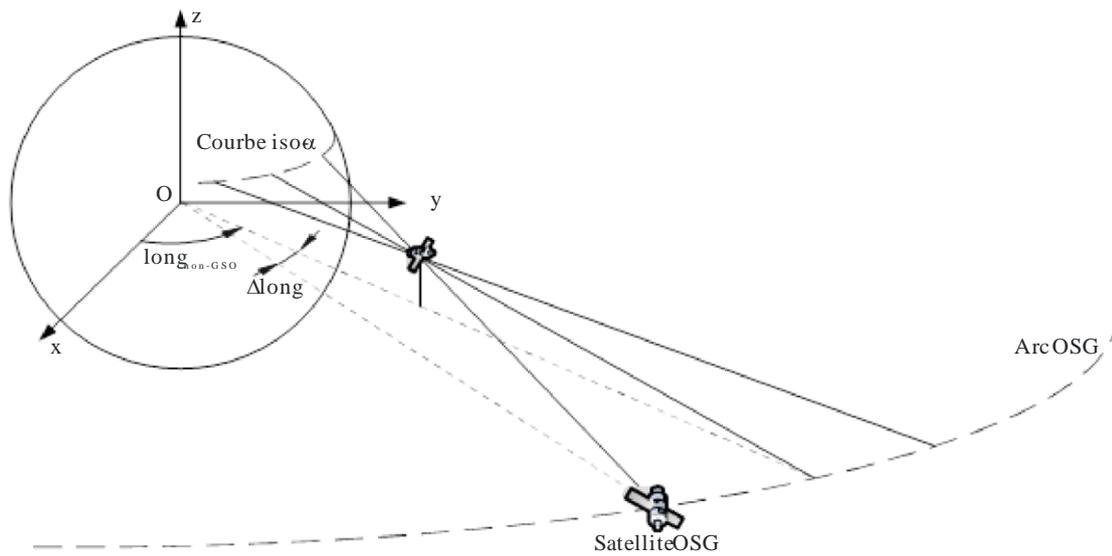
S.1503-06

*Étape 3:* Le long de la courbe iso- $\alpha$ , définir des intervalles  $\Delta L$ : différence en longitude entre le point à la verticale du satellite non OSG et le point sur l'arc OSG où l'angle  $\alpha$  est minimal.

*Étape 4:* Pour chaque intervalle  $\Delta L$ , la courbe iso- $\alpha$  peut être définie par un ensemble de  $n$  points  $M_{\alpha,k}$  pour  $k = 1, 2, \dots, n$ . Pour déterminer la puissance surfacique maximale correspondant à une valeur de  $\alpha$  donnée, il est nécessaire de calculer la puissance surfacique maximale en chacun des points  $M_{\alpha,k}$  pour  $k = 1, 2, \dots, n$ . La puissance surfacique maximale en un point donné  $M_{\alpha,k}$  dépend du premier résultat du calcul de la contribution de puissance surfacique de chaque cellule  $i$  en direction de  $M_{\alpha,k}$  en tenant compte du fait que les diagrammes de lobes latéraux dépendent de l'angle d'inclinaison du faisceau. Les contributions de puissance surfacique maximale en direction de  $M_{\alpha,k}$  sont ensuite additionnées entre elles, le nombre de contributions étant limité par les limites physiques de la station spatiale:

- Sur les  $N_{total}$  cellules visibles dans la zone de couverture d'une station spatiale sous l'angle d'élévation minimal permettant la communication, seulement  $N_{co}$  cellules peuvent être illuminées avec la même largeur de bande de fréquences, dans un sens de polarisation, et  $N_{cross}$  cellules dans le sens de polarisation opposé. Cela caractérise la limitation du système d'antenne de la station spatiale non OSG. Pour calculer le gabarit correspondant à une polarisation, on identifie les cellules qui peuvent être illuminées avec la polarisation considérée et l'on tient compte du niveau de polarisation croisée pour les autres cellules.
- Sur ces  $N_{co}$  et  $N_{cross}$  cellules, seul un nombre donné de cellules peuvent être illuminées simultanément, en raison des limitations propres aux répéteurs de la station spatiale non OSG.
- Le cas échéant, les limitations en ce qui concerne les modalités de réutilisation des fréquences et de la polarisation doivent également être précisées.
- Le cas échéant, la puissance attribuée à une cellule peut varier en fonction de l'angle d'élévation par rapport à cette cellule, par exemple.

FIGURE 7

Vue en trois dimensions de la courbe iso- $\alpha$ 

S.1503-07

*Étape 5:* Pour le calcul du gabarit de puissance surfacique, il faut également tenir compte précisément de la technique de limitation des brouillages mise en œuvre dans le système non OSG.

En ce qui concerne l'utilisation d'une zone de non-fonctionnement autour de l'arc OSG, il existe trois façons différentes de modéliser un système non OSG selon l'architecture d'une cellule:

- Respect d'une zone de non-fonctionnement sur l'ensemble de la cellule: un faisceau est éteint lorsqu'un point à la surface de la Terre voit un satellite non OSG dans un secteur angulaire  $\alpha_0$  par rapport à l'arc OSG. Dans ce cas particulier, tout faisceau illuminant une cellule qui est traversée par une courbe iso- $\alpha$  correspondant à une valeur  $|\alpha| \leq \alpha_0$  est éteint.
- Respect d'une zone de non-fonctionnement au centre de la cellule: un faisceau est éteint lorsque le centre de la cellule voit un satellite non OSG dans un secteur angulaire  $\alpha_0$  par rapport à l'arc OSG. Dans ce cas, tout faisceau illuminant une cellule dont le centre se trouve à l'intérieur de la zone limitée par les deux isocourbes  $\alpha_0$  est éteint.

*Étape 6:* La puissance surfacique maximale correspondant à une valeur donnée de  $\alpha$  à l'intérieur d'un intervalle  $\Delta L$  est donnée par la formule:

$$pfd(\alpha, \Delta L) = \max_{k=1, 2, \dots, n}(pfd(M_{\alpha,k}))$$

*Étape 7:* L'emplacement d'une isocourbe  $\alpha$ , par conséquent la valeur de la puissance surfacique maximale le long de cette courbe, dépend de la latitude du point à la verticale du satellite non OSG. Par conséquent, un ensemble de gabarits de puissance surfacique devra être fourni, chacun correspondant à une latitude donnée du point à la verticale du satellite.

*Étape 8:* Il peut être nécessaire de fournir un ensemble de gabarits de puissance surfacique (un par satellite non OSG).

#### C2.4.2 Option 2

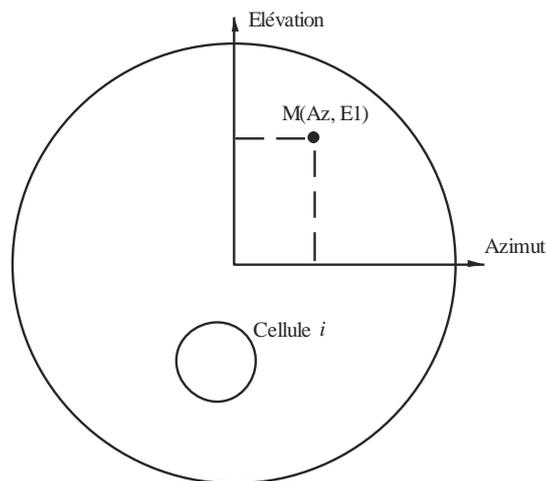
Le gabarit de puissance surfacique est défini dans une grille en azimuth et en élévation, par latitude du point à la verticale du satellite non OSG, comme indiqué à la Fig. 8.

L'objectif du gabarit est de définir le niveau maximal admissible de la puissance surfacique rayonnée par la station spatiale non OSG dans cette grille d'élévation et azimuth.

En chaque point de l'empreinte du satellite non OSG, la valeur de la puissance surfacique dépend:

- de la configuration des faisceaux ponctuels qui sont illuminés par le satellite;
- du nombre maximal de faisceaux fonctionnant sur la même fréquence qui peuvent être illuminés simultanément;
- du nombre maximal de faisceaux fonctionnant sur la même fréquence copolarisés qui peuvent être illuminés simultanément;
- de la puissance maximale disponible au niveau du répéteur du satellite.

FIGURE 8  
Champ de visibilité d'une station spatiale non OSG (Option 2)



S.1503-08

La méthode proposée pour la production des gabarits de puissance surfacique est expliquée dans les étapes suivantes:

*Étape 1:* A un instant donné, dans le champ de visibilité d'une station spatiale non OSG,  $N_{total}$  est le nombre maximal de cellules qui peuvent être vues à l'angle d'élévation minimal de service.

*Étape 2:* Pour chaque point  $M(Az, El)$ , on détermine la puissance surfacique maximale. Pour déterminer la puissance surfacique maximale en un point donné  $M_{\alpha,k}$ , on calcule d'abord la contribution, en termes de puissance surfacique, de chaque cellule  $i$  en direction de  $M(Az, El)$  en tenant compte du fait que les diagrammes des lobes latéraux dépendent de l'angle d'inclinaison du faisceau. Les contributions maximales, en termes de puissance surfacique, en direction de  $M_{\alpha,k}$  sont ensuite additionnées, le nombre de contributions étant restreint par les limites physiques de la station spatiale:

- Sur les  $N_{total}$  cellules visibles dans la zone de couverture de la station spatiale sous l'angle minimal d'élévation permettant la communication, seulement  $N_{co}$  cellules peuvent être illuminées avec la même largeur de bande de fréquences dans un sens de polarisation et  $N_{cross}$  cellules dans le sens de polarisation opposé. Cela caractérise la limitation du système d'antenne de la station spatiale non OSG. Pour calculer le gabarit correspondant à une polarisation, on identifie les cellules qui peuvent être illuminées avec la polarisation considérée, et l'on tient compte du niveau de polarisation croisée pour les autres cellules.
- Sur ces  $N_{co}$  et  $N_{cross}$  cellules, seul un nombre donné de cellules peuvent être illuminées simultanément, en raison des limitations propres aux répéteurs de la station spatiale non OSG.
- Le cas échéant, les limites en ce qui concerne les modalités de réutilisation des fréquences et de la polarisation doivent également être précisées.

- Le cas échéant, la puissance attribuée à une cellule peut varier en tenant compte de l'angle par rapport à cette cellule, par exemple.

*Étape 3:* Pour le calcul du gabarit de puissance surfacique, il faut également tenir compte précisément de la technique de limitation des brouillages mise en œuvre dans le système non OSG.

En ce qui concerne l'utilisation d'une zone de non-fonctionnement autour de l'arc OSG, il existe trois façons différentes de modéliser un système non OSG selon l'architecture d'une cellule:

- Respect d'une zone de non-fonctionnement sur l'ensemble de la cellule: un faisceau est éteint lorsqu'un point à la surface de la Terre voit un satellite non OSG dans un secteur angulaire  $\alpha_0$  par rapport à l'arc OSG. Dans ce cas particulier, tout faisceau illuminant une cellule qui est traversée par une courbe iso- $\alpha$  correspondant à une valeur  $|\alpha| \leq \alpha_0$  est éteint.
- Respect d'une zone de non-fonctionnement au centre de la cellule: un faisceau est éteint lorsque le centre de la cellule voit un satellite non OSG dans un secteur angulaire  $\alpha_0$  par rapport à l'arc OSG. Dans ce cas, tout faisceau illuminant une cellule dont le centre se trouve à l'intérieur de la zone limitée par les deux isocourbes  $\alpha_0$ , est éteint.

*Étape 4:* Il peut être nécessaire de fournir un jeu de gabarits de puissance surfacique en fonction de la latitude du point à la verticale du satellite.

*Étape 5:* Il peut être nécessaire de fournir un jeu de gabarits de puissance surfacique (un par satellite non OSG).

### **C3 Production de gabarits de p.i.r.e.**

#### **C3.1 Production de gabarits de p.i.r.e. de stations terriennes**

##### **C3.1.1 Présentation générale**

Le gabarit de p.i.r.e. d'une station terrienne est défini au moyen d'un ensemble de tableaux de p.i.r.e. maximale produite par une station terrienne, en fonction de la latitude et de l'un des deux paramètres suivants:

- 1) L'angle hors axe dans la direction de l'arc OSG, tel que produit par une station terrienne. Des tableaux de p.i.r.e. différents peuvent s'appliquer selon la latitude.
- 2) L'azimut et l'élévation du satellite non OSG vers lequel pointe actuellement la station terrienne et la différence de longitude entre la station terrienne et le point de référence sur l'arc OSG. Des tableaux de p.i.r.e. différents peuvent s'appliquer selon la latitude.

La station terrienne non OSG est située dans une cellule non OSG qui est desservie par un nombre maximal de stations spatiales non OSG. La densité de stations terriennes non OSG qui peuvent fonctionner simultanément sur la même fréquence est également utilisée comme donnée d'entrée pour les calculs.

##### **C3.1.2 Description des techniques de limitation des brouillages**

Il convient de décrire avec exactitude la technique de limitation des brouillages mise en œuvre dans le système non OSG pour pouvoir la modéliser en vue du calcul de la puissance surfacique  $epfd_{\uparrow}$  (voir le § C2.2).

##### **C3.1.3 Diagramme d'antenne de la station terrienne**

Le diagramme d'antenne de la station terrienne doit être identifié pour calculer le gabarit de p.i.r.e. de la station terrienne.

### C3.1.4 Méthode

#### Étape 1:

Le diagramme de gain de la station terrienne pourrait être défini comme une fonction de l'angle hors axe au niveau de la station terrienne non OSG (entre la direction de l'axe de visée vers la station spatiale non OSG et un point sur l'arc OSG), auquel cas le gabarit de p.i.r.e. pourrait être calculé comme suit.

Le gabarit de p.i.r.e. de la station terrienne à une latitude donnée est défini par la p.i.r.e. maximale rayonnée dans la largeur de bande de référence par la station terrienne en fonction de l'angle hors axe et est donné par la relation:

$$ES_{e.i.r.p.}(Lat, \theta) = G(Lat, \theta) + P(Lat)$$

dans laquelle:

$ES_{e.i.r.p.}(Lat, \theta)$ : puissance isotrope rayonnée équivalente dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>))

$Lat$ : latitude de la station terrienne pour ce gabarit de p.i.r.e.

$\theta$ : angle hors axe au niveau de la station terrienne non OSG formé par la ligne de visée vers la station spatiale non OSG et un point sur l'OSG (par exemple, la station spatiale OSG) (degrés)

$G(Lat, \theta)$ : gain de l'antenne directive de la station terrienne (dBi) à une latitude donnée

$P(Lat)$ : puissance maximale fournie à l'antenne, dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>)) à une latitude donnée

$BW_{ref}$ : largeur de bande de référence (kHz)

En variante, le diagramme de gain pourrait être donné au format  $ES_{e.i.r.p.}(Lat, az, el, \Delta LongES)$ , auquel cas le gabarit de p.i.r.e. correspondant pourrait être calculé comme suit.

Le gabarit de p.i.r.e. de la station terrienne à une latitude donnée est défini par la p.i.r.e. maximale rayonnée dans la largeur de bande de référence par la station terrienne en fonction de l'azimut, de l'élévation et de la différence de longitude, en valeurs angulaires. Il est donné par la formule:

$$ES_{e.i.r.p.}(Lat, az, el, \Delta LongES) = G(Lat, az, el, \Delta Long) + P(Lat)$$

dans laquelle:

$ES_{e.i.r.p.}(Lat, az, el, \Delta LongES)$ : puissance isotrope rayonnée équivalente dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>))

$Lat$ : latitude de la station terrienne pour ce gabarit de p.i.r.e.

$az$ : composante en azimut de la direction de pointage de l'antenne (degrés)

$el$ : composante en élévation de la direction de pointage de l'antenne (degrés)

$\Delta LongES$ : différence de longitude entre la station terrienne non OSG et le point considéré sur l'arc OSG (degrés)

$G(Lat, az, el, \Delta Long)$ : gain de l'antenne directive de la station terrienne (dBi) à une latitude donnée

$P(Lat)$ : puissance maximale fournie à l'antenne, dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>)) à une latitude donnée

$BW_{ref}$ : largeur de bande de référence (kHz).

*Étape 2:* En supposant que les cellules non OSG sont uniformément réparties à la surface de la Terre, les stations terriennes non OSG émettant simultanément sur la même fréquence sont régulièrement réparties dans la cellule. Par conséquent, on peut supposer pour la simulation que le système brouilleur se trouve au centre de la cellule.

Cet exercice sera répété pour toutes les latitudes auxquelles la p.i.r.e. de la station terrienne pourrait être différente.

### C3.2 Production des gabarits de p.i.r.e. de station spatiale

Le gabarit de p.i.r.e. d'une station spatiale est défini comme étant la p.i.r.e. maximale produite par cette station spatiale non OSG en fonction de l'angle vu de la station spatiale non OSG formé par la ligne qui joint le point au sol à la verticale de la station spatiale non OSG considérée et un point sur l'arc OSG.

Le gabarit de p.i.r.e. d'une station spatiale est défini comme étant la p.i.r.e. maximale rayonnée dans la largeur de bande de référence par cette station spatiale en fonction de cet angle et il est donné par la relation:

$$NGSO\_SS\_e.i.r.p.(\theta) = G(\theta) + P$$

dans laquelle:

NGSO\_SS\_e.i.r.p.: puissance isotrope rayonnée équivalente dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>))

$\theta$ : angle vu depuis la station spatiale non OSG et formé par la ligne joignant le point au sol à la verticale de la station spatiale non OSG considérée et un point de l'arc OSG (degrés)

$G(\theta)$ : diagramme de gain de l'antenne de la station spatiale (dBi) correspondant à l'agrégation de tous les faisceaux

$P$ : puissance maximale, dans la largeur de bande de référence (dB(W/BW<sub>ref</sub>))

BW<sub>ref</sub>: largeur de bande de référence (kHz)

## C4 Format des gabarits de puissance surfacique et de p.i.r.e.

### C4.1 Structure générale des gabarits

Les gabarits de puissance surfacique et de p.i.r.e. constituent des paramètres d'entrée essentiels de la Recommandation UIT-R S.1503; leur format est le suivant:

- pour le calcul de l'epfd(liaison descendante), on utilise le/les gabarit(s) de puissance surfacique, chacun contenant les tableaux de puissance surfacique ( $\alpha$ ,  $\Delta$ Long) ou de puissance surfacique (azimut, élévation) avec la latitude pour laquelle chaque tableau est valable;
- pour le calcul de l'epfd(liaison montante), on utilise le/les gabarit(s) de p.i.r.e. de la station terrienne non OSG, chacun contenant les tableaux de p.i.r.e.( $\theta$ ) ou de p.i.r.e.(az, el,  $\Delta$ Long) avec la latitude pour laquelle chaque tableau est valable;
- pour le calcul de l'epfd(liaison inter-satellites), on utilise le/les gabarit(s) de p.i.r.e. du satellite non OSG, chacun contenant les tableaux de p.i.r.e.( $\theta$ ) avec la latitude pour laquelle chaque tableau est valable.

Pendant la simulation, le logiciel va calculer les paramètres pertinents, par exemple la latitude et l'angle hors axe ou l'angle  $\alpha$  et utiliser ensuite le gabarit pour calculer une puissance surfacique ou une p.i.r.e. selon la méthode suivante:

- 1) Une recherche est faite dans la matrice {Latitude, Tableau} à l'issue de laquelle le tableau qui a la latitude la plus proche de la valeur calculée dans la simulation est sélectionné.
- 2) En utilisant le tableau sélectionné, on calcule la puissance surfacique ou la p.i.r.e. par interpolation, comme suit:
  - a) puissance surfacique: calculée par interpolation bilinéaire en fonction de  $(\alpha, \Delta\text{long})$  ou de (azimut, élévation);
  - b) p.i.r.e.( $\theta$ ): calculée par interpolation linéaire en fonction de  $(\theta)$ ;
  - c) p.i.r.e.(az, el,  $\Delta\text{long}$ ): calculée par la méthode présentée au § D5.2.7.

Chaque tableau est indépendant, c'est-à-dire qu'à différentes latitudes il peut utiliser une grille ayant une résolution et une gamme de valeurs différentes. Le gabarit ne doit pas nécessairement couvrir l'ensemble de la gamme: en dehors des valeurs fournies, la dernière valeur valable est supposée être utilisée.

Toutefois, il convient de noter que, pour la latitude et les régions {azimut, élévation,  $\alpha$ ,  $\Delta\text{long}$ } dans lesquelles aucune puissance surfacique effective n'est rayonnée, afin d'éviter d'utiliser le tableau de la latitude la plus proche contenant des valeurs de puissance surfacique opérationnelles, il est judicieux de fournir des valeurs de puissance surfacique extrêmement faibles pour ces régions afin de simuler un scénario où il n'y a pas de transmission.

Le tableau des gabarits de puissance surfacique n'est pas supposé être symétrique selon {azimut, élévation,  $\alpha$ ,  $\Delta\text{long}$ } et devrait contenir l'ensemble des valeurs, de l'extrême positive et à l'extrême négative. Si les valeurs calculées pendant la simulation de {azimut, élévation,  $\alpha$ ,  $\Delta\text{long}$ , angle hors axe} sont situées en dehors des fourchettes données dans les gabarits de puissance surfacique ou de p.i.r.e., il convient alors d'utiliser la dernière valeur valable.

Pour les gabarits de p.i.r.e. de station terrienne, il est possible d'indiquer non pas la densité mais la position (latitude, longitude) par référence à une station terrienne spécifique enregistrée dans la base de données SRS. À noter que le mélange des types n'est pas autorisé: toutes les stations terriennes non OSG doivent être définies au moyen d'une station terrienne spécifique ou au moyen du champ de densité.

L'information d'en-tête de chaque gabarit comprend les éléments suivants:

- identité de la fiche de notification;
- nom du satellite;
- identité du gabarit;
- la fréquence la plus basse pour laquelle le gabarit est valable, en MHz;
- la fréquence la plus élevée pour laquelle le gabarit est valable; en MHz;
- la largeur de bande de référence du gabarit en kHz;
- le type de gabarit;
- les paramètres du gabarit.

La largeur de bande de référence du gabarit est requise, car il y a plusieurs largeurs de bande dans les seuils d'epfd fournis à l'Article 22 du Règlement des radiocommunications. Le gabarit est pondéré en supposant que la puissance surfacique ou la p.i.r.e. présente une densité spectrale de puissance constante, de sorte que la puissance surfacique ou la p.i.r.e. à utiliser dans le calcul est égale à:

$$\text{pfd\_Calc} = \text{pfd\_Mask} + 10\log_{10}[\text{Largeur de bande\_Seuil} / \text{refbw\_khz}]$$

Si aucun paramètre `refbw_khz` n'est présent dans le gabarit, on suppose que `refbw_khz=40`.

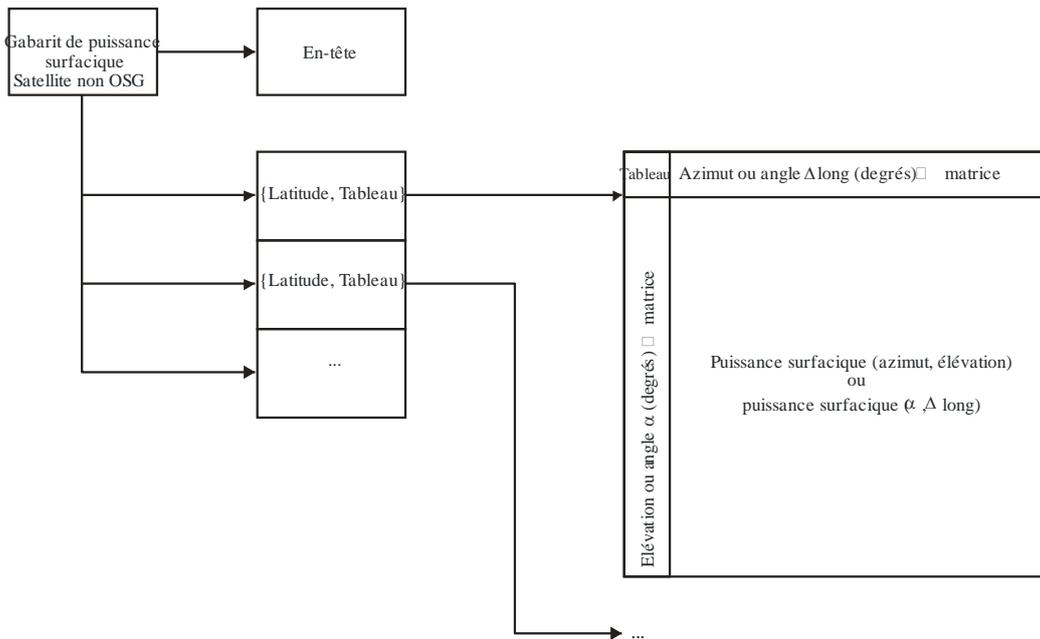
$$p.i.r.e._{Calc} = p.i.r.e._{Mask} + 10\log_{10}[\text{Largeur de bande}_{Seuil} / \text{refbw\_khz}]$$

Les niveaux de puissance surfacique et de p.i.r.e. varient en fonction de la latitude: une valeur de latitude au moins (par défaut, 0 degré) doit être donnée.

Chaque fichier XML doit contenir un gabarit (puissance surfacique ou p.i.r.e.).

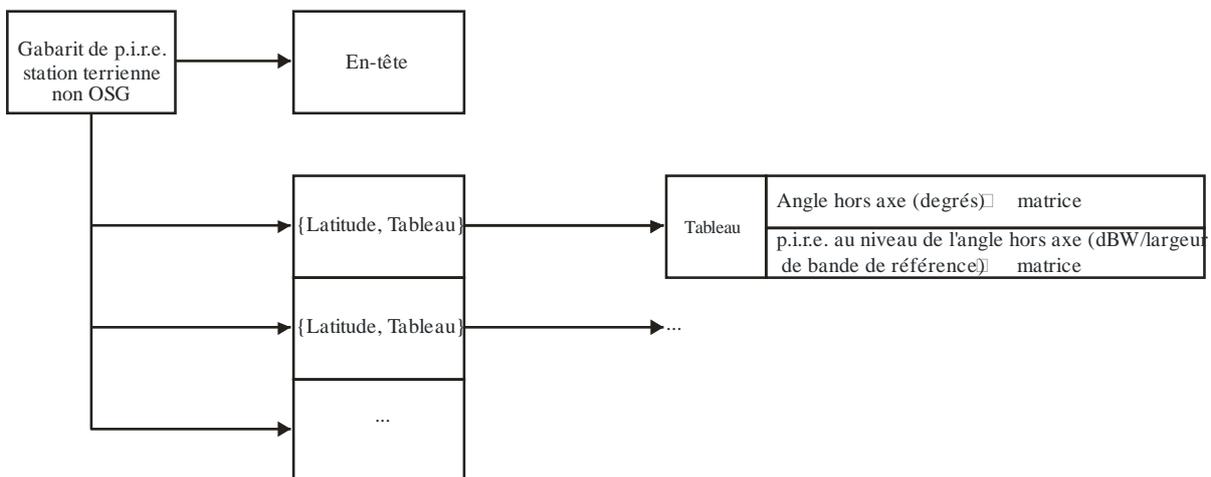
Les relations entre les différents gabarits sont illustrées dans les Figs 9 à 12.

FIGURE 9  
Structure des données relatives au gabarit de puissance surfacique pour le calcul de l'epfd(liaison descendante)



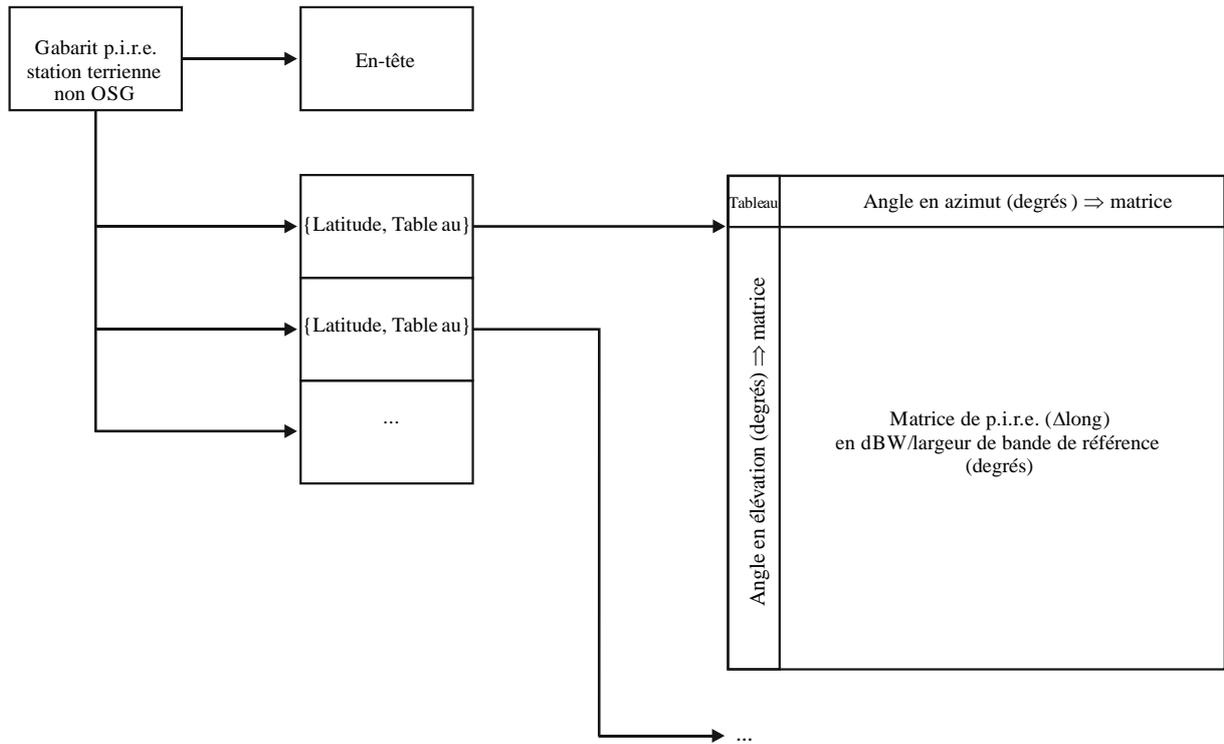
S.1503-09

FIGURE 10  
Structure des données relatives au gabarit de p.i.r.e. basé sur l'angle hors axe pour le calcul de l'epfd(liaison montante)



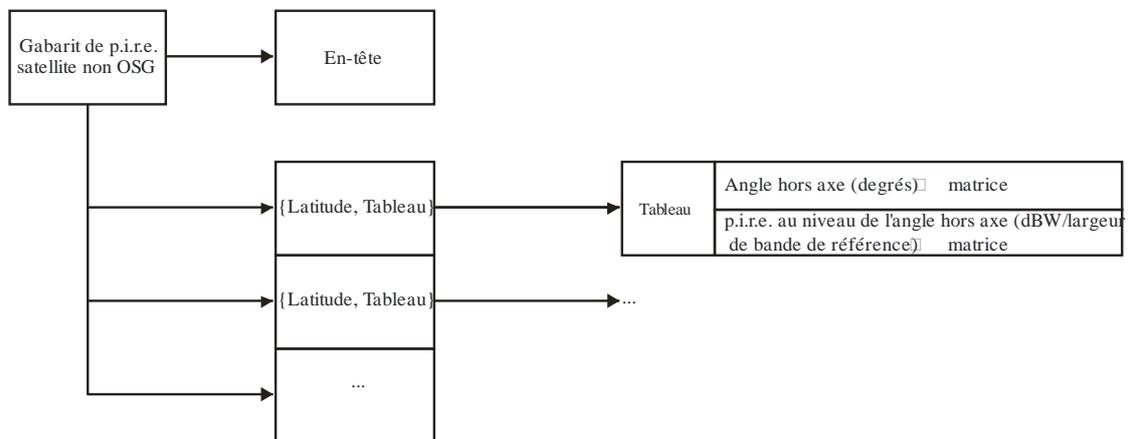
S.1503-10

FIGURE 11  
**Structure des données relatives au gabarit de p.i.r.e. basé sur l'azimut et l'élévation pour le calcul de l'epfd(liaison montante)**



S.1503-11

FIGURE 12  
**Structure des données relatives au gabarit de p.i.r.e. pour le calcul de l'epfd(liaison inter-satellites)**



S.1503-12

Les gabarits de puissance surfacique doivent être fournis au Bureau des radiocommunications de l'UIT en format XML étant donné que ce format:

- est lisible à la fois par une machine et par l'homme;
- permet une vérification à la fois du format et du type;
- constitue une norme internationale pour l'échange de données.

Le format XML est un format plein texte avec un bloc de début et un bloc de fin comme dans:

```
<satellite_system>
</satellite_system>
```

À l'intérieur de chaque section on trouve des champs correspondant au bloc considéré. Tous les angles doivent être donnés en degrés.

Au niveau supérieur, le satellite est identifié à l'aide de l'identité de sa fiche de notification et de son nom en utilisant:

```
<satellite_system ntc_id="NNNNNNN" sat_name="NAME">
  [Header]
  [Tables]
</satellite_system>
```

À l'intérieur de cette structure, on trouve l'en-tête suivi de chaque tableau.

Le format de chaque gabarit est décrit plus en détail dans les paragraphes qui suivent.

#### C4.2 Gabarit de puissance surfacique pour le calcul de l'epfd(liaison descendante)

Le format de l'en-tête du gabarit de puissance surfacique est le suivant:

```
<pdf_mask mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" refbw_khz = "BW"
type="Type" a_name="latitude" b_name="B" c_name="C">
```

où (voir le Tableau 5):

TABLEAU 5

Format de l'en-tête du gabarit de puissance surfacique

| Champ         | Type ou gamme                                | Unité | Exemple              |
|---------------|--|-------|----------------------|
| mask_id       | Nombre entier                                | –     | 3                    |
| low_freq_mhz  | Double précision                             | MHz   | 10 000               |
| high_freq_mhz | Double précision                             | MHz   | 12 000               |
| refbw_khz     | Double précision                             | kHz   | 40                   |
| type          | {alpha_deltaLongitude,<br>azimuth_elevation} | –     | alpha_deltaLongitude |
| a_name        | {latitude}                                   | –     | latitude             |
| b_name        | {alpha, X, azimuth}                          | –     | alpha                |
| c_name        | {deltaLongitude, elevation}                  | –     | deltaLongitude       |

Pour chaque a, b, c, il y a des matrices de valeurs, par exemple:

```
<by_a a="N">
</by_a>
```

Les valeurs à l'intérieur de cette structure ouverte/fermée concernent toutes a = N: une structure similaire est utilisée pour les valeurs de b.

Le groupe le plus proche du centre donne la valeur effective de la puissance surfacique par exemple:

```
<pdf c="0">-140</pdf>
```

Un exemple de gabarit de puissance surfacique serait donc le suivant:

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<pdf_mask mask_id="3" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz =
"40" type="alpha_deltaLongitude" a_name="latitude" b_name="alpha"
c_name="deltaLongitude">
<by_a a="0">
  <by_b b="-180">
    <pdf c="-20">-150</pdf>
    <pdf c="0">-140</pdf>
    <pdf c="20">-150</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="-8">
    <pdf c="-20">-165</pdf>
    <pdf c="0">-155</pdf>
    <pdf c="20">-165</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="-4">
    <pdf c="-20">-170</pdf>
    <pdf c="0">-160</pdf>
    <pdf c="20">-170</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="0">
    <pdf c="-20">-180</pdf>
    <pdf c="0">-170</pdf>
    <pdf c="20">-180</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="4">
    <pdf c="-20">-170</pdf>
    <pdf c="0">-160</pdf>
    <pdf c="20">-170</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="8">
    <pdf c="-20">-165</pdf>
    <pdf c="0">-155</pdf>
```

```

    <pdf c="20">-165</pdf>
  </by_b>
  <by_b b="180">
    <pdf c="-20">-150</pdf>
    <pdf c="0">-140</pdf>
    <pdf c="20">-150</pdf>
  </by_b>
</by_a>
</pdf_mask>
</satellite_system>

```

Le format XML peut être utilisé pour soumettre une forme abrégée afin d'éviter la duplication des données, mais le tableau sera complété par interpolation ou répétition de la valeur précédente dans une matrice. Dans l'algorithme de calcul de l'epfd de la Partie D, le gabarit de puissance surfacique prend la forme d'une grille à chaque latitude de puissance surfacique(x, y), où (x, y) sont les deux variables du gabarit.

À chaque latitude, on aura une matrice de valeurs x et y:

$$x_i = \{x_1, x_2, .. x_n\}$$

$$y_i = \{y_1, y_2, .. y_n\}$$

Ces matrices peuvent varier d'une latitude à l'autre.

Puis, pour chaque  $(x_i, y_i)$ , il existe une valeur de puissance surfacique associée, et donc  $n \times m$  valeurs de puissance surfacique dans le tableau, comme dans le tableau simplifié  $4 \times 4$  ci-dessous:

| <b>matrice (x, y)</b> | <b>x<sub>1</sub></b> | <b>x<sub>2</sub></b> | <b>x<sub>3</sub></b> | <b>x<sub>4</sub></b> |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| y <sub>1</sub>        | pdf(1,1)             | pdf(2,1)             | pdf(3,1)             | pdf(4,1)             |
| y <sub>2</sub>        | pdf(1,2)             | pdf(2,2)             | pdf(3,2)             | pdf(4,2)             |
| y <sub>3</sub>        | pdf(1,3)             | pdf(2,3)             | pdf(3,3)             | pdf(4,3)             |
| y <sub>4</sub>        | pdf(1,4)             | pdf(2,4)             | pdf(3,4)             | pdf(4,4)             |

Les données soumises peuvent être un sous-ensemble de cette matrice, par exemple:

| <b>matrice (x, y)</b> | <b>x<sub>1</sub></b> | <b>x<sub>2</sub></b> | <b>x<sub>3</sub></b> | <b>x<sub>4</sub></b> |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| y <sub>1</sub>        | –                    | pdf(2,1)             | pdf(3,1)             | –                    |
| y <sub>2</sub>        | pdf(1,2)             | –                    | –                    | pdf(4,2)             |
| y <sub>3</sub>        | pdf(1,3)             | –                    | –                    | pdf(4,3)             |
| y <sub>4</sub>        | –                    | pdf(2,4)             | pdf(3,4)             | –                    |

Dans ce cas, le tableau des puissances surfaciques serait complété en combinant plusieurs hypothèses. Tout d'abord, si des valeurs situées en bordure de tableau ne sont pas spécifiées, le gabarit est étendu en utilisant la valeur définie la plus proche et en supposant qu'il se poursuit.

$$\text{pfd}(1,1) = \text{pfd}(2,1)$$

$$\text{pfd}(4,1) = \text{pfd}(3,1)$$

$$\text{pfd}(1,4) = \text{pfd}(2,4)$$

$$\text{pfd}(4,4) = \text{pfd}(3,4)$$

Puis, si des valeurs situées au centre du tableau ne sont pas spécifiées, le gabarit est complété par interpolation linéaire des valeurs environnantes:

$$\text{pfd}(2,2) = \text{Interpoler}\{x_2, \text{pfd}(1,2), \text{pfd}(4,2), x_1, x_4\}$$

$$\text{pfd}(2,3) = \text{Interpoler}\{x_3, \text{pfd}(1,2), \text{pfd}(4,2), x_1, x_4\}$$

$$\text{pfd}(3,2) = \text{Interpoler}\{x_2, \text{pfd}(1,3), \text{pfd}(4,3), x_1, x_4\}$$

$$\text{pfd}(3,3) = \text{Interpoler}\{x_3, \text{pfd}(1,3), \text{pfd}(4,3), x_1, x_4\}$$

Ce remplissage du gabarit de puissance surfacique peut être effectué à la lecture du gabarit ou à la volée pendant le calcul de la puissance surfacique pour une configuration géométrique donnée.

### C4.3 Gabarit de p.i.r.e. pour le calcul de l'epfd(liaison montante)

Le format de l'en-tête du gabarit de p.i.r.e.(liaison montante) est le suivant:

```
<eirp_mask_es mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" refbw_khz="BW"
a_name="latitude" b_name="offaxis angle" ES_ID="-1">
```

où (voir le Tableau 6):

TABLEAU 6

#### Format de l'en-tête du gabarit de p.i.r.e. de station terrienne non OSG

| Champ         | Type ou gamme       | Unité  | Exemple  |
|---------------|---------------------|--------|--|
| mask_id       | Nombre entier       | –      | 1  |
| low_freq_mhz  | Double précision    | MHz    | 10 000   |
| high_freq_mhz | Double précision    | MHz    | 12 000   |
| refbw_khz     | Double précision    | kHz    | 40   |
| format        | Caractère           | –      | «T» ou «A»   |
| a_name        | {latitude}          | degrés | latitude   |
| b_name        | {offaxis angle}     | degrés | angle  |
| ES_ID         | Nombre entier       | –      | 12345678<br>–1 s'il ne s'agit pas d'une station terrienne spécifique |
| c_name        | {azimuth angle}     | degrés | 45   |
| d_name        | {elevation angle}   | degrés | 15   |
| e_name        | {deltalongES angle} | degrés | 5  |

Si le format est «T», il y a ensuite, pour chaque latitude concernée, des matrices de valeurs de p.i.r.e. pour des angles hors axe donnés, par exemple:

```
<eirp b="0">30.0206</eirp>
```

Le gabarit de p.i.r.e. doit être décroissant de façon monotone.

Un exemple de gabarit de p.i.r.e.(liaison montante) serait donc le suivant:

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<eirp_mask_es mask_id="1" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz =
="40" format = "T" a_name = "latitude" b_name="offaxis angle", ES_ID=-1>
<by_a a="0">
<eirp b="0">30.0206</eirp>
<eirp b="1">20.0206</eirp>
<eirp b="2">12.49485</eirp>
<eirp b="3">8.092568</eirp>
<eirp b="4">4.9691</eirp>
<eirp b="5">2.54634976</eirp>
<eirp b="10">-4.9794</eirp>
<eirp b="15">-9.381681</eirp>
<eirp b="20">-12.50515</eirp>
<eirp b="30">-16.90743</eirp>
<eirp b="50">-18.9471149</eirp>
<eirp b="180">-18.9471149</eirp>
</by_a>
</eirp_mask_es>
</satellite_system>
```

Si le format est «A», il y a ensuite, pour chaque latitude, un ensemble de tableaux pour chaque angle de pointage (en azimut et en élévation) concerné, chaque tableau de p.i.r.e. correspondant à une différence de longitude entre la station terrienne et le point considéré sur l'arc OSG.

Un exemple de gabarit de p.i.r.e.(liaison montante) serait donc le suivant:

```
<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<eirp_mask_es mask_id="1" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000" refbw_khz =
="40" format = "A" a_name = "latitude" c_name="azimuth angle" d_name = "elevation
angle" e_name = "DeltaLongES", ES_ID=-1>
<by_a a="0">
<by_c c = "0">
<by_d d= "0">
<eirp e="0">30.0206</eirp>
<eirp e="1">20.0206</eirp>
<eirp e="2">12.49485</eirp>
```

```

<eirp e="3">8.092568</eirp>
<eirp e="4">4.9691</eirp>
<eirp e="5">2.54634976</eirp>
<eirp e="10">-4.9794</eirp>
<eirp e="15">-9.381681</eirp>
<eirp e="20">-12.50515</eirp>
<eirp e="30">-16.90743</eirp>
<eirp e="50">-18.9471149</eirp>
<eirp e="180">-18.9471149</eirp>
</by_d>

```

#### C4.4 Gabarit de p.i.r.e. pour le calcul de l'epfd(liaison inter-satellites)

Le format de l'en-tête du gabarit de p.i.r.e.(liaison inter-satellites) est le suivant:

```

<eirp_mask_ss mask_id="N" low_freq_mhz="F1" high_freq_mhz="F2" refbw_khz="BW"
a_name="latitude" b_name="offaxis angle">

```

où (voir le Tableau 7):

TABLEAU 7

#### Format de l'en-tête du gabarit de p.i.r.e. du satellite non OSG

| Champ         | Type ou gamme    | Unité | Exemple  |
|---------------|------------------|-------|----------|
| mask_id       | Nombre entier    | –     | 1        |
| low_freq_mhz  | Double précision | MHz   | 10 000   |
| high_freq_mhz | Double précision | MHz   | 12 000   |
| refbw_khz     | Double précision | kHz   | 40       |
| a_name        | {latitude}       | –     | latitude |
| b_name        | {angle}          | –     | Angle    |

Il y a ensuite, pour chaque latitude concernée, des matrices de valeurs de p.i.r.e. pour des angles hors axe donnés, par exemple:

```

<eirp b="0">30.0206</eirp>

```

Le gabarit de p.i.r.e. doit être décroissant de façon monotone.

Un exemple de gabarit de p.i.r.e.(liaison inter-satellites) serait donc le suivant:

```

<satellite_system ntc_id="12345678" sat_name="MySatName">
<eirp_mask_ss mask_id="2" low_freq_mhz="10000" high_freq_mhz="40000"
d_name="separationrefbw_khz="40" a_name="latitude" b_name="offaxis angle">
<by_a a="0">
<eirp b="0">30.0206</eirp>
<eirp b="1">20.0206</eirp>

```

```
<eirp b="2">12.49485</eirp>
<eirp b="3">8.092568</eirp>
<eirp b="4">4.9691</eirp>
<eirp b="5">2.54634976</eirp>
<eirp b="10">-4.9794</eirp>
<eirp b="15">-9.381681</eirp>
<eirp b="20">-12.50515</eirp>
<eirp b="30">-16.90743</eirp>
<eirp b="50">-18.9471149</eirp>
<eirp b="180">-18.9471149</eirp>
</by_a>
</eirp_mask_ss>
</satellite_system>
```

## PARTIE D

### Logiciel pour l'examen des fiches de notification de systèmes non OSG

#### D1 Introduction

##### D1.1 Objet

L'objet de la présente section est de décrire une partie du cahier des charges du logiciel (SRD, *software requirements document*) que le BR pourrait utiliser pour vérifier si tel ou tel système non OSG proposé par une administration respecte les limites d'epfd.

Le logiciel doit effectuer trois grandes opérations (voir la Fig. 1):

- 1) déterminer le nombre d'exécutions à effectuer;
- 2) pour chaque exécution, déterminer la configuration pour le cas le plus défavorable;
- 3) pour chaque exécution, calculer les statistiques d'epfd et vérifier la conformité avec les limites.

##### D1.2 Rappel

Dans la présente section, on suppose que les approches suivantes sont utilisées:

*Calcul de l'epfd↓*: Chaque satellite non OSG a un gabarit de puissance surfacique et la puissance surfacique pour chaque satellite est utilisée pour calculer la puissance surfacique epfd↓ cumulative au niveau d'une station terrienne d'un système OSG. Ce calcul est répété pour une série de pas de temps jusqu'à l'obtention d'une distribution de valeurs epfd↓. Cette distribution peut alors être comparée avec les limites pour donner un résultat oui/non.

*Calcul de l'epfd $\uparrow$* : Les stations terriennes non OSG sont disséminées sur l'ensemble de la Terre. Chaque station terrienne pointe vers un satellite non OSG, selon les règles de pointage propres à cette constellation particulière et émet avec une p.i.r.e. définie. À partir du gabarit de p.i.r.e. de chaque station terrienne, on calcule l'epfd $\uparrow$  au niveau de l'OSG. Ce calcul est répété pour une série de pas de temps jusqu'à l'obtention d'une distribution de valeurs d'epfd $\uparrow$ . Cette distribution peut alors être comparée avec les limites et donner un résultat oui/non.

*Calcul de l'epfd $_{is}$* : A partir du gabarit de p.i.r.e. de chaque station spatiale, on calcule l'epfd $_{is}$  au niveau de la station spatiale OSG. Ce calcul est répété pour une série de pas de temps jusqu'à l'obtention d'une distribution de valeurs d'epfd $_{is}$ . Cette distribution peut alors être comparée avec les limites et donner un résultat oui/non.

Le document SRD fournit des algorithmes détaillés permettant ainsi à n'importe quelle partie intéressée de mettre en œuvre le logiciel sans avoir besoin de se référer à telle ou telle méthode de développement.

### D1.3 Aperçu général

La Partie D est structurée comme suit:

- Section D2: Détermination du nombre d'exécutions à effectuer
- Section D3: Détermination de la configuration du cas le plus défavorable pour chaque exécution
- Section D4: Calcul de la durée du pas de temps et du nombre de pas de temps
- Section D5: Calcul des statistiques d'epfd et vérification de la conformité aux limites
- Section D5.1: Définition de l'algorithme pour le calcul de l'epfd $\downarrow$
- Section D5.2: Définition de l'algorithme pour le calcul de l'epfd $\uparrow$
- Section D5.3: Définition de l'algorithme pour le calcul de l'epfd $_{is}$
- Section D6: Définition de la configuration de base et des algorithmes utilisés pour les calculs d'epfd ainsi que des diagrammes de gain
- Section D7: Spécification des formats des résultats et du processus permettant d'obtenir une décision oui/non.

Il convient de noter que le fait qu'un nom de paramètre soit entre crochets indique qu'il s'agit d'un indice dans une matrice et non d'un texte provisoire.

### D1.4 Hypothèses et limites générales

La limite générale suivante s'applique à la production de statistiques d'epfd:

Taille des intervalles:  $S_B = 0,1$  dB

Dans un souci de cohérence avec l'algorithme d'évaluation décrit au § D7.1.3, les valeurs d'epfd calculées pour chaque pas de temps doivent être arrondies aux valeurs inférieures avec une précision maximale de 0,1 dB.

Pour calculer l'angle  $\alpha$  par rapport à l'arc OSG, comme décrit au § D6.4.4, on utilise, lorsque cela est faisable, une méthode analytique. Si cette méthode ne fournit pas de solution, on peut utiliser une approche itérative basée sur un certain nombre de points de mesure, avec un espacement bien précis.

Espacement entre les points de mesure OSG:  $1e-6$  radians.

Les points de mesure doivent être situés à des multiples entiers de  $1e-6$  radians.

## D1.5 Base de données et interface

Les données d'entrée utilisées pour l'analyse de vérification automatique devraient être tirées de la base de données SRS ou d'autres bases de données pour le calcul des limites d'epfd et des gains d'antenne ainsi que des ressources du BR, par exemple les bibliothèques DLL. Pour les analyses personnalisées, il peut être nécessaire de demander à l'utilisateur certains paramètres (emplacement du satellite OSG et de la station terrienne par exemple).

## D2 Nombre d'exécutions à effectuer

### D2.1 Article 22

Dans le cas de l'Article 22, il est essentiel de déterminer les exécutions à réaliser compte tenu du fait que le réseau notifié est un réseau non OSG et compte tenu des limites d'epfd prescrites dans le Règlement des radiocommunications.

Dans une direction quelconque, s'il n'y a pas de gabarit – de puissance surfacique ou de p.i.r.e. –, il n'est pas nécessaire de réaliser une quelconque exécution.

Il est nécessaire d'examiner les tableaux grp, freq du SRS pour:

- déterminer la date concernée;
- déterminer la liste des fréquences.

Il est également nécessaire de contrôler les fréquences du tableau d'exploitation du système: s'il y a des jeux de paramètres différents selon les fréquences, il faut réaliser une passe pour chaque ensemble unique de gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e., de paramètres orbitaux et de caractéristiques d'exploitation du système.

Pour chaque {freq\_min, freq\_max, date}, une combinaison est utilisée pour appeler l'API Limits. Si des limites identiques sont renvoyées, seul le cas de fréquence minimale sera exécuté.

```

For all unique Satellite {freq_min, freq_max, date} in non-GSO notice
{
  From LimitsAPI request all FSS epfd(down) limits for {freq_min, freq_max,
date}
  For all unique epfd(down) limits returned
  {
    Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
    CreateRun:
      Direction = Down
      Service = FSS
      Frequency = FrequencyRun
      ES_DishSize = From Limits API
      ES_GainPattern = From Limits API
      epfd_Threshold = From Limits API
      Ref_BW = From Limits API
  }
  From LimitsAPI request all BSS epfd(down) limits for {freq_min, freq_max,
date}
  For all unique epfd(down) limits returned
  {
    Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
    CreateRun:
      Direction = Down
      Service = BSS
  }
}

```

```

    Frequency = FrequencyRun
    ES_DishSize = From Limits API
    ES_GainPattern = From Limits API
    epfd_Threshold = From Limits API
    Ref_BW = From Limits API
  }
}
For all unique ES {freq_min, freq_max} in non-GSO notice
{
  From LimitsAPI request all epfd(up) limits for {freq_min, freq_max, date}
  For all unique epfd(up) limits returned
  {
    Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
    CreateRun:
      Direction = Up
      Frequency = FrequencyRun
      Sat_Beamwidth = From Limits API
      Sat_GainPattern = From Limits API
      epfd_Threshold = From Limits API
      Ref_BW = From Limits API
    }
  }
}
For all unique Satellite {freq_min, freq_max, date} in non-GSO notice
{
  From LimitsAPI request all epfd(is) limits for {freq_min, freq_max, date}
  For all unique epfd(is) limits returned
  {
    Set FrequencyRun = max( $f_{\min}(\text{mask})$ ,  $f_{\min}(\text{limits})$ ) + RefBW/2
    CreateRun:
      Direction = Intersatellite
      Frequency = FrequencyRun
      Sat_Beamwidth = From Limits API
      Sat_GainPattern = From Limits API
      epfd_Threshold = From Limits API
      Ref_BW = From Limits API
    }
  }
}

```

## D2.2 Numéro 9.7A de l'Article 9 du Règlement des radiocommunications

Dans le cas du numéro 9.7A de l'Article 9, les critères et le seuil à respecter sont définis dans l'Appendice 5 du Règlement des radiocommunications et les exécutions sont effectuées comme suit:

```

If the selected earth station meets the criteria in Appendix 5
{
  Get the frequency range of the selected ES ( $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$ )
  Get all non-GSO networks in the SRS that overlap that frequency range
  For each non-GSO network returned
  {
    Query Limits API with the selected ES ( $f_{\min}$ ,  $f_{\max}$ )
    {
      Get RefBW from Appendix 5 Data
      Set FrequencyRun = max( $ES_{f_{\min}}$ ,  $Mask_{f_{\min}}$ ) + RefBW/2
      CreateRun:

```

```

        Direction = Down
        Frequency = FrequencyRun
        ES_DishSize = From ES filing
        ES_GainPattern = From ES filing
        epfd_Threshold = From Appendix 5
        Ref_BW = From Appendix 5
    }
}
}

```

### D2.3 Numéro 9.7B de l'Article 9 du Règlement des radiocommunications

Dans le cas du numéro **9.7B** de l'Article 9, les critères et le seuil à respecter sont définis dans l'Appendice 5 du Règlement des radiocommunications et les exécutions sont effectuées comme suit:

```

Get ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ ) from non-GSO notice
{
    Get all ES in the SRS that overlap that frequency range
    For each ES returned
    {
        If the earth station meets the criteria in Appendix 5
        {
            Query Limits API with ES( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ )
            Get RefBW from Appendix 5 Data
            Set FrequencyRun = max(ES_ $f_{min}$ , Mask_ $f_{min}$ ) + RefBW/2
            CreateRun:
                Direction = Down
                Frequency = FrequencyRun
                ES_DishSize = From ES filing
                ES_GainPattern = From ES filing
                epfd_Threshold = From Appendix 5
                Ref_BW = From Appendix 5
            }
        }
    }
}

```

### D3 Cas le plus défavorable (WCG)

Les limites d'epfd figurant à l'Article 22 du Règlement des radiocommunications s'appliquent à toutes les stations terriennes OSG et à tous les angles de pointage vers cette partie de l'arc OSG visible depuis la station terrienne concernée. Toutefois, il n'est pas possible de modéliser toutes ces configurations géométriques dans le logiciel de vérification. On désigne par configuration géométrique dans le cas le plus défavorable (WCG, *worst case geometry*) un emplacement de satellite OSG de référence et une station terrienne ou un axe de visée du faisceau du satellite OSG qui sont utilisés lors de l'examen de conformité d'un système non OSG avec les limites d'epfd figurant à l'Article 22. L'opérateur non OSG doit aussi respecter les limites d'epfd de l'Article 22 dans toutes les autres configurations géométriques, y compris pour le test de réseaux OSG spécifiques comme indiqué au § A1.3.

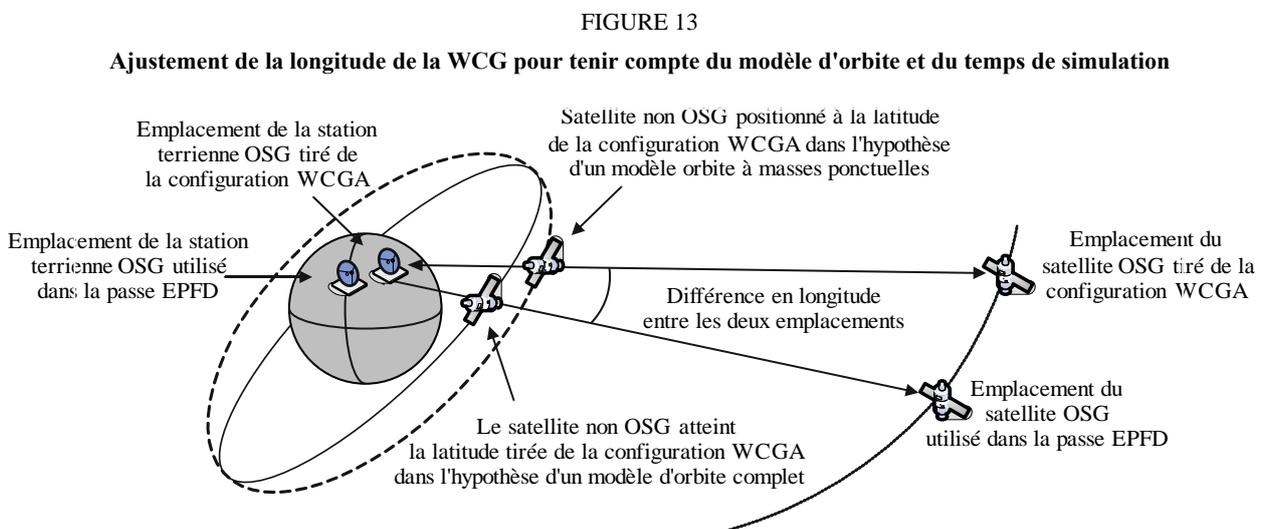
La WCG est choisie par un algorithme, l'algorithme de configuration géométrique dans le cas le plus défavorable (WCGA), qui examine les gabarits de puissance surfacique/p.i.r.e. et les paramètres orbitaux du satellite non OSG afin de déterminer la valeur la plus élevée d'epfd pour une seule source de brouillage. Lorsqu'il existe plusieurs configurations géométriques avec la même valeur d'epfd maximale pour une seule source de brouillage, l'algorithme choisit celle qui présente cette valeur

maximale pendant le plus grand pourcentage de temps, compte tenu de la vitesse angulaire ou de l'angle d'élévation. Ces hypothèses reposent sur le fait que les niveaux d'epfd critiques les plus élevés sont ceux qui sont les plus facilement mesurables.

La configuration WCGA repose sur une itération sur un ensemble d'emplacements, le plus souvent du satellite non OSG. On postule que la configuration géométrique est symétrique en longitude et que le satellite peut être exactement positionné à la latitude requise en utilisant un simple modèle de masse ponctuelle. Cependant, le moteur de calcul d'epfd décrit au § D5 peut utiliser une gamme de modèles orbitaux associée à un pas de temps donné et, par conséquent, la longitude à laquelle un satellite atteint une latitude donnée sera différente de celle de la WCGA. Une étape supplémentaire est donc requise pour laquelle, dans le cas du satellite non OSG qui donne l'epfd la plus élevée pour une seule source de brouillage, la différence de longitude est calculée entre les deux valeurs suivantes:

- La longitude du satellite non OSG lorsqu'il atteint la latitude spécifiée en utilisant un modèle de masse ponctuelle dans la configuration WCGA, en effectuant une conversion en (latitude, longitude) au moyen d'un temps statique  $t =$  heure de début de la simulation (par exemple, temps relatif = 0).
- La longitude à laquelle le satellite non OSG est le plus proche de la latitude spécifiée en utilisant le modèle d'orbite complet et le pas de temps fin calculé pour la passe donnée, en effectuant une conversion en (latitude, longitude) au moyen du temps de simulation pertinent.

Cette différence de longitude est présentée à la Fig. 13 ci-dessous:



S.1503-13

Cette différence en longitude est ensuite utilisée pour ajuster la position du satellite OSG et de la station terrienne calculée dans la configuration WCGA de sorte que le satellite non OSG doté du gabarit de puissance surfacique qui produit l'epfd la plus élevée passe par la configuration géométrique qui produit cette valeur d'epfd au cours de sa première orbite. Lors de l'itération pour déterminer la latitude au moyen du pas de temps, le pas de temps qui donne la latitude la plus proche est utilisé dans le calcul de la longitude.

Il est à noter que l'algorithme décrit dans la présente Recommandation n'est pas conçu pour tenir compte des Régions de l'UIT-R ni des longitudes spécifiques, étant donné que les limites d'epfd de l'Article 22 du RR sont censées s'appliquer à tous les emplacements de stations terriennes OSG et aux parties visibles de l'arc OSG.

Il convient d'être vigilant lors de la comparaison des nombres à virgule flottante et de contrôler les erreurs d'arrondi. Dans la configuration WCGA, il est acceptable d'arrondir au 0,1 dB le plus proche et non d'arrondir à la valeur supérieure. La grille de recherche est construite par pas de  $0,1^\circ$  et les routines de recherche binaire se terminent lorsque la différence angulaire est inférieure à  $1e-5$  radian.

### D3.1 Configuration WCG pour le calcul de l'epfd↓

#### D3.1.1 Données d'entrée

Les données d'entrée pour l'algorithme comprennent notamment:

- epfd\_mask: gabarit de puissance surfacique à vérifier
- $\alpha_0[\text{lat}]$ : angle d'évitement de l'arc OSG pour le satellite non OSG par latitude = MIN\_EXCLUDE[Latitude]
- $h$ : hauteur d'exploitation minimale du satellite non OSG
- $\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$ : angle d'élévation minimal du satellite non OSG par latitude et azimut
- $\{a, e, i\}$ : paramètres orbitaux du système non OSG
- ES: paramètres de la station terrienne, dont le diagramme de gain

#### D3.1.2 Algorithme

La présente section décrit l'algorithme utilisé pour déterminer la géométrie WCG pour le calcul de l'epfd(liaison descendante).

Il convient de noter qu'il peut y avoir différentes gammes de fréquences dans les gabarits de puissance surfacique: on suppose que le processus est répété pour chaque gamme de fréquences valable. Pour chaque gamme de fréquences valable, il peut y avoir différents gabarits de puissance surfacique, de multiples jeux de paramètres  $\{a, e, i\}$  ou de paramètres d'exploitation du système (par exemple, angles d'évitement OSG qui varient selon le satellite non OSG): le processus doit être répété selon chacun de ces jeux.

Pour déterminer la géométrie WCG, on effectue une recherche dans la matrice d'angles  $(\theta, \varphi)$  tels que ces angles sont vus par le satellite non OSG, et la région  $(-\alpha_0, +\alpha_0)$ , y compris  $\alpha = 0$ , est examinée avec un soin tout particulier. La recherche est répétée pour un certain nombre de latitudes du satellite non OSG qui servent de points de mesure. En outre, des vérifications particulières sont faites aux latitudes les plus élevées pour lesquelles  $\alpha = \{-\alpha_0, 0, +\alpha_0\}$  dans un souci de compatibilité avec la méthode indiquée dans la Recommandation UIT-R S.1714.

Pour chaque point de mesure considéré, l'algorithme calcule l'epfd en utilisant le gabarit de puissance surfacique et le gain de l'antenne de réception puis compare la valeur ainsi obtenue à la valeur seuil correspondant à la latitude considérée. Le gain est calculé en utilisant l'angle  $\alpha$  pour l'angle hors axe  $\varphi$ : pour le diagramme de gain d'antenne de la station terrienne du SRS, qui peut ne pas être symétrique autour de l'axe de visée, l'angle  $\theta$  doit être la valeur calculée en supposant que les points de la station terrienne à l'emplacement du point correspondent à l'angle  $\alpha$ . Il convient de noter que l'algorithme peut être mis en œuvre de façon à calculer la configuration WCG pour de multiples tailles de paraboles par vectorisation.

La différence entre le niveau de l'epfd mesuré et le niveau seuil devrait être la même pour plusieurs points de mesure. Pour évaluer la valeur à utiliser pour la configuration WGC, on calcule la vitesse angulaire du satellite non OSG, tel qu'il est vu par la station terrienne et la géométrie retenue est celle qui:

- 1) Donne la plus grande différence entre le niveau de l'epfd et la valeur seuil pour la résolution des statistiques résultantes (0,1 dB).

- 2) Si plusieurs géométries respectent la condition 1, on retiendra celle qui donne la vitesse angulaire du satellite la plus faible tel qu'il est vu par la station terrienne.

L'algorithme de recherche est illustré aux Figs 14 et 15 avec:

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0[lat]$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_0[lat, az]$$

FIGURE 14

Grille de recherche  $(\theta, \varphi)$  pour la géométrie WCG CalcAtLat

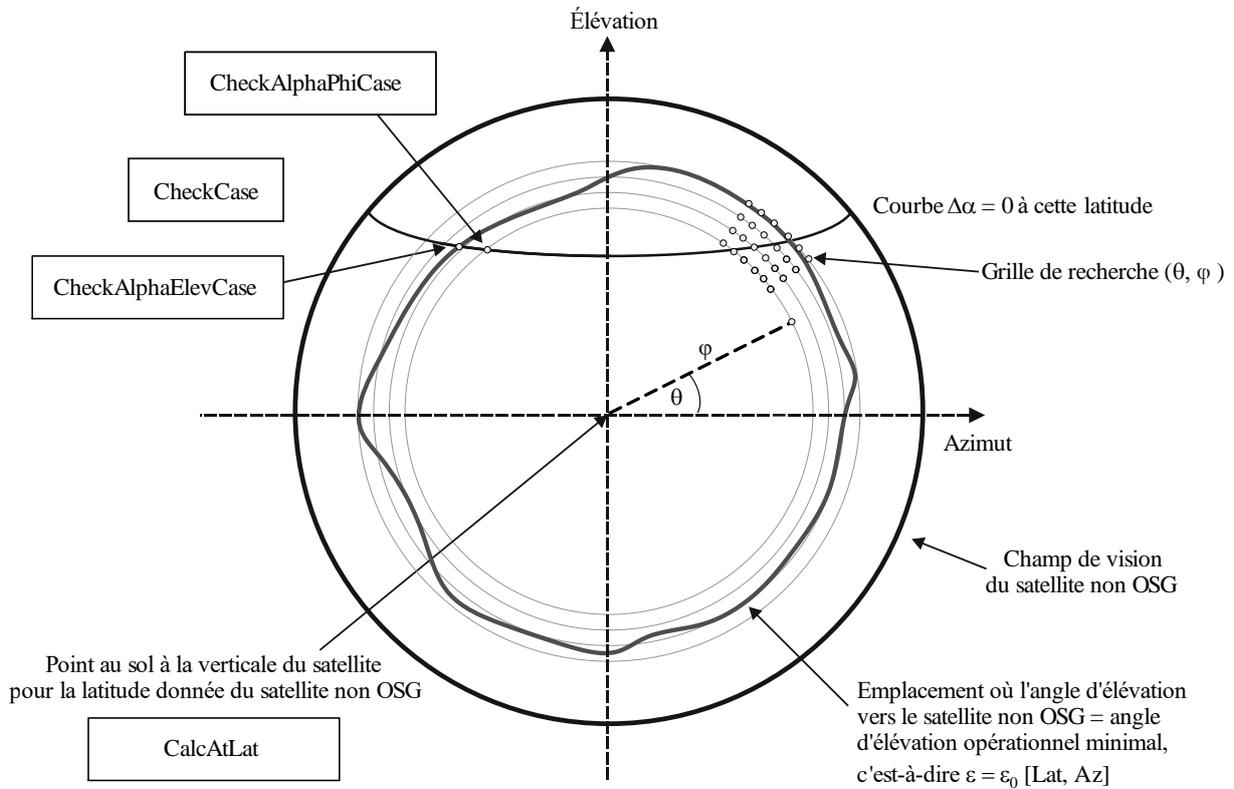
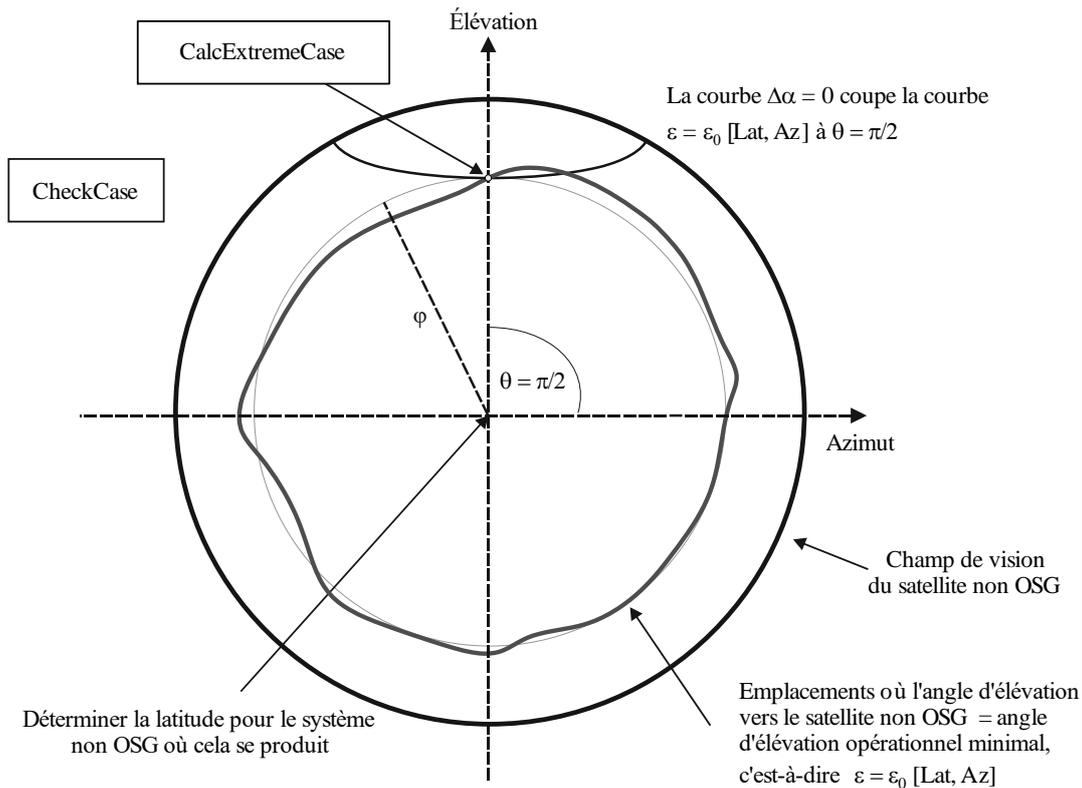


FIGURE 15  
Géométrie pour WCGD\_CheckExtremeCase



S.1503-15

'algorithme est décrit dans le pseudo-code suivant pour le type de station terrienne OSG spécifié:

**WCGA\_Down:**

```

Set WorstEPFDBin = -9999
Set WorstAngularVelocity = +9999
Identify  $\epsilon_{0,\min}$  = minimum value over all values in the  $\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$  table
For all satellites in the order listed in ITU DB
{
    Determine PFD mask to use for this satellite
    If this PFD mask and satellite orbit (a, e, i) combination have not been
checked so far then or this satellite uses a different  $\alpha_0[\text{lat}]$  then
        Call GetWCGA_Down(SystemParams)
    End if
}
Next satellite

```

Note that SystemParams = (PFD\_Mask,  $\alpha_0[\text{lat}]$ ,  $\epsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$ , ES, OrbitParams,  $\epsilon_{0,\min}$ ) as required

**GetWCGA\_Down** (SystemParams):

```

StepSize = 0.1°
If (i = 0)
{
    WCGD_CalcAtLat(SystemParams, latitude = 0)
}
Else

```

```

{
  LatNumSteps = RoundUp(i / StepSize)
  For n = 0 to LatNumSteps inclusive
  {
    latitude = i * n / LatNumSteps
    WCGD_CalcAtLat(SystemParams, latitude)
    If (n > 0)
    {
      WCGD_CalcAtLat(SystemParams, -latitude)
    }
  }
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, 0,  $\theta = +\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, 0,  $\theta = -\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, +1,  $\theta = +\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, -1,  $\theta = -\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, +1,  $\theta = +\pi/2$ )
  WCGD_CheckExtremeCase(SystemParams, -1,  $\theta = -\pi/2$ )
}
}

```

**WCGD\_CalcAtLat(SystemParams, latitude):**

```

  Locate non-GSO satellite at latitude
  Calculate height of non-GSO satellite from its radius, r
  If height of non-GSO satellite < minimum operating height then return
  Calculate  $\varphi_0$  for elevation angle  $\epsilon_{0, \min}$  and radius r
  WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude,  $\theta = 0$ ,  $\varphi = 0$ )
  NumPhiSteps = RoundUp( $\varphi_0$  / StepSize)
  PhiStepSize =  $\varphi_0$  / NumPhiSteps
  For  $\varphi = \text{PhiStepSize}$  to  $\varphi_0$  inclusive in NumPhiSteps steps
  {
    ThetaMin =  $-\pi/2$ 
    ThetaMax =  $+3\pi/2$ 
    If the PFD mask is symmetric in DeltaLong or Azimuth and elevation table
    is also symmetric between east and west
    {
      ThetaMax =  $\pi/2$ 
    }
    NumThetaSteps = max(16, RoundUp( $2\pi\varphi/\text{PhiStepSize}$ ))
    ThetaStepSize = (ThetaMax-ThetaMin)/NumThetaSteps
    For ThetaStep = 0 to NumThetaSteps inclusive
    {
       $\theta = \text{ThetaMin} + \text{ThetaStep} * \text{ThetaStepSize}$ 
      WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude,  $\theta$ ,  $\varphi$ )
    }
    WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\varphi$ , 0, RHS)
    WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\varphi$ , +1, RHS)
    WCGD_CheckAlphaPhiCase(latitude,  $\varphi$ , -1, RHS)
    If the PFD masks is not symmetric then
    {
      WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\varphi$ , 0, LHS)
      WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\varphi$ , +1, LHS)
    }
  }

```

```

        WCGD_CheckAlphaPhiCase(SystemParams, latitude,  $\phi$ , -1, LHS)
    }
}
WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, 0, RHS)
WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, +1, RHS)
WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, -1, RHS)
If the PFD mask is not symmetric then
{
    WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, 0, LHS)
    WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, +1, LHS)
    WCGD_CheckAlphaElevCase(SystemParams, latitude, -1, LHS)
}

```

**WCGD\_CheckCase**(SystemParams, latitude,  $\theta$ ,  $\phi$ ):

```

Convert ( $\theta, \phi$ ) to (az, el) in the satellite reference frame
Create line from non-GSO satellite  $N$  in direction (az, el)
Identify point  $P$  in which line intersects Earth
Calculate the latitude of  $P$ ,  $lat_P$ 
If Absolute( $lat_P$ ) > 81.2 degrees then exit this function
If  $lat_P < ES\_LAT\_MIN$  then exit this function
If  $lat_P > ES\_LAT\_MAX$  then exit this function
If number of non-GSO satellites that operate at this latitude is zero then
exit this function
Calculate the ( $az_{NGSO}, el_{NGSO}$ ) of the non-GSO satellite as seen by the ES
Find the nearest latitude to  $lat_P$  in the  $\epsilon_0[lat_P, Az_{NGSO}]$  table
At point  $P$  calculate ( $\alpha, \Delta long$ ) angles wrt point  $N$ 
At point  $P$  calculate AngularVelocity using methodology below
Calculate PFD from mask, latitude & (az, el,  $\alpha, \Delta long$ )
Calculate  $G(\alpha)$  and  $G(\alpha_0[lat_P])$ 
Calculate the  $el_{GSO}$  of the point on the GSO arc associated with the calculated

```

$\alpha$

$\epsilon_{GSO}$  = the appropriate minimum elevation angle in Table 8

```

If (( $\alpha \geq \alpha_0[lat_P]$  and  $el_{NGSO} \geq \epsilon_0[lat_P, Az_{NGSO}]$  and  $el_{GSO} \geq \epsilon_{GSO}$ )
or  $G(\alpha) > \min(G_{max} - 30 \text{ dB}, G(\alpha_0[lat_P]))$ ) then
{
    Calculate EPFDThreshold from latitude of point  $P$  on the Earth's surface
    Calculate EPFDMargin = PFD +  $G_{rel}(\alpha)$  - EPFDThreshold
    Calculate EPFDBin = EPFDMargin/BinSize
    If WorstEPFDBin < EPFDBin
    {
        WorstEPFDBin = EPFDBin
        Worst AngularVelocity = AngularVelocity
        Store this (N, P)
    }
    Else if (WorstEPFDBin = EPFDBin &&
        WorstAngularVelocity > AngularVelocity)
    {
        WorstAngularVelocity = AngularVelocity
        Store this (N, P)
    }
}

```



**WCGD\_GetDeltaElev**(SystemParams,  $\theta, \varphi$ ):

```

Convert ( $\theta, \varphi$ ) to ( $az, el$ )
Create line in direction ( $az, el$ ) from non-GSO satellite
Identify point P where line intersects Earth
Calculate latitude of P,  $lat_P$ 
Calculate ( $az_{NGSO}, el_{NGSO}$ ) of non-GSO satellite as seen by point P
At point P calculate  $\varepsilon_0[lat, az]$ 
Return  $el_{NGSO} - \varepsilon_0[lat, az]$ 

```

**WCGD\_CheckExtremeCase**(SystemParams,  $Sign_\alpha, \theta$ ):

```

Set latitude range according to sign (north or south hemisphere)
If bracket  $\delta\alpha = 0$  then
{
    Use binary search to iterate until latitude range less than  $1e-5$  radians
    {
        For each test latitude, Lat
        {
            Call WCGD_CalcDeltaAlphaFromLatElev(SystemParams, Lat, Sign,
             $\theta$ ) to determine  $\delta\alpha_i$  and corresponding  $\varphi_i$ 
        }
        } Selecting latitudes that bracket  $\delta\alpha = 0$ 
        WCGD_CheckCase(SystemParams, latitude,  $\theta, \varphi$ )
    }

```

**WCGD\_CalcDeltaAlphaFromLatElev**(SystemParams, Latitude, Sign,  $\theta$ ):

```

Set satellite at Latitude
Get  $\varphi$  using WCGD_CalcPhiFromThetaElev(SystemParams,  $\theta, \varphi_{Max}$ )
Calculate  $\delta\alpha$  from WCGD_CalcDeltaAlpha(SystemParams, Sign,  $\theta, \varphi$ )
Return  $\delta\alpha, \varphi$ 

```

L'algorithme utilise la géométrie décrite dans les paragraphes qui suivent.

### D3.1.3 Géométrie

#### D3.1.3.1 Conversion entre ( $az, el$ ) et ( $\theta, \varphi$ )

On utilise les équations suivantes:

$$\cos(\varphi) = \cos(az) \cos(el)$$

$$\sin(el) = \sin(\theta) \sin(\varphi)$$

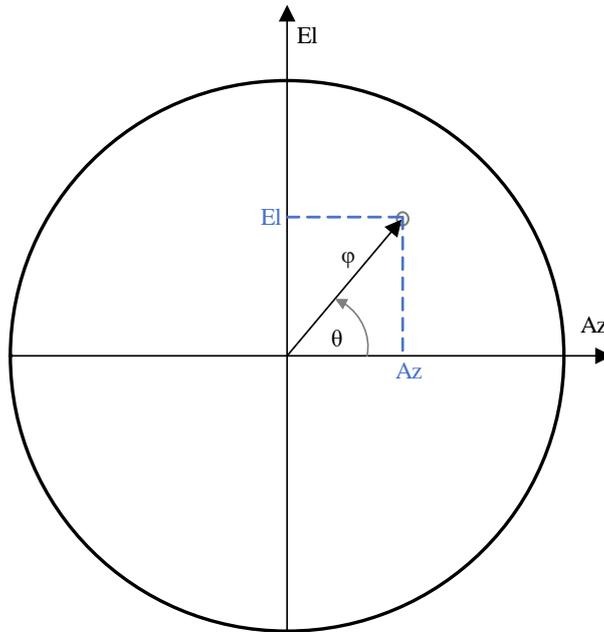
Il convient de noter qu'il faut contrôler le signe de  $az$  ou  $\varphi$  pour que arccos / arcsin soit correctement calculé.

On notera également que les équations ci-dessus doivent être utilisées avec l'algorithme de calcul de la géométrie du cas le plus défavorable, et qu'elles sont différentes des équations de conversion de ( $\theta, \varphi$ ) à ( $Az, El$ ) présentées au § C2.3.2.

Le système de coordonnées ( $\theta, \varphi$ ) et sa relation au système de coordonnées ( $az, el$ ) sont présentés dans les Figs 16 et 17 ci-dessous.

FIGURE 16

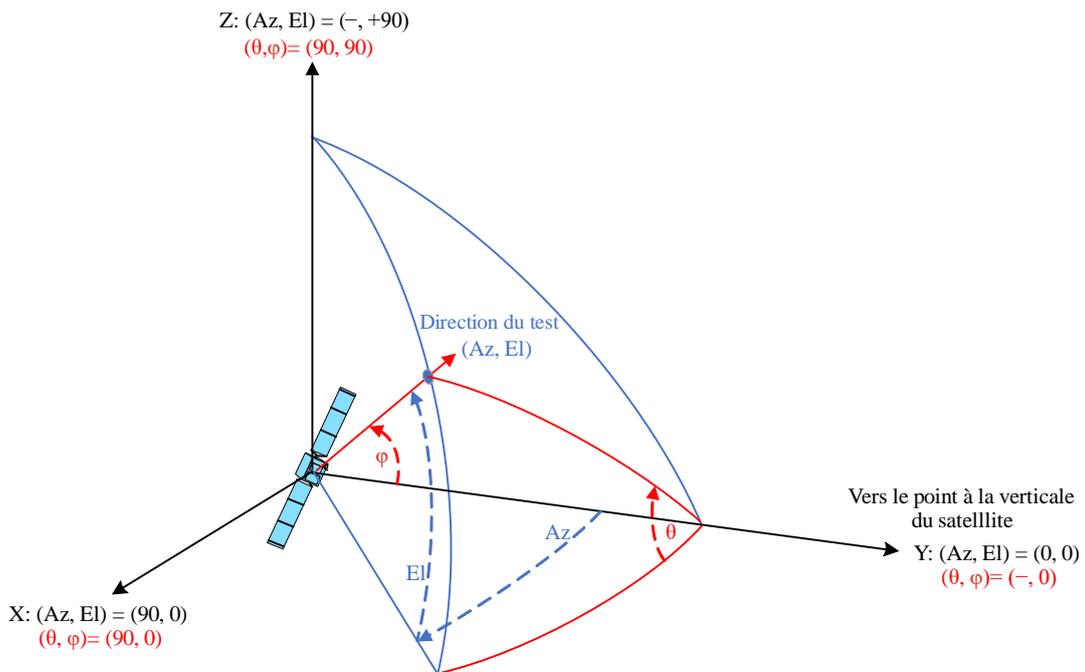
Conversion entre coordonnées (azimut, élévation) et  $(\theta, \varphi)$  du point de vue du satellite



S.1503- 16

FIGURE 17

Conversion entre coordonnées (azimut, élévation) et  $(\theta, \varphi)$  en vue tridimensionnelle



S.1503-17

L'angle  $\varphi$  est l'angle entre les deux droites suivantes:

- la droite qui va du satellite au point à la verticale du satellite;
- la droite qui s'étend du satellite dans la direction du test.

L'angle  $\theta$  est l'angle obtenu en tournant autour de l'axe de visée dans le sens inverse des aiguilles d'une montre à partir du plan d'élévation nulle.

### D3.1.3.2 Positionner le satellite à la latitude

Les étapes principales dans cet algorithme sont le calcul du vecteur de position et le calcul du vecteur de vitesse du satellite non OSG et de la station terrienne. Pour les systèmes à orbite circulaire, on utilise la latitude pour calculer l'anomalie vraie,  $v$ , comme suit:

$$\sin(\omega + v) = \frac{\sin lat}{\sin i}$$

Pour les systèmes elliptiques, il est nécessaire d'utiliser une recherche binaire. Dans l'hypothèse où le système est conçu de sorte que l'argument du périégée =  $\pm\pi/2$ , le satellite ira de la latitude minimale à la latitude maximale lorsque l'anomalie moyenne varie de  $[0, \pi]$ . Par conséquent, la recherche binaire peut démarrer avec  $M = (0, \pi)$  et effectuer l'itération à partir de là.

Pour calculer les vecteurs de position et de vitesse, on utilise les équations suivantes:

Dans le plan du satellite:

$$\underline{r}_{sat} = r_{sat}(\cos v \underline{P} + \sin v \underline{Q})$$

$$\underline{v}_{sat} = \sqrt{\frac{\mu}{p}}(-\sin v \underline{P} + (e + \cos v) \underline{Q})$$

où:

- $P, Q$ : vecteurs unitaires dans le plan orbital, géocentriques et  $P$  étant aligné sur le grand axe de l'orbite, comme cela est décrit au § D6.3.3
- $a, e, v$ : éléments orbitaux.

Aussi:

$$r_{sat} = \frac{p}{1 + e \cos v}$$

$$p = a(1 - e^2)$$

Il est alors possible de transposer les coordonnées  $(\Omega, \omega, i)$  des vecteurs de vitesse et de position du satellite non OSG du référentiel PQW basé sur le plan orbital à un référentiel géocentrique en appliquant la matrice de rotation usuelle. Pour le calcul dans la configuration WCG, on peut supposer que les effets de second ordre, y compris le facteur  $J_2$ , ne doivent pas être pris en considération.

On peut aussi utiliser l'équation exprimant le vecteur de position pour calculer la latitude à partir de l'anomalie vraie  $v$ , et donc par itération positionner le satellite à la latitude voulue.

### D3.1.3.3 Calcul de la valeur maximale de $\varphi$ vu depuis le satellite

Pour une latitude donnée et donc pour un rayon du satellite donné, l'angle maximal au niveau du satellite par rapport au point à la verticale du satellite  $\varphi_0$  peut être calculé à partir de l'angle d'élévation  $\varepsilon$ :

$$\sin(\varphi_0) = \frac{R_e}{r_{sat}} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon\right)$$

### D3.1.3.4 Calcul de la vitesse angulaire

Les données d'entrée sont les suivantes:

vecteur de position de la station terrienne:  $\underline{r}_{es}$

vecteur de vitesse de la station terrienne:  $\underline{v}_{es}$

vecteur de position du satellite non OSG:  $\underline{r}_{sat}$

vecteur de vitesse du satellite non OSG:  $\underline{v}_{sat}$

À partir de ces données, il est possible de calculer la vitesse apparente et le vecteur depuis la station terrienne jusqu'au satellite:

$$\underline{r} = \underline{r}_{sat} - \underline{r}_{es}$$

$$\underline{v} = \underline{v}_{sat} - \underline{v}_{es}$$

L'angle entre ces deux vecteurs est ensuite calculé comme suit:

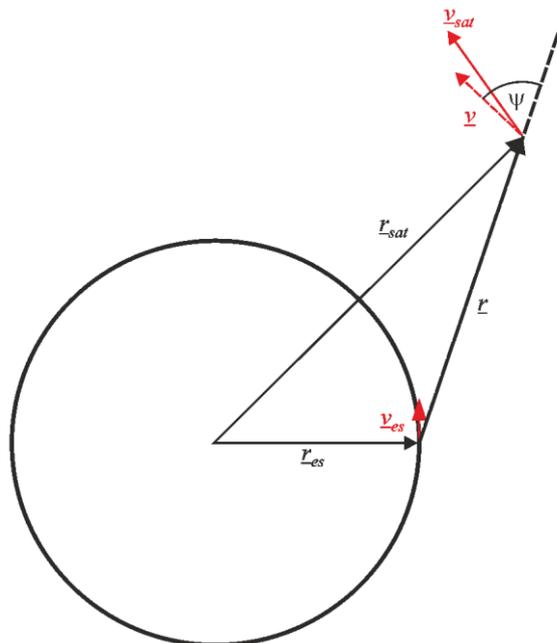
$$\cos \psi = \frac{\underline{r} \cdot \underline{v}}{r v}$$

La vitesse angulaire instantanée est alors la suivante:

$$\theta = \frac{v}{r} \sin \psi$$

Les divers termes sont illustrés à la Fig. 18:

FIGURE 18  
Vecteurs pour calculer la vitesse angulaire apparente du satellite non OSG



S.1503-18

Il convient de noter que, dans le cas d'une vitesse angulaire faible, la probabilité de brouillage sera plus forte; par conséquent, pour une valeur d'epfd donnée, il conviendra d'utiliser la configuration WCG qui donne la vitesse angulaire apparente la plus faible.

Le vecteur de vitesse de la station terrienne peut être calculé à partir du vecteur de position de cette station  $(x, y, z)$  comme suit:

$$\underline{v}_{es} = w_e \begin{pmatrix} -y \\ x \\ 0 \end{pmatrix}$$

où  $w_e$  est la vitesse angulaire de la Terre, en radians par seconde.

### D3.2 Configuration WCG pour le calcul de l'epfd↑

Il convient de noter que les limites d'epfd de l'Article 22 sont données pour 100% du temps et que, par conséquent, il est inutile d'examiner la probabilité de configurations géométriques particulières: seule la valeur maximale d'epfd(liaison montante) est à prendre en compte.

S'il y a de multiples sous-constellations présentant d'autres paramètres orbitaux ou que certains satellites utilisent différents angles de la zone d'exclusion, le processus doit être répété pour chaque jeu de données.

#### D3.2.1 Données d'entrée

Les données d'entrée pour l'algorithme sont les suivantes:

ES\_e.i.r.p.: gabarit de p.i.r.e. du satellite non OSG à vérifier. Ce gabarit peut varier en fonction de la latitude, chaque intervalle de latitudes présentant un diagramme de p.i.r.e., qui est défini sous la forme d'un tableau de p.i.r.e. en fonction de l'angle hors axe vers l'arc OSG; le gabarit peut également varier en fonction de la latitude, de l'azimut et de l'élévation, chaque combinaison latitude-azimut-élévation présentant un diagramme de p.i.r.e., qui est défini sous la forme d'un tableau de p.i.r.e. en fonction de la différence de longitude entre la station terrienne et le satellite OSG

$\theta_{adB}$ : ouverture à mi-puissance du faisceau du satellite OSG

$\varepsilon_{0,GSO}$ : angle d'élévation minimal du système OSG

$\varepsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$ : angle minimal d'élévation du système non OSG, qui peut varier en latitude et en azimut

$\alpha_0[\text{lat}]$ : angle minimal d'exclusion du système non OSG, qui peut varier en fonction de la latitude et du satellite non OSG

$N_{co}[\text{lat}]$ : nombre de satellites non OSG pouvant offrir un service cofréquence à un emplacement donné sur la surface de la Terre, ce nombre pouvant varier en fonction de la latitude

ES\_DISTANCE, ES\_DENSITY: distance moyenne à la surface de la Terre entre faisceaux de même fréquence du système non OSG (km) et densité des stations terriennes non OSG de même fréquence ou:

ES(lat, long): latitude et longitude de la station terrienne spécifique du système non OSG

$\{a, i, e, \Omega, \omega, v\}$ : paramètres orbitaux du système non OSG, y compris une information indiquant si la trajectoire du système au sol est répétitive et, le cas échéant, la période de répétition.

#### D3.2.2 Paramètres du système OSG

On postule que l'angle d'élévation opérationnel minimal et la largeur de faisceau du système OSG ont les valeurs indiquées dans le Tableau 8.

TABLEAU 8

Paramètres du système OSG pour la configuration WCG (liaison montante)

| Bande de fréquences                                 | $f < 10 \text{ GHz}$ | $10 \text{ GHz} \leq f < 17 \text{ GHz}$ | $f \geq 17 \text{ GHz}$ |
|---|----------------------|--|-------------------------|
| Largeur de faisceau (degrés)                        | 1,5                  | 4  | 1,55                    |
| Angle d'élévation minimal (degrés) $\epsilon_{EOC}$ | 10                   | 10                                       | 20                      |

Le Tableau 9 donne l'angle géocentrique qui correspond à l'angle d'élévation minimal et donc l'angle maximal au niveau du satellite GSO en direction de l'axe de visée du faisceau  $\varphi_{BS}$ :

TABLEAU 9

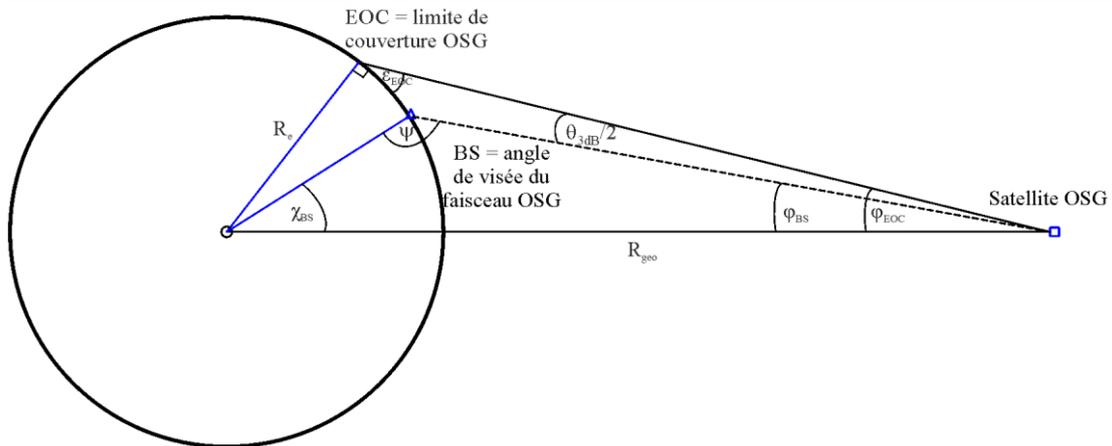
Valeurs minimales et maximales calculées pour la configuration WCG (liaison montante)

| Bande de fréquences                                    | $f < 10 \text{ GHz}$ | $10 \text{ GHz} \leq f < 17 \text{ GHz}$ | $f \geq 17 \text{ GHz}$ |
|--|----------------------|--|-------------------------|
| $\varphi_{EOC}$ au niveau du satellite OSG (degrés)    | 8,567                | 8,567                                    | 8,172                   |
| $\varphi_{BS}$ au niveau du satellite OSG (degrés)     | 7,817                | 6,567                                    | 7,397                   |
| Angle géocentrique $\chi$ pour $\varphi_{BS}$ (degrés) | 56,230               | 42,552                                   | 50,934                  |

Ces valeurs ont été calculées à partir de la configuration géométrique présentée à la Fig. 19 et en utilisant les équations suivantes.

FIGURE 19

Angles de pointage GSO pour la configuration WCG(LIAISON MONTANTE)



S.1503-19

Ici,  $\varphi_{BS}$  peut être calculé comme suit:

$$\sin \varphi_{EOC} = \frac{R_e}{R_{geo}} \sin \left( \frac{\pi}{2} + \epsilon \right)$$

$$\varphi_{BS} = \varphi_{EOC} - \frac{\theta_{3dB}}{2}$$

Puis, notant que  $\psi > \pi/2$ :

$$\sin(\pi - \psi) = \frac{R_{geo}}{R_e} \sin(\varphi_{BS})$$

D'où:

$$\chi_{BS} = \pi - \varphi_{BS} - \psi$$

### D3.2.3 Algorithme

L'algorithme WCG de calcul de l'epfd(liaison montante) est le suivant:

```

WCGA_UP :
  Calculate  $\varphi_{BS}$  from  $\epsilon_{EOC}$ 
  From  $\varphi_{BS}$  calculate  $\chi_{BS}$ 
  If ES from density
    Call WCGA_UP_General
  Else
    If non-GSO satellite repeats
      Call WCGA_UP_SpecificES_Repeating
    Else
      Call WCGA_UP_SpecificES_NonRepeating
    Endif
  Endif

```

Les divers cas, leurs fonctions et leurs géométries respectives sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

#### D3.2.3.1 Calcul de l'epfd cumulative

Dans le cas général, l'epfd(liaison montante) cumulative peut se calculer comme suit:

$$epfd(up) = \sum_{i=1}^{i=N_{ES}} e.i.r.p.(lat) - L_S + G_{rel,rx} + 10\log_{10}(NUM_{ES}) + 10\log_{10}(N_{co,ES}(lat))$$

À noter que la somme est en absolu bien que l'équation soit donnée en termes dB avec addition et avec:

- e.i.r.p.(lat)* p.i.r.e. vers l'OSG pour la latitude donnée de la station terrienne non OSG, en fonction de la latitude et de l'angle hors axe vers l'arc OSG, ou en fonction de la latitude, de l'axe de visée (azimut, élévation) et de la différence de longitude entre la station terrienne non OSG et le satellite OSG
- L<sub>S</sub>* facteur d'étalement
- G<sub>rel,rx</sub>* gain relatif au niveau du satellite OSG en utilisant le diagramme de gain de la Rec. UIT-R S.672
- NUM<sub>ES</sub>* facteur applicable aux systèmes qui utilisent la densité plutôt qu'une station terrienne spécifique (et qui, en règle générale, est lié à la méthode d'accès); ce facteur est calculé à partir de la densité du système non OSG et des champs de distance comme indiqué au § D5.2.5  
 $NUM_{ES} = ES\_DISTANCE * ES\_DISTANCE * ES\_DENSITY$
- N<sub>co,ES</sub>(lat)* nombre maximal de stations terriennes non OSG de même fréquence pouvant émettre en un emplacement donné.

La somme est effectuée sur les  $N_{ES}$  systèmes non OSG déployés à l'intérieur de l'empreinte du faisceau à 15 dB des satellites OSG au moyen de l'algorithme figurant au § D5.2.5. Cette valeur dépend de la distance de séparation des faisceaux de même fréquence, qui est un paramètre fourni par le système non OSG.

Pour le calcul de la configuration WCG(liaison montante), on suppose que l'epfd cumulative est dominée par l'epfd à une seule source de brouillage selon l'axe de visée plus un facteur cumulatif, de sorte que cette valeur peut être estimée en retirant les paramètres non OSG de la somme, soit:

$$epfd(up) \cong e.i.r.p.(lat) + 10\log_{10}(NUM_{ES}) + 10\log_{10}(N_{co,es}(lat)) + \sum_{i=1}^{i=N_{ES}} G_{rel,rx} - L_S$$

Ce dernier terme ne dépend que de la configuration géométrique (en particulier de l'angle géocentrique,  $\chi$ ) et du diagramme de gain de la Recommandation UIT-R S.672, et il ne dépend d'aucun paramètre non OSG; il peut donc être calculé à l'avance.

$$F_{672}(x) = \sum_{i=1}^{i=N_{ES}} G_{rel,rx} - L_S$$

Une méthode de calcul reposant sur l'hypothèse d'une distance de séparation des stations terriennes non OSG  $ES\_DISTANCE = D_{ES} = 100$  km consiste à utiliser l'approximation de Pade, à savoir:

$$y = a + \frac{bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5}{1+gx+hx^2}$$

où:

TABLEAU 10

**F<sub>672</sub> paramètres de l'approximation de Pade**

| Paramètre | Largeur de faisceau = 4° | Largeur de faisceau = 1,55° $x < 35°$ | Largeur de faisceau = 1,55° $x > 35°$ | Largeur de faisceau = 1,5° |
|-----------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| a         | -133,536851              | -133,323814                           | -133,323814                           | -142,1952459               |
| b         | 0,001384021              | 0,017909858                           | 0,02314611                            | -0,001235207               |
| c         | 0,000637798              | -0,011981864                          | -0,001336397                          | 0,00121213                 |
| d         | 6,9531E-07               | 0,002350044                           | 2,26511E-05                           | -4,77102E-05               |
| e         | -1,94494E-07             | -4,61428E-05                          | -6,95017E-08                          | 6,5926E-07                 |
| f         | 1,41944E-09              | -3,30E-07                             | -7,75011E-10                          | -2,83069E-09               |
| g         | -0,033027982             | -0,408584467                          | -0,036720978                          | -0,033787173               |
| h         | 0,000434998              | 0,054553642                           | 0,000370144                           | 0,000306156                |

Pour le cas de la station terrienne spécifique, le paramètre  $D_{ES}$  est indéfini et il convient alors d'utiliser une valeur de 100 et de positionner  $NUM_{ES}$  à 1 pour que ce terme ne contribue pas.

Étant donné le facteur  $F_{672}$ , l'epfd(liaison montante) pour une configuration géométrique donnée peut être estimé au moyen de la formule suivante:

$$epdf(up) \cong e.i.r.p.(lat) + 10\log_{10}(NUM_{ES}) + 10\log_{10}(N_{co,ES}(lat)) + \left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(\chi)$$

### D3.2.3.2 Pointage le plus défavorable

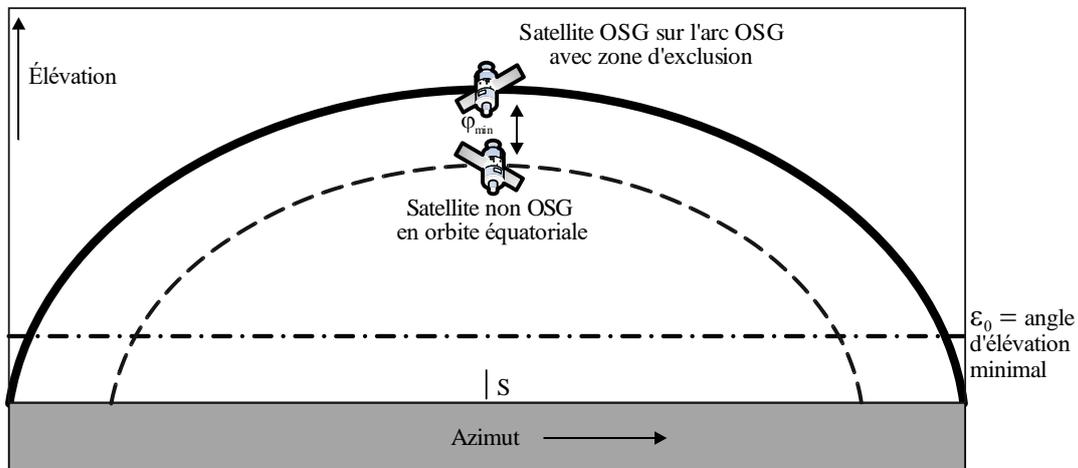
Le calcul de l'epfd ci-dessus repose sur la capacité de calculer la p.i.r.e. maximale en direction de l'arc OSG. Comme pour le gabarit de p.i.r.e., ce processus dépend de plusieurs facteurs supplémentaires parmi lesquels:

- Latitude de la station terrienne non OSG
- Angle(s) d'élévation minimal(aux) à cette latitude  $\varepsilon_0[az, lat]$
- Taille de la zone d'exclusion  $\alpha_0[lat]$
- Paramètres orbitaux de la constellation (ou de la sous-constellation).

L'influence de certains de ces facteurs est visible dans les exemples ci-dessous, dans l'hypothèse où la station terrienne non OSG se situe dans l'hémisphère nord de sorte que le centre de la Figure pointe vers le sud.

#### Orbite équatoriale, latitude basse

FIGURE 20  
Orbite équatorial, latitude basse



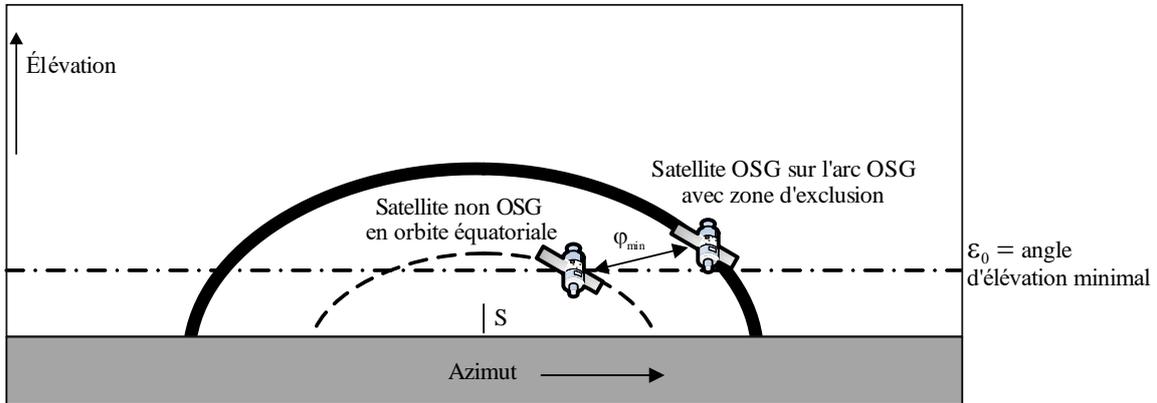
S.1503- 20

Dans ce cas, le satellite non OSG ne coupe jamais l'orbite OSG ni la zone d'exclusion de sorte que  $\varphi_{min}$  est l'angle, au niveau de la station terrienne non OSG, formé par l'orbite équatoriale et l'arc OSG selon l'azimut considéré.

Il convient de noter qu'une orbite purement équatoriale serait répétitive et serait donc traitée dans un cas distinct dans la configuration WCG. Elle est néanmoins incluse ici pour présenter le cas limite et pour expliquer la configuration géométrique.

**Orbite équatoriale, latitude haute**

FIGURE 21  
Orbite équatoriale, latitude haute

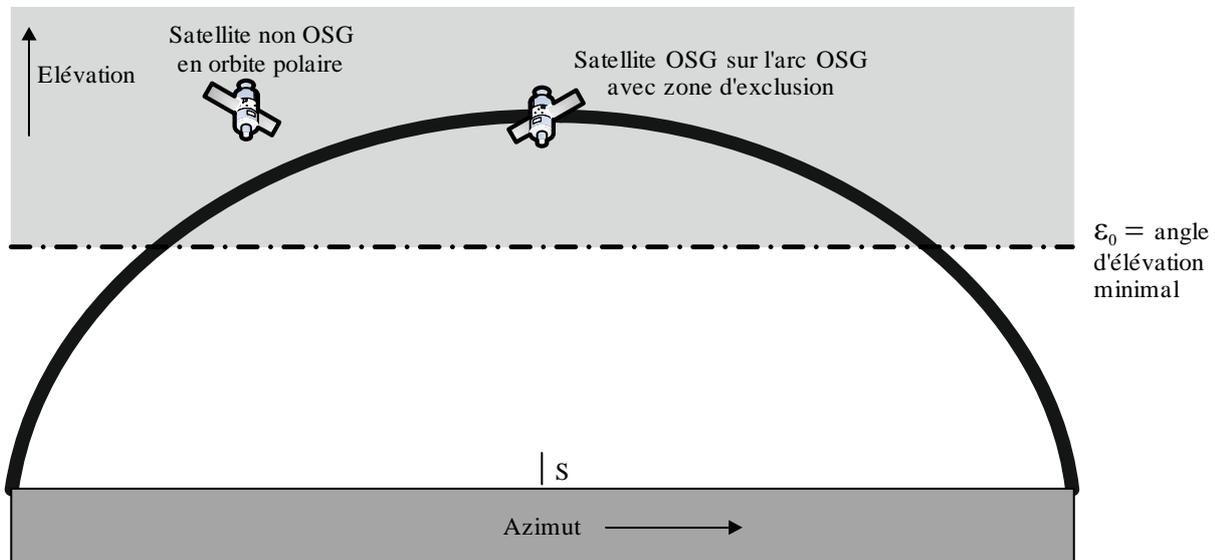


S.1503- 21

Ici aussi, l'orbite du satellite non OSG ne coupe jamais l'orbite OSG ni la zone d'exclusion, mais pour l'azimut du satellite OSG, le satellite non OSG ne serait pas actif étant donné qu'il se situe au-dessous de l'angle d'élévation minimal. Par conséquent, l'angle  $\varphi_{min}$  est situé entre l'azimut le plus proche pour lequel le satellite non OSG serait au-dessus de l'horizon. Cela étant, ce point serait considéré comme le point applicable pour une autre position du satellite OSG pour laquelle l'angle hors axe minimal serait plus petit et donc la p.i.r.e. serait plus grande. Il est donc proposé de ne pas prendre en compte le satellite non OSG dans le cas où il se situe au-dessous de l'angle d'élévation minimal pour l'azimut considéré.

**Orbite polaire, latitude basse**

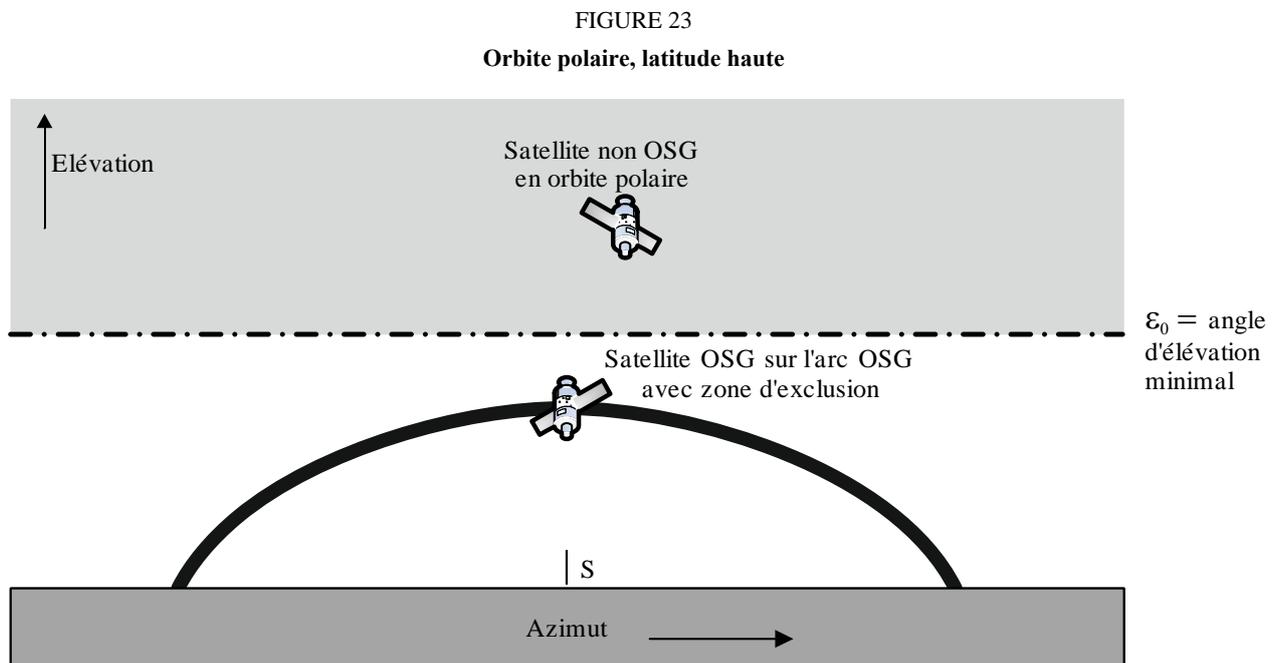
FIGURE 22  
Orbite polaire, latitude basse



S.1503-19

Dans ce cas, le satellite en orbite polaire pourrait se trouver à n'importe quel angle de pointage ( $az, el$ ) vu par la station terrienne non OSG. Le cas limite est alors le bord de la zone d'exclusion, de sorte que  $\varphi_{min} = \alpha_0[lat]$ .

### Orbite polaire, latitude haute



S.1503-20

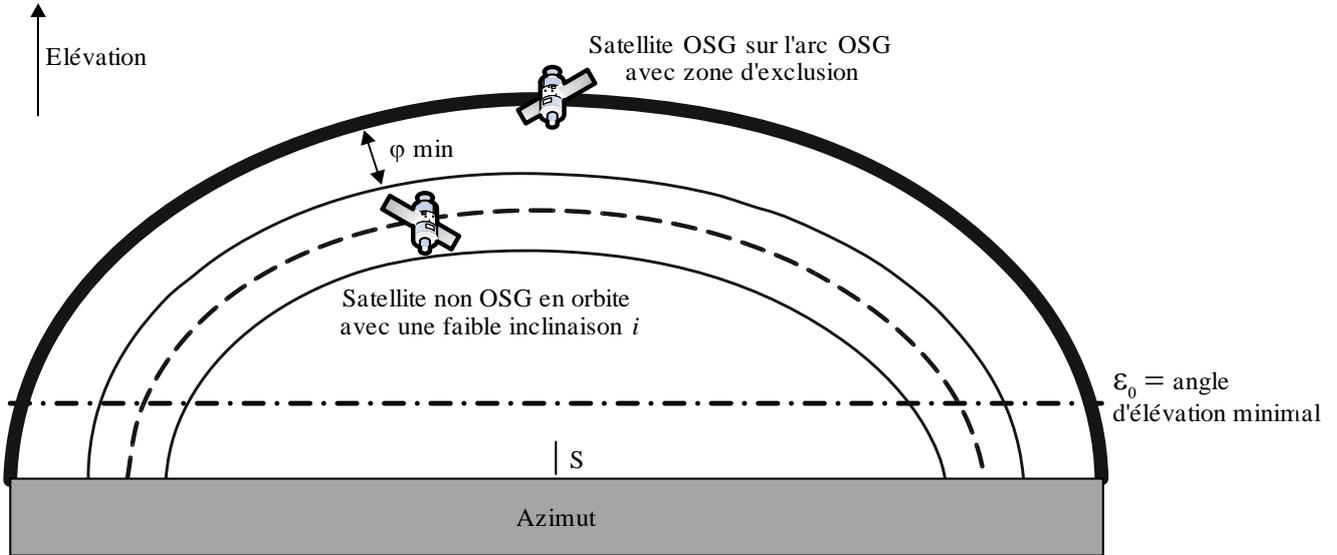
Dans ce cas, l'arc OSG se situe toujours au-dessous de l'angle d'élévation minimal et, par conséquent, l'angle hors axe minimal  $\varphi_{min}$  est égal à la différence entre l'angle d'élévation minimal et l'angle d'élévation de l'arc OSG selon l'azimut/la latitude à l'étude.

Il convient de noter que c'est également le cas dans le scénario précédent (orbite polaire, latitude basse) pour le cas limite extrême où l'arc OSG présente un angle d'élévation faible vu par la station terrienne non OSG.

**Inclinaison faible, pas de configuration en visibilité directe**

FIGURE 24

**Inclinaison faible, pas de configuration en visibilité directe**



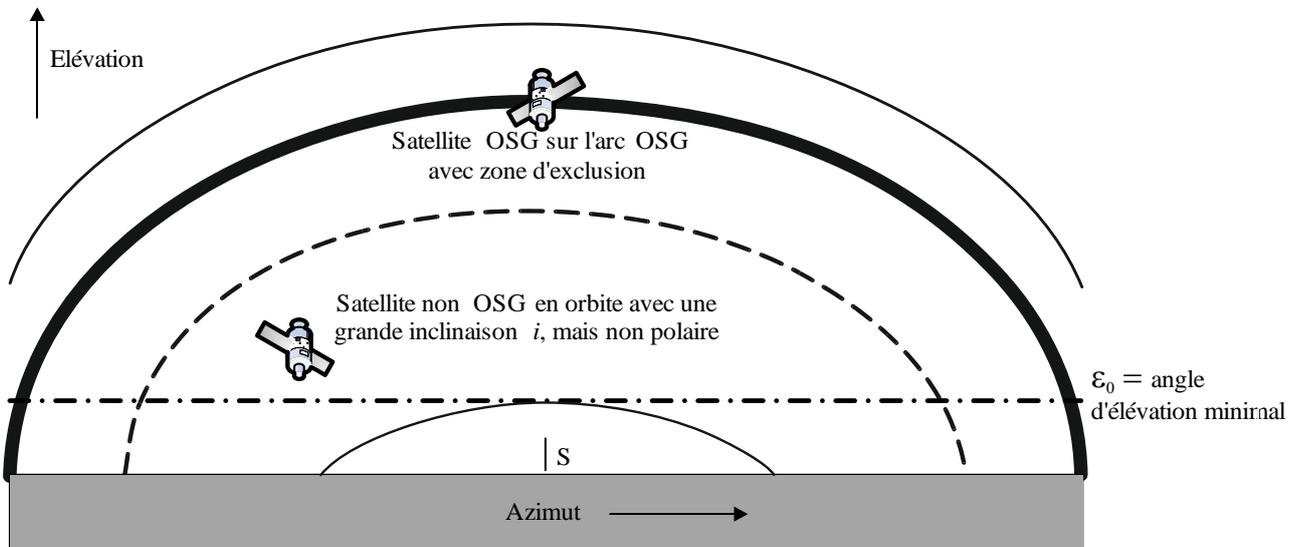
S.1503-21

Cet exemple est similaire au cas équatorial du fait qu'il n'y a pas de configuration géométrique en visibilité directe; par conséquent, l'angle  $\varphi_{min}$  à utiliser est l'écart angulaire entre le bord de la zone visible et l'arc OSG ou l'angle de la zone d'exclusion  $\alpha_0[lat]$ , la valeur la plus grande étant retenue.

**Faible inclinaison avec géométrie en visibilité directe**

FIGURE 25

**Faible inclinaison avec géométrie en visibilité directe**

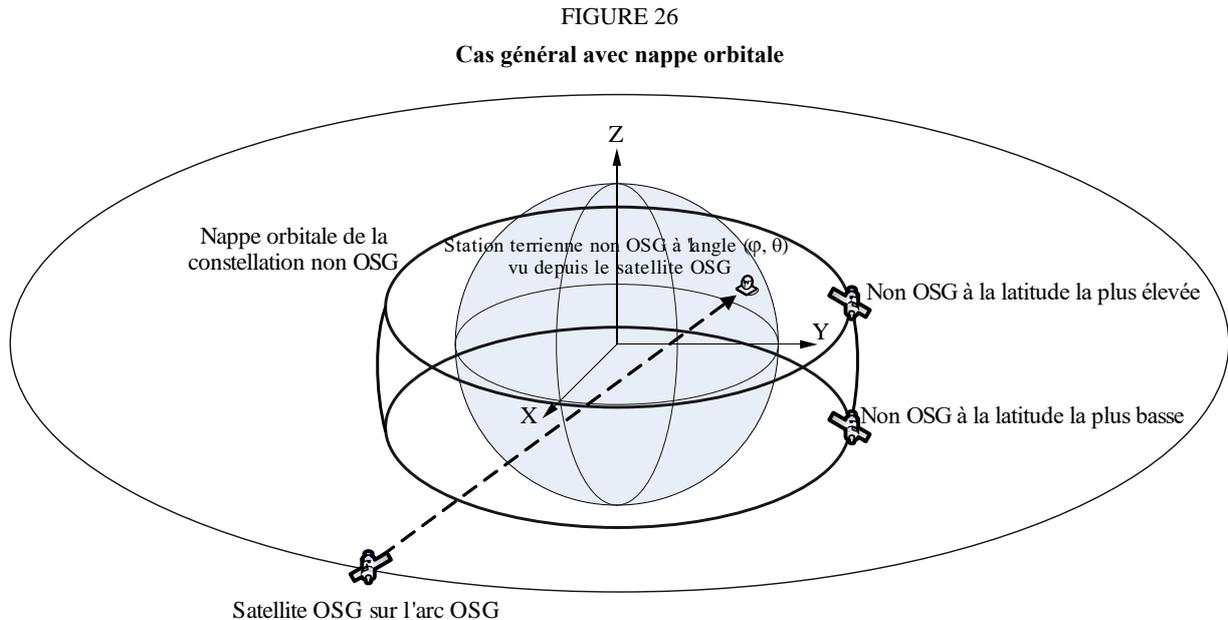


S.1503-22

Il s'agit d'une extension du cas précédent, l'inclinaison étant augmentée jusqu'à ce que la zone visible déborde d'un côté ou de l'autre de l'arc OSG. L'angle hors axe minimal est alors égal à la taille de la zone d'exclusion, soit  $\varphi_{min} = \alpha_0[lat]$ .

### Cas général

La configuration géométrique du cas général est présentée à la Fig. 26 ci-dessous.



S.1503- 26

La méthode générale effectue une itération sur le champ de vision du satellite OSG et détermine l'emplacement de la station terrienne associée.

Dans le cas des systèmes non OSG à orbites non répétitives, le résultat sera le même quelle que soit la longitude du système OSG. On peut par conséquent utiliser une longitude de  $0^\circ$ .

Dans le cas des systèmes non OSG à orbite répétitive, il convient d'effectuer une première exécution et de calculer la longitude moyenne de chaque satellite non OSG sur la période de répétition, ainsi que la probabilité que le satellite non OSG se situe à plus ou moins 1 degré de cette longitude moyenne. Le satellite OSG devrait se trouver à la longitude moyenne du satellite non OSG qui présente la probabilité la plus élevée d'être à plus ou moins 1 degré de cette longitude moyenne.

Soit:

- la longitude du satellite OSG;
- la station terrienne non OSG  $\varphi$  (latitude, longitude);
- la latitude maximale ou minimale du satellite non OSG;
- le rayon du satellite non OSG à la latitude maximale/minimale.

Il est alors possible d'effectuer une itération sur la longitude du satellite non OSG qui minimise l'angle du satellite OSG vu de la station terrienne. On obtient ainsi l'inverse de l'angle  $\alpha$ , que l'on appelle angle  $\beta$ . Ce résultat peut être obtenu par itération ou en utilisant la méthode analytique décrite au § D6.4.4.4. Cela donne deux positions, la position  $\beta_+$  associée à la latitude maximale et la position  $\beta_-$  associée à la latitude minimale du système non OSG.

Il est aussi possible de déterminer les points qui sont dans la direction des points  $\beta_+$  et  $\beta_-$  au moyen de l'angle  $\alpha_0$  mesuré à partir du satellite OSG, comme indiqué aux Figs 27, 28 et 29. On obtient ainsi les points  $\{a, b, c, d\}$ , dont on peut ensuite contrôler la validité, pour vérifier en particulier que:

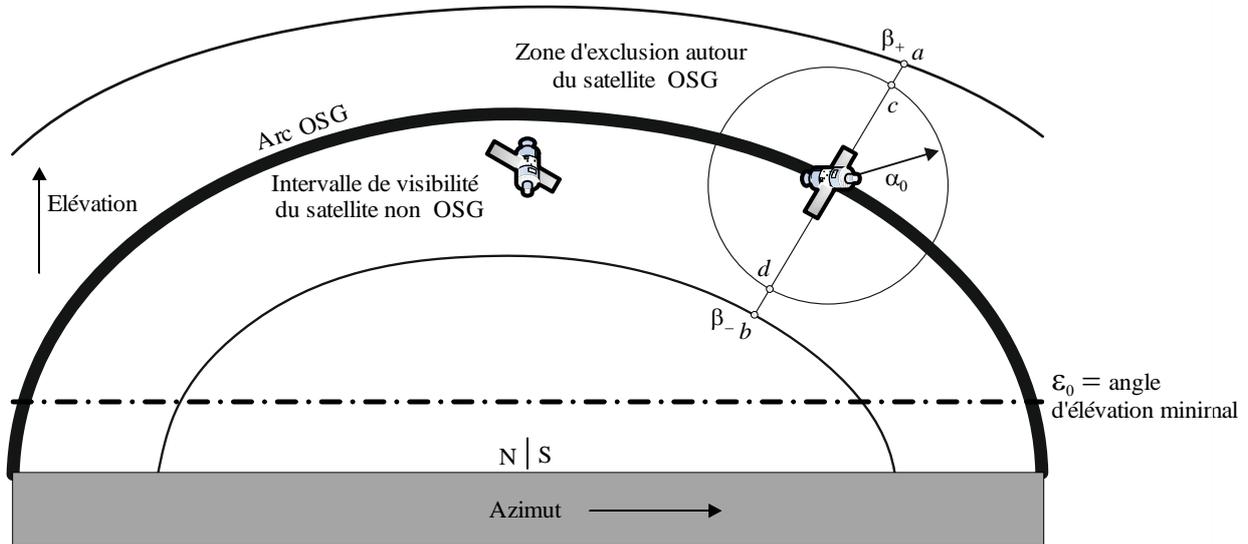
- Ils se situent au moins à une distance  $\alpha_0$  du satellite OSG (arc).

- Ils se situent dans l'intervalle  $[\beta_+, \beta_-]$  du satellite non OSG vu depuis la station terrienne
- Ils sont au-dessus de l'angle d'élévation non OSG minimal pour la latitude de la station terrienne non OSG et l'azimut du point de mesure.

S'ils sont valides, ils peuvent être envisagés comme solutions possibles pour l'angle hors axe minimal en direction du satellite OSG au niveau de la station terrienne non OSG lorsqu'un satellite non OSG est pointé.

FIGURE 27

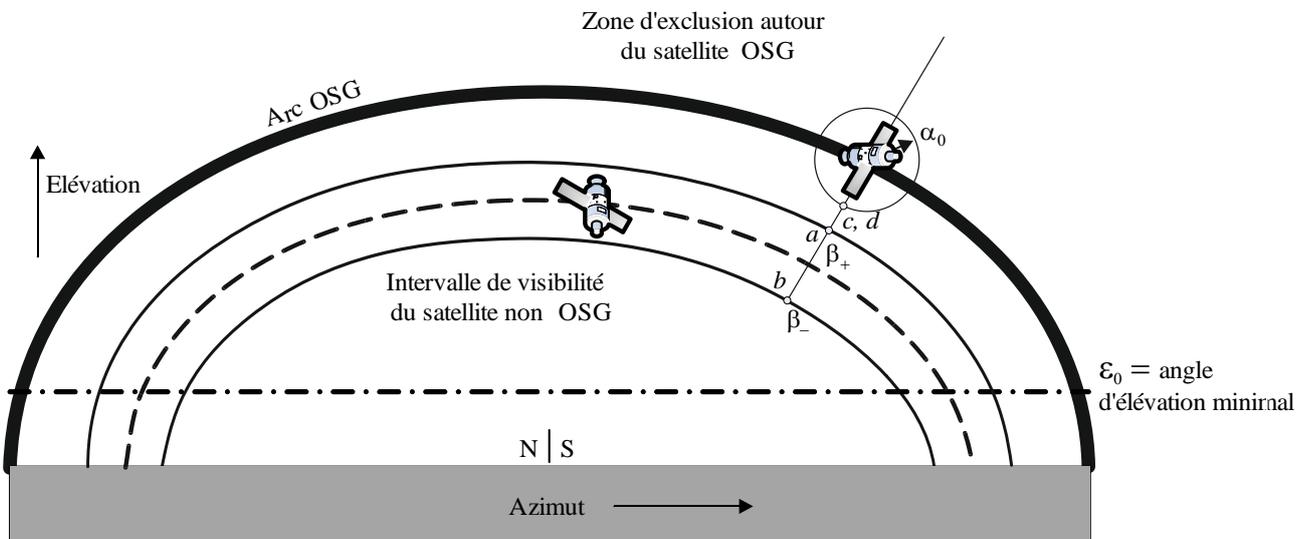
Cas général de la configuration WCG(liaison montante) lorsque  $[\beta_+, \beta_-]$  encadre l'arc OSG



S.1503-24

FIGURE 28

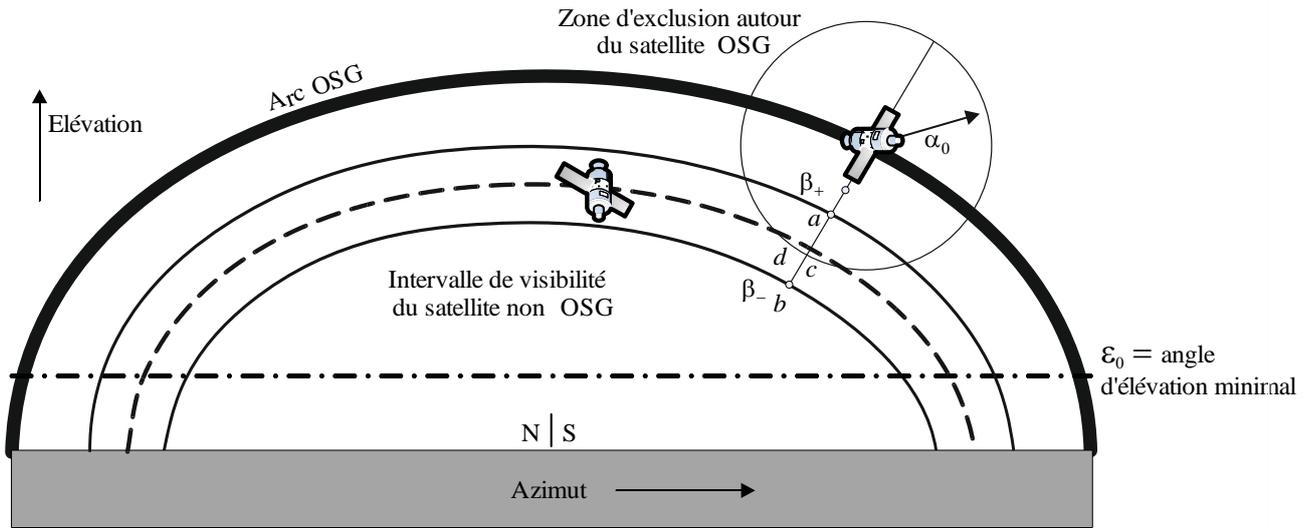
Cas général de la configuration WCG(liaison montante) lorsque  $[\beta_+, \beta_-]$  n'encadre pas l'arc OSG ou coupe l'angle  $\alpha$  minimal



S.1503-25

FIGURE 29

Cas général de la configuration WCG(liaison montante) lorsque  $[\beta_+, \beta_-]$  n'encadre pas l'arc OSG, mais coupe l'angle  $\alpha$  minimal

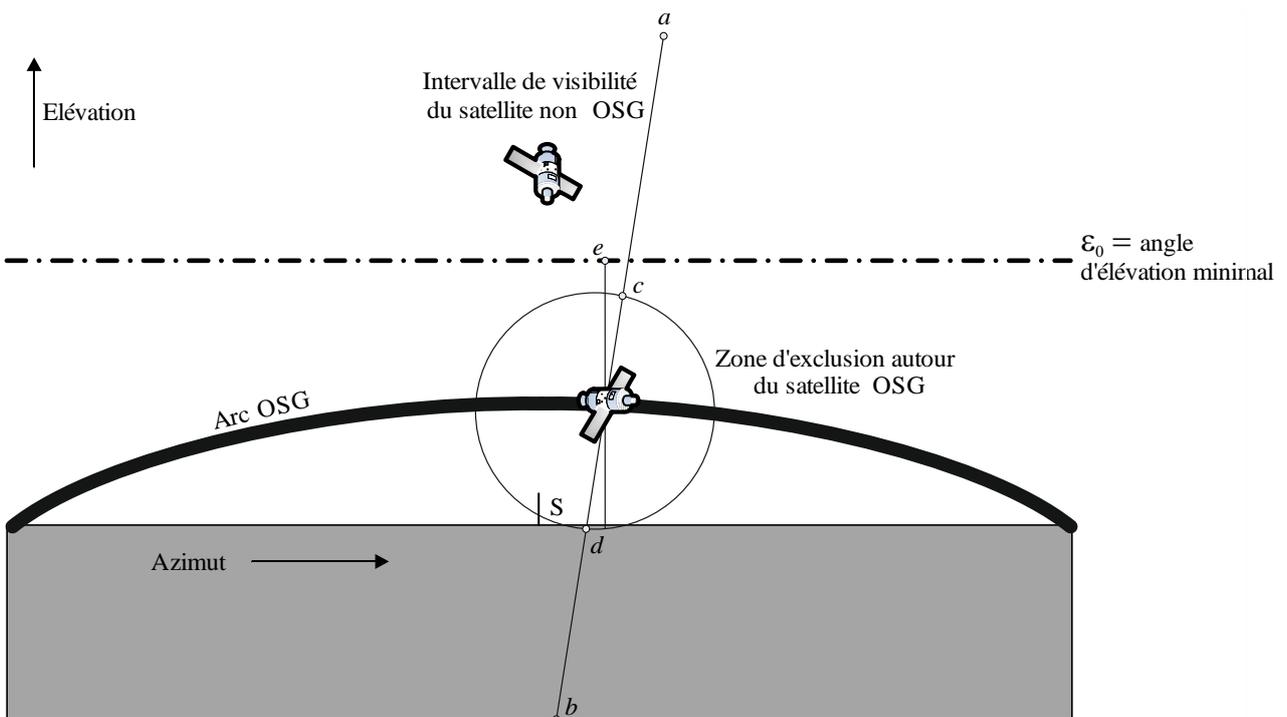


S.1503-26

Il existe aussi un cinquième point de mesure {e} pour le cas où l'arc OSG est situé au-dessous de l'angle d'élévation minimal, comme présenté à la Fig. 30.

FIGURE 30

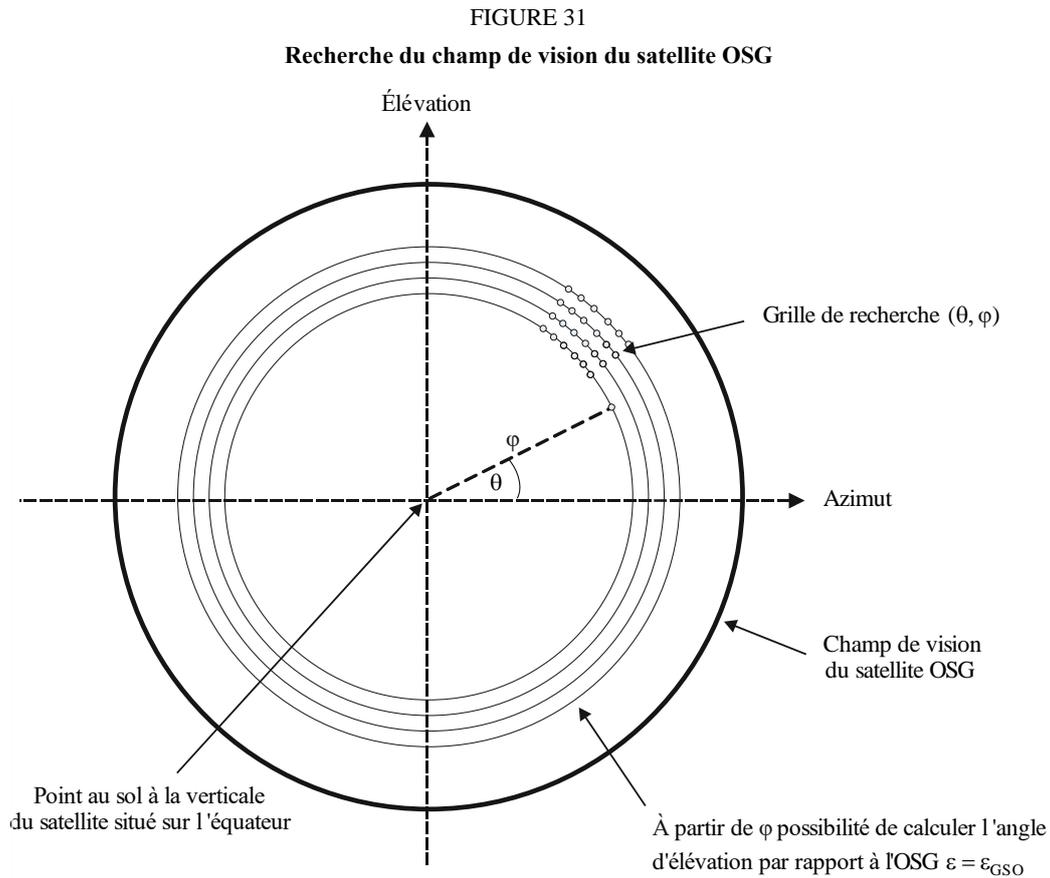
Cas général de la configuration WCG(liaison montante) lorsque  $[\beta_+, \beta_-]$  encadre l'arc OSG, mais que celui-ci se situe au-dessous de l'angle d'élévation minimal



S.1503-27

### D3.2.3.3 WCG\_Up\_General

Le cas général est une itération sur le champ de vision du satellite OSG brouillé, comme indiqué à la Fig. 31.



La recherche est effectuée selon  $(\theta, \varphi)$  comme décrit ci-dessous:

#### WCGA\_UP\_General:

```

CheckCaseUpGeneral(0, 0)
NumberOfPhiSteps = Integer(Degrees( $\varphi_0$ ) / 0.1)
For PhiStep = 1 to NumberOfPhiSteps inclusive
     $\varphi = \varphi_0 * \text{PhiStep} / \text{NumberOfPhiSteps}$ 
    ThetaStepSizeDegrees = 0.1 *  $\varphi_0 / \varphi$ 
    NumberOfThetaSteps = max(16, Integer(360 / ThetaStepSizeDegrees))
    For ThetaStep = 0 to NumberOfThetaSteps-1 inclusive
         $\theta = \text{radians}(\text{ThetaStepSizeDegrees} * \text{ThetaStep})$ 
        CheckCaseUpGeneral( $\theta, \varphi$ )
    Next ThetaStep
Next PhiStep

```

**CheckCaseUpGeneral** ( $\theta$ ,  $\varphi$ ) :

Convert ( $\theta$ ,  $\varphi$ ) to ( $az$ ,  $el$ ) at a GSO satellite set at longitude = 0  
 Use ( $az$ ,  $el$ ) to create line from the GSO satellite  
 Calculate the intersection point of that line and the spherical Earth  
 Calculate the ( $lat$ ,  $long$ ) of the non-GSO ES at the intersection point  
 Check that the latitude is in the range of the non-GSO system i.e between  
 ES\_LAT\_MIN and ES\_LAT\_MAX  
 Check that the  $N_{co}(lat) > 0$

If the latitude is ok then

If the non-GSO system uses a repeating orbit then

{

Call WCGA\_UP\_SpecificES\_Repeating

Return

}

For this ( $lat$ ,  $long$ ) calculate the geocentric angle  $\chi$

For the GSO system's beamwidth, calculate the  $F_{672}(\chi)$

If the e.i.r.p. mask is defined by offaxis angle then

{

Call CalcMinOffaxisAngle to calculate  $\varphi$  for this location

If find a minimum offaxis angle then calculate the  $epfd(up)$  using:

$$epfd(up) = e.i.r.p.(lat, \varphi) + 10\log_{10}(NUM\_ES) + 10\log_{10}(N_{co}(lat)) + \left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(\chi)$$

If this is the highest  $epfd(up)$  then store this value and ( $\theta$ ,  $\varphi$ )

}

Else the ES e.i.r.p. mask is defined by ( $az$ ,  $el$ ,  $\Delta Long_{ES}$ ) then

{

Call CalcES\_e.i.r.p.(Non-GSO ES  $lat$ ,  $long$ ) to calculate  
 e.i.r.p.( $lat$ ) for this location

Calculate the  $epfd(up)$  using:

$$epfd(up) = e.i.r.p.(lat) + 10\log_{10}(NUM\_ES) + 10\log_{10}(N_{co}(lat)) + \left(\frac{D_{ES}}{100}\right)^2 F_{672}(\chi)$$

If this is the highest  $epfd(up)$  then store this value and ( $\theta$ ,  $\varphi$ )

Endif

Endif

Il est à noter que la méthode de calcul de la latitude maximale du système non OSG est donnée au § D3.2.3.6.

CalcES\_e.i.r.p.(non-GSO ES  $lat$ ,  $long$ )

Calculate the  $\Delta Long_{ES}$

Create a vector  $r_{ES}$  of the non-GSO ES

Set  $Maxe.i.r.p. = -9999$

Identify the ES\_e.i.r.p. table for this non-GSO latitude

Set  $StepSizeDeg = 0.5$

```

Set NumAz = 1 + integer(360 degrees / StepSizeDeg)
Set NumEl = 1 + integer(90 degrees / StepSizeDeg)
For all az_i = 0 to NumAz not inclusive
  Az = -180 + az_i * 360 / NumAz
  For all el_i = 0 to NumEl inclusive
    El = 0 + el_i * 90 / NumEl
    Create a vector  $r_{azel}$  in direction (az, el)
    Select the appropriate es e.i.r.p. (az, el) array
    If the (az, el) direction is outside the exclusion zone and above
the minimum elevation for this azimuth and there could be a satellite in this
direction then
      {
        Calculate the  $ES_{e.i.r.p.,az,el}$  towards the GSO for this (az, el,
DeltaLong)
        If  $ES_{e.i.r.p.,az,el}$  is greater than  $ES_{e.i.r.p.}$  then use this value
instead
      }
    Next el_i
  Next az_i

```

On peut, si l'on veut déterminer s'il serait possible d'avoir un satellite non OSG dans une direction (az, el) donnée par rapport à une station terrienne non OSG située à la position  $r_{ES}$ , utiliser l'algorithme suivant, en supposant que les vecteurs  $r_{ES}$  et  $r_{azel}$  sont exprimés dans le système de coordonnées centré sur la Terre (x, y, z):

Paramètres d'entrée:

Vecteur de position de la station terrienne non OSG =  $r_{ES}$

Vecteur dans la direction (az, el) =  $r_{azel}$

Angle d'inclinaison de l'orbite du satellite non OSG =  $i$

Demi-grand axe du satellite non OSG =  $a$

Excentricité du satellite non OSG =  $e$

Lorsque l'excentricité du satellite non OSG = 0 (orbite circulaire):

Il pourrait y avoir un satellite dans la direction (az, el) si

$$-i \leq \text{Latitude}(a) \leq +i$$

Sinon, lorsque l'excentricité du satellite non OSG > 0 (orbite elliptique):

Il pourrait y avoir un satellite dans la direction (az, el) si les deux conditions suivantes sont vérifiées:

$$-i \leq \text{Latitude}(a(1+e)) \leq +i$$

$$-i \leq \text{Latitude}(a(1-e)) \leq +i$$

où la fonction CalcLatitude(d) est la suivante:

Créer une droite depuis la station terrienne non OSG dans la direction (az, el) à l'aide du paramètre  $\lambda$ :

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_{ES} + \lambda \mathbf{r}_{azel}$$

La valeur de  $\lambda$  pour laquelle la droite est à la distance  $d$  du centre de la Terre peut être calculée en résolvant l'équation quadratique suivante:

$$r_{azel}^2 \lambda^2 + 2(\mathbf{r}_{ES} \cdot \mathbf{r}_{azel}) \lambda + r_{ES}^2 - d^2 = 0$$

Il convient d'utiliser la racine pour laquelle  $\lambda > 0$  afin de calculer le vecteur de position  $\mathbf{r}$ .

On obtient ensuite la latitude à l'aide de la formule ci-après:

$$\text{Latitude}(d) = \text{asin}(\mathbf{r} \cdot \mathbf{z} / r)$$

#### CalcMinOffaxisAngle(non-GSO ES lat, long)

```

Calculate the (azGSO, εGSO) of the GSO satellite as seen by the non-GSO ES
Determine the radius Rn,+ of the non-GSO satellite when its lat = +i
Determine the radius Rn,- of the non-GSO satellite when its lat = -i
If Rn,+ or Rn,- are below the minimum operating height then determine the
latitude of the non-GSO satellite when at this height and use this instead
For each of {Rn,+, Rn,-} and {lat+, lat-}, calculate the {β+, β-} angles and
associated non-GSO satellite positions identified as (a, b) in Figs. 27-29
For each of the {β+, β-} positions, use spherical geometry to derive points
(c, d) which have angle at the ES of α0 along the lines to point (a, b)
respectively
For each of (a, b, c, d) points, calculate the (azimuth, elevation) as seen
by the ES
Set the MinimumAngle to be +9999
For each of points (a, b, c, d):
    If point is within {β+, β-} range and at least α0 away from GSO satellite
and above the ε0(lat, azimuth) then
    {
        MinimumAngle = min(MinimumAngle, angle for this point)
    }
Next point
If {β+, β-} bracket the GSO arc and the elevation of the GSO satellite is
less than the minimum elevation angle for the GSO satellite azimuth then
{
    MinimumAngle = min(MinimumAngle, max(α0, ε0[Lat, AzGSO] - εGSO))
}
Return MinimumAngle or if not found, an error code

```

#### D3.2.3.4 WCGA\_UP\_SpecificES\_Repeating

Si les stations terriennes sont implantées en des emplacements spécifiques et que le réseau à satellite non OSG utilise une orbite répétitive, le nombre de configurations géométriques possibles sera extrêmement limité. Il est par conséquent possible d'observer le satellite pendant la période de répétition, puis, pour chaque station terrienne et pour chaque satellite non OSG, de calculer l'angle  $\alpha$ . Si  $\alpha \leq \alpha_0$ , ou si l'angle d'élévation est inférieur à l'angle d'élévation minimal, la station terrienne n'émettra pas; sinon, l'epfd en direction de cet emplacement peut être calculée.

Les configurations géométriques ne seront pas toutes possibles. Par exemple:

- Les stations terriennes non OSG au-dessus de 81,29° N ou S ne verront pas l'arc OSG et elles peuvent donc être exclues.

- On observera une différence maximale en longitude avec la longitude de la station terrienne non OSG déterminée par l'angle d'élévation du système OSG au bord de la zone de couverture.
- La station terrienne non OSG n'émettra pas vers le satellite non OSG lorsque celui-ci se trouve à l'intérieur de la zone d'exclusion définie par  $\alpha < \alpha_0$ .
- La station terrienne non OSG n'émettra pas vers le satellite non OSG lorsque son angle d'élévation est inférieur au minimum  $\varepsilon < \varepsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$ .
- Le satellite non OSG se situe au-dessous de l'altitude minimale d'exploitation  $h_{\min}$ .
- Le nombre de satellites non OSG visibles par la station terrienne à cette latitude est zéro.
- Ces configurations géométriques sont donc vérifiées dans l'algorithme suivant:

#### WCGA\_UP\_SpecificES\_Repeating

```

Calculate time step according to algorithm in § D4.3
For t = 0 to repeat time of constellation
  Update positions of non-GSO satellites for this time step
  For each non-GSO ES
    If the non-GSO ES lat is <+81.29° && >-81.29° && Nco[Lat] > 0 then
      For each non-GSO satellite
        If satellite is visible and above minimum operating height
          Calculate the elevation angle  $\varepsilon$  and azimuth
          Calculate the exclusion zone angle  $\alpha$ 
          If ( $\varepsilon \geq \varepsilon_0[\text{lat}, \text{az}]$  and  $\alpha \geq \alpha_0[\text{lat}]$ ) then
            
$$EPFD(\text{up}) = EIRP(\alpha, \text{lat}) + 10\log_{10}(N_{co}(\text{lat}))$$

            If this is the worst epfd so far then store this
            geometry
          Endif
        Endif
      Endif
    Next satellite
  Endif
Next ES
Next time step

```

#### D3.2.3.5 WCGA\_UP\_SpecificES\_NonRepeating

Dans le cas non répétitif, les satellites non OSG occuperont une nappe orbitale, mais seules quelques-unes des configurations géométriques envisagées dans le cas général seront possibles, car la station terrienne non OSG se situera à certaines latitudes seulement. C'est pourquoi cette méthode effectue une recherche le long de l'arc OSG vu depuis chacune des stations terriennes non OSG, puis adopte une approche analogue au cas général.

WCGA\_UP\_SpecificES\_NonRepeating:

```

For each non-GSO ES
  If the non-GSO ES latitude is <+81.29° or >-81.29° then
    Calculate MaxDeltaLong =  $\text{acos}((R_e/R_{\text{geo}})/\cos(\text{ES\_lat}))$ 
    NumLongSteps =  $(\text{integer})(\text{degrees}(\text{MaxDeltaLong})/0.1^\circ)$ 

```

```

For DeltaLongStep = -NumLongSteps to +NumLongSteps
  DeltaLong = MaxDeltaLong * DeltaLongStep / NumLongSteps
  GSO_Long = ES_Long + DeltaLong
  Calculate (az, el) of ES as seen by GSO satellite
  Convert (az, el) to ( $\theta$ ,  $\varphi$ )
  Call CheckCaseUpGeneral( $\theta$ ,  $\varphi$ )
Next DeltaLongStep
Endif
Next ES

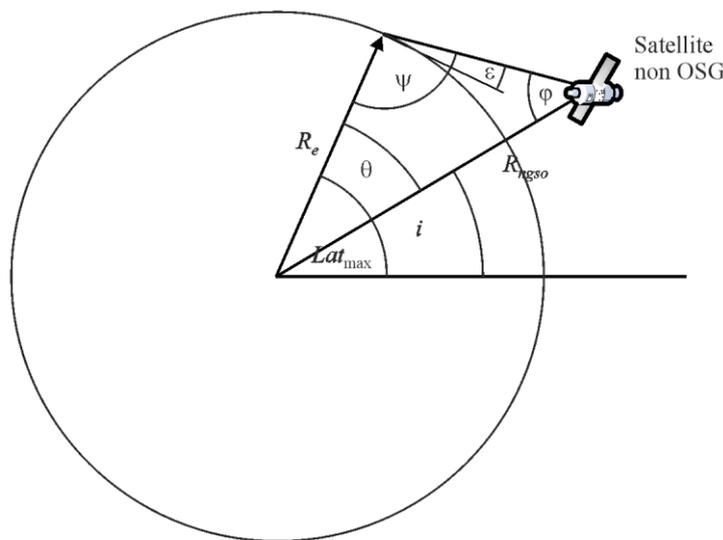
```

### D3.2.3.6 Intervalle de latitude

Pour calculer la configuration WCG(liaison montante) ainsi que l'epfd(liaison montante), il faut déterminer l'emplacement où la station terrienne pourrait être située. Alors que la plupart des systèmes des types A ou B assurent une couverture mondiale, les réseaux non OSG du type C seront limités en latitude. Dans le cas des systèmes dotés de multiples sous-constellations, cet intervalle peut varier d'une sous-constellation à l'autre.

L'intervalle de latitude peut être calculé à partir de l'altitude du satellite, de son angle d'inclinaison et l'angle d'élévation minimal de la station terrienne (voir la Fig. 32 ci-dessous):

FIGURE 32  
Calcul de la latitude maximale pour les stations terriennes



S.1503-32

Dans le cas des systèmes elliptiques, il y aura deux valeurs, une pour l'apogée et une autre pour le périhélie; les paramètres d'entrée seront donc:

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| Demi-grand axe de l'orbite (km):     | $a$        |
| Excentricité de l'orbite:            | $e$        |
| Angle d'élévation minimal (radians): | $\epsilon$ |
| Angle d'inclinaison (radians):       | $i$        |

À partir de ces paramètres, les calculs suivants peuvent être effectués:

$$r_a = a(1 + e)$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} + \varepsilon$$

$$\varphi_a = \sin^{-1} \left( \frac{R_e}{r_a} \sin \psi \right)$$

$$\theta_a = \pi - (\psi + \varphi_a)$$

Alors:

$$Lat_{\max} = i + \theta_a$$

De même, en utilisant:

$$r_p = a(1 - e)$$

En utilisant les mêmes équations mais en remplaçant le suffixe ( $a$ ) par ( $p$ ), on peut calculer:

$$Lat_{\min} = -i - \theta_p$$

On suppose que pour les systèmes en orbite elliptique l'apogée est situé dans l'hémisphère nord, c'est-à-dire que l'une des hypothèses suivantes est vraie:

$$e = 0$$

$$\omega = 270^\circ$$

où:

$\omega$ : argument du périhélie.

Dans le cas où:

$$e > 0$$

$$\omega = 90^\circ$$

Il convient d'apporter les corrections suivantes:

$$Lat_{\max}' = -Lat_{\min}$$

$$Lat_{\min}' = -Lat_{\max}$$

Dans le cas où l'inclinaison de l'orbite est nulle et l'excentricité de l'orbite est elle aussi nulle (c'est-à-dire pour une orbite circulaire équatoriale), ces équations peuvent être ramenées à:

$$Lat_{\max} = \theta$$

$$Lat_{\min} = -\theta$$

### D3.3 Configuration WCG pour le calcul de l'epfd(liaison inter-satellites)

#### D3.3.1 Données d'entrée

Les données d'entrée pour l'algorithme sont les suivantes:

SS\_e.i.r.p.: gabarit de p.i.r.e. à vérifier

$\theta_{dB}$ : ouverture à mi-puissance du faisceau du satellite OSG

$\varepsilon$ : angle d'élévation minimal du système OSG

$a, i, e, \Omega, \omega, \nu$ : paramètres de l'orbite du système non OSG.

La largeur de faisceau à mi-puissance du satellite OSG et l'angle d'élévation minimal peuvent être choisis en appliquant la méthode décrite au § D3.2.2 pour la configuration WCG epfd(liaison montante).

S'il y a de multiples sous-constellations présentant d'autres paramètres orbitaux, le processus doit être répété pour chaque jeu de données unique  $\{a, e, i\}$ .

### D3.3.2 Algorithme

#### WCGA\_IS:

```

From the epfd limits get the gain pattern to use
From the epfd limits get the GSO beamwidth  $\theta_{a dB}$ 
From  $\theta_{a dB}$  calculate  $\varphi_1, \varphi_2$ 
Using the gain pattern calculate  $G_{rel}(\varphi_i)$  for  $i = 1, 2$ 
From  $\varphi_1$  calculate LatBS
If for all satellites  $i = 0$  then
{
    Worst Case Geometry:
        BS.Latitude = 0
        BS.Longitude = LatBS
        GSO.Longitude = 0
}
Else
{
    Set WorstEPFDBin = -9999
    Set WorstAngularVelocity = +9999
    For all satellites in the order listed in ITU DB
    {
        Determine e.i.r.p. mask to use for this satellite
        If this e.i.r.p. mask has not been checked so far then
            Call GetWCGA_IS(EIRP_mask, i)
        End if
    }
    Next satellite
}
If no solution has been found then
{
    Convert ( $\theta=i, \varphi=\varphi_1$ ) to (az, el)
    Using (az, el), create line from the GSO satellite
    Put the ES at the first intersection point with the Earth
}
Rotate GSO, BS in longitude to ensure inline event

```

#### GetWCGA\_IS(e.i.r.p.\_Mask, i):

```

LatStep = i / RoundUp(i) in degrees
For lat=-i to +i in LatStep steps
{
    Set satellite at latitude to calculate  $r, y$ 
    If satellite is above minimum operating height
    {
        From  $r, \varphi_i$  calculate  $\psi_i$ 
        From  $\varphi_i, \psi_i$  calculate  $D_i, \theta_i$ 
        Try to calculate  $\Delta long_i$ 
        In the cases that the geometries are feasible
    }
}

```

```

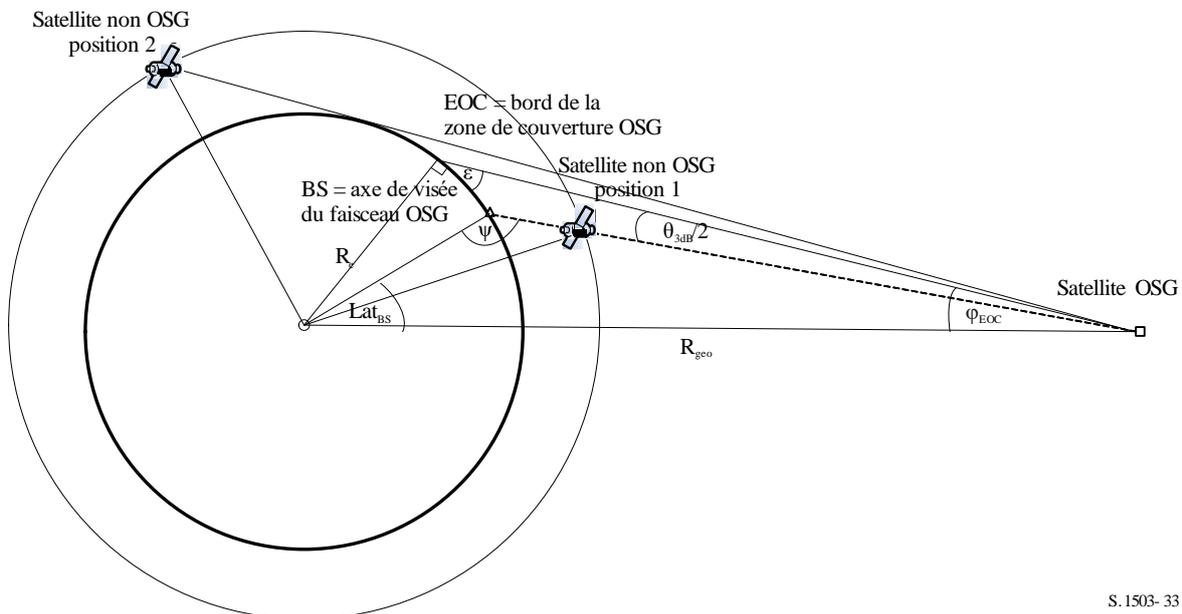
{
  From the GSO gain pattern calculate  $G_{rel}(\varphi_i)$ 
  From the e.i.r.p. mask calculate  $EIRP(\psi_i)$ 
  Calculate  $epfd_i$ 
  Calculate  $\underline{r}_{gso}, \underline{v}_{gso}$ 
  Calculate  $\theta$  of non-GSO satellite as seen by GSO
  If  $epfd_i$  is higher than Worstepfd
  {
    Store this geometry
    WorstAngularVelocity =  $\theta$ 
    Worstepfd =  $epfd_i$ 
  }
  Else if  $epfd_i$  is the same bin as Worstepfd
  {
    If  $\theta$  is lower than WorstAngularVelocity
    {
      Store this geometry
      WorstAngularVelocity =  $\theta$ 
    }
  }
}
}
}

```

### D3.3.3 Configuration géométrique

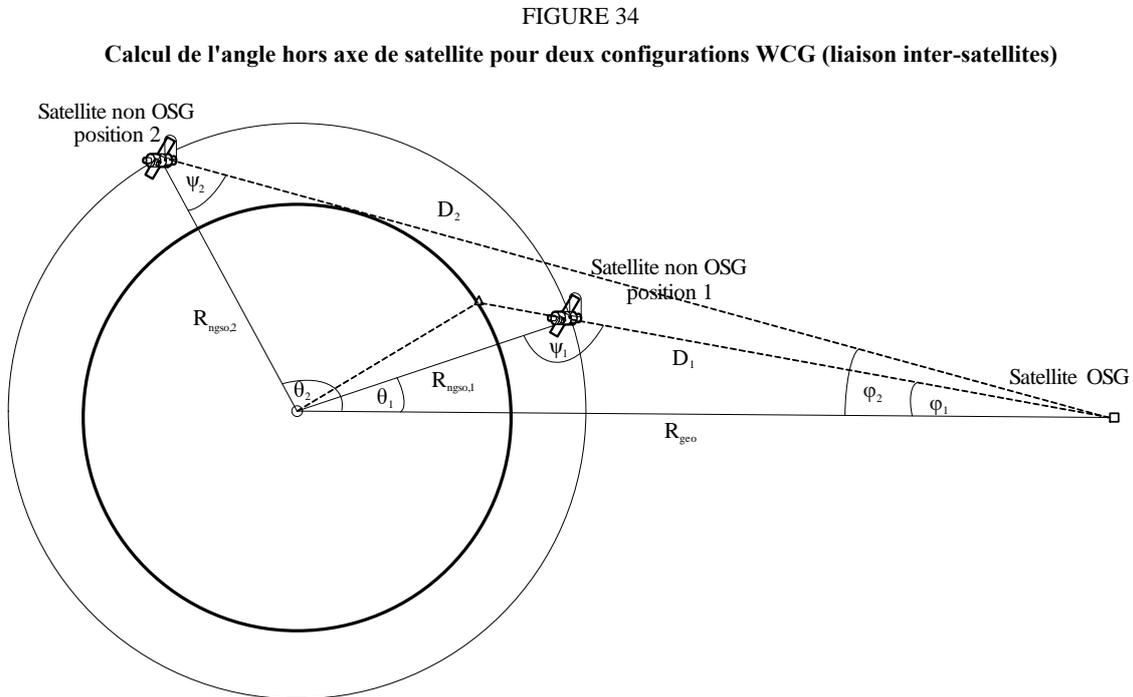
Il existe deux configurations géométriques potentiellement intéressantes, à savoir celle où le satellite non OSG devient juste visible par le satellite OSG et celle où ce satellite coupe le faisceau du satellite OSG comme illustré ci-dessous à la Fig. 33:

FIGURE 33  
Positions du satellite non OSG pour deux configurations WCG (liaison inter-satellites)



Dans certains cas, le même emplacement WCG conviendra pour les deux configurations – par exemple, pour un système à satellites en orbite équatoriale, un faisceau situé à l'extrême en azimuth sera aligné pour les deux configurations.

À partir du rayon du satellite non OSG à chacune des positions, il est possible de calculer l'angle hors axe au niveau du satellite et, par conséquent, la p.i.r.e.( $\theta$ ) en fonction de la distance, comme à la Fig. 34:



S.1503- 34

où:

$$\varphi_1 = \varphi_{BS} \text{ (voir ci-dessus)}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{R_e}{R_{gso}}$$

Par conséquent:

$$\sin \psi_i = \frac{R_{geo}}{R_{ngso,i}} \sin \varphi_i$$

où  $i = \{1, 2\}$  étant entendu que  $\psi_1 > \frac{\pi}{2}$  et que  $\psi_2 < \frac{\pi}{2}$  de sorte que:

$$\psi_1 = \pi - \sin^{-1} \left[ \frac{R_{geo}}{R_{ngso,1}} \sin \varphi_1 \right]$$

$$\psi_2 = \sin^{-1} \left[ \frac{R_{geo}}{R_{ngso,2}} \sin \varphi_2 \right]$$

Alors:

$$\theta_i = \pi - \varphi_i - \psi_i$$

$$D_i = R_{ngso,i} \frac{\sin \theta_i}{\sin \varphi_i}$$

Par conséquent, pour un satellite non OSG donné avec un rayon  $R_{ngso,i}$  pour les deux configurations spécifiées, on peut calculer comme suit les deux niveaux d'epfd pour une seule source de brouillage:

$$epfd_i = e. i. p. r. (\psi_i) + G_{rel,i} - 10\log_{10}(4\pi D_i^2)$$

À noter que  $G_{rel,1} = 0$  et que  $G_{rel,2} = G_{rel}(\varphi_2 - \varphi_1)$  et  $D$  est en mètres.

En positionnant le satellite non OSG à une latitude spécifiée,  $lat$ , (où sa longitude est  $long$ ), il est par conséquent possible de calculer la valeur d'epfd pour une seule source de brouillage à partir du vecteur rayon et des deux configurations identifiées ci-dessus.

Dans certains cas, il n'y aura pas de géométries en visibilité directe – par exemple pour des systèmes en orbite elliptique à l'apogée la droite entre le satellite non OSG et l'arc OSG ne coupera la Terre en aucun point, ce qui peut être vérifié si on calcule la différence de longitude entre le satellite non OSG et le point sur l'arc OSG dans la configuration susmentionnée et la latitude du satellite non OSG comme suit:

$$\cos \Delta long_i = \frac{\cos \theta_i}{\cos lat_i}$$

Si cette équation ne peut être résolue, il n'existe pas de position qui répond à la configuration requise. D'autres positions pourraient être exclues si le satellite non OSG se trouve en dessous de l'altitude d'exploitation minimale.

S'il existe une solution, l'emplacement du satellite non OSG et du satellite OSG peut être calculé comme suit:

$$\underline{r}_{ngso} = R_{ngso} \begin{pmatrix} \cos(lat)\cos(long) \\ \cos(lat)\sin(long) \\ \sin(lat) \end{pmatrix}$$

$$\underline{r}_{gso} = R_{gso} \begin{pmatrix} \cos(long - \Delta long) \\ \sin(long - \Delta long) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Dans le cas  $i = 1$ , l'axe de visée se situe là où la droite  $\underline{L}$  reliant le satellite OSG au satellite non OSG coupe la surface de la Terre.

$$\underline{L}_1(\lambda) = \underline{r}_{gso} + \lambda(\underline{r}_{ngso} - \underline{r}_{gso})$$

Dans le cas  $i = 2$ , l'axe de visée se situe sur une droite créée au moyen d'un emplacement ajusté du satellite non OSG, et calculé comme suit:

$$R'_{ngso,2} = R_{geo} \frac{\sin \varphi}{\sin \psi'_2}$$

où:

$$\psi'_2 = \pi - \varphi_1 - \theta_2$$

Dans le cas où il existe plusieurs emplacements pour lesquels la valeur d'epfd pour une seule source de brouillage est la même, l'emplacement à retenir serait celui où la vitesse angulaire est la plus faible, la méthode utilisée étant celle de l'algorithme WCG (liaison descendante) et le vecteur de vitesse du satellite OSG peut être calculé de la même façon que pour les stations terriennes, c'est-à-dire comme suit:

$$\underline{v}_{gso} = w_e \begin{pmatrix} -y \\ x \\ 0 \end{pmatrix}$$

La position du satellite OSG serait choisie de façon à ce que l'un des satellites non OSG ayant le gabarit de p.i.r.e. identifié coupe la géométrie critique pendant qu'il parcourt son orbite pour la première fois, en utilisant la même méthode que pour l'algorithme WCG (liaison montante).

Une autre configuration WCG pour le calcul de l'epfd(liaison inter-satellites) est décrite aux § D3.1.3 et D3.2.3 ci-dessus.

## D4 Calcul de la taille du pas de temps et du nombre de pas de temps

### D4.1 Incrément de temps de la simulation et précision

L'incrément de temps de la simulation est l'un des paramètres les plus importants pour déterminer une fonction de distribution des brouillages causés par des réseaux non OSG sur la base du modèle de simulation. La valeur spécifiée de cet incrément devrait garantir l'absence de cas où des brouillages de niveau élevé et de courte durée dépassant un niveau admissible sont omis ou ne sont pas pris en considération. Sinon, les résultats de l'analyse par simulation seront inexacts, voire faux. La diminution de l'incrément pendant la simulation permet d'améliorer l'exactitude des résultats obtenus mais dans le même temps cela se traduit par une augmentation du nombre total d'incrément de temps et du volume de calculs nécessaires.

Les algorithmes de calcul des incréments de temps utilisés dans la simulation (liaison montante, liaison descendante et liaison inter-satellites) sont décrits ci-après.

Les algorithmes reposent sur un ensemble de caractéristiques orbitales, parmi lesquelles l'angle d'inclinaison. S'il existe plusieurs ensembles – dans le cas de multiples sous-constellations par exemple – il convient d'utiliser la durée totale la plus longue et le pas de temps le plus court sur l'ensemble des sous-constellations.

Lorsqu'une précession artificielle est utilisée, la même valeur devrait être utilisée pour tous les satellites du système non OSG. Il s'agit de la valeur calculée pour le satellite qui a servi à déterminer la durée du pas de temps et la durée d'exécution.

Pour réduire les temps d'exécution, il convient d'utiliser la procédure suivante qui permet d'ajuster la taille du pas de temps pour les orbites non répétitives lorsque le nombre de pas de temps dépasse  $1e8$ :

```
Calculate time step and run time using  $N_{hit} = 16$ 
```

```
If orbit is non-repeating
```

```
  If number of time steps exceeds  $1e8$  then:
```

$$N'_{hit} = \frac{N_{hit}}{\min(N_{course}, \sqrt{N_{satellites}})}$$

```
  Re-calculate time step and run time
```

$$N'_{course} = \text{floor}\left(\frac{N'_{hit}}{N_{hit}} N_{course}\right)$$

$$TS'_{course} = TS \cdot N'_{course}$$

```
  Endif
```

```
Endif
```

### D4.2 Description de la procédure à suivre pour déterminer l'incrément de temps minimal de la simulation pour les liaisons descendantes

La valeur de l'incrément de temps pour la simulation devrait garantir l'acquisition de données et la description de la plupart des scénarios de brouillage de courte durée avec l'exactitude requise. Les brouillages de courte durée et de niveau élevé sont imputables aux émissions d'une station spatiale

non OSG qui se trouve en configuration d'alignement (un satellite non OSG traverse le faisceau principal de l'antenne d'une station terrienne OSG). Par conséquent, la méthode à suivre pour déterminer l'incrément de temps pour la simulation  $\Delta t_{ref}$  est fondée sur la nécessité de garantir le nombre requis  $N_{hit}$  d'estimations d'epfd sur la liaison descendante pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$  où un satellite non OSG traverse le faisceau principal de l'antenne d'une station terrienne OSG:

$$\Delta t_{ref} = \frac{\Delta t}{N_{hit}} \quad (1)$$

$\Delta t_{ref}$  doit être arrondi à la milliseconde non nulle la plus proche.

Le temps nécessaire pour qu'un satellite non OSG traverse le faisceau principal de l'antenne d'une station terrienne OSG est fonction des emplacements respectifs de la station terrienne et de la station spatiale du réseau OSG ainsi que des paramètres orbitaux du réseau non OSG. La détermination de la valeur exacte de  $\Delta t$  est en général délicate. La valeur de  $\Delta t$  devrait être calculée à l'emplacement où le temps nécessaire au satellite non OSG pour traverser le faisceau principal est le plus court. Étant donné que cela se produit lorsqu'une station terrienne OSG se trouve directement sous une station spatiale OSG, la durée du passage  $\Delta t$  est déterminée selon les équations (2) et (3) (voir la Fig. 35):

$$\Delta t = \frac{2\varphi}{\omega} \quad (2)$$

où:

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{1}{2}\theta_{3dB} - \arcsin \left[ \frac{R_e}{R_e+h} \sin \left( \frac{1}{2}\theta_{3dB} \right) \right] \\ \omega &= \sqrt{(\omega_s \cos(i) - \omega_e)^2 + (\omega_s \sin(i))^2} \\ \omega_s &= \frac{0.071}{[(R_e + h)/R_e]^{1.5}} \end{aligned} \quad (3)$$

$\omega_s$ : vitesse angulaire de rotation du satellite non OSG autour de la Terre, à l'altitude de fonctionnement minimale (degrés/s); pour plusieurs orbites, il convient de choisir la valeur la plus élevée  $\omega_s$

$\omega_e$ : vitesse angulaire de rotation de la Terre, au niveau de l'équateur (degrés/s)

$i$ : inclinaison de l'orbite (degrés)

$\theta_{3dB}$ : ouverture de faisceau à 3 dB de l'antenne de la station terrienne OSG (degrés)

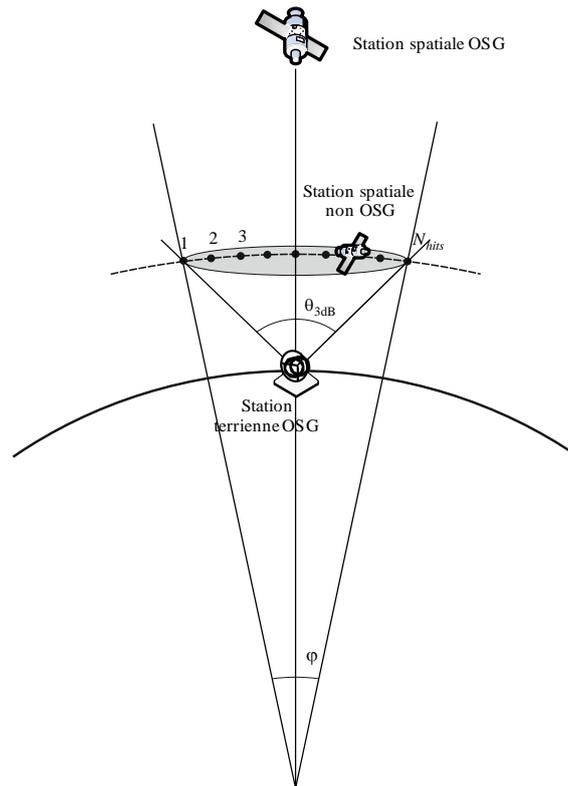
$R_e$ : rayon de la Terre (km)

$h$ : altitude de l'orbite (km) (voir la NOTE 1).

NOTE 1 – Dans le cas où la constellation a plusieurs valeurs de  $h$  correspondant à différentes sous-constellations ou différents plans, il convient d'utiliser la valeur la plus faible. Dans le cas d'orbites elliptiques, il convient d'utiliser l'altitude d'exploitation minimale.

FIGURE 35

Calcul de la taille du pas de temps pour l'epfd(liaison descendante)



S.1503-32

La valeur  $N_{hit}$  définit la précision de la simulation. La précision des résultats finals est d'autant meilleure que la valeur de  $N_{hit}$  est élevée.

La valeur de  $N_{hit}$  devrait être mise à 16, conformément aux calculs exposés au § D4.5. Dans le cas d'une constellation de satellites non OSG se composant de satellites ayant des paramètres orbitaux différents, il est nécessaire de définir un incrément de temps de simulation pour chaque type d'orbite considérée et de choisir un incrément de temps minimal.

TABLEAU 11

## Données d'entrée

| Paramètre   | Désignation    | Unités |
|---|----------------|--------|
| Inclinaison de l'orbite   | $i$            | degrés |
| Altitude de l'orbite, ou pour des orbites elliptiques, altitude d'exploitation minimale   | $h$            | km     |
| Ouverture de faisceau à 3 dB de l'antenne de la station terrienne OSG   | $\theta_{3dB}$ | degrés |
| Nombre de calculs de l'epfd↓ nécessaires pendant le temps où un satellite non OSG traverse le faisceau principal d'une antenne de station terrienne OSG | $N_{hit}$      | –      |

### D4.3 Description de la procédure à suivre pour déterminer l'incrément de temps minimal de la simulation pour les liaisons montantes

Les brouillages de courte durée et de niveau élevé sur la liaison montante sont imputables aux émissions d'une station terrienne non OSG qui se trouve en configuration d'alignement (une station spatiale OSG se trouve dans le faisceau principal de l'antenne d'une station terrienne OSG). Le nombre requis  $N_{hit}$  de mesures de l'epfd en liaison montante devrait être effectué pendant la période où le satellite OSG reste dans le faisceau principal de l'antenne de la station terrienne non OSG afin de garantir l'acquisition et la définition de la configuration d'alignement. Si la station terrienne non OSG se trouve directement en dessous du satellite OSG (voir la Fig. 36), la valeur de l'incrément de temps minimal pour la simulation peut être calculée au moyen des expressions (1) et (2). Dans ce cas, il convient de remplacer l'ouverture du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne OSG par l'ouverture du faisceau principal de l'antenne de la station terrienne non OSG.

FIGURE 36

Calcul de la durée du pas de temps pour l'epfd(liaison montante)

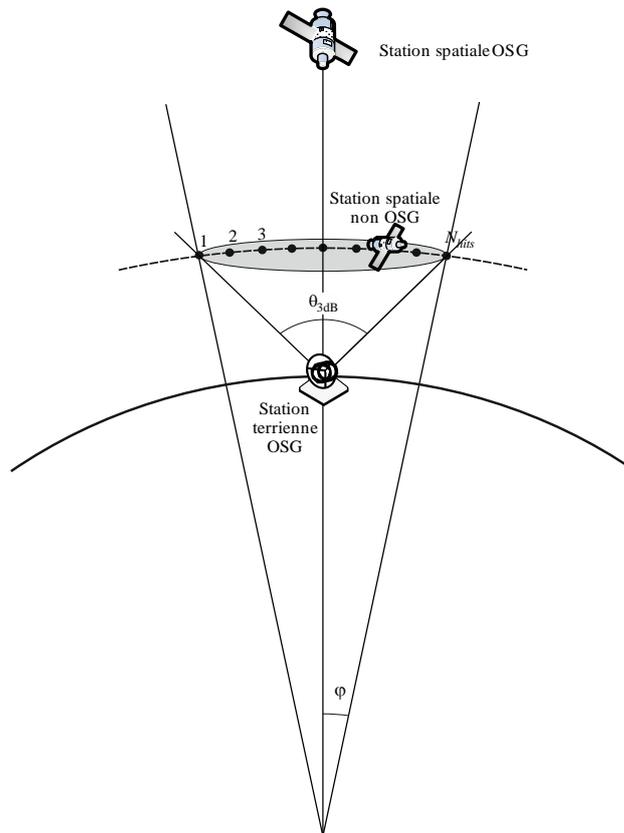


TABLEAU 12  
Données d'entrée

| Paramètre  | Désignation    | Unités |
|--|----------------|--------|
| Inclinaison de l'orbite  | $i$            | degrés |
| Altitude de l'orbite   | $h$            | km     |
| Ouverture de faisceau à 3 dB de l'antenne de la station terrienne non OSG  | $\theta_{3dB}$ | degrés |
| Nombre de calculs de l'epfd nécessaires pendant le temps où un satellite OSG traverse le faisceau principal d'une antenne de station terrienne non OSG | $N_{hit}$      | –      |

#### D4.4 Description de la procédure à suivre pour déterminer l'incrément de temps minimal de la simulation pour des liaisons inter-satellites

On calcule la taille du pas de temps pour l'epfd<sub>is</sub> en considérant qu'il devrait y avoir au moins  $N_{hit}$  pas de temps pendant lesquels le satellite non OSG se trouve dans le faisceau principal du satellite OSG. Étant donné que le pas de temps le plus court correspond à la situation où le faisceau sur le satellite OSG pointe le plus loin possible dans la direction inverse de celle du point à la verticale du satellite et si l'on désigne par:

$R_e$ : rayon de la Terre

$h$ : altitude de l'orbite non OSG

$R_{geo}$ : rayon de l'orbite des satellites géostationnaires

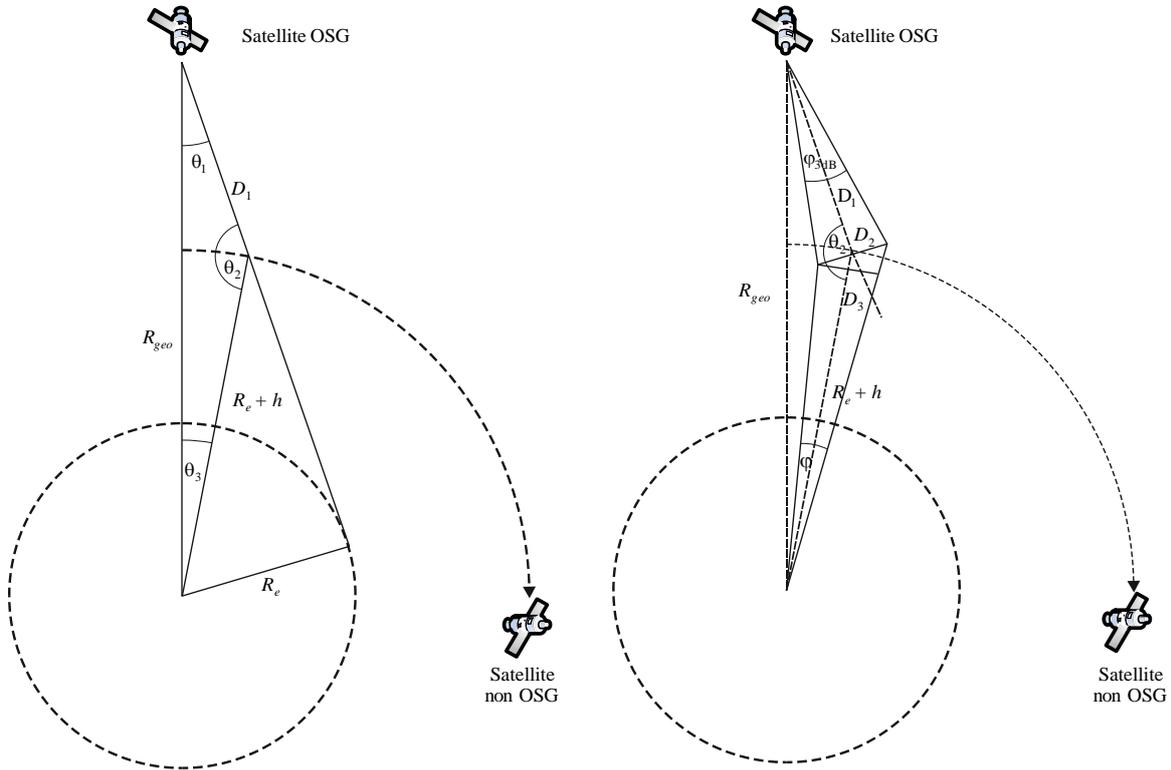
$\phi_{3dB}$ : ouverture à mi-puissance du faisceau OSG.

Pour les systèmes en orbite elliptique, on calcule l'altitude à laquelle le satellite non OSG traverse l'équateur, c'est à dire quand  $v = -\omega$  ou  $+\omega$  tel que  $(v+\omega) = 0$  ou des multiples entiers de  $\pi$ . De plus, il est nécessaire de prendre en compte l'altitude d'exploitation minimale, de sorte que l'altitude à utiliser soit le maximum de {altitude d'exploitation minimale, altitude au croisement de l'équateur}.

Le pas de temps peut alors être calculé au moyen de l'algorithme suivant (voir la Fig. 37):

FIGURE 37

Paramètres géométriques utilisés dans les équations



S.1503-34

Calculer:

$$\theta_1 = \arcsin \left( \frac{R_e}{R_{geo}} \right)$$

$$\theta_2 = 180 - \arcsin \left( \sin(\theta_1) \frac{R_{geo}}{R_e + h} \right)$$

$$\theta_3 = 180 - (\theta_1 + \theta_2)$$

$$D_1 = (R_e + h) \frac{\sin \theta_3}{\sin \theta_1}$$

$$D_2 = 2D_1 \sin \left( \frac{\theta_{3dB}}{2} \right)$$

$$D_3 = D_2 \cos(180 - \theta_2)$$

puis calculer la valeur:

$$\varphi = 2 \arctan \left[ \frac{D_3/2}{(R_e + h) - (D_2/2) \sin(180 - \theta_2)} \right] \quad (4)$$

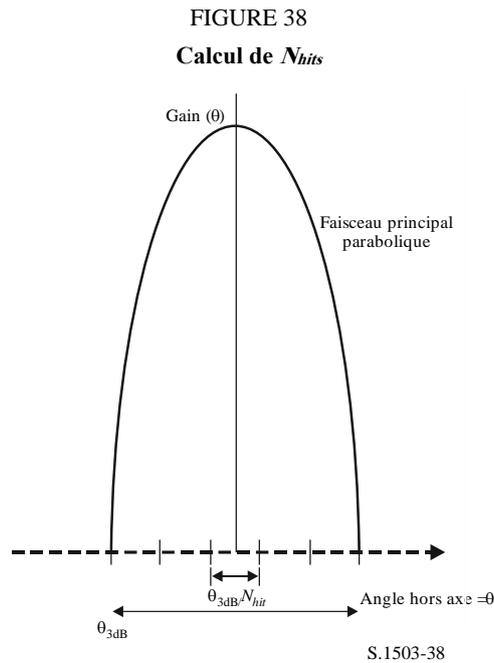
qui peut être utilisée dans l'équation (2) pour calculer la taille du pas de temps à utiliser.

#### D4.5 Calcul de $N_{hit}$

La taille du pas de temps est choisie de façon à garantir une résolution de l'epfd suffisante à l'intérieur du faisceau principal du satellite brouillé. La résolution nécessaire est garantie avec un intervalle de 0,1 dB, paramètre à partir duquel on peut calculer le nombre de pas de temps à l'intérieur du faisceau principal.

Il convient de choisir  $N_{hit}$  de façon que la valeur la plus élevée d'epfd soit détectée pendant la simulation et identifiée comme étant dans le bon intervalle. Cela signifie que la résolution utilisée dans les calculs est de  $(0,1 \text{ dB})/2 = 0,05 \text{ dB}$ .

La plus grosse erreur se produira lorsque deux pas de temps sont équidistants de part et d'autre du faisceau principal (voir la Fig. 38):



L'espacement entre les échantillons sera:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{3dB}}{N_{hit}}$$

On peut supposer que le diagramme de gain à l'intérieur du faisceau principal est parabolique et, par conséquent:

$$G_{rel} = 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2$$

La pente de la courbe est:

$$\frac{\Delta G_{rel}}{\Delta\theta} = \frac{24}{\theta_{3dB}^2} \theta$$

On peut donc calculer la valeur requise de  $N_{hit}$  pour une différence de gain de 0,05 dB, comme suit:

$$\Delta G_{rel} = 0,05 = 24 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \cdot \frac{\Delta\theta}{\theta_{3dB}} = 24 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \cdot \frac{1}{N_{hit}}$$

Ainsi:

$$N_{hit} = 480 \cdot \frac{\theta}{\theta_{3dB}}$$

Par conséquent, pour le pas de temps le plus proche du faisceau principal:

$$\theta = \frac{1}{2} \frac{\theta_{3dB}}{N_{hit}}$$

Alors:

$$N_{hit} = RoundUp \left[ \sqrt{240} \right] = 16$$

Cette méthode peut aussi être utilisée pour un échantillonnage dans une direction transversale; alors  $N_{track} = N_{hit} = 16$ .

#### D4.6 Durée totale de l'exécution pour la simulation

Le présent paragraphe donne une description du calcul du nombre de pas de temps nécessaire pour les algorithmes de calcul de l'epfd↓ et de l'epfd↑ indiqués au § D5. Selon la méthode de base, on examine tout d'abord séparément les constellations présentant une trajectoire au sol répétitive et celles présentant une trajectoire au sol non répétitive: les systèmes ayant une trajectoire au sol répétitive utilisent le maintien en position pour s'assurer que les satellites suivent une trajectoire unique sur Terre. Par exemple, des erreurs mineures de lancement et des perturbations mineures provoquant une dérive de l'orbite se produiront si on n'utilise pas la fonction de maintien en position pour s'assurer que la trajectoire se répète. Les administrations doivent donc indiquer au BR si le maintien en position est utilisé pour qu'il y ait une seule trajectoire au sol.

Pour certaines constellations, les valeurs d'inclinaison, d'altitude ou d'excentricité ne sont pas les mêmes pour chaque plan. Dans ce cas, on suppose que pour maintenir la couverture, la constellation sera conçue de sorte que l'écart angulaire entre les plans ne varie pas de manière importante. Dans le cas de trajectoires au sol répétitives, cela signifie qu'il y aura une seule période de répétition pour la constellation, c'est-à-dire la période pendant laquelle tous les satellites de la constellation reviennent à la même position par rapport au sol, chacun, dans les limites du maintien en position. Dans le cas de trajectoires au sol non répétitives, il y aura une seule période à décrire pour tous les plans orbitaux, autour de l'équateur.

Cette approche sera utilisée pour des constellations de satellites en orbite circulaire ou elliptique avec une inclinaison de l'orbite non nulle. Pour les constellations en orbite équatoriale, dans lesquelles tous les satellites se trouvent à la même altitude, une exécution sur une seule période de répétition suffit. Cela peut être calculé comme suit:

$$T_{run} = \frac{2\pi}{w_s - w_e}$$

$$N_{steps} = RoundDown \frac{T_{run}}{T_{step}}$$

où  $w_s$  et  $w_e$  sont les vitesses angulaires de rotation du satellite et de la Terre, comme indiqué au § D2. Le Tableau 13 donne les paramètres d'entrée utilisés dans tous les autres types de constellations.

TABLEAU 13  
Données d'entrée

| Paramètre   | Désignation | Unités |
|---|-------------|--------|
| Constellation à trajectoire répétitive ou non                               | Type        | –      |
| Nombre minimal d'échantillons pris pour avoir une signification statistique | $N_s = 10$  | –      |

Dans les deux cas, le pas de temps peut être calculé à l'aide de la méthode décrite plus haut. Le nombre de pas de temps devrait être au minimum de:

$$N_{min} = N_s \times 100 / (100 - (\% \text{ maximal dans les tableaux de l'Article 22 du RR inférieur à 100\%}))$$

Par exemple, pour le cas 99,999%, le nombre de pas serait de:

$$N_{min} = 1\ 000\ 000$$

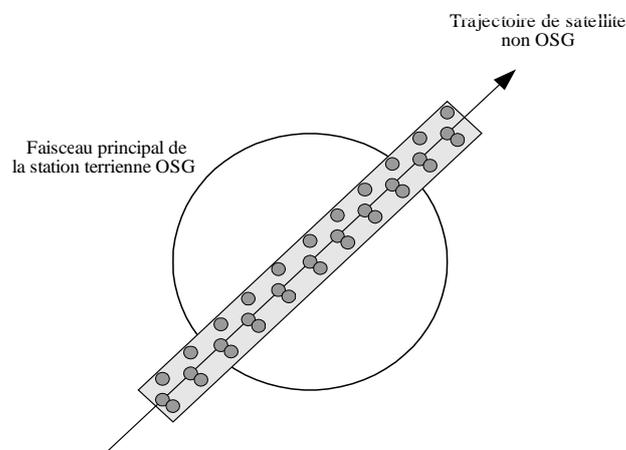
#### D4.6.1 Orbites répétitives

Pour les orbites spécifiées comme étant répétitives, le prédictor d'orbite doit être précis pour garantir la répétitivité. Ainsi, les administrations ont la possibilité de spécifier la vitesse de précession exacte en longitude relativement à un prédictor d'orbite avec masse ponctuelle qui garantit que l'orbite sera répétitive. La définition et l'utilisation de ce paramètre sont données dans la Partie D6.3.

Si l'on utilise ce paramètre, une orbite simulée sera répétée, mais en réalité il y aura une légère dérive en raison des erreurs de maintien en position longitudinale. Les variations de maintien en position dans le plan orbital ne devraient pas être significatives et ne sont donc pas prises en considération.

Le résultat devrait être celui indiqué dans la Fig. 39.

FIGURE 39  
Trajectoire de l'orbite répétitive du satellite non OSG passant dans le faisceau de la station terrienne OSG



S.1503-36

Dans la Fig. 39, on constate qu'on obtient une série d'échantillons dans le faisceau principal de la station terrienne OSG qui est suffisamment fine pour effectuer les calculs dans le faisceau principal, qui inclue la dérive de maintien en position et produit un nombre suffisant d'échantillons pour obtenir les statistiques requises.

TABLEAU 14  
Données d'entrée

| Paramètre                                 | Désignation  | Unités |
|---|--------------|--------|
| Période de répétition de la constellation | $P_{repeat}$ | s      |

Compte tenu des paramètres suivants:

- $N_{min}$ : nombre minimal de pas de temps requis pour obtenir une signification statistique
- $P_{repeat}$ : période de répétition de la/des constellation(s)
- $T_{step}$ : pas de temps (s)
- $N_{tracks}$ : nombre de trajectoires à travers le faisceau principal, = 16, tel que spécifié au § D4.5.

Dans ce cas, le pas de temps ne doit pas être un sous-multiple exact de la période de répétition de la constellation. Si:

$$N_{repsteps} = P_{repeat}/T_{step}$$

est un entier, calculer un pas de temps revu (utilisé dans les équations suivantes à la place de  $T_{step}$ ) égal à:

$$T'_{step} = T_{step}(1 + N_{repsteps})/N_{repsteps}$$

Calculer la période de temps requise pour avoir le nombre minimal de pas de temps pour obtenir une signification statistique:

$$T_{sig} = N_{min} \cdot T_{step}$$

Cela correspond au nombre suivant de répétitions de la constellation:

$$N_{rep} = \text{round}(T_{sig}/P_{repeat}) \text{ arrondi à l'entier supérieur le plus proche.}$$

Le nombre de répétitions de la constellation est le plus grand des deux nombres  $N_{rep}$  ou  $N_{tracks}$ , c'est-à-dire:

$$N_{run} = \max(N_{rep}, N_{tracks})$$

Le temps total de simulation est alors:

$$T_{run} = N_{run} \cdot P_{repeat}$$

Le nombre de pas de temps est alors le suivant:

$$N_{steps} = \text{round}(T_{run}/T_{step}) \text{ arrondi à l'entier immédiatement inférieur}$$

$$T_{run} = N_{steps} * T_{step}$$

#### D4.6.2 Orbites non répétitives

Dans ce cas, l'espacement longitudinal entre des passages successifs par le nœud ascendant doit être examiné de sorte qu'il y ait suffisamment de trajectoires à l'intérieur du faisceau principal. La taille du pas de temps et le nombre de pas de temps peuvent être utilisés pour déterminer l'ampleur de la précession d'une orbite particulière pendant la durée de la simulation. Les mêmes chiffres peuvent être utilisés pour déterminer le nombre de pas de temps pour qu'il y ait dérive d'une orbite autour de l'équateur. La période orbitale peut être utilisée pour calculer la différence entre les trajectoires.

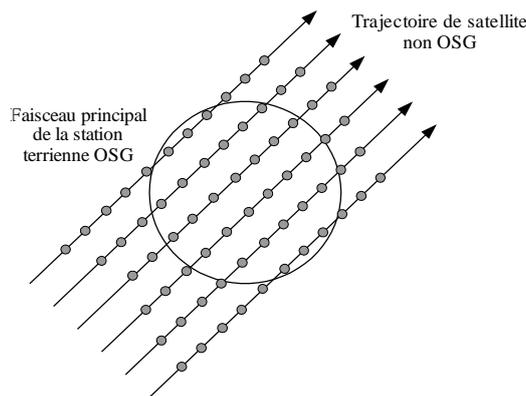
La constante qui spécifie le nombre requis de points à l'intérieur du faisceau principal peut être utilisée pour spécifier le nombre requis de trajectoires passant dans le faisceau principal (c'est-à-dire  $N_{track} = N_{hits}$ ). Si l'espacement entre les trajectoires est trop important ou trop faible (ce qui se traduit soit par un nombre d'échantillons insuffisant ou par un temps de simulation trop élevé), on peut alors utiliser une précession artificielle.

Comme la dérive de maintien en position devrait s'annuler sur le long terme, celle-ci n'est pas utilisée pour ces calculs.

Le résultat est illustré à la Fig. 40:

FIGURE 40

Trajectoire d'un satellite non OSG à orbite non répétitive traversant le faisceau de la station terrienne OSG



S.1503-37

Dans la Fig. 40, on constate qu'on obtient une série de trajectoires à l'intérieur du faisceau principal de la station terrienne OSG qui est suffisamment fine pour effectuer les calculs dans le faisceau principal et qui produit un nombre suffisant d'échantillons pour obtenir les statistiques requises.

TABLEAU 15

Données d'entrée

| Paramètre   | Désignation     | Unités |
|---|-----------------|--------|
| Inclinaison de l'orbite   | $i$             | degrés |
| Demi-grand axe de l'orbite  | $a$             | km     |
| Ouverture de faisceau à 3 dB de l'antenne de la station terrienne OSG <sup>(1)</sup>                                | $\varphi_{3dB}$ | degrés |
| Nombre requis de trajectoires d'un satellite non OSG passant dans le faisceau principal d'une station terrienne OSG | $N_{tracks}$    | —      |

<sup>(1)</sup> Dans le cas du calcul du temps de simulation pour l'epfd<sub>↓</sub>. Dans le cas de l'epfd<sub>is</sub> et de l'epfd<sub>↑</sub>:

epfd<sub>↑</sub>: calculer  $\varphi$  en utilisant dans la formule (3), l'ouverture de faisceau de l'antenne de la station terrienne non OSG tel qu'il est spécifié dans son gabarit de p.i.r.e.

epfd<sub>is</sub>: calculer  $\varphi$  en utilisant, dans la formule (4), l'ouverture de faisceau de l'antenne du satellite.

Deux paramètres sont nécessaires:

- $S_{pass}$ : espacement longitudinal entre deux passages ascendants à travers le plan équatorial
- $S_{req}$ : résolution requise des passages à travers le plan équatorial établie à partir de l'ouverture du faisceau de la station terrienne OSG.

Ces paramètres sont calculés comme suit:

*Étape 1:* À l'aide des équations indiquées au § D6.3.2, calculer les valeurs de  $\bar{n}$ ,  $\Omega_r$ ,  $\omega_r$  en radians/seconde

*Étape 2:* Convertir les valeurs de  $\bar{n}$ ,  $\Omega_r$ ,  $\omega_r$  en degrés par minute

*Étape 3:* Calculer la période nodale de l'orbite, en minutes, comme suit:

$$P_n = \frac{360}{\omega_r + \bar{n}}$$

*Étape 4:* Calculer l'espacement longitudinal entre deux passages ascendants successifs par le plan équatorial,  $S$ , compte tenu de la vitesse de rotation de la Terre ( $\Omega_e = 0,250684$  degrés/min):

$$S_{pass} = (\Omega_e - \Omega_r) \cdot P_n \quad \text{degrés}$$

Les équations ci-dessus sont valables pour les orbites circulaires. Pour des systèmes à orbite elliptique dans lesquels les calculs ci-dessus sont très différents, la valeur de  $S_{pass}$  doit être fournie par l'administration.

*Étape 5:* A partir de l'ouverture de faisceau de la station terrienne OSG et de l'altitude,  $S_{req}$  peut être calculé au moyen de la formule (3):

$$S_{req} = \frac{2\varphi}{N_{tracks}}$$

*Étape 6:* Calculer le nombre d'orbites permettant de peupler totalement le voisinage de l'équateur, en tenant compte que chaque plan dispose de nœuds ascendant et descendant:

$$N_{orbits} = \frac{180}{S_{req}}$$

*Étape 7:* Arrondir  $N_{orbits}$  à l'entier immédiatement supérieur.

*Étape 8:* Calculer l'angle orbital total couvert pendant ce temps:

$$S_{total} = N_{orbits} \cdot S_{pass}$$

*Étape 9:* Calculer le nombre de multiples de  $360^\circ$  auquel correspond cet angle, en arrondissant ce nombre à l'entier immédiatement supérieur:

$$N_{360} = \text{int}\left(\frac{S_{total}}{360}\right)$$

*Étape 10:* Calculer l'écart angulaire entre les plans auxquels cette valeur correspond:

$$S_{actual} = \frac{360N_{360}}{N_{orbits}}$$

*Étape 11:* Pour obtenir des dérivées orbitales avec la vitesse de précession requise, il convient d'ajouter la précession artificielle suivante:

$$S_{artificial} = S_{actual} - S_{pass} \quad \text{degrés/orbite}$$

ou:

$$D_{artificial} = \frac{S_{artificial}}{T_{period}} \quad \text{degrés/s}$$

Étape 12: La Partie D contient des informations complémentaires sur la façon d'utiliser ce paramètre. La durée totale de simulation est alors la durée nécessaire pour effectuer la précession autour de l'équateur en utilisant la période orbitale tirée de § D6.3.1 ou D6.3.2 selon le modèle orbital, à savoir:

$$T'_{run} = T_{period} \cdot N_{orbits}$$

Étape 13: Le nombre total de pas de temps est alors:

$$N_{steps} = (T'_{run}/T_{step}) \text{ arrondi à l'entier immédiatement inférieur}$$

$$T_{run} = N_{steps} * T_{step}.$$

## D4.7 Option utilisant deux pas de temps

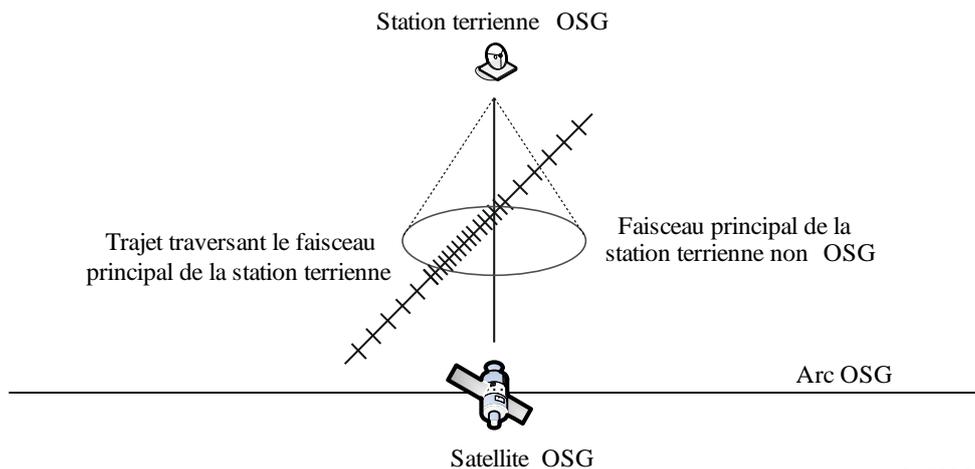
### D4.7.1 Option utilisant deux pas de temps, epfd(liaison descendante)

Afin d'améliorer la simulation, une option concernant l'algorithme consiste à appliquer deux pas de temps. Un pas de temps large sera utilisé sauf lorsqu'un satellite non OSG se trouve proche du faisceau principal de la station terrienne OSG ou du bord de la zone d'exclusion, soit:

$$G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$$

La Figure 41 montre comment utiliser le pas de temps plus fin:

FIGURE 41  
Utilisation d'un pas de temps fin lorsqu'on se trouve à proximité du faisceau principal de la station terrienne OSG



S.1503-38

Le pas de temps large est utilisé pour les régions non critiques éloignées du faisceau principal de la station terrienne OSG. La taille de ce pas de temps est définie sous forme d'un angle topocentrique:

$$\varphi_{coarse} = 1,5^\circ$$

Ce pas de temps grossier est utilisé pour toutes les ouvertures de faisceau d'antenne et tous les systèmes non OSG.

La taille du pas de temps large doit être un multiple entier des pas de temps fins pour des raisons de statistiques. Étant donné que la taille du pas de temps large est constante, le rapport pas de temps large/pas de temps fin dépend uniquement de l'ouverture de faisceau de la station terrienne OSG ( $\varphi_{3dB}$ ). Ce rapport est défini comme suit:

$$N_{coarse} = \text{Floor}((N_{hits} * \varphi_{coarse})/\varphi_{3dB})$$

où le niveau plancher («Floor») est une fonction qui, par prudence, élimine la partie décimale du rapport et donne la partie entière du rapport. Ainsi, le pas de temps large n'est jamais supérieur à la valeur cible topocentrique de  $1,5^\circ$ .

#### **D4.7.2 Option utilisant deux pas de temps, epfd(liaison montante)**

Afin d'améliorer les caractéristiques de la simulation, il existe une variante de l'algorithme qui permet d'utiliser deux pas de temps. En règle générale, on utilisera un pas de temps large sauf lorsque le gain de toute station terrienne non OSG en direction du satellite OSG est supérieur ou égal à  $-30$  dB.

Le pas de temps large est utilisé pour les régions non critiques lorsque le faisceau principal de la station terrienne non OSG pointe en s'écartant du satellite GSO. La taille de ce pas de temps est définie sous forme d'un angle topocentrique:

$$\varphi_{coarse} = 1,5^\circ$$

Elle est utilisée pour toutes les ouvertures de faisceau d'antenne et tous les systèmes non OSG.

La taille du pas de temps large doit être un multiple entier de la taille du pas de temps étroit pour des raisons statistiques. Étant donné que la taille du pas de temps large est constante, le rapport des tailles pas de temps large/pas de temps fin dépend uniquement de l'ouverture du faisceau de la station terrienne non OSG ( $\varphi_{3dB}$ ). Ce rapport est défini comme suit:

$$N_{coarse} = \text{Floor}((N_{hits} * \varphi_{coarse}) / \varphi_{3dB})$$

dans lequel le niveau plancher («Floor») est une fonction qui, par prudence, élimine la partie décimale du rapport et délivre la partie entière du rapport. Ainsi, le pas de temps large n'est jamais supérieur à la valeur cible topocentrique de  $1,5^\circ$ .

## **D5 Description du calcul de l'epfd**

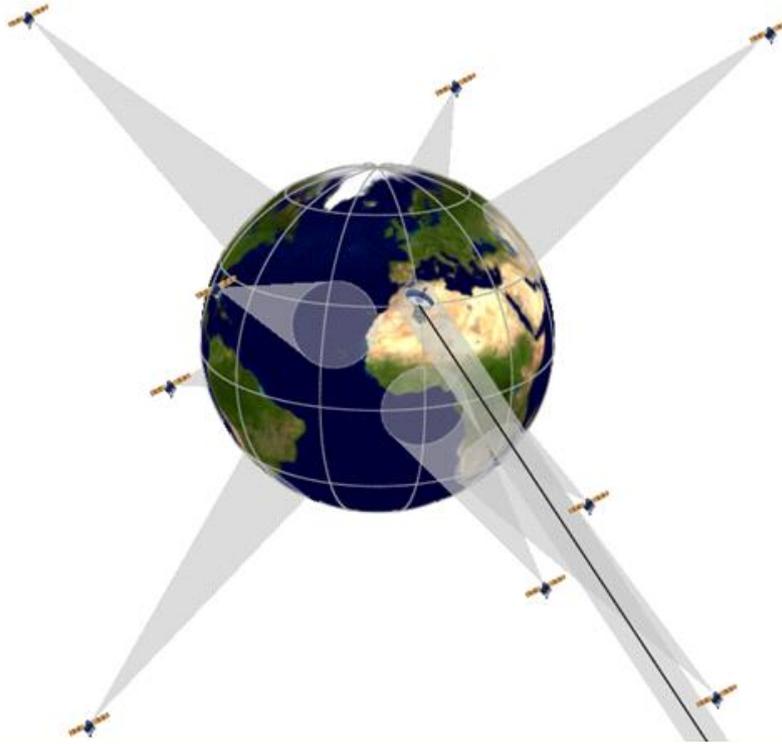
### **D5.1 Description du logiciel pour le calcul de l'epfd↓**

Le présent paragraphe décrit l'algorithme à utiliser pour calculer l'epfd↓ rayonnée par une constellation de satellites non OSG en direction d'une liaison descendante OSG. On suppose qu'à chaque satellite non OSG est associé un gabarit de puissance surfacique. À partir de la puissance surfacique pour chaque satellite, on calcule l'epfd↓ cumulative au niveau d'une station terrienne d'un système OSG. Cette opération est répétée pour une série de pas de temps de façon à obtenir une distribution d'epfd↓. Cette distribution est alors comparée avec les limites pour donner une décision oui/non.

La Figure 42 illustre la géométrie avec une constellation de satellites non OSG et un satellite OSG d'essai émettant vers une station terrienne OSG.

FIGURE 42

Exemple de scénario, epfd(liaison descendante)



S.1503-39

### D5.1.1 Paramètres de configuration

Ces paramètres utilisés pour définir l'exécution sont les suivants:

| Nom du paramètre  | Valeur du paramètre | Unités et plage de valeurs                  |
|---|---------------------|---|
| Fréquence   | F_DOWN              | MHz   |
| Longitude du satellite OSG                              | GSO_LONG            | degrés                                      |
| Latitude de la station terrienne OSG                    | GSO_ES_LAT          | degrés                                      |
| Longitude de la station terrienne OSG                   | GSO_ES_LONG         | degrés                                      |
| Taille de l'antenne parabolique de la station terrienne | GSO_ES_D_ANT        | m   |
| Diagramme de gain de la station terrienne OSG           | GSO_ES_PATTERN      | L'un de ceux indiqués au § D6.5             |
| Largeur de bande de référence                           | REFBW               | kHz   |
| Nombre de points de mesure de l'epfd↓                   | Nepfd_DOWN          | –   |
| Tableau de valeurs Nepfd_DOWN epfd↓                     | epfd_DOWN[I]        | dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) |
| Tableau de pourcentages Nepfd_DOWN                      | PC[I]               | %   |

### D5.1.2 Paramètres du système non OSG

Les paramètres suivants, spécifiés au § B3.1, seraient utilisés.

| Description du paramètre  | Nom du paramètre                                 | Unité    |
|---|--|----------|
| Gabarit de puissance surfacique du satellite  | Voir la Partie C pour la définition et le format |          |
| Nombre de satellites non OSG  | $N_{sat}$  | –        |
| Fréquence centrale d'émission   | F_DOWN <sub>sat</sub>                            | MHz      |
| Zone d'exclusion: angle en fonction de la latitude; peut varier d'un satellite à l'autre  | MIN_EXCLUDE<br>[Latitude]                        | degrés   |
| Durée de poursuite minimale du satellite en fonction de la latitude   | MIN_DURATION<br>[Latitude]                       | secondes |
| Nombre maximal de satellites fonctionnant à la même fréquence au niveau d'un emplacement sur la Terre; peut varier en fonction de la latitude | MAX_CO_FREQ<br>[Latitude]                        | –        |
| L'orbite a une trajectoire au sol répétitive obtenue à l'aide de la fonction de maintien en position  | Oui ou Non                                       | –        |
| L'administration fournit une vitesse de précession nodale spécifique  | Oui ou Non                                       | –        |
| Plage de maintien en position pour le nœud ascendant sous forme de la moitié de la plage totale   | $W_{delta}$                                      | degrés   |
| Altitude de fonctionnement minimale   | H_MIN  | km       |
| Angle d'élévation minimal en fonction de la latitude et de l'azimut   | ES_MINELEV<br>[Latitude]<br>[Azimut]             | degrés   |
| Angle minimal entre les satellites non OSG actifs, au niveau de la station terrienne  | MIN_ANGLE_AT_ES                                  | degrés   |

Pour chaque satellite, les paramètres suivants spécifiés dans le § B3.2 seront utilisés lorsque les définitions des paramètres sont données dans le § D6.3.1 au moment du début de la simulation.

Il convient de noter que dans le tableau ci-dessous, les indices  $[N]$  indiquent qu'il y a une valeur différente pour chaque satellite et que la  $n$ ème valeur correspond au  $n$ ème satellite. Pour le gabarit de puissance surfacique, ils indiquent que les données relatives à la puissance surfacique sont structurées de façon à ce que l'entrée de puissance surfacique  $[N]$  corresponde à une référence désignant un sous-ensemble particulier. Par exemple, chaque satellite de la constellation peut se rapporter au même tableau de puissance surfacique (lat, az, el), puissance surfacique (lat, X,  $\Delta$ long), ou puissance surfacique (lat,  $\alpha$ ,  $\Delta$ long).

| Description du paramètre                   | Nom du paramètre | Unité  |
|--|------------------|--------|
| Gabarit de puissance surfacique à utiliser | pdf $[N]$        | –      |
| Demi-grand axe                             | A $[N]$          | km     |
| Excentricité                               | E $[N]$          | –      |
| Inclinaison                                | I $[N]$          | degrés |
| Longitude du nœud ascendant                | O $[N]$          | degrés |
| Argument du périégée                       | W $[N]$          | degrés |
| Anomalie vraie                             | V $[N]$          | degrés |

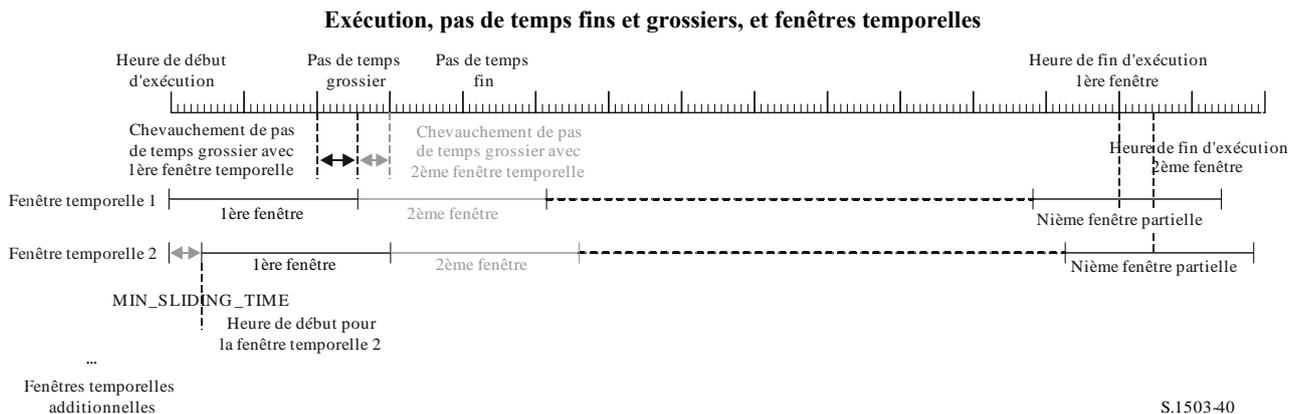
### D5.1.3 Paramètres du pas de temps utilisé pour l'exécution

Les paramètres suivants pour l'exécution devraient être calculés à l'aide de l'algorithme décrit au § D4.

| Description du paramètre | Nom du paramètre | Unités de paramètre |
|--------------------------|------------------|---------------------|
| Pas de temps             | TSTEP            | s                   |
| Nombre de pas de temps   | NSTEPS           | —                   |

Le pas de temps et les statistiques tiennent compte de la fenêtre temporelle, comme indiqué à la Fig. 43 ci-dessous.

FIGURE 43



Les paramètres suivants sont calculés dans le § D4:

- Durée de l'exécution
- Pas temporel fin
- Pas temporel grossier

Dans le cas où la méthode de sélection du satellite non OSG est définie par la durée de poursuite (par exemple pour que la valeur du paramètre MIN\_DURATION [Latitude] soit non nulle pour au moins une latitude), il faut également prendre en compte un ensemble de fenêtres temporelles, afin de veiller à ce que toutes les combinaisons de sélection de satellite soient analysées.

La valeur MIN\_DURATION est donnée pour la constellation (elle dépend éventuellement de la latitude, dans ce cas de la station terrienne). La longueur de la fenêtre temporelle en pas de temps fins est calculée comme le rapport entier de la durée de la piste par la taille du pas de temps fin. La valeur MIN\_SLIDING\_TIME est également calculée comme un nombre entier de pas de temps fins.

Le temps de passage minimal est donné par:

$$\text{MIN\_SLIDING\_TIME} = \max \left\{ 1 \text{ second}, \frac{\text{MinimumOrbitalPeriod}}{100.N_{\text{satellites}}} \right\}$$

où *MinimumOrbitalPeriod* est la période orbitale la plus courte sur l'ensemble des sous-constellations.

La durée de l'exécution est calculée au § D4 de sorte que la constellation est revenue à ses conditions initiales et les statistiques sont donc complètes. Pour cela, la dernière fenêtre temporelle n'est éventuellement intégrée que partiellement: autrement dit, seuls les pas de temps situés à l'intérieur de la durée d'exécution seraient intégrés dans les statistiques epfd. Cependant, la simulation se poursuivrait jusqu'à ce que la fenêtre temporelle soit complète afin de déterminer les satellites à

poursuivre. De plus, étant donné que chaque heure de début de fenêtre est décalée, il est nécessaire d'exécuter, pour d'autres fenêtres, des pas additionnels au-delà de ceux utilisés par la première fenêtre temporelle.

La longueur de la fenêtre glissante en nombre de pas de temps fins est donnée par:

$$N_{SW} = \text{RoundDown}(\text{MIN\_DURATION} / T_{fine})$$

Le nombre de pas de temps fins pour la durée MIN\_SLIDING\_TIME peut se calculer comme suit:

$$N_{MSL} = \text{RoundUp}(\text{MIN\_SLIDING\_TIME} / T_{fine})$$

Le nombre de fenêtres temporelles à utiliser dans les calculs est donc:

$$N_{TW} = \text{RoundUp}(N_{sw} / N_{MSL})$$

Le nombre de répétitions de la fenêtre temporelle pendant la durée de l'exécution est donc:

$$N_{Repeat} = \text{RoundUp}(N_{step} / N_{SW})$$

Le nombre total de pas de temps fins nécessaires pour effectuer la simulation est égal à la durée de l'exécution plus le temps requis pour achever toutes les fenêtres temporelles, à savoir:

$$N_{TotalSteps} = N_{repeat} * N_{SW} + (N_{TW} - 1) * N_{MSL}$$

La durée totale de l'exécution requise pour terminer toutes les fenêtres temporelles est alors:

$$T_{TotalDuration} = N_{TotalSteps} * T_{fine}$$

#### **D5.1.4 Algorithmes et procédures de calcul**

Dans le cas où la méthode de sélection du satellite non OSG est définie par la durée de poursuite (par exemple pour que la valeur du paramètre MIN\_DURATION [Latitude] soit non nulle pour au moins une latitude), les méthodes de calcul et les algorithmes sont ceux indiqués dans le § D5.1.4.2; dans les autres cas, on appliquera ceux indiqués dans le § D5.1.4.1.

Les satellites non OSG en exploitation sont ceux qui sont situés en dehors de la zone d'exclusion, au-dessus de leur angle d'élévation minimal de fonctionnement (à savoir à une altitude supérieure ou égale à MIN\_OPERATING\_HEIGHT) et qui émettent en direction de la station terrienne OSG. Le nombre maximal de satellites non OSG en fonctionnement est le nombre maximal de satellites non OSG autorisés à émettre sur la même fréquence en direction de la même zone à la surface de la Terre.

##### **D5.1.4.1 Algorithmes et méthodes de calcul lorsque la durée de poursuite n'est pas utilisée**

Pour calculer les valeurs d'epfd<sub>↓</sub> rayonnées en direction d'une station terrienne de système OSG par un système non OSG qui n'utilise pas la durée de poursuite, il convient d'utiliser l'algorithme suivant. Si nécessaire, cet algorithme peut être utilisé sur plusieurs systèmes OSG en parallèle.

*Étape 1:* Entrer les paramètres du système non OSG indiqués dans le § D5.1.2.

*Étape 2:* Entrer les paramètres du système OSG indiqués dans le § D5.1.1.

*Étape 3:* Si nécessaire, calculer l'emplacement sur l'OSG où l'epfd est maximale au moyen de l'algorithme du § D3.1. ou utiliser l'emplacement du satellite OSG et de la station terrienne demandés.

*Étape 4:* Calculer le nombre et la taille des pas de temps au moyen de l'algorithme du § D4 et calculer alors le temps de fin.

*Étape 4bis:* Initialiser les statistiques en mettant à zéro tous les segments de valeurs d'epfd<sub>↓</sub>.

- Étape 5:* Si l'on utilise un algorithme à pas de temps double, utiliser les pas de temps de la sous-étape 5.1, dans les autres cas, utiliser  $N_{coarse} = 1$  pendant tout le temps.
- Sous-étape 5.1:* Calculer la taille du pas de temps large  $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$ .
- Étape 6:* Si l'on inclut un algorithme à pas de temps double, répéter la sous-étape 6.1 jusqu'à l'étape 22 jusqu'à atteindre le temps de fin, sinon répéter les étapes 7 à 22 jusqu'à atteindre le temps de fin.
- Sous-étape 6.1:* S'il s'agit du premier pas de temps, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .
- Sous-étape 6.2:* Sinon, s'il y a moins de  $N_{coarse}$  pas de temps restants, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .
- Sous-étape 6.3:* Sinon, si l'un des  $G_{RX}(\varphi)$  pour le dernier pas de temps se trouve à moins de 30 dB de la valeur maximale, poser  $T_{step} = T_{fine}$  sinon poser  $T_{step} = T_{coarse}$ .
- Étape 7:* Actualiser les vecteurs de position de toutes les stations terriennes sur la base du système de coordonnées défini dans le § D6.1.
- Étape 8:* Actualiser les vecteurs de position de tous les satellites OSG sur la base du système de coordonnées défini dans le § D6.2.
- Étape 9:* Actualiser les vecteurs de position et de vitesse de tous les satellites non OSG sur la base du système de coordonnées, du modèle de prédiction d'orbite et de l'algorithme de maintien en position définis dans le § D6.3.
- Étape 10:* Poser  $epfd_{\downarrow} = 0$ .
- Étape 11:* Sélectionner tous les satellites non OSG visibles depuis la station terrienne OSG au moyen de l'algorithme du § D6.4.1.
- Étape 12:* Répéter les étapes 13 à 18 pour chaque satellite non OSG visible.
- Étape 13:* Calculer les paramètres nécessaires pour le gabarit de puissance surfacique, soit (lat,  $\Delta$ long) ou (lat, azimuth, élévation) selon le cas, en utilisant la définition des angles définis dans le § D6.4.4 ou D6.4.5.
- Étape 13bis:* Calculer le couple ( $Azimuth_{NGSO}$ ,  $\epsilon_{NGSO}$ ) du satellite non OSG vu depuis l'emplacement de la station terrienne OSG au moyen de la définition des angles figurant au § D6.4.4.
- Étape 14:* En utilisant le gabarit de puissance surfacique pour le satellite non OSG sélectionné, calculer la puissance surfacique  $pdf(lat, \Delta long)$  ou  $pdf(lat, azimuth, élévation)$  au niveau de la station terrienne OSG en utilisant le gabarit de puissance surfacique du satellite non OSG défini dans le § D5.1.5.
- Étape 15:* Calculer l'angle hors axe  $\varphi$  entre les droites reliant la station terrienne OSG au satellite OSG et au satellite non OSG.
- Étape 16:* Calculer  $G_{RX}(\varphi) = \text{gain de réception (dB)}$  au niveau de la station terrienne OSG en utilisant le diagramme de gain applicable spécifié dans les algorithmes du § D6.5.
- Étape 17:* Calculer  $epfd_{\downarrow i}$  pour le satellite non OSG en utilisant:
- $$epfd_{\downarrow i} = pdf(\alpha) + G_{RX}(\varphi) - G_{max}$$
- où  $G_{max}$  est le gain maximal de l'antenne de la station terrienne OSG.
- Étape 18:* Stocker les entrées  $epfd_{\downarrow i}$  pour chaque satellite:
- pour lequel  $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$  et  $\epsilon_{NGSO} \geq \epsilon_0[\text{latitude}][Azimuth_{NGSO}]$ ;
  - ou pour lequel  $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$ .
- Étape 19:* Répéter les étapes 20 et 21 pour chaque pas de temps tant que le nombre de satellites pris en compte à l'étape 23 ne dépasse pas  $MAX\_CO\_FREQ[lat]$ .

MAX\_CO\_FREQ[lat] désigne le nombre maximum de satellites non OSG opérationnels à la latitude de GSO\_ES considérée, ce qui correspond au nombre maximum de satellites autorisés à émettre à la même fréquence vers la même zone au sol, remplissant les spécifications concernant la zone d'exclusion OSG, l'angle minimum d'élévation et l'angle MIN\_ANGLE\_ET\_ES, telles que définies pour le système non OSG.

*Étape 20:* Appliquer l'étape 23 pour le satellite pour lequel  $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$  et  $\varepsilon_{\text{NGSO}} \geq \varepsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{\text{NGSO}}]$  et qui présente la valeur unitaire  $\text{epfd}_{\downarrow i}$  la plus élevée.

*Étape 21:* Si une valeur a été définie pour le paramètre MIN\_ANGLE\_AT\_ES entre satellites non OSG, supprimer, de la liste des satellites de l'étape 18 pour lesquels  $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$  et  $\varepsilon_{\text{NGSO}} \geq \varepsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{\text{NGSO}}]$ , tous les satellites non OSG qui ne respectent pas ce critère vis-à-vis du satellite concerné par l'étape 20.

*Étape 22:* Répéter l'étape 23 pour les satellites pour lesquels  $G_{\text{RX}}(\varphi) > \min[G_{\text{max}} - 30 \text{ dB}, G_{\text{RX}}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$ .

*Note:* Il ne devrait pas y avoir de satellites comptés en double à l'étape 23. En particulier, si un satellite se trouve sur la liste des satellites ayant la valeur MAX\_CO\_FREQ[lat] la plus élevée et que  $G_{\text{RX}}(\varphi) > \min[G_{\text{max}} - 30 \text{ dB}, G_{\text{RX}}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$  pour ce satellite, il ne devrait être compté qu'une seule fois, parmi les satellites MAX\_CO\_FREQ[lat] de l'étape 20.

*Étape 23:* Incrémenter l' $\text{epfd}_{\downarrow}$  par la valeur  $\text{epfd}_{\downarrow i}$  de façon linéaire.

*Étape 24:* Incrémenter les statistiques de l' $\text{epfd}_{\downarrow}$  pour la fenêtre glissante correspondante par  $\text{epfd}_{\downarrow}$  pour ce pas de temps par des entrées ( $T_{\text{step}}/T_{\text{fine}}$ ).

*Étape 25:* Produire la fonction de distribution cumulative (CDF)  $\text{epfd}_{\downarrow}$  à partir de la fonction de distribution de probabilité (PDF)  $\text{epfd}_{\downarrow}$  au moyen de l'algorithme du § D7.1.2.

*Étape 26:* Comparer les statistiques d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  avec les limites au moyen de l'algorithme du § D7.1.

*Étape 27:* Sortir les résultats dans le format spécifié dans le § D7.3.

#### **D5.1.4.2 Algorithmes et méthodes de calcul lorsque la durée de poursuite est utilisée**

Pour calculer les valeurs d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  rayonnées en direction d'une station terrienne de système OSG par un système non OSG qui utilise la durée de poursuite, il convient d'utiliser l'algorithme suivant. Si nécessaire, cet algorithme peut être utilisé sur plusieurs systèmes OSG en parallèle.

*Étape 1:* Entrer les paramètres du système non OSG indiqués dans le § D5.1.2.

*Étape 2:* Entrer les paramètres du système OSG indiqués dans le § D5.1.1.

*Étape 3:* Si nécessaire, calculer l'emplacement sur l'OSG où l' $\text{epfd}$  est maximale au moyen de l'algorithme du § D3.1. ou utiliser l'emplacement du satellite OSG et de la station terrienne demandés.

*Étape 4:* Calculer le nombre et la taille des pas de temps au moyen de l'algorithme du § D4 et calculer alors le temps de fin. Comme décrit au § D5.1.3, ajuster les valeurs MIN\_SLIDING\_TIME et MIN\_DURATION pour qu'elles correspondent à un nombre entier de pas de temps fins et calculer ensuite la valeur NUM\_SLIDE\_WINDOWS. Incrémenter la durée de l'exécution du nombre entier de pas de temps fins pour que toutes les fenêtres glissantes disposent de statistiques complètes.

*Étape 4bis:* Initialiser les statistiques en mettant à zéro tous les segments de valeurs d' $\text{epfd}_{\downarrow}$  pour chacune des NUM\_SLIDE\_WINDOWS fenêtres.

*Étape 5:* Si l'on utilise un algorithme à pas de temps double, utiliser les pas de temps de la sous-étape 5.1, dans les autres cas, utiliser  $N_{\text{coarse}} = 1$  pendant tout le temps.

*Sous-étape 5.1:* Calculer la taille du pas de temps large  $T_{\text{coarse}} = T_{\text{fine}} * N_{\text{coarse}}$ .

- Étape 6:* Si l'on inclut un algorithme à pas de temps double, répéter la sous-étape 6.1 jusqu'à l'étape 22 jusqu'à atteindre le temps de fin, sinon répéter les étapes 7 à 22 jusqu'à atteindre le temps de fin.
- Sous-étape 6.1:* S'il s'agit du premier pas de temps, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .
- Sous-étape 6.2:* Sinon, s'il y a moins de  $N_{coarse}$  pas de temps restants, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .
- Sous-étape 6.3:* Sinon, si l'un des  $G_{RX}(\varphi)$  pour le dernier pas de temps se trouve à moins de 30 dB de la valeur maximale, poser  $T_{step} = T_{fine}$  sinon poser  $T_{step} = T_{coarse}$ .
- Étape 7:* Actualiser les vecteurs de position de toutes les stations terriennes sur la base du système de coordonnées défini dans le § D6.1.
- Étape 8:* Actualiser les vecteurs de position de tous les satellites OSG sur la base du système de coordonnées défini dans le § D6.2.
- Étape 9:* Actualiser les vecteurs de position et de vitesse de tous les satellites non OSG sur la base du système de coordonnées, du modèle de prédiction d'orbite et de l'algorithme de maintien en position définis dans le § D6.3.
- Étape 10:* Poser  $epfd_{\downarrow} = 0$ .
- Étape 11:* Sélectionner tous les satellites non OSG visibles depuis la station terrienne OSG au moyen de l'algorithme du § D6.4.1.
- Étape 12:* Répéter les étapes 13 à 18 pour chaque satellite non OSG visible.
- Étape 13:* Calculer les paramètres nécessaires pour le gabarit de puissance surfacique, soit (lat,  $\alpha$ ,  $\Delta$ long) ou (lat, azimut, élévation) selon le cas, en utilisant la définition des angles définis dans le § D6.4.4 ou D6.4.5.
- Étape 13bis:* Calculer le couple (Azimuth<sub>NGSO</sub>,  $\epsilon_{NGSO}$ ) du satellite non OSG vu depuis l'emplacement de la station terrienne OSG au moyen de la définition des angles figurant au § D6.4.4.
- Étape 14:* En utilisant le gabarit de puissance surfacique pour le satellite non OSG sélectionné, calculer la puissance surfacique  $pdf(\text{lat}, \alpha, \Delta\text{long})$  ou  $pdf(\text{lat}, \text{azimut}, \text{élévation})$  au niveau de la station terrienne OSG en utilisant le gabarit de puissance surfacique du satellite non OSG défini dans le § D5.1.5.
- Étape 15:* Calculer l'angle hors axe  $\varphi$  entre les droites reliant la station terrienne OSG au satellite OSG et au satellite non OSG, respectivement.
- Étape 16:* Calculer  $G_{RX}(\varphi)$  = gain de réception (dB) au niveau de la station terrienne OSG en utilisant le diagramme de gain applicable spécifié dans les algorithmes du § D6.5.
- Étape 17:* Calculer  $epfd_{\downarrow i}$  pour le satellite non OSG en utilisant:
- $$epfd_{\downarrow i} = pdf + G_{RX}(\varphi) - G_{max}$$
- où  $G_{max}$  est le gain maximal de l'antenne de la station terrienne OSG.
- Étape 18:* Stocker les entrées  $epfd_{\downarrow i}$  pour chaque satellite:
- pour lequel  $\alpha \geq \alpha_0[\text{latitude}]$  et  $\epsilon_{NGSO} \geq \epsilon_0[\text{latitude}][\text{Azimuth}_{NGSO}]$  pour ce satellite;
  - ou pour lequel  $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[\text{Latitude}])]$ .
- Étape 19:* Si une fenêtre clôt ce pas de temps, déterminer quels satellites non OSG respectent les contraintes  $\alpha_0$ ,  $\epsilon_0$  pendant toute la durée de la fenêtre.
- Étape 19bis:* Pour chaque satellite qui respecte les contraintes  $\alpha_0$ ,  $\epsilon_0$  pendant toute la durée de la fenêtre, calculer la valeur d' $epfd_{\downarrow [nSat]}$  la plus élevée sur la fenêtre temporelle et trier cette liste de satellites par valeur maximale d' $epfd_{\downarrow [nSat]}$  par satellite.

*Étape 20:* Répéter les étapes 20 et 21 pour chaque pas de temps dans la fenêtre pour les contributions  $epfd_{\downarrow}[nSat]$  des  $MAX\_CO\_FREQ[lat]$  satellites sur cette liste plus les satellites pour lesquels  $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[Latitude])]$ , où  $MAX\_CO\_FREQ[lat]$  désigne le nombre maximum de satellites non OSG opérationnels à la latitude de GSO\_ES considérée, ce qui correspond au nombre maximum de satellites autorisés à émettre à la même fréquence vers la même zone au sol, remplissant les spécifications concernant la zone d'exclusion OSG, l'angle minimum d'élévation et l'angle  $MIN\_ANGLE\_ET\_ES$ , telles que définies pour le système non OSG.

*Note:* Il ne devrait pas y avoir de satellites comptés en double à l'étape 21. En particulier, si un satellite se trouve sur la liste des satellites ayant la valeur  $MAX\_CO\_FREQ[lat]$  la plus élevée et que  $G_{RX}(\varphi) > \min[G_{max} - 30 \text{ dB}, G_{RX}(\alpha_0[Latitude])]$  pour ce satellite, il ne devrait être compté qu'une seule fois, parmi les satellites  $MAX\_CO\_FREQ[lat]$  de l'étape 21.

*Étape 21:* Incrémenter l' $epfd_{\downarrow}$  par la valeur  $epfd_{\downarrow i}$  de façon linéaire.

*Étape 22:* Incrémenter les statistiques de l' $epfd_{\downarrow}$  pour la fenêtre glissante correspondante par  $epfd_{\downarrow}$  pour ce pas de temps par des entrées ( $T_{step}/T_{fine}$ ). Si le dernier pas de temps était un pas de temps grossier et que la fenêtre s'est fermée au cours de ce pas de temps, les statistiques  $epfd_{\downarrow}$  doivent être corrigées de cette partie de  $T_{step}$  qui se trouvait dans la fenêtre, et la partie restante doit être mémorisée pour la fenêtre suivante. Si le temps d'exécution depuis l'heure de début pour cette fenêtre glissante dépasse la durée de l'exécution, n'intégrer dans les statistiques que la partie de la fenêtre temporelle qui se situe à l'intérieur de la durée d'exécution.

*Étape 23:* Produire la fonction de distribution cumulative (CDF)  $epfd_{\downarrow}$  pour toutes les fenêtres glissantes à partir de la fonction de distribution de probabilité (PDF)  $epfd_{\downarrow}$  au moyen de l'algorithme du § D7.1.2.

*Étape 24:* Comparer les statistiques d' $epfd_{\downarrow}$  pour toutes les fenêtres glissantes avec les limites au moyen de l'algorithme du § D7.1.

*Étape 25:* Sortir les résultats dans le format spécifié dans le § D7.3.

### D5.1.5 Calcul du gabarit de puissance surfacique

Le gabarit de puissance surfacique est défini sous forme d'un tableau de valeurs de puissance surfacique pour divers angles et latitudes.

Il convient de noter que la gamme de latitudes doit être la suivante:

Minimum:  $-i$

Maximum:  $+i$

dans laquelle  $i$  est l'inclinaison de l'orbite du satellite non OSG.

En général, les angles (azimut, élévation) ou ( $\alpha$ ,  $\Delta$ long) calculés à chaque incrément de temps seront compris entre deux valeurs dans les tableaux. Dans ce cas, il faut procéder à une interpolation bilinéaire entre les valeurs de puissance surfacique en appliquant les formules suivantes:

$$pfd = (1 - \lambda_x)(1 - \lambda_y)pfd_{11} + \lambda_x(1 - \lambda_y)pfd_{21} + (1 - \lambda_x)\lambda_y pfd_{12} + \lambda_x\lambda_y pfd_{22}$$

où:

$$\lambda_x = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\lambda_y = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

Et ( $x$ ,  $y$ ) sont les deux dimensions du gabarit de puissance surfacique.

Si les angles sont situés en dehors du gabarit de puissance surfacique, le logiciel calcule la valeur de puissance surfacique à partir de l'angle le plus élevé du gabarit (c'est-à-dire au bord du gabarit).

Il convient d'utiliser le gabarit le plus proche en latitude de celui du satellite de référence. La Partie C contient des informations complémentaires sur le format et l'échantillonnage du gabarit de puissance surfacique.

### D5.1.6 Résultats

Les résultats obtenus après application de l'algorithme sont deux tableaux sous le format suivant:

|   |                       |                              |
|---|-----------------------|------------------------------|
| Tableau des valeurs $epfd_{\downarrow}$ | $epfd\_DOWN\_CALC[I]$ | $dB(W/(m^2 \cdot BW_{ref}))$ |
| Tableau des pourcentages                | $PC\_CALC[I]$         | %                            |

dans lequel  $PC\_CALC[I]$  est le pourcentage de temps pendant lequel  $epfd\_DOWN\_CALC[I]$  est dépassé.

### D5.2 Description du logiciel $epfd_{\uparrow}$

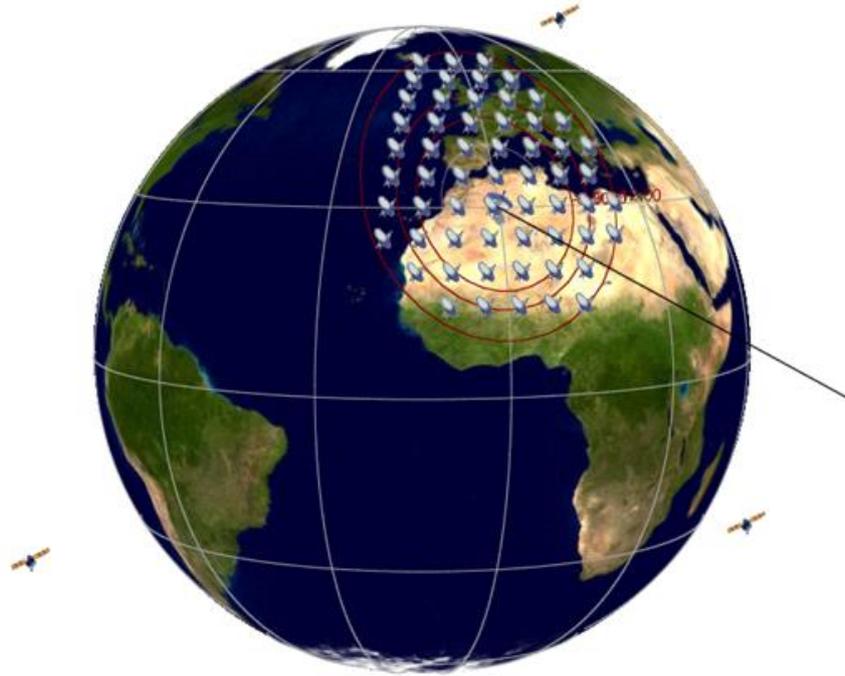
La présente section décrit l'algorithme permettant de calculer l' $epfd_{\uparrow}$  rayonnée par les stations terriennes non OSG sur une liaison montante OSG. Les emplacements des stations terriennes peuvent être définis de deux façons:

- 1) On suppose que sur la Terre, la distribution des stations terriennes non OSG est uniforme. Dans ce cas,  $ES\_ID$  dans le gabarit de p.i.r.e. devrait être mis à -1.
- 2) Les emplacements des stations terriennes spécifiques sont indiqués à l'aide d'un champ des gabarits de p.i.r.e. de station terrienne. Dans ce cas, le champ densité n'est pas utilisé.

Chaque station terrienne pointe vers un satellite non OSG en utilisant des règles de pointage applicables à la constellation considérée, et émet avec une p.i.r.e. définie. À partir de la p.i.r.e. et du diagramme de gain hors axe de chaque station terrienne, il est possible de calculer l' $epfd_{\uparrow}$  au niveau de l'OSG. Ce calcul est répété pour une série de pas de temps jusqu'à ce qu'une distribution de  $epfd_{\uparrow}$  soit produite. La distribution peut alors être comparée avec les limites pour donner une décision oui/non.

La Figure 44 illustre la configuration d'une population de stations terriennes non OSG émettant en direction d'une constellation de satellites non OSG, et un satellite OSG test recevant des émissions en provenance d'une station terrienne OSG.

FIGURE 44  
Exemple de scénario pour l'epfd(liaison montante)



S.1503-41

### D5.2.1 Paramètres de configuration

Cette sous-section spécifie les paramètres nécessaires pour tous les calculs de l'epfd↑ définis dans le RR. Il s'agit de la totalité des données de  $N$  ensembles de limites que l'on peut utiliser dans toutes les exécutions. Le tableau correspondant peut être consulté afin que les valeurs requises puissent être utilisées en fonction de la fréquence du système non OSG.

Pour chaque ensemble de limites, on définit les paramètres suivants tels que spécifiés dans le § D2.1.

| Nom du paramètre                         | Valeur du paramètre | Unités et plages de valeurs                 |
|--|---------------------|---|
| Fréquence                                | FREQ                | MHz   |
| Diagramme de gain OSG                    | FEND_UP             | L'un de ceux indiqués au § D6.5             |
| Gain crête OSG                           | GSO_SAT_PEAKGAIN    | dBi   |
| Ouverture à mi-puissance du faisceau OSG | GSO_SAT_BEAMWIDTH   | degrés                                      |
| Largeur de bande de référence            | RAFBW               | kHz   |
| Nombre de points de mesure de l'epfd↑    | Nepfd_UP            | –   |
| Tableau de valeurs Nepfd_UP epfd↑        | epfd_UP[I]          | dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) |
| Tableau de pourcentages Nepfd_UP         | PC_UP[I]            | %   |

### D5.2.2 Détermination de la configuration dans laquelle l'epfd est maximale

L'emplacement du satellite OSG et du centre du faisceau OSG pour lesquels l'epfd est maximale est défini dans § D3.2.

### D5.2.3 Calcul des pas de temps pour le traitement

Le pas de temps et le nombre de pas de temps sont calculés à l'aide de l'algorithme défini au § D4 dans lequel est également décrite la variante facultative avec deux pas de temps.

### D5.2.4 Données d'entrée

#### D5.2.4.1 Paramètres d'entrée

La présente section définit les paramètres d'entrée pour un scénario particulier d'un système non OSG. Dans ce cas, le mot entrée est un terme générique qui peut inclure des fichiers ou des données fournies par l'utilisateur. Les informations requises concernent:

- le système non OSG;
- le système OSG;
- la configuration de traitement.

#### D5.2.4.2 Paramètres relatifs au système non OSG

Les paramètres suivants, tels que spécifiés dans le § B3.1, sont utilisés:

| Description du paramètre   | Nom du paramètre | Unité  |
|--|------------------|--------|
| Nombre de satellites non OSG   | $N_{sat}$        | –      |
| L'orbite a une trajectoire au sol répétitive obtenue à l'aide de la fonction de maintien en position | Oui ou Non       | –      |
| L'administration fournit une vitesse de précession nodale spécifique                                 | Oui ou Non       | –      |
| Plage de maintien en position pour le nœud ascendant sous forme de la moitié de la plage totale      | $W_{delta}$      | degrés |

Pour chaque satellite, les paramètres suivants spécifiés dans le § B3.2 seront utilisés. Les définitions de ces paramètres sont spécifiées dans le § D6.3.1 pour le début de la simulation.

Il faut noter que dans le tableau ci-dessous, les indices  $[M]$  sont présents pour indiquer qu'il y aura une valeur différente pour chaque satellite, et que la  $n$ ème valeur correspond au  $n$ ème satellite.

| Description du paramètre    | Nom du paramètre | Unité  |
|-----------------------------|------------------|--------|
| Demi-grand axe              | $A[M]$           | Km     |
| Excentricité                | $E[M]$           | –      |
| Inclinaison                 | $I[M]$           | Degrés |
| Longitude du nœud ascendant | $O[M]$           | Degrés |
| Argument du périégée        | $W[M]$           | Degrés |
| Anomalie vraie              | $V[M]$           | Degrés |

Chaque satellite doit avoir un ensemble indépendant de six paramètres orbitaux pour la définition de l'orbite et de la propagation subséquente.

Pour définir les caractéristiques des stations terriennes non OSG, on utilisera les paramètres suivants spécifiés dans le § B4.2.

| Description du paramètre  | Nom du paramètre                  | Unité                    |
|---|-----------------------------------|--------------------------|
| Nombre maximal de satellites non OSG faisant l'objet d'une poursuite qui fonctionnent sur la même fréquence   | MAX_CO_FREQ<br>[Latitude]         | –                        |
| Gabarit de p.i.r.e. de station terrienne  | ES_e.i.r.p. [lat]                 | dB(W/BW <sub>ref</sub> ) |
| Angle minimal d'élévation   | ES_MINELEV[Latitude]<br>[Azimuth] | degrés                   |
| Angle de la zone d'exclusion par latitude, qui peut varier en fonction du satellite   | MIN_EXCLUDE[Latitude]             | degrés                   |
| Densité moyenne de stations terriennes non OSG actives au même moment par km <sup>2</sup>   | ES_DENSITY                        | km <sup>2</sup>          |
| Distance moyenne entre cellules ou centres des empreintes de faisceaux  | ES_DISTANCE                       | Km                       |
| Nombre maximal de stations terriennes non géostationnaires poursuivies sur la même fréquence par un satellite non géostationnaire prises en compte dans le calcul d'epfd(liaison montante). En l'absence de valeur, on suppose que le nombre maximal de stations terriennes poursuivies sur la même fréquence par un satellite non géostationnaire est égal au nombre de stations terriennes créées en vue de l'exécution de l'algorithme epfd↑ | MAX_CO_FREQ_SAT                   | –                        |
| Angle minimal (degrés) au niveau du satellite non OSG entre les droites passant par deux stations terriennes non OGS actives. Ce paramètre est considéré comme nul s'il n'est pas renseigné   | MIN_ANGLE_AT_SAT                  | degrés                   |
| Angle minimal (degrés) à la surface de la Terre entre les droites passant par deux satellites non OSG actifs. Ce paramètre est considéré comme nul s'il n'est pas renseigné. Sans objet si MIN_DURATION[Latitude] a une valeur non nulle  | MIN_ANGLE_AT_ES                   | degrés                   |

À noter que la durée de poursuite minimale n'est pas utilisée dans le cas de l'epfd(liaison montante).

#### D5.2.4.3 Paramètres relatifs au système OSG

Les paramètres du système OSG peuvent être calculés ou l'on peut utiliser les paramètres correspondant au cas le plus défavorable au moyen de l'algorithme du § D3.2 ou des valeurs introduites. Les paramètres requis sont les suivants:

| Description du paramètre           | Nom du paramètre | Unité                  |
|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Longitude du satellite OSG         | GSO__SAT_LONG    | degrés                 |
| Latitude du point de visée OSG     | BS_LAT           | degrés                 |
| Longitude du point de visée OSG    | BS_LONG          | degrés                 |
| Diagramme de gain de référence OSG | GSO_SAT_PATTERN  | L'un de ceux du § D6.5 |

Ces paramètres sont définis dans les § D6.1 et D6.2.

#### D5.2.4.4 Paramètres de traitement

Les paramètres de traitement peuvent être calculés en utilisant l'algorithme du § D4:

| Description du paramètre | Nom du paramètre | Unité |
|--------------------------|------------------|-------|
| Pas de temps             | TSTEP            | s     |
| Nombre de pas de temps   | NSTEPS           | –     |

#### D5.2.5 Distribution de stations terriennes non OSG

Dans le cas où les emplacements des stations terriennes non OSG sont définis par une distribution, on doit utiliser la méthode suivante:

*Étape 1:* Calculer le nombre de stations terriennes non OSG réel en fonctionnement qu'une station terrienne représentative représentera, en utilisant:

$$\text{NUM\_ES} = \text{ES\_DISTANCE} * \text{ES\_DISTANCE} * \text{ES\_DENSITY}$$

*Étape 2:* Calculer la p.i.r.e. à utiliser pour chaque station terrienne non OSG représentative au moyen de la formule:

$$\text{REP\_e.i.r.p.} = \text{ES\_e.i.r.p.} + 10\log_{10}(\text{NUM\_ES})$$

*Étape 3:* Définir la zone de service OSG comme région délimitée par le contour de gain relatif 15 dB.

*Étape 4:* Pour chaque distance ES\_DISTANCE en latitude et distance ES\_DISTANCE en longitude à l'intérieur de la zone de service définie à l'étape 3, placer une station terrienne non OSG représentative émettant avec une p.i.r.e. REP\_e.i.r.p.

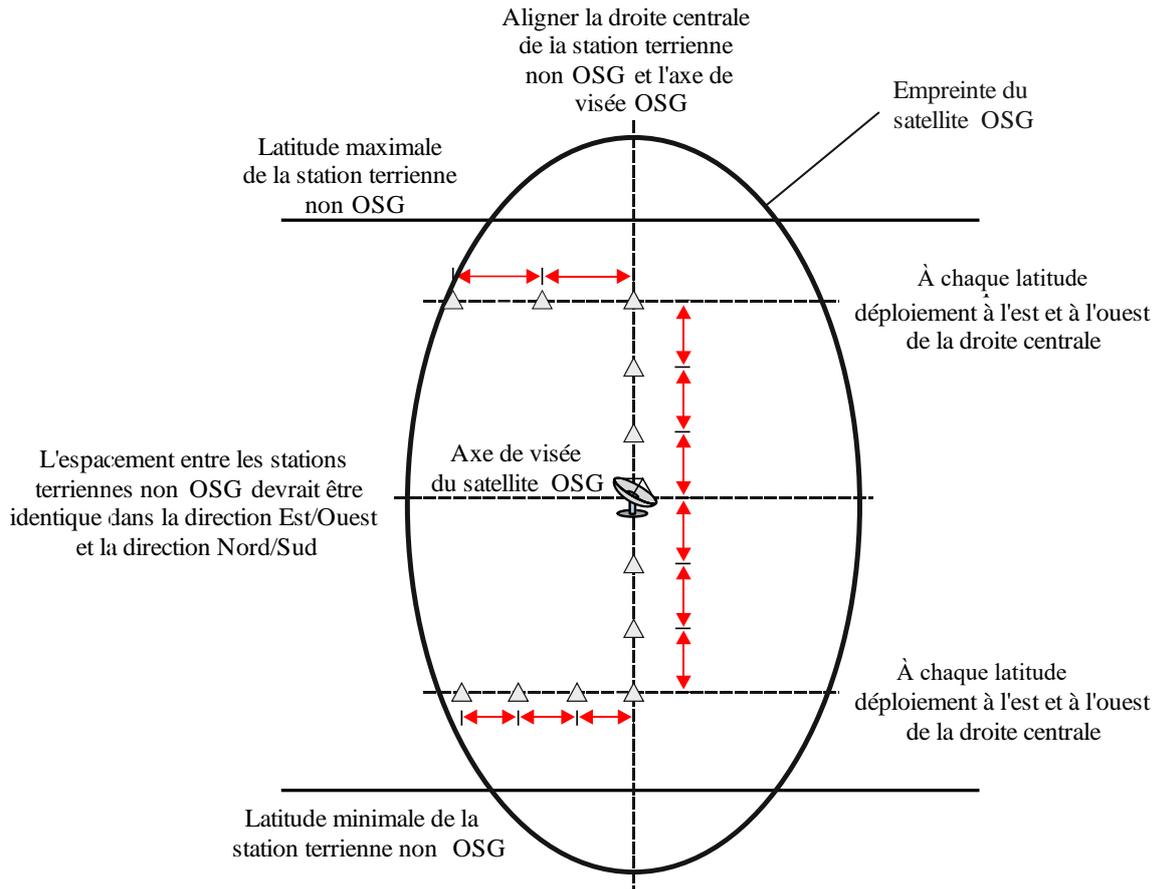
Si la valeur d'ES\_DISTANCE fournie est égale à zéro, alors, à l'étape 1, positionner NUM\_ES = 1 et, à l'étape 4, localiser une unique station terrienne non OSG dans l'axe de visée du satellite GSO.

En règle générale, NUM\_ES est égal à 1 pour les systèmes AMRT et AMRF et, pour les systèmes AMRC, ce paramètre est égal au nombre de stations terriennes fonctionnant toutes à la même fréquence, en même temps et au même emplacement. Le paramètre ES\_DISTANCE concerne la distance moyenne entre faisceaux de même fréquence.

La méthode de déploiement devrait être symétrique en (latitude, longitude) de l'axe de visée du satellite OSG comme illustré à la Fig. 45.

FIGURE 45

Méthode de déploiement pour des stations terriennes non OSG



S.1503-42

Aucune station terrienne non OSG ne devrait être déployée au-dessous de la latitude minimale ou au-dessus de la latitude maximale, ces deux valeurs extrêmes étant calculées selon la méthode décrite au § D3.2.3.

L'espacement en latitude entre les stations terriennes non OSG, exprimé en radians, est calculé à partir de la distance comme suit:

$$\Delta lat = \frac{d}{R_e}$$

L'espacement en longitude entre les stations terriennes non OSG, exprimé en radians, est calculé comme suit:

$$\Delta long = \frac{d}{R_e \cos lat}$$

**D5.2.6 Algorithmes et procédures de calcul**

Pour calculer les valeurs de l'epfd rayonnée par un système non OSG sur un satellite d'un système OSG, on doit utiliser l'algorithme suivant. Cet algorithme peut être utilisé avec plusieurs systèmes OSG en parallèle au besoin:

Étape 1: Entrer les paramètres du système non OSG définis dans le § D5.2.4.2.

Étape 2: Entrer les paramètres du système OSG définis dans le § D5.2.4.3.

- Étape 3:* Si nécessaire, calculer l'emplacement sur l'OSG où l'epfd est maximale au moyen de l'algorithme du § D3.2, ou utiliser les emplacements du satellite OSG et de la station terrienne demandés.
- Étape 4:* Si nécessaire, calculer les emplacements des stations terriennes non OSG en utilisant l'algorithme du § D5.2.5.
- Étape 5:* Initialiser les statistiques en mettant à zéro toutes les valeurs epfd dans les intervalles.
- Étape 6:* Au besoin, calculer le nombre de pas de temps et la taille des pas de temps au moyen de l'algorithme du § D4 et calculer le temps de fin.  
Si un algorithme à pas de temps double est inclus, passer à la sous-étape 6.1, dans les autres cas  $N_{coarse} = 1$  tout le temps.  
*Sous-étape 6.1:* Calculer la taille du pas de temps large  $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$ .
- Étape 7:* Répéter les étapes 8 à 24 pour tous les pas de temps.  
Si un algorithme à pas de temps double est inclus, répéter la sous-étape 7.1 jusqu'à l'étape 22 jusqu'à atteindre le temps de fin.  
*Sous-étape 7.1:* S'il s'agit du premier pas de temps, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .  
*Sous-étape 7.2:* Dans les autres cas, s'il y a moins de  $N_{coarse}$  pas de temps restants, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .  
*Sous-étape 7.3:* Dans les autres cas, si l'un des angles  $\alpha$  correspondant au dernier pas de temps se trouve à l'intérieur de l'angle de la zone d'exclusion  $\phi_{coarse}$ , poser alors  $T_{step} = T_{fine}$ ; dans les autres cas, utiliser  $T_{step} = T_{coarse}$ .
- Étape 8:* Actualiser les vecteurs position de toutes les stations terriennes au moyen de l'algorithme du § D6.1.
- Étape 9:* Actualiser les vecteurs position et vitesse de tous les satellites non OSG en utilisant l'algorithme du § D6.3.2.
- Étape 10:* Actualiser la position du vecteur du satellite OSG en utilisant l'algorithme du § D6.2.
- Étape 11:* Initialiser une liste de liaisons possibles, comprenant des triplets {satellite non OSG, station terrienne non OSG,  $epfd \uparrow$ }, de façon qu'elle soit vide.
- Étape 12:* Pour chaque satellite, mettre à zéro le compteur du nombre de fois où ce satellite est utilisé.
- Étape 13:* Pour chaque station terrienne non OSG, mettre à zéro le compteur du nombre de fois où cette station est utilisée.
- Étape 14:* Répéter les étapes 15 à 24 pour toutes les stations terriennes non OSG.
- Étape 15:* Déterminer si la station terrienne non OSG est visible depuis le satellite OSG au moyen de l'algorithme du § D6.4.1.
- Étape 16:* Si la station terrienne non OSG est visible depuis le satellite OSG, exécuter les étapes 17 à 24.
- Étape 17:* Pour chaque satellite non OSG, répéter les étapes 18 à 24.
- Étape 18:* Si ce satellite non OSG est a) visible depuis la station terrienne non OSG, b) situé au-dessus de l'angle minimal d'élévation  $\varepsilon_0$ [latitude][Azimuth<sub>NGSO</sub>] au niveau de l'arc OSG pour cette latitude et l'azimut du satellite non OSG, et c) situé à l'extérieur de la zone d'exclusion pour cette latitude  $\alpha_0$ [latitude], exécuter les étapes 19 à 24.

Étape 19: Calculer  $ES_{e.i.r.p.}[lat]$  (dB(W/BW<sub>raf</sub>)) de la station terrienne non OSG, à sa latitude donnée en direction du satellite OSG, en utilisant le gabarit de p.i.r.e. de station terrienne non OSG du § C3.

$$REP_{e.i.r.p.} = ES_{e.i.r.p.}[lat, \text{angle hors axe}] + 10\log_{10}(\text{NUM}_{ES})$$

Étape 20: Calculer  $G_{RX}$  = gain relatif à la réception (dB) au niveau du satellite OSG en utilisant les diagrammes de gain applicables spécifiés dans les algorithmes du § D6.5.

Étape 21: Calculer  $D$  = distance (km) entre la station terrienne non OSG et le satellite OSG au moyen de l'algorithme du § D6.4.1.

Étape 22: Calculer le facteur d'étalement  $L_{FS} = 10 \log(4\pi D^2) + 60$ .

Étape 23: Calculer  $epfd\uparrow_i$  pour ce satellite non OSG:

$$epfd\uparrow_i = REP_{e.i.r.p.} - L_{FS} + G_{RX} - G_{max}$$

Étape 24: Ajouter ce triplet {satellite non OSG, station terrienne non OSG,  $epfd\uparrow_i$ } à la liste des liaisons possibles.

Étape 25: Trier la liste de liaisons possibles par  $epfd\uparrow_i$ , dans l'ordre croissant (valeur la plus élevée en haut de liste).

Étape 26: Poser  $epfd\uparrow = 0$ .

Étape 27: Si la liste de liaisons possibles est vide, passer directement à l'étape 35, sinon répéter les étapes 28 à 34 pour la liaison {satellite non OSG, station terrienne non OSG,  $epfd\uparrow_i$ } qui se trouve en haut de liste ( $epfd\uparrow_i$  la plus élevée).

Étape 28: Incrémenter l' $epfd\uparrow$  de l' $epfd\uparrow_i$  de cette liaison.

Étape 29: Incrémenter le compteur d'utilisation du nombre de fois où le satellite non OSG de cette liaison a été utilisé.

Étape 30: Si le compteur de ce satellite non OSG atteint la valeur  $MAX\_CO\_FREQ\_SAT$ , supprimer de la liste des liaisons possibles toutes les liaisons restantes qui utilisent ce satellite non OSG.

Étape 31: Incrémenter le compteur d'utilisation du nombre de fois où la station terrienne non OSG de cette liaison a été utilisée.

Étape 32: Si le compteur de cette station terrienne non OSG atteint la valeur  $MAX\_CO\_FREQ$ , supprimer de la liste des liaisons possibles toutes les liaisons restantes qui utilisent cette station terrienne non OSG.

Étape 33: Si  $MIN\_ANGLE\_AT\_ES$  est non nul, supprimer de la liste toutes les liaisons pour lesquelles l'angle depuis la station terrienne vers le satellite non OSG de cette liaison est inférieur à  $MIN\_ANGLE\_AT\_ES$ .

Étape 34: Si  $MIN\_ANGLE\_AT\_SAT$  est non nul, supprimer de la liste toutes les liaisons pour lesquelles l'angle depuis le satellite vers le satellite non OSG de cette liaison est inférieur à  $MIN\_ANGLE\_AT\_SAT$ .

Étape 35: Incrémenter les statistiques de l' $epfd\uparrow$  de l' $epfd\uparrow$ .

Si un algorithme à deux pas de temps est inclus, passer à l'étape ci-dessous:

Sous-étape 35.1: Incrémenter la statistique d' $epfd\uparrow$  par l' $epfd\uparrow$  pour ce pas de temps par des données  $T_{step}/T_{fine}$ .

Étape 36: Générer la fonction de distribution cumulative de l' $epfd\uparrow$  à partir de la fonction de densité de probabilité de  $epfd\uparrow$  en utilisant l'algorithme du § D7.1.2.

Étape 37: Comparer les statistiques de l' $epfd\uparrow$  avec les limites au moyen de l'algorithme du § D7.1.

Étape 38: Sortir les résultats sous le format spécifié dans le § D7.2.

### D5.2.7 Calcul de la p.i.r.e.

Si le gabarit ES\_e.i.r.p. est de type ES\_e.i.r.p.(lat)( $\theta$ ), rechercher le tableau correspondant à la latitude la plus proche de la station terrienne non OSG considérée, et utiliser ce tableau pour effectuer une interpolation linéaire dans le gabarit ES\_e.i.r.p. en fonction de l'angle hors axe depuis la station terrienne non OSG vers le satellite OSG.

Si le gabarit ES\_e.i.r.p. est de type ES\_e.i.r.p.(lat)(az)(el)(DeltaLongES), rechercher le tableau correspondant à la latitude la plus proche de la station terrienne non OSG considérée. Puis, dans ce tableau, chercher la matrice (az)(el) pour laquelle le décalage angulaire est minimal vis-à-vis des coordonnées (azimut, élévation) du satellite non OSG vu depuis la station terrienne non OSG. Utiliser cette matrice pour effectuer une interpolation linéaire dans le gabarit ES\_e.i.r.p. en fonction de la différence de longitude entre la station terrienne non OSG et le satellite OSG.

### D5.2.8 Résultats

Les résultats de l'application de l'algorithme sont deux tableaux de taille Nepfd sous le format:

|   |                 |   |
|---|-----------------|---|
| Tableau de valeurs Nepfd_UP epfd $\uparrow$ | epfd_UP_CALC[I] | dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) |
| Tableau de pourcentages de Nepfd_UP         | PC_CALC[I]      | %   |

où PC\_CALC[I] est le pourcentage de temps pendant lequel il y a dépassement de epfd\_UP\_CALC[I].

## D5.3 Description du logiciel de calcul de l'epfd<sub>is</sub>

Cette section décrit l'algorithme permettant de calculer l'epfd<sub>is</sub> rayonnée par des stations spatiales non OSG sur une liaison montante OSG. À partir de la p.i.r.e. et de l'angle hors axe de chaque station spatiale, on peut calculer l'epfd<sub>is</sub> au niveau de la station spatiale OSG. Ce calcul est répété pour une série de pas de temps jusqu'à ce qu'une distribution d'epfd<sub>is</sub> soit produite. Cette distribution peut alors être comparée avec les limites pour donner une décision oui/non.

### D5.3.1 Paramètres de configuration

Cette sous-section spécifie les paramètres nécessaires pour tous les calculs de l'epfd<sub>is</sub>. Il s'agit de la totalité des données de *N* ensembles de limites qui l'on peut utiliser dans toutes les exécutions. Le tableau correspondant peut être consulté afin que les valeurs requises puissent être utilisées en fonction de la fréquence du système non OSG.

Pour chaque ensemble de limites, on définit les paramètres suivants tels que spécifiés dans le § D2.1.

| Nom du paramètre                                   | Valeur du paramètre | Unités de paramètre et plages de valeurs    |
|--|---------------------|---|
| Fréquence inférieure de la bande de fréquences     | FREQ                | MHz   |
| Diagramme de gain OSG                              | FEND_IS             | L'un de ceux du § D5.5                      |
| Gain crête OSG                                     | GSO_SAT_PEAKGAIN    | dBi   |
| Ouverture à mi-puissance du faisceau OSG           | GSO_SAT_BEAMWIDTH   | degrés                                      |
| Largeur de bande de référence                      | RIFBW               | kHz   |
| Nombre de points de mesure de l'epfd <sub>is</sub> | Nepfd_IS            | –   |
| Tableau de valeurs Nepfd_IS epfd <sub>is</sub>     | epfd_IS[I]          | dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) |
| Tableau de pourcentages Nepfd_IS                   | PC_IS[I]            | %   |

### D5.3.2 Détermination de la configuration dans laquelle l'epfd est maximale

L'emplacement du satellite OSG et du centre du faisceau OSG pour lesquels l'epfd est maximale est défini dans le § D3.3.

### D5.3.3 Calcul des pas de temps pour le traitement

Un seul incrément de temps et un certain nombre d'incrément de temps sont calculés au moyen de l'algorithme dans le § D4.

### D5.3.4 Données d'entrée

La présente sous-section définit les paramètres d'entrée pour un scénario particulier de systèmes non OSG. Dans ce cas, le terme d'entrée est un terme générique qui désigne des fichiers ou des données introduites par l'utilisateur. Il faut disposer d'informations sur:

- le système non OSG;
- le système OSG;
- la configuration d'exécution.

#### D5.3.4.1 Paramètres relatifs aux systèmes non OSG

Les paramètres suivants, tels que spécifiés dans le § B2.1, sont utilisés:

| Description du paramètre   | Nom du paramètre | Unités de paramètre |
|--|------------------|---------------------|
| Nombre de satellites non OSG   | $N_{sat}$        | –                   |
| L'orbite a une trajectoire au sol répétitive obtenue à l'aide de la fonction de maintien en position | Oui ou Non       | –                   |
| L'administration fournit une vitesse de précession nodale spécifique                                 | Oui ou Non       | –                   |
| Plage de maintien en position pour le nœud ascendant sous forme de la moitié de la plage totale      | $W_{delta}$      | degrés              |

Pour chaque satellite, les paramètres suivants spécifiés dans le § B2.1 seront utilisés, les définitions de ces paramètres étant spécifiées dans le § D6.3.1 au début de la simulation.

Il convient de noter que, dans le tableau ci-dessous, les indices [N] indiquent que la valeur est différente pour chaque satellite, la N<sup>ème</sup> valeur correspondant au N<sup>ème</sup> satellite.

| Description du paramètre    | Nom du paramètre | Unités de paramètre |
|-----------------------------|------------------|---------------------|
| Demi-grand axe              | A[N]             | km                  |
| Excentricité                | E[N]             | –                   |
| Inclinaison                 | I[N]             | degrés              |
| Longitude du nœud ascendant | O[N]             | degrés              |
| Argument du périégée        | W[N]             | degrés              |
| Anomalie vraie              | V[N]             | degrés              |

Chaque satellite doit avoir un jeu indépendant de six paramètres orbitaux pour la définition de l'orbite et la propagation subséquente.

Pour définir des caractéristiques des stations spatiales non OSG, on utilise les paramètres suivants, tels que spécifiés dans le § B4.3:

| Description du paramètre                     | Nom du paramètre            | Unités de paramètre      |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| p.i.r.e. par station spatiale par latitude   | non-GSO_SS_e.i.r.p.[Lat][φ] | dB(W/BW <sub>rif</sub> ) |
| Fréquence minimale d'émission <sup>(1)</sup> | IS_F                        | GHz                      |

<sup>(1)</sup> L'administration notificatrice peut fournir un ensemble de p.i.r.e. de station spatiale et la gamme de fréquences assurée pour laquelle le gabarit est valable.

#### D5.3.4.2 Paramètres relatifs au système OSG

Pour le système OSG, on peut effectuer des calculs ou utiliser les paramètres correspondants au cas le plus défavorable au moyen de l'algorithme du § D5.2 ou des valeurs introduites. Les paramètres requis sont:

| Description du paramètre           | Nom du paramètre | Unités de paramètre    |
|------------------------------------|------------------|------------------------|
| Longitude du satellite OSG         | GSO_SAT_LONG     | degrés                 |
| Latitude du point de visée OSG     | BS_LAT           | degrés                 |
| Longitude du point de visée OSG    | BS_LONG          | degrés                 |
| Diagramme de référence de gain OSG | GSO_SAT_PATTERN  | L'un de ceux du § D5.5 |

Ces paramètres sont définis dans les § D6.1 et D6.2.

#### D5.3.4.3 Paramètres de traitement

Les paramètres suivants d'exécution peuvent être calculés au moyen de l'algorithme du § D4.

| Description du paramètre | Nom du paramètre | Unités de paramètre |
|--------------------------|------------------|---------------------|
| Pas de temps             | TSTEP            | s                   |
| Nombre de pas de temps   | NSTEPS           | –                   |

#### D5.3.5 Algorithmes et procédures de calculs

Pour le calcul de l'incrément de temps double en vue du calcul de l'epfd<sub>is</sub>,  $N_{coarse} = 1$ .

Pour calculer les valeurs de l'epfd<sub>is</sub> rayonnées par un système non OSG sur un satellite d'un système OSG, on doit utiliser l'algorithme suivant. Cet algorithme peut être utilisé sur plusieurs systèmes OSG en parallèle si nécessaire:

*Étape 1:* Entrer les paramètres du système non OSG spécifiés dans le § D5.3.4.2.

*Étape 2:* Entrer les paramètres du système OSG spécifiés dans le § D5.3.4.3.

*Étape 3:* Si nécessaire, calculer l'emplacement sur l'OSG qui correspond au cas le plus défavorable au moyen de l'algorithme du § D3.3.

*Étape 4:* Initialiser les statistiques en mettant à zéro tous les intervalles de valeur epfd<sub>is</sub>.

*Étape 5:* Au besoin, calculer le nombre de pas de temps et la taille du pas de temps au moyen de l'algorithme du § D4. et calculer alors le temps de fin.

Si l'on inclut un algorithme à pas de temps double, utiliser la sous-étape 5.1, sinon  $N_{coarse} = 1$  tout le temps.

*Sous-étape 5.1:* Calculer la taille du pas de temps large  $T_{coarse} = T_{fine} * N_{coarse}$ .

- Étape 6:* Répéter les étapes 7 à 19 pour tous les pas de temps.  
Si l'on inclut un algorithme à pas de temps double, répéter la sous-étape 6.1 à l'étape 17 jusqu'à atteindre le temps de fin.  
*Sous-étape 6.1:* S'il s'agit du premier pas de temps, poser  $T_{step} = T_{fine}$ .  
*Sous-étape 6.2:* Sinon, s'il y a moins de  $N_{coarse}$  pas de temps restants, alors poser  $T_{step} = T_{fine}$ .  
*Sous-étape 6.3:* Sinon, si l'un des angles  $\alpha$  pour le dernier pas de temps se trouve à l'intérieur de l'angle  $\varphi_{coarse}$  de l'angle de la zone d'exclusion, poser alors  $T_{step} = T_{fine}$  sinon poser  $T_{step} = T_{coarse}$ .
- Étape 7:* Actualiser les vecteurs position et vitesse de tous les satellites non OSG au moyen de l'algorithme du § D6.3.
- Étape 8:* Actualiser les vecteurs position du satellite OSG au moyen de l'algorithme du § D6.2.
- Étape 9:* Poser  $epfd_{is} = 0$ .
- Étape 10:* Répéter les étapes 10 à 18 pour toutes les stations spatiales non OSG.
- Étape 11:* Déterminer si cette station spatiale non OSG est visible depuis le satellite OSG au moyen de l'algorithme du § D6.4.1.
- Étape 12:* Si la station spatiale non OSG est visible depuis le satellite OSG, exécuter les étapes 13 à 18.
- Étape 13:* Calculer la p.i.r.e. (dB(W/BW<sub>rif</sub>)) de la station spatiale non OSG rayonnée en direction du satellite OSG au moyen du gabarit du p.i.r.e. du § C3 pour la latitude de la station spatiale non OSG.
- Étape 14:* Calculer le gain relatif  $G_{RX}$  à la réception (dB) du satellite OSG en utilisant les diagrammes de gain applicables spécifiés dans les algorithmes du § D6.5.
- Étape 15:* Calculer la distance  $D$  (km) entre la station spatiale non OSG et le satellite OSG au moyen de l'algorithme du § D6.4.1.
- Étape 16:* Calculer le facteur d'étalement  $L_{FS} = 10 \log(4\pi D^2) + 60$ .
- Étape 17:* Calculer  $epfd_{isi}$  pour ce satellite non OSG:  
$$epfd_{isi} = p.i.r.e. - L_{FS} + G_{RX} - G_{max}$$
- Étape 18:* Incrémenter  $epfd_{is}$  de  $epfd_{isi}$ .
- Étape 19:* Incrémenter les statistiques  $epfd_{is}$  de cette  $epfd_{is}$ .  
Si un algorithme à pas de temps double est inclus, procéder comme ci-dessous:  
*Sous-étape 19.1:* Incrémenter les statistiques  $epfd_{is}$  par la valeur de  $epfd_{is}$  pour ce pas de temps par des entrées  $T_{step}/T_{fine}$ .
- Étape 20:* Produire la fonction de distribution cumulative d' $epfd_{is}$  CDF à partir de la fonction de distribution de probabilité d' $epfd_{is}$  pdf au moyen de l'algorithme du § D7.1.2.
- Étape 21:* Comparer les statistiques d' $epfd_{is}$  avec les limites au moyen de l'algorithme du § D7.1.
- Étape 22:* Sortir les résultats sous le format spécifié dans le § D7.2.

### D5.3.6 Résultats

Les résultats de l'algorithme sont composés par deux tableaux sous le format suivant:

|  |                 |   |
|--|-----------------|---|
| Tableau de valeurs d'epfd <sub>is</sub> Nepfd_IS | epfd_IS_CALC[I] | dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) |
| Tableau de pourcentages Nepfd_IS                 | PC_CALC[I]      | %   |

où PC\_CALC[I] est le pourcentage de temps pendant lequel epfd\_IS\_CALC[I] est dépassé.

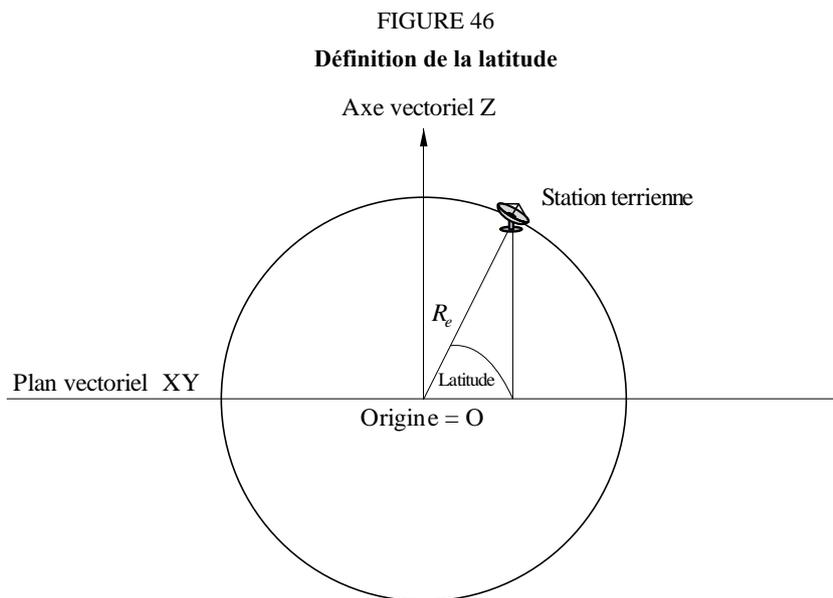
## D6 Géométrie et algorithmes

La présente section décrit la géométrie qui définit les algorithmes centraux utilisés dans le logiciel. Un aspect concerne la conversion en un système de coordonnées générique cartésien vectoriel. L'orientation précise du vecteur  $X$  n'est pas spécifiée dans la présente Recommandation pour permettre d'autres implémentations par les développeurs. L'axe choisi ne doit pas avoir d'influence sur les résultats étant donné que les coordonnées du satellite et de la Terre sont définies relativement à la Terre.

Afin d'aider les développeurs, des exemples de coordonnées sont utilisés pour montrer comment effectuer des conversions vers ou à partir de vecteurs génériques.

### D6.1 Système de coordonnées terriennes

La Figure 46 montre le système de coordonnées de référence pour les stations terriennes.



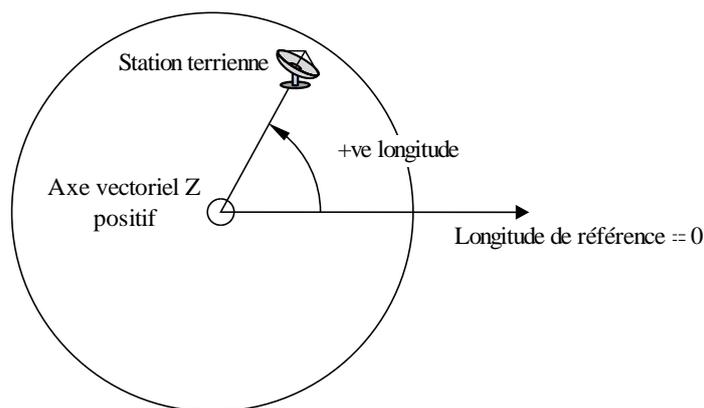
La Terre est définie comme une sphère de rayon  $R_e$  comme spécifié dans le § A2.2. La Terre tourne autour de l'axe  $Z$  à une vitesse angulaire  $\Omega_e$  définie dans le § A2.2. Perpendiculaire à l'axe  $Z$ , et traversant la Terre à l'Équateur, se trouve le plan  $XY$ .

Les stations terriennes sont repérées sur cette sphère par deux angles:

*La latitude*: angle entre la droite allant du centre de la Terre et passant par la station terrienne et le plan  $XY$ .

*La longitude*: angle représenté dans la Fig. 47.

FIGURE 47  
Définition de la longitude



S.1503-44

Les stations terriennes sont supposées occuper des positions (latitude, longitude) constantes dans le temps.

L'orientation dans le plan XY des axes X et Y n'est pas spécifiée dans la présente Recommandation étant donné que les emplacements sont référencés sur la Terre et non pas par rapport à un centre d'inertie particulier, ce qui permet d'avoir différentes implémentations utilisant des points de référence différents sans qu'il y ait d'effet sur les résultats.

Une implémentation possible est celle qui est décrite comme étant un système inertiel géocentrique. Pour cet exemple, la conversion à partir de coordonnées géographiques est effectuée au moyen des formules suivantes:

$$\text{Long} = \arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) \quad \text{si } y \geq 0 \quad (5)$$

$$\text{Long} = -\arccos\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) \quad \text{si } y < 0 \quad (6)$$

$$\text{Lat} = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2+y^2}}\right) \quad (7)$$

Si ce système de coordonnées est utilisé, le passage de coordonnées géographiques à des coordonnées dans un système inertiel géocentrique est effectué au moyen des formules suivantes:

$$x = R_e \cos(\text{lat}) \cos(\text{long}) \quad (8)$$

$$y = R_e \cos(\text{lat}) \sin(\text{long}) \quad (9)$$

$$z = R_e \sin(\text{lat}) \quad (10)$$

dans lesquelles:

(x, y, z): coordonnées dans le système inertiel géocentrique

long: longitude géographique

lat: latitude géographique.

Dans cet exemple de référentiel inertiel géocentrique, l'équation de mouvement d'une masse ponctuelle sur la surface de la Terre sera donnée par:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_e \cos(\text{lat}) \cos(\text{lon} + \Omega_e t) \\ R_e \cos(\text{lat}) \sin(\text{lon} + \Omega_e t) \\ R_e \sin(\text{lat}) \end{bmatrix} \quad (11)$$

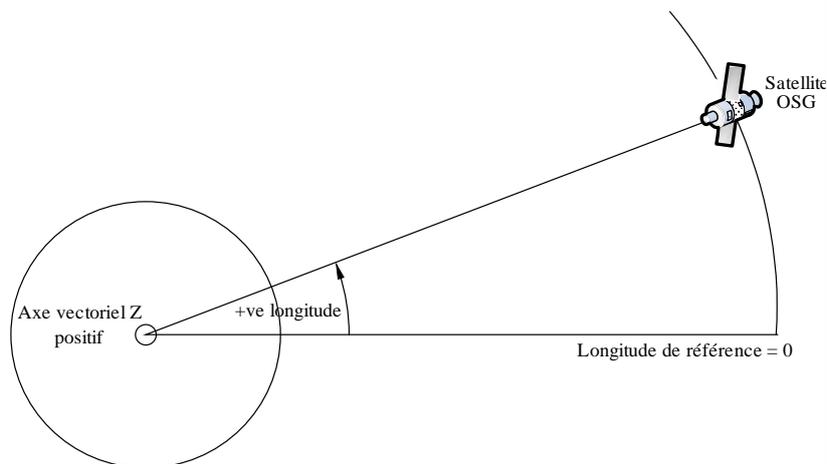
où:

- lat: latitude géographique de la masse ponctuelle à la surface de la Terre  
lon: longitude géographique de la masse ponctuelle à la surface de la Terre  
 $t$ : temps  
 $\Omega_e$ : vitesse de rotation angulaire de la Terre.

## D6.2 Système de coordonnées du satellite OSG

L'arc géostationnaire est un cercle dans le plan XY de rayon  $R_{geo}$  centré au centre de la Terre,  $R_{geo}$  étant spécifié dans le § A2.2. Chaque satellite géostationnaire dispose d'un emplacement sur ce cercle qui est défini par sa longitude comme indiqué dans la Fig. 48.

FIGURE 48  
Définition de la longitude du satellite OSG



S.1503-45

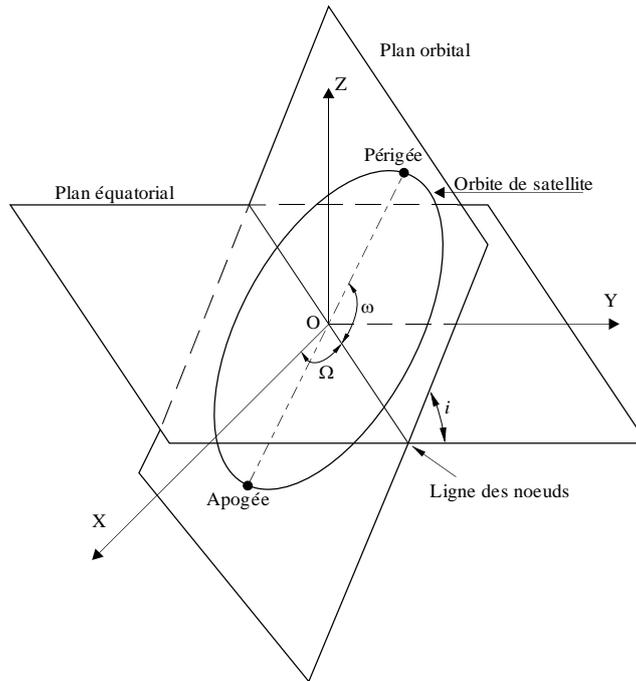
Les satellites géostationnaires sont supposés avoir une longitude fixe dans le temps. Pour la conversion vers ou à partir de vecteurs, on peut utiliser les mêmes algorithmes que dans la section ci-dessous mais en prenant une latitude nulle.

## D6.3 Système de coordonnées des satellites non OSG

### D6.3.1 Paramètres orbitaux des satellites non OSG

La présente section définit les paramètres qui spécifient une orbite pour un satellite non géostationnaire. Les satellites non géostationnaires se déplacent dans un plan comme le montre la Fig. 49.

FIGURE 49  
Angles du plan de l'orbite



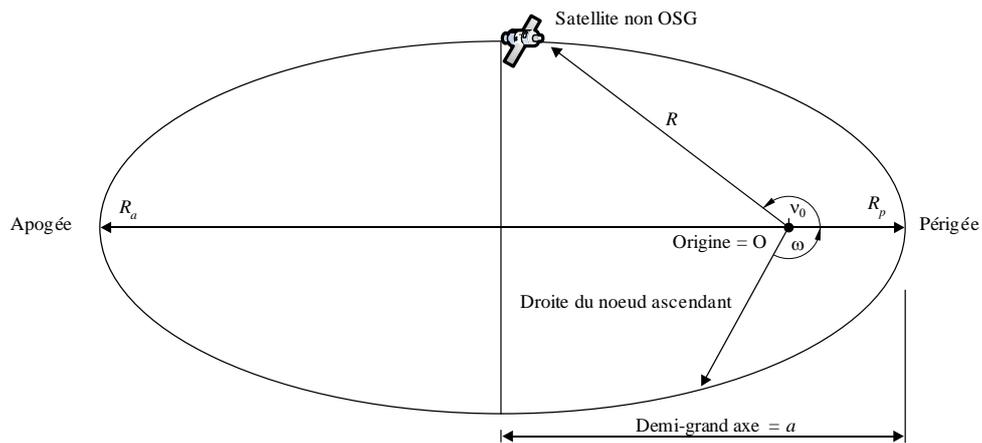
S.1503-46

Le plan de l'orbite est repéré par rapport à la Terre par deux angles:

- Ω: longitude du nœud ascendant: définit le point où le plan orbital ascendant coupe le plan équatorial. Étant donné que l'orbite est fixe dans l'espace inertiel tandis que la Terre tourne, une référence de temps pour laquelle cet angle est valable doit être donnée. Dans ce cas, cette donnée marque le début de la simulation
- i: angle d'inclinaison: cet angle est défini par l'angle entre le plan orbital et le plan équatorial.

L'orbite et la position du satellite non OSG dans l'orbite sont alors définies par d'autres paramètres comme indiqué dans la Fig. 50.

FIGURE 50  
Définition des angles dans le plan du satellite non OSG



S.1503-50

La forme de l'orbite est définie par:

$$a = (R_a + R_p)/2 \quad (12)$$

$$e = (R_a - R_p) / (R_a + R_p) \quad (13)$$

où:

$a$ : demi-grand axe

$e$ : excentricité

$R_a$ : distance entre le centre de la Terre et le satellite situé à l'apogée

$R_p$ : distance entre le centre de la Terre et le satellite situé au périgée.

La position du périgée dans le plan orbital est définie par:

$\omega$ : argument du périgée, angle depuis la droite des nœuds et le périgée.

La position d'un satellite non OSG dans le plan à un instant donné est définie par:

$\nu_0$ : angle entre le périgée et un point spécifié de l'orbite.

Pour les orbites circulaires,  $\omega$  peut être fixé à zéro et  $\nu_0$  est supposé être l'argument de la latitude défini par:

$$\mu_0 = \omega + \nu_0 \quad (14)$$

Les autres termes utiles sont:

$$p = a(1 - e^2) \quad (15)$$

$$M = E - e \sin E \quad (16)$$

$$\tan \frac{\nu}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2} \quad (17)$$

$$R = \frac{p}{1 + e \cos(\nu)} \quad (18)$$

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu} \quad (19)$$

où:

$p$ : paramètre focal

$E$ : anomalie d'excentricité

$M$ : anomalie moyenne

$T$ : période orbitale

$R$ : distance entre le centre de la Terre et le satellite lorsque le satellite se trouve à la position  $\nu$ .

Ces paramètres peuvent être utilisés par l'algorithme pour prédire la position future du satellite non OSG tel que décrit au § D5.

### D6.3.2 Prédicteur de l'orbite de satellite non OSG

Soit les éléments orbitaux de la section ci-dessus, la mécanique orbitale standard peut être utilisée pour prédire la position du satellite à tout instant ultérieur. En outre, il y aura trois facteurs de précession additionnels pour le nœud ascendant et l'argument du périgée tel que décrit ci-dessous.

*Ligne de nœuds*

$$\bar{n} = n_0 \left( 1 + \frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \left( 1 - \frac{3}{2} \sin^2(i) \right) (1 - e^2)^{1/2} \right) \quad (20)$$

où:

$$J_2 = 0,001082636$$

$$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}$$

*Précession de l'orbite dans la longitude nodale ascendante*

La vitesse de dérive séculaire de la longitude nodale ascendante est définie par la formule suivante:

$$\Omega_r = -\frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \bar{n} \cos(i) \quad (21)$$

Il découle de ce qui précède que les orbites polaires ont une vitesse de précession nulle et les orbites équatoriales ont une vitesse de précession maximale. Avec un déplacement de satellite dans le sens direct ( $i < 90^\circ$ ), le nœud ascendant dérive vers l'ouest (vers les  $\Omega$  décroissants) et avec un mouvement du satellite dans le sens inverse ( $i > 90^\circ$ ), il dérive vers l'est (vers les  $\Omega$  croissants).

*Précession de l'argument du périégée*

La vitesse de dérive séculaire de l'argument du périégée est définie par:

$$\omega_r = \frac{3}{2} \frac{J_2 R_E^2}{p^2} \bar{n} \left( 2 - \frac{5}{2} \sin^2(i) \right) \quad (22)$$

La vitesse de précession de l'argument du périégée pour  $i = 0$  et  $i = 180$  est maximale. Pour  $i_1 = 63^\circ 26' 06''$  ou  $i_2 = 116^\circ 33' 54''$ , la vitesse de précession est nulle. Si  $i < i_1$  ou  $i > i_2$ , la précession du périégée a lieu dans la direction de déplacement du satellite et si  $i_1 < i < i_2$ , elle a lieu dans le sens opposé.

*Utilisation des termes de précession*

L'argument du périégée est défini par:

$$\omega = \omega_0 + \omega_r t \quad (23)$$

où:

$\omega_0$ : argument du périégée à l'instant initial

$\omega_r$ : vitesse de précession de l'argument du périégée.

Une valeur courante de la longitude du nœud ascendant est donnée par:

$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_r t \quad (24)$$

où:

$\Omega_0$ : longitude du nœud ascendant à l'instant initial

$\Omega_r$ : vitesse de précession de la longitude du nœud ascendant.

La période orbitale révisée est alors:

$$T_P = \frac{2\pi}{\omega_r + \bar{n}} \quad (25)$$

La conversion en un vecteur générique cartésien dépendra de la direction du vecteur  $X$ . Pour un certain système de coordonnées et pour des orbites circulaires, l'expression donnant le mouvement du satellite dans le référentiel inertiel géocentrique peut être définie comme suit:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(\cos(v + \omega) \cos(\Omega) - \sin(v + \omega) \sin(\Omega) \cos(i)) \\ R(\cos(v + \omega) \sin(\Omega) + \sin(v + \omega) \cos(\Omega) \cos(i)) \\ R \sin(v + \omega) \sin(i) \end{bmatrix} \quad (26)$$

Le vecteur de vitesse peut également être défini comme suit:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_{he}}{R_p} \sin(v) - \frac{h}{R} (\cos(\Omega) \sin(\omega + v) + \sin(\Omega) \cos(\omega + v) \cos(i)) \\ \frac{y_{he}}{R_p} \sin(v) - \frac{h}{R} (\sin(\Omega) \sin(\omega + v) - \cos(\Omega) \cos(\omega + v) \cos(i)) \\ \frac{z_{he}}{R_p} \sin(v) + \frac{h}{R} \sin(i) \cos(\omega + v) \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$h = \sqrt{\mu p}$$

$h$ : moment cinétique spécifique

On peut en outre définir de la façon suivante les composantes des vecteurs de position et de vitesse dans le système de coordonnées centré sur la Terre et fixe par rapport à la Terre (ECF):

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \\ -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) \\ z \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix}_{ECF} = \begin{bmatrix} \dot{x} \cos(\theta) + \dot{y} \sin(\theta) + \Omega_e y_{ECF} \\ -\dot{x} \sin(\theta) + \dot{y} \cos(\theta) - \Omega_e x_{ECF} \\ \dot{z} \end{bmatrix} \quad (29)$$

où  $\Omega_e$  est la vitesse de rotation de la Terre ( $7,2921158553 * 10^{-5} \frac{rad}{sec}$ ) et  $\theta$  l'angle horaire de Greenwich du méridien d'origine de la Terre, c'est-à-dire l'angle entre l'axe  $x$  inertiel et l'axe  $x$  dans le système ECF.

Un mouvement de satellite dans une orbite elliptique est non uniforme et par conséquent l'expression de Kepler et un concept d'anomalie moyenne seront utilisés dans le modèle pour définir l'anomalie réelle en fonction du temps. Comme on ne connaît pas la variation explicite de l'anomalie vraie avec le temps, cette anomalie a été calculée par des méthodes numériques permettant de résoudre les expressions ci-dessous. On a ainsi obtenu l'expression suivante:

$$M = M_0 + \bar{n}t \quad (30)$$

L'équation de Kepler  $M = E - e \sin(E)$  peut être résolue à l'aide de la méthode de Newton-Raphson, afin d'obtenir l'anomalie vraie:

$$E_0 = M_0 = \arccos\left(\frac{e + \cos(v_0)}{1 + \cos(v_0)}\right) \quad (31)$$

$$E_{i+1} = E_i - \frac{E_i - e \sin(E_i) - M}{1 - e \cos(E_i)} \quad (32)$$

### D6.3.3 Conversion en vecteurs génériques cartésiens

La conversion en un vecteur générique cartésien dépendra de la direction du vecteur  $X$ . Une démarche fondée sur le vecteur  $X$  aligné avec la direction dans laquelle la longitude du nœud ascendant est zéro est décrite ci-dessous:

- 1) Pour le temps  $t$  en secondes depuis le début de la simulation, calculer les valeurs des termes de précession ( $\omega$ ,  $\Omega$ ,  $M$ ) requis, au moyen de l'arbre de décision du § D6.3.5.

- 2) À partir de  $M$ , calculer l'anomalie excentrique  $E$  au moyen de la formule (16) et d'une itération.
- 3) À partir de  $E$ , calculer l'anomalie réelle  $v$  au moyen de la formule (17).
- 4) De là, calculer le vecteur rayon  $R$  au moyen de l'équation (18).
- 5) Calculer l'emplacement du satellite dans le plan orbital en coordonnées  $(P, Q)$  tel que défini dans la Fig. 51 ci-dessous au moyen de la formule suivante:

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R \cos(v) \\ R \sin(v) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (33)$$

- 6) Créer la matrice de rotation des coordonnées orbitales du satellite vers les coordonnées inertielles xyz au moyen de la formule suivante:

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \quad (34)$$

où:

$$R_{11} = \cos(\Omega) \cos(\omega) - \sin(\Omega) \sin(\omega) \cos(i) \quad (35)$$

$$R_{12} = -\cos(\Omega) \sin(\omega) - \sin(\Omega) \cos(\omega) \cos(i) \quad (36)$$

$$R_{13} = \sin(\Omega) \sin(i) \quad (37)$$

$$R_{21} = \sin(\Omega) \cos(\omega) + \cos(\Omega) \sin(\omega) \cos(i) \quad (38)$$

$$R_{22} = -\sin(\Omega) \sin(\omega) + \cos(\Omega) \cos(\omega) \cos(i) \quad (39)$$

$$R_{23} = -\cos(\Omega) \sin(i) \quad (40)$$

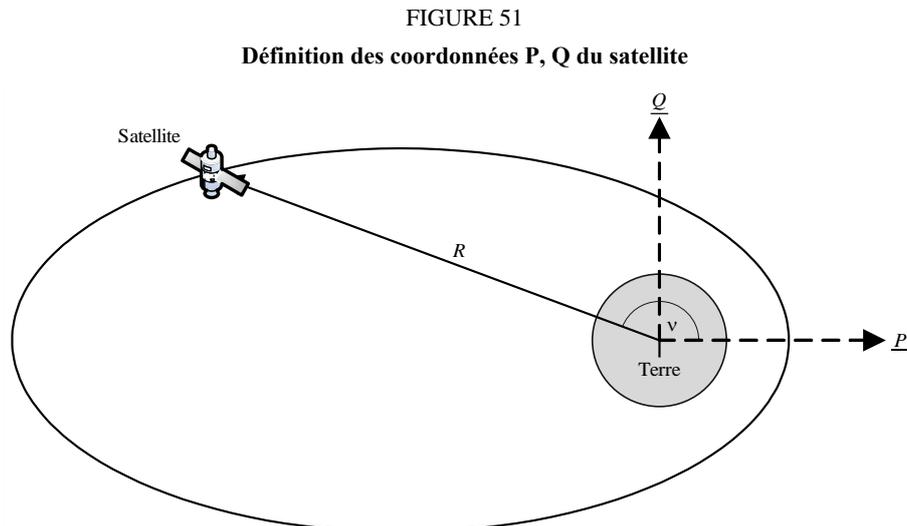
$$R_{31} = \sin(\omega) \sin(i) \quad (41)$$

$$R_{32} = \cos(\omega) \sin(i) \quad (42)$$

$$R_{33} = \cos(i) \quad (43)$$

- 7) De là, calculer l'emplacement du satellite en coordonnées xyz comme suit:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \tilde{R} \begin{pmatrix} p \\ q \\ 0 \end{pmatrix} \quad (44)$$



### D6.3.4 Maintien en position sur une orbite d'un satellite non OSG

Un aspect important du maintien en position concerne la simulation de plusieurs passages du satellite non OSG à travers le faisceau principal d'une station terrienne avec des directions de franchissement légèrement différentes. Étant donné que le changement de position à l'intérieur d'un même plan orbital est sans effet, le principal paramètre qui varie est la longitude du nœud ascendant.

L'approche proposée consiste à donner une fourchette de variation  $\pm W_{\text{delta}}$  de la longitude du nœud ascendant. Au début de la simulation pour toutes les stations, on part de la valeur  $-W_{\text{delta}}$ , puis la longitude augmente jusqu'à 0 (au milieu du traitement) et ensuite augmente jusqu'à  $\pm W_{\text{delta}}$ .

Cette opération peut être réalisée en faisant tourner la position de la station et les vecteurs vitesse autour de l'axe Z de l'angle requis tel que spécifié dans le § D6.3.4.

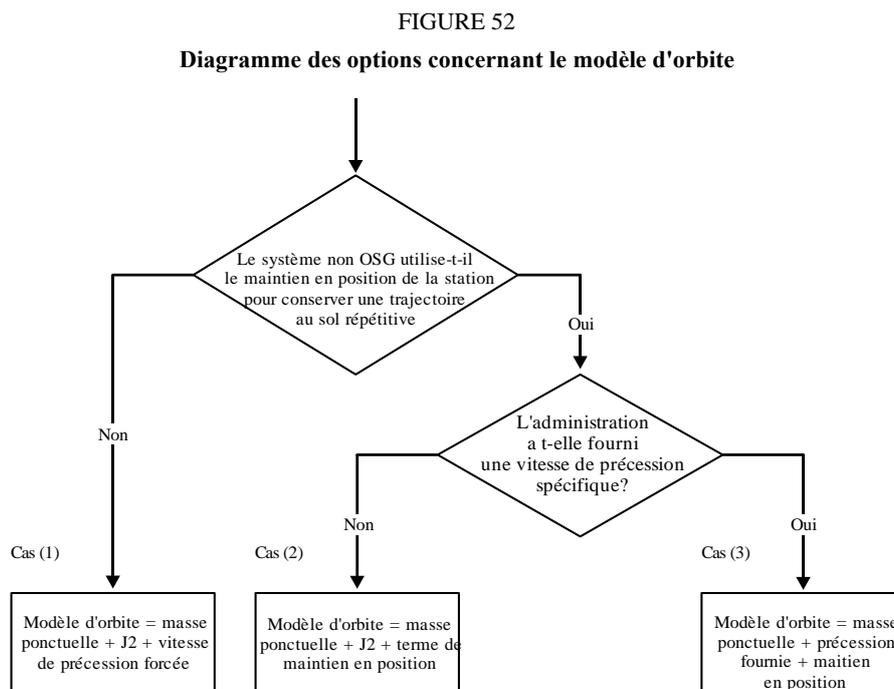
### D6.3.5 Précession orbitale forcée

L'algorithme standard de prédiction orbital est basé sur une Terre ayant une masse ponctuelle à laquelle s'ajoutent des facteurs de correction pour des perturbations  $J_2$ , sauf dans les deux cas impératifs suivants:

- l'administration fournit la valeur détaillée de la vitesse de précession orbitale relativement à une Terre de masse ponctuelle pour garantir une trajectoire au sol répétitive;
- il s'agit d'orbites non répétitives où une vitesse de précession artificielle est utilisée pour garantir l'espacement requis entre deux passages équatoriaux.

### D6.3.6 Combinaisons des modèles d'orbite

Les diverses options concernant le modèle d'orbite peuvent être combinées de trois manières comme indiqué dans la Fig. 52:



S.1503-49

Il est à noter que la constellation en orbite équatoriale  $i = 0$  est un cas particulier dans la mesure où il n'y a pas de maintien en position de la station, tandis que la trajectoire au sol de chaque satellite se répète après une orbite.

Ce cas devrait donc être traité comme le Cas (1) mais avec une précession forcée mise à zéro, comme décrit au § D4.

Les trois cas voient leurs angles orbitaux principaux en radians modifiés comme suit:

**Cas 1**

$$\omega(t) = w_0 + \omega_r t \quad (45)$$

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \Omega_r t + \frac{\pi}{180} D_{artificial} t \quad (46)$$

$$M(t) = M_0 + \bar{n} t \quad (47)$$

**Cas 2**

$$\omega(t) = w_0 + \omega_r t \quad (48)$$

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \Omega_r t + \frac{\pi}{180} \cdot W_{delta} \left( \frac{2t}{T_{run}} - 1 \right) \quad (49)$$

$$M(t) = M_0 + \bar{n} t \quad (50)$$

**Cas 3**

$$\omega(t) = w_0 \quad (51)$$

$$\Omega(t) = \Omega_0 + \frac{\pi}{180} D_{admin} t + \frac{\pi}{180} \cdot W_{delta} \left( \frac{2t}{T_{run}} - 1 \right) \quad (52)$$

$$M(t) = M_0 + n_0 t \quad (53)$$

où:

- $\Omega_r$  = précession  $J_2$  de la longitude du nœud ascendant en radians/seconde
- $\omega_r$  = précession  $J_2$  de l'argument du périégée en radians/seconde
- $\bar{n}$  = mouvement d'orbite y compris le terme  $J_2$  en radians/seconde
- $n_0$  = mouvement d'orbite pour la masse ponctuelle en radians/seconde
- $D_{artificial}$  = précession artificielle en degrés/seconde
- $D_{admin}$  = précession fournie par l'administration en degrés/seconde
- $W_{delta}$  = plage de maintien en position de la station en degrés
- $t$  = temps de simulation en secondes
- $T_{run}$  = temps total d'exécution de la simulation en secondes

**D6.3.7 Établissement des paramètres orbitaux à partir des données de la base SRS**

Les paramètres orbitaux suivants sont donnés dans la base de données SRS/IFIC.

Tableau *orbite*:

- Altitude de l'apogée (km) =  $h_a$
- Altitude du périégée (km) =  $h_p$
- Angle d'inclinaison (degrés) = INC
- Ascension droite (degrés) = RA
- Longitude du nœud ascendant (degrés) = LAN
- Argument du périégée (degrés) = AP.

Tableau *phase*:

- Angle de phase (degrés) = PA.

Pour la plupart de ces champs, il est possible de mapper presque directement les paramètres orbitaux requis, par exemple:

$$a = R_e + \frac{h_a + h_p}{2}$$

$$e = \frac{h_a - h_p}{2a}$$

$$i = \text{INC}$$

$$\Omega = \text{LAN}$$

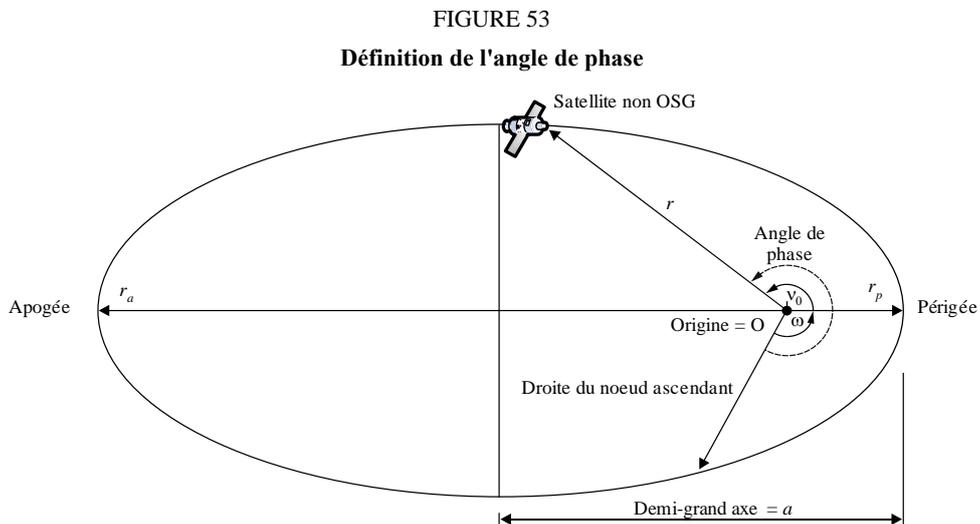
$$\omega = \text{AP}$$

Il convient de noter que cet algorithme utilise la définition du nœud ascendant basée sur la longitude et non l'ascension droite pour faire en sorte que l'orbite soit bien référencée par rapport à la longitude de la station terrienne.

Le dernier champ à définir est l'anomalie vraie  $v$ , qui est calculée à partir de l'angle de phase. Cet angle est défini dans l'Appendice 4 du RR comme suit:

*A.4.b.5.b: L'angle de phase initial ( $\omega_i$ ) du  $i$ ème satellite dans son plan orbital à l'instant de référence  $t = 0$ , mesuré à partir du point du nœud ascendant ( $0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$ )*

L'angle de phase est illustré à la Fig. 53:



S.1503-50

L'anomalie vraie est donc calculée à partir de l'angle de phase comme suit:

$$v_0 = PA - \omega$$

ou:

$$PA = \omega + v_0 = \mu_0$$

## D6.4 Géométrie

### D6.4.1 Distance entre les deux stations

Étant donné les vecteurs de position des deux stations sous la forme  $(x, y, z)$ , la distance  $D$  entre ces deux stations est calculée comme suit:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2}$$

**D6.4.2 Distance jusqu'à l'horizon de la Terre**

La distance jusqu'à l'horizon  $D_h$  pour une station avec un vecteur de position géocentrique de magnitude  $R$  est calculée comme suit:

$$D_h = \sqrt{R^2 - R_e^2}$$

**D6.4.3 Vérification de la visibilité du satellite**

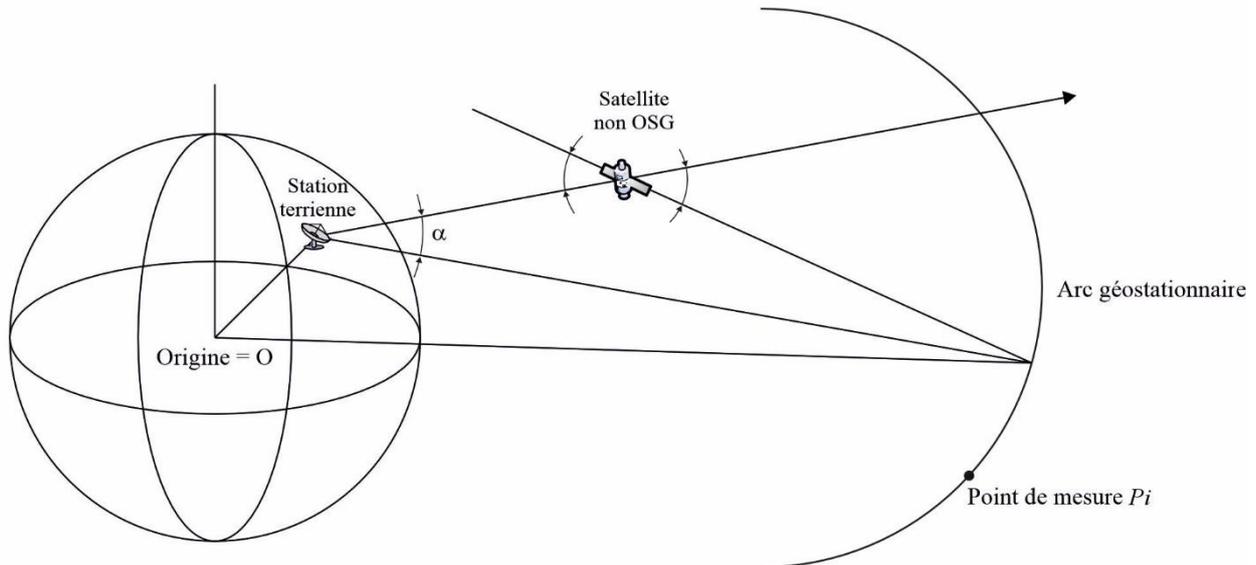
Deux stations, qu'il s'agisse de stations terriennes ou de satellites, sont visibles si la distance directe entre elles est inférieure à la somme des distances par rapport à l'horizon de chaque station, en utilisant le modèle de Terre sphérique décrit dans le § D6.1.

**D6.4.4 Angle avec l'arc OSG et  $\Delta$ Longitude**

**D6.4.4.1 Définition**

La Figure 54 montre la définition de l'angle  $\alpha$ .

FIGURE 54  
Définition de l'angle  $\alpha$



S.1503-54

La Figure montre une station terrienne d'essai et un satellite non OSG.

Pour chaque point de mesure  $P_i$  sur l'arc OSG, il y a une droite qui part de la station terrienne et passe par ce point. Il y a alors un angle  $\alpha_i$  entre cette droite et une droite partant de la station terrienne et passant par le satellite non OSG.

L'angle  $\alpha$  est l'angle minimum de tous les points de mesure pour lesquels la droite ne coupe pas la Terre, c'est-à-dire:

$$\alpha = \min (\alpha_i)$$

Le signe de  $\alpha$  varie selon que la droite depuis la station terrienne jusqu'au satellite non OSG coupe ou non le plan XY à une distance inférieure ou supérieure au rayon OSG:

Étant donné:

Vecteur de position de la station terrienne:  $\underline{R}_{ES}$

Vecteur de position du satellite non OSG:  $\underline{R}_{NS}$

Tracer la droite:

$$\underline{R} = \underline{R}_{ES} + \lambda \underline{R}_{EN}$$

où:

$$\underline{R}_{EN} = \underline{R}_{NS} - \underline{R}_{ES}$$

Cette droite coupe le plan XY lorsque:

$$R(z) = 0$$

C'est-à-dire lorsque:

$$\lambda_{z=0} = \frac{-R_{ES}(z)}{R_{EN}(z)}$$

Par conséquent:

$$\underline{R}_{z=0} = \underline{R}_{ES} + \lambda_{z=0} \underline{R}_{EN}$$

Le signe de  $\alpha$  est alors déterminé comme suit:

Si  $\lambda_{z=0} < 0$  alors  $R_{z=0} = \text{Infini}$

Dans le cas où la station terrienne est dans l'hémisphère nord:

Si  $R_{z=0} < R_{geo}$  alors  $\alpha$  est positif

Si  $R_{z=0} = R_{geo}$  alors  $\alpha$  est nul

Si  $R_{z=0} > R_{geo}$  ou si  $\lambda_{z=0} \leq 0$  alors  $\alpha$  est négatif.

Dans le cas où la station terrienne est dans l'hémisphère sud:

Si  $R_{z=0} > R_{geo}$  alors  $\alpha$  est positif

Si  $R_{z=0} = R_{geo}$  alors  $\alpha$  est nul

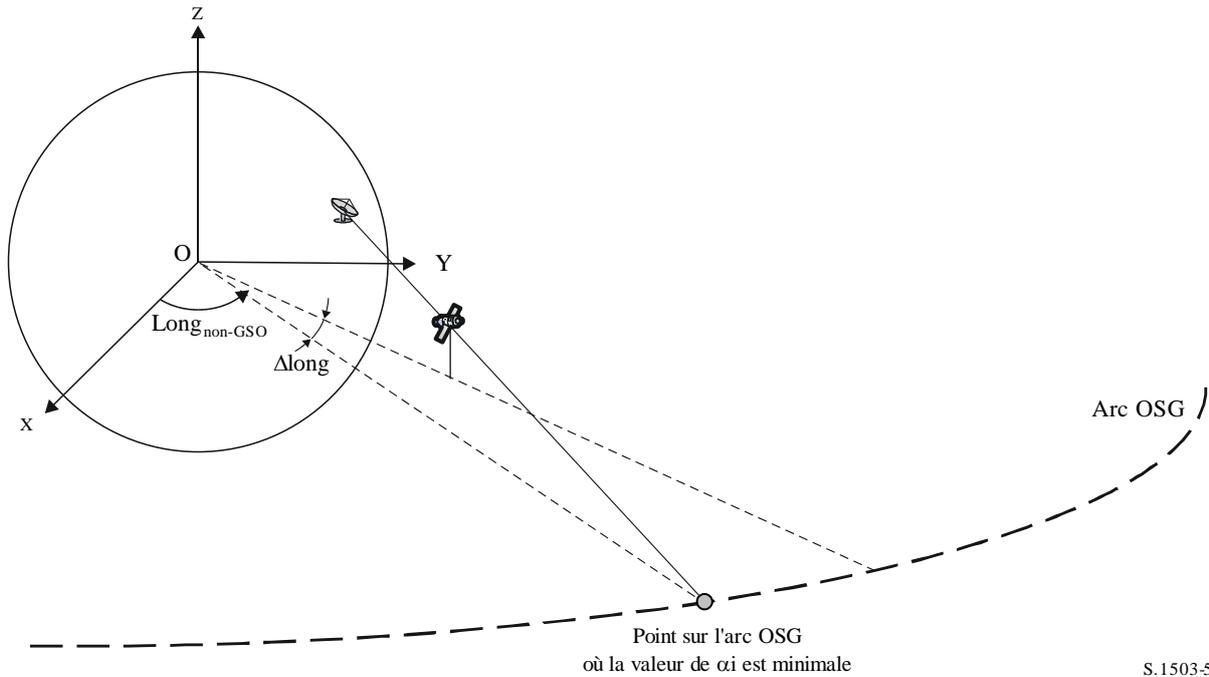
Si  $R_{z=0} < R_{geo}$  ou si  $\lambda_{z=0} \geq 0$  alors  $\alpha$  est négatif.

Dans le cas où la station terrienne est située sur l'équateur:

$\alpha$  est de signe opposé à  $R_{EN}(z)$

À partir du point de mesure identifié pour obtenir l'angle  $\alpha$ , on calcule  $\Delta$ longitude entre le point à la verticale du satellite non OSG et le point sur l'arc OSG auquel la valeur de l'angle  $\alpha$  est minimale, comme illustré à la Fig. 55:

FIGURE 55  
Définition de  $\Delta$ Longitude



Par conséquent:

$$\Delta\text{Long} = \text{LongAlpha} - \text{LongNGSO}$$

Pour l'itération de  $\alpha$ , il convient d'utiliser des points de mesure qui sont conformes aux prescriptions énoncées au § D1.4.

S'il y a deux points sur l'arc OSG qui donnent le même  $\alpha$  (peut-être les deux points en limite de visibilité), il convient de choisir celui dont le  $\Delta\text{Long}$  absolu est minimal. Si les deux ont le même  $\Delta\text{Long}$  mais avec des signes opposés, il convient de choisir le point dont le  $\Delta\text{Long}$  est positif.

#### D6.4.4.2 Intervalle de recherche d'Alpha

Il convient de noter que l'arc OSG sera visible au non-GSO à une altitude de  $h_{nGSO}$  et une latitude de  $lat_{nGSO}$  si la différence de longitude est inférieure à:

$$\cos \Delta\text{long} = \frac{\cos x}{\cos lat_{nGSO}}$$

où:

$$x = x_1 + x_2$$

et:

$$\cos x_1 = \frac{R_e}{R_{gso}}$$

$$\cos x_2 = \frac{R_e}{R_e + h_{nGSO}}$$

L'intervalle de l'arc OSG qui sera visible par une station terrienne peut être calculé de façon analogue en posant  $x_2 = 0$ .

**D6.4.4.3 Signe d'Alpha**

Les Figures 56 et 57 ci-dessous sont destinées à éclaircir la question du signe de  $\alpha$  du point de vue d'un satellite non OSG ou d'une station terrienne non OSG dans les hémisphères nord et sud.

Lorsque le satellite non OSG se trouve dans l'hémisphère nord:

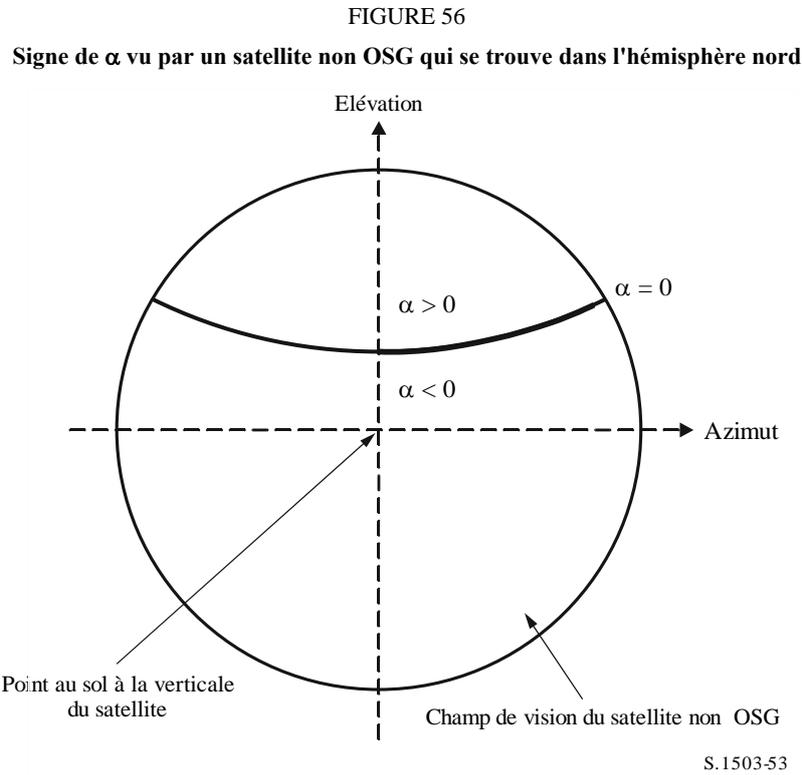
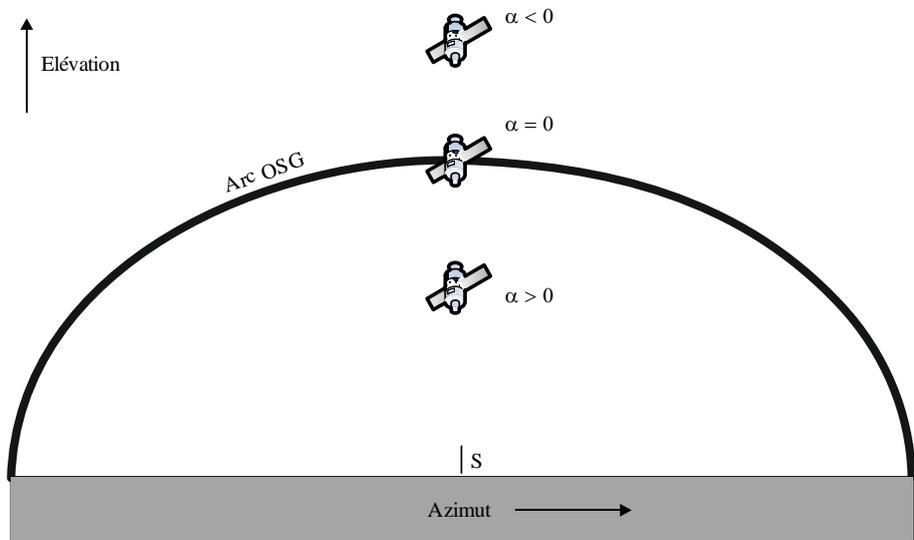


FIGURE 57  
Signe de  $\alpha$  vu par une station terrienne non OSG qui se trouve dans l'hémisphère nord et regarde vers le sud



La configuration géométrique correspondant au cas où le satellite non OSG se trouve dans l'hémisphère sud est présentée dans les Figs 58 et 59 ci-dessous:

FIGURE 58

Signe de  $\alpha$  vu d'un satellite non OSG qui se trouve dans l'hémisphère sud

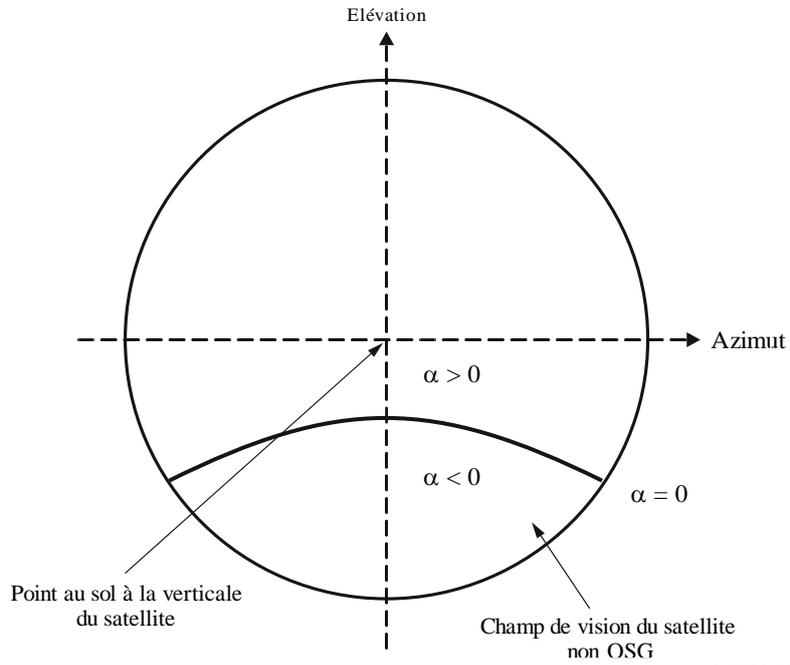
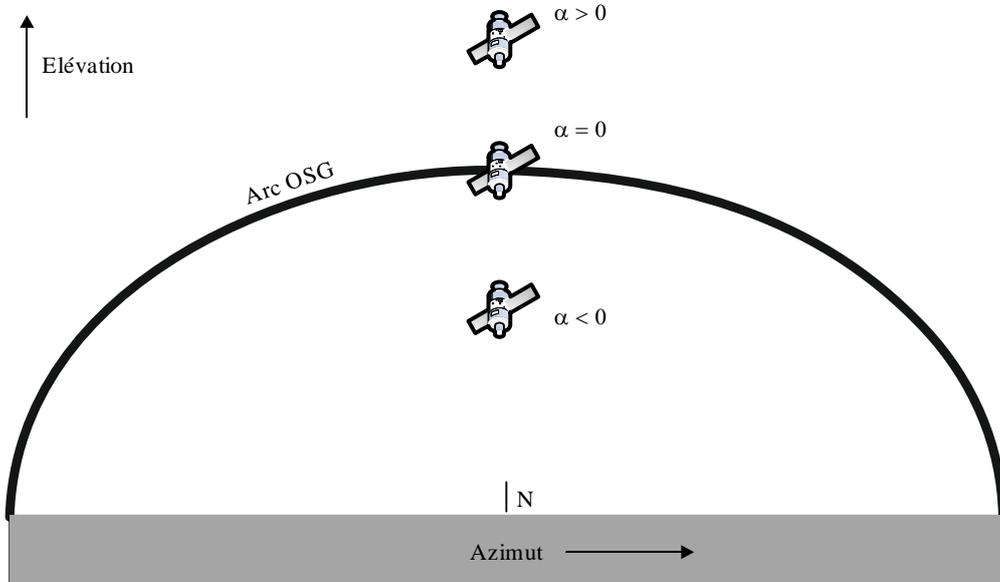


FIGURE 59

Signe de  $\alpha$  vu d'une station terrienne non OSG qui se trouve dans l'hémisphère sud et regarde vers le nord



#### D6.4.4.4 Méthode analytique permettant de calculer $\alpha$ et $\beta$

Cette section décrit une méthode analytique qui permet de calculer l'angle  $\alpha$  ainsi que l'angle associé  $\beta$ .

##### Calcul analytique de $\alpha$

La méthode analytique de calcul de  $\alpha$  démarre avec les deux paramètres d'entrée suivants:

$\mathbf{P}$  = Vecteur position de la station terrienne GSO, qui présente, en règle générale, une amplitude = rayon de la Terre =  $R_e$

$\mathbf{N}$  = Vecteur position du satellite non OSG

Ces paramètres sont définis comme suit:

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix}$$

On pose ensuite:

$\mathbf{G}$  = Vecteur position d'un point situé sur l'arc OSG et spécifié par l'angle  $\theta$  et le rayon de l'orbite géostationnaire  $R_{geo}$ :

$$\mathbf{G} = \begin{pmatrix} R_{geo} \cos \theta \\ R_{geo} \sin \theta \\ 0 \end{pmatrix}$$

Alors,  $\alpha$  est le minimum, sur tous les angles  $\theta$ , de l'angle formé par les droites  $\mathbf{PN}$  et  $\mathbf{PG}$ , où:

$$\mathbf{PN} = \begin{pmatrix} x_n - x_p \\ y_n - y_p \\ z_n - z_p \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{PG} = \begin{pmatrix} R_{geo} \cos \theta - x_p \\ R_{geo} \sin \theta - y_p \\ -z_p \end{pmatrix}$$

Le calcul s'effectue comme suit:

$$\cos \alpha = \frac{\mathbf{PN} \cdot \mathbf{PG}}{|\mathbf{PN}| |\mathbf{PG}|}$$

L'angle  $\alpha$  est minimal sur tous les angles  $\theta$  lorsque:

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = 0$$

Soit:

$$\frac{d}{d\theta} \left[ \frac{\mathbf{PN} \cdot \mathbf{PG}}{|\mathbf{PN}| |\mathbf{PG}|} \right] = 0$$

Que l'on peut écrire:

$$\frac{d}{d\theta} \left[ \frac{f}{g} \right] = 0$$

Alors  $f$  peut s'écrire:

$$f = A + B \cos \theta + C \sin \theta$$

où:

$$A = -[(x_n - x_p)x_p + (y_n - y_p)y_p + (z_n - z_p)z_p]$$

$$B = (x_n - x_p)R_{geo}$$

$$C = (y_n - y_p)R_{geo}$$

Et  $g$  peut s'écrire:

$$g = \sqrt{E + F \cos \theta + G \sin \theta}$$

où:

$$E = R_{geo}^2 + R_e^2$$

$$F = -2x_p R_{geo}$$

$$G = -2y_p R_{geo}$$

À noter que  $D =$  longueur de  $PN$  est indépendant de  $\theta$  et est donc une constante qu'il est inutile de considérer plus avant.

En utilisant:

$$g = \sqrt{g_r}$$

et en notant que:

$$\frac{d}{d\theta} \left[ \frac{f}{g} \right] = 0$$

lorsque:

$$\frac{d}{d\theta} \left[ \left( \frac{f}{g} \right)^2 \right] = 0$$

par exemple lorsque:

$$\frac{d}{d\theta} \left[ \frac{f^2}{g_r} \right] = 0$$

En utilisant  $f'$  pour représenter  $f$  dérivé par  $\theta$ , cette formule peut être déployée en utilisant des méthodes standard, ce qui donne:

$$\frac{2ff'g_r - g_r'f^2}{g_r^2} = 0$$

Et en simplifiant:

$$2f'g_r = g_r'f$$

avec:

$$x = \sin \theta$$

À noter qu'il y a une autre solution qui utilise  $\cos \theta$  à la place de  $\sin \theta$ .

En simplifiant avec un nouveau jeu de paramètres  $\{a, b, c, d, e\}$ , on obtient:

$$[a + bx]^2(1 - x^2) = [c + dx + ex^2]^2$$

où:

$$\begin{aligned} a &= AG - 2CE \\ b &= BF - CG \\ c &= 2CF - BG \\ d &= AF - 2BE \\ e &= -BG - CF \end{aligned}$$

Cette formule peut être développée et réarrangée pour donner:

$$a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 = 0$$

où:

$$\begin{aligned} a_4 &= e^2 + b^2 \\ a_3 &= 2de + 2ab \\ a_2 &= d^2 + 2ce + a^2 - b^2 \\ a_1 &= 2cd - 2ab \\ a_0 &= c^2 - a^2 \end{aligned}$$

Cette équation du quatrième degré peut être résolue au moyen de diverses techniques, parmi lesquelles la méthode de Newton-Raphson<sup>1</sup>. Celle-ci vise à résoudre une fonction  $f$  d'une variable  $x$  par une approche itérative, en partant d'une valeur initiale donnée et de  $f'$ , la dérivée de  $f$ , au moyen de la relation suivante:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

où:

$$\begin{aligned} x &= \sin \theta \\ f(x) &= a_4x^4 + a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \\ f'(x) &= 4a_4x^3 + 3a_3x^2 + 2a_2x + a_1 \end{aligned}$$

On estime que la méthode de Newton-Raphson a convergé lorsque la différence absolue entre  $x_n$  et  $x_{n+1}$  est inférieure à  $1e-6$ .

Les valeurs  $x = +1$  et  $x = -1$  peuvent être utilisées en tant que valeurs de départ, ce qui conduit à deux solutions correspondant aux deux cas de figure de l'aller et du retour depuis la position  $P$  de la station terrienne OSG jusqu'au satellite non OSG  $N$ .

Cette méthode analytique ne prend pas en compte l'étendue de la visibilité de l'arc OSG, tel qu'il est vu par la station terrienne OSG. Il est donc nécessaire de déterminer l'étendue maximale de l'arc OSG visible, à l'aide de la relation suivante:

$$\cos \theta_{\max} = \frac{R_e}{R_{geo} \cos Lat_{ES}}$$

Les points sur l'arc OSG qui correspondent à  $\pm\theta_{\max}$  peuvent être considérés comme des solutions possibles supplémentaires. La solution qu'il convient d'utiliser est celle qui se trouve dans la plage allant de  $-\theta_{\max}$  à  $\theta_{\max}$  et qui produit le plus petit angle alpha.

---

<sup>1</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode\\_de\\_Newton](https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_de_Newton).

Si ces méthodes échouent à fournir des solutions adéquates à l'équation du quatrième ordre, mais que l'approche analytique est privilégiée, on pourra se rabattre sur la méthode itérative.

### Calcul analytique de $\beta$

L'angle  $\beta$  est défini de façon analogue à l'angle  $\alpha$  si ce n'est qu'il est minimisé sur tous les emplacements possibles du satellite non OSG de vecteur rayon  $R_n$ , de latitude =  $lat$  et de longitude inconnue, pour un emplacement donné du satellite OSG.

La méthode analytique permettant de calculer  $\beta$  commence avec les deux paramètres d'entrée suivants:

$P$  = Vecteur position de la station terrienne OSG, le plus souvent d'amplitude  $R_p$  = rayon de la Terre =  $R_e$

$G$  = Vecteur position du satellite OSG d'amplitude  $R_g$

Ces deux vecteurs sont définis comme suit:

$$P = \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix}$$

$$G = \begin{pmatrix} x_g \\ y_g \\ 0 \end{pmatrix}$$

On pose ensuite:

$N$  = Vecteur position du satellite non OSG de latitude =  $lat$ , d'angle  $\theta$  et de rayon de l'orbite géostationnaire  $R_n$ :

$$N = \begin{pmatrix} R_n \cos lat \cos \theta \\ R_n \cos lat \sin \theta \\ R_n \sin lat \end{pmatrix}$$

Alors  $\beta$  est le minimum, sur tous les angles  $\theta$ , de l'angle formé par les droites  $PN$  et  $PG$ , avec:

$$PN = \begin{pmatrix} R_n \cos lat \cos \theta - x_p \\ R_n \cos lat \sin \theta - y_p \\ R_n \sin lat - z_p \end{pmatrix}$$

$$PG = \begin{pmatrix} x_g - x_p \\ y_g - y_p \\ -z_p \end{pmatrix}$$

Le calcul peut être effectué en suivant une démarche analogue à celle utilisée plus haut, avec les fonctions  $f$  et  $g_r$ :

$$f = A + B \cos \theta + C \sin \theta$$

$$g_r = E + F \cos \theta + G \sin \theta$$

où:

$$A = R_p^2 - (x_g x_p + y_g y_p + z_p R_n \sin lat)$$

$$B = (x_g - x_p) R_n \cos lat$$

$$C = (y_g - y_p) R_n \cos lat$$

et:

$$E = R_N^2 + R_P^2 - 2z_P R_N \sin lat$$

$$F = -2x_P R_N \cos lat$$

$$G = -2y_P R_N \cos lat$$

À noter que  $D =$  amplitude de  $PG$  est indépendant de  $\theta$  et donc une constante qu'il est inutile de considérer plus avant.

Une fois le jeu de paramètres  $\{A, B, C, E, F, G\}$  défini, une méthode analogue à celle utilisée plus haut pour  $\alpha$  peut être utilisée pour résoudre  $\theta$ . Il peut y avoir des configurations pour lesquelles il n'est pas nécessaire de vérifier la visibilité, notamment l'utilisation de  $\theta$  dans l'algorithme relatif à la configuration géométrique du cas le plus défavorable.

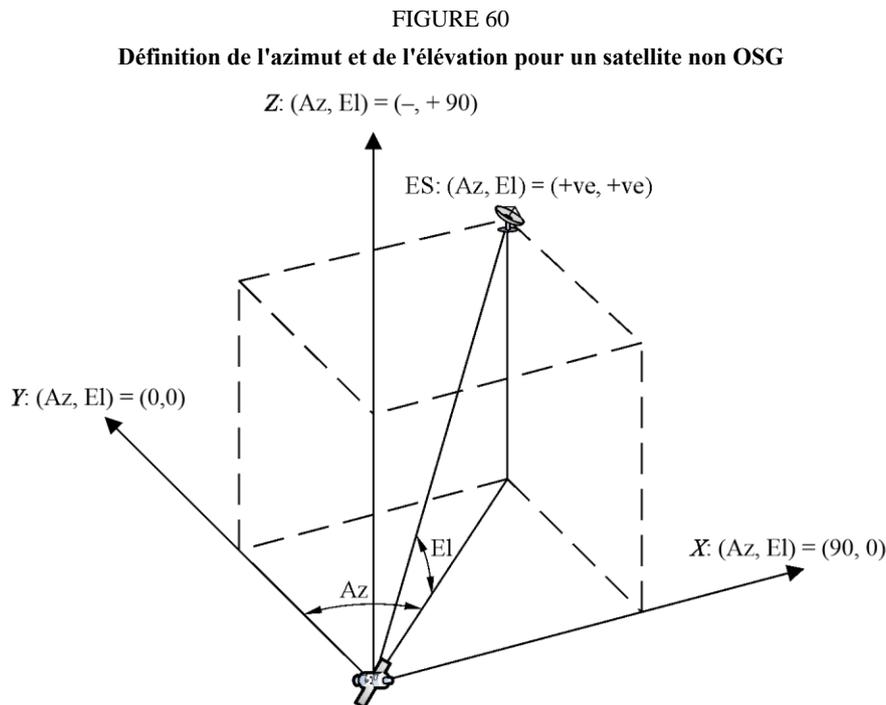
#### D6.4.4.5 DeltaLongES

La différence de longitude entre une station terrienne non OSG et un point de l'arc OSG, telle qu'elle figure dans la définition du gabarit ES\_e.i.r.p., est donnée par:

$$\text{DeltaLongES} = \text{Longitude}(\text{point OSG}) - \text{Longitude}(\text{station terrienne non OSG})$$

#### D6.4.5 Azimut et élévation relativement au satellite et à la station terrienne

La Figure 60 montre la définition des angles d'azimut et d'élévation utilisés mesurés depuis le satellite non OSG:



Il faut noter que les directions des vecteurs cartésiens  $X, Y, Z$  dans cette figure sont:

$X$ : +ve dans la direction Est depuis le satellite non OSG

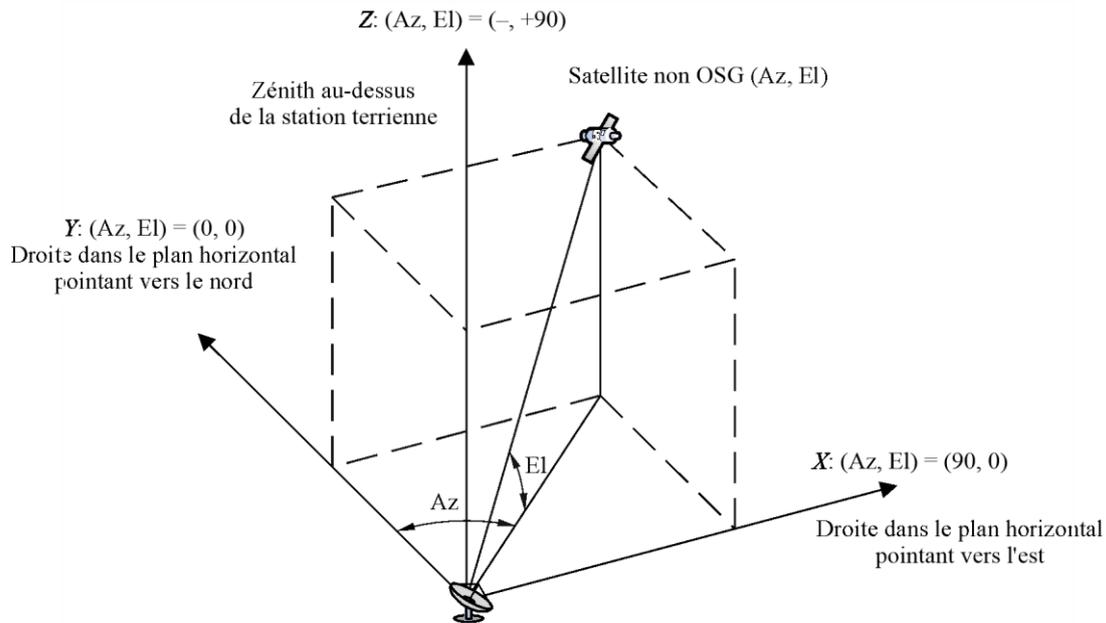
$Y$ : en direction du centre de la Terre depuis le satellite non OSG

$Z$ : +ve vers la direction Nord depuis le satellite non OSG.

Pour la station terrienne, la définition des angles d'azimut et d'élévation est présentée à la Fig. 61:

FIGURE 61

## Définition de l'azimut et de l'élévation pour la station terrienne



S.1503-61

Il convient de noter que les directions des vecteurs cartésiens  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  de ce diagramme sont:

- $X$ : +ve dans la direction de l'est, à partir de la station terrienne, dans le plan horizontal
- $Y$ : vers le nord, à partir de la station terrienne, dans le plan horizontal
- $Z$ : +ve vers le zénith de la station terrienne, orthogonal au plan horizontal.

Il est en outre possible de calculer les coordonnées normalisées,  $u$  et  $v$ , à partir des angles d'azimut et d'élévation, à l'aide des formules suivantes:

$$u = \cos(El) * \cos(Az)$$

$$v = \cos(El) * \sin(Az)$$

## D6.5 Diagrammes de gain

La présente section définit les diagrammes de gain utilisés dans les algorithmes pour les stations terriennes et les satellites. Il convient de noter que toutes les formules incluent le gain crête, de sorte que lorsque l'on a besoin du gain relatif, il faut soustraire le gain crête.

### D6.5.1 Diagrammes de gain de la station terrienne OSG

#### D6.5.1.1 Diagramme de gain de la station terrienne du SFS

Le diagramme de gain de la station terrienne du SFS à utiliser est spécifié dans la Recommandation UIT-R S.1428.

#### D6.5.1.2 Diagramme de gain de la station terrienne du SRS

Les diagrammes de gain de la station terrienne du SRS à utiliser sont spécifiés dans la Recommandation UIT-R BO.1443.

### D6.5.2 Diagramme de gain du satellite OSG

Les valeurs du gain maximal et de la largeur de bande à mi-puissance ainsi que les diagrammes de rayonnement de l'antenne de référence à utiliser sont spécifiés dans l'Article 22 du RR sur la base de la Recommandation UIT-R S.672.

La valeur de crête du gain à utiliser dans l'analyse doit être prise dans le Tableau 16.

TABLEAU 16

#### Valeur de crête du gain à utiliser avec la Recommandation UIT-R S.672

| Largeur de faisceau à mi-puissance de l'Article 22 | Valeur de crête du gain à utiliser dans l'analyse |
|--|---|
| 1,5°   | 41,0 dBi  |
| 1,55°  | 40,7 dBi  |
| 4°   | 32,4 dBi  |

## D7 Structure et format des résultats

### D7.1 Décision oui/non

#### D7.1.1 Description générale du processus de décision

La simulation produit une fonction de distribution de probabilité (PDF) de la puissance surfacique. La fonction PDF enregistre, pour chaque niveau de puissance surfacique, le nombre de pas de temps pour la simulation pour lesquels il y a en l'occurrence un certain niveau de puissance surfacique divisé par la somme de tous les intervalles. Il convient de convertir la fonction PDF en une fonction de distribution cumulative (CDF) qui enregistre pour chaque niveau de puissance surfacique le nombre de pas de temps de la simulation pour lesquels le niveau de puissance surfacique a été dépassé, normalisé par le nombre total de pas de temps de la simulation.

Il convient de noter que l'expression «fonction de distribution cumulative» est censée inclure le concept de fonction de distribution cumulative complémentaire en fonction du contexte.

#### D7.1.2 Production de la fonction CDF

Le processus détaillé dans le § D5 a produit une fonction PDF des valeurs de puissance surfacique. Il convient de convertir cette fonction PDF en une fonction CDF qui donne pour chaque niveau de puissance surfacique une estimation du pourcentage de temps pendant lequel ce niveau de puissance surfacique est dépassé.

Pour chaque valeur de puissance surfacique, la fonction CDF devrait être calculée comme suit:

$$CDF_i = 100 (1 - \text{SUM} (\text{PDF}_{\min}; \text{PDF}_i))$$

où:

PDF<sub>x</sub>: entrée sur le tableau de PDF d'une valeur de puissance surfacique correspondant à une valeur de X dB, normalisée de sorte que la somme totale pour tous les PDF<sub>x</sub> est 1.

#### D7.1.3 Procédure de comparaison

L'étape suivante est la comparaison des valeurs de limite de puissance surfacique spécifiée dans le RR avec celles qui figurent dans la table de probabilités.

- Étape 1:* Exécuter les étapes 2 à 4 pour chaque limite de spécification  $i$ .
- Étape 2:* Lire la valeur de puissance surfacique/probabilité associée à cette puissance surfacique ( $J_i$  et  $P_i$ ) dans la base de données.
- Étape 3:* Si la valeur de la puissance surfacique,  $J_i$ , a une précision supérieure à  $S_B$  (actuellement 0,1 dB), arrondir  $J_i$  à la valeur inférieure avec une précision maximum de 0,1 dB.
- Étape 4:* A partir de la fonction CDF trouver  $P_i$ , la probabilité que la valeur de puissance surfacique  $J_i$  soit dépassée comme obtenue par le logiciel.
- Étape 5:* Si  $P_i < P_t$  inscrire Oui: la fonction CDF est conforme à ce point de spécification. Dans le cas contraire, indiquer Non: la fonction CDF n'est pas conforme à ce point de spécification.

L'étape finale est la comparaison de la valeur maximale de la puissance surfacique enregistrée pendant l'exécution du logiciel avec la limite spécifiée pour 100% du temps (le cas échéant).

À partir de la fonction CDF, déterminer la valeur maximale de puissance surfacique enregistrée pendant l'exécution du logiciel,  $J_{max}$  et la comparer avec la limite de puissance surfacique spécifiée pour 100% du temps,  $J_{100}$ . Si  $J_{max} < J_{100}$  inscrire Oui: la fonction CDF est conforme avec ce point de la spécification. Si  $J_{max} \geq J_{100}$  inscrire Non: la fonction CDF n'est pas conforme avec ce point de la spécification.

#### **D7.1.4 Processus de décision**

Si un résultat Oui a été enregistré pour toutes les limites de la spécification, le réseau non OSG est conforme avec la spécification. Si un résultat Non était enregistré, le réseau non OSG ne serait pas conforme avec la spécification.

#### **D7.2 Information chronologique des signaux à décision**

L'information chronologique requise est:

- les données de puissance surfacique générées pendant l'exécution du logiciel (y compris le diamètre d'antenne) et le diagramme de référence d'antenne;
- le tableau des limites de spécification pour divers diamètres d'antenne et diagramme d'antenne de référence.

#### **D7.3 Format des résultats**

Il convient de donner le résultat sous le format suivant:

- résultat du test;
- tableau récapitulatif;
- tableau de CDF (pour information seulement).

##### **D7.3.1 Déclaration du résultat du test de conformité**

La conclusion globale de l'évaluation Oui ou Non telle que définie dans le § D7.1.4 devrait être donnée en résultat.

##### **D7.3.2 Tableau récapitulatif**

Le Tableau récapitulatif devrait contenir les données suivantes (voir le Tableau 17):

TABLEAU 17

Tableau récapitulatif

| Point de spécification                            |             | Résultat | Point de simulation |
|---|-------------|----------|---------------------|
| Valeur de puissance surfacique                    | Probabilité |          | Probabilité         |
| $J_1$ dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) | $P_1$       | Oui/Non  | $P_y$               |
| :   | :           | :        | :                   |
| $J_i$ dB(W/(m <sup>2</sup> · BW <sub>ref</sub> )) | $P_i$       | Oui/Non  | $P_y$               |

dans lequel:

$J_i$  et  $P_i$ : valeurs de la spécification de la valeur de la puissance surfacique/probabilité extraites de la base de données

Oui/Non: résultat du test

$P_y$ : probabilité extraite de la table des probabilités.

### D7.3.3 Table des probabilités

Les résultats devraient inclure pour information la fonction CDF calculée qui a été utilisée dans le processus de prise de décision.

## PARTIE E

### Test de fiabilité des résultats donnés par le logiciel

#### E1 Évaluation de la précision de calcul du logiciel proposé

Ces tests peuvent être réalisés par le développeur du logiciel et les résultats fournis au BR avec le logiciel proposé.

Les fonctions du logiciel à évaluer sont les suivantes:

*Projection orbitale* – Au moyen d'un ensemble de paramètres simplifiés qui donnent une période de récurrence définie, exécuter le logiciel pour l'intervalle de simulation spécifié et comparer les valeurs réelles (vecteurs du satellite) aux valeurs prédites.

*Angles de décalage* – Au moyen d'ensembles appropriés d'emplacements de stations terriennes et de satellites, comparer l'angle de décalage réel du faisceau aux valeurs prédites. Les ensembles des données de test doivent couvrir les cas trigonométriques les plus complexes: par exemple des sites autour de la longitude zéro et de la longitude 180°.

*Pas de temps et durée de la simulation* – En utilisant des ensembles appropriés de paramètres de réseau non OSG, comparer les pas de temps et la durée de simulation produite par le logiciel aux valeurs prédites.

*Production de la fonction CDF* – En utilisant des ensembles de fichiers d'entrée de test avec des résultats CDF connus, contrôler le logiciel de production de la fonction CDF.

*Processus oui/non* – En utilisant des ensembles de fichiers d'entrée de test CDF, vérifier l'exactitude du processus de décision oui/non.

Au cas où plusieurs implémentations seraient valables, une analyse de sensibilité devrait être utilisée pour les évaluer et leurs résultats peuvent être comparés entre eux pour assurer l'homogénéité.

### **E2 Évaluation des statistiques d'epfd(↓/↑) obtenues par le BR**

Il s'agit de tests qui sont réalisés automatiquement par le logiciel dans le cadre de chaque exécution, pour confirmer que le traitement n'a pas trouvé d'événement de brouillage correspondant au cas le plus défavorable.

Valeur d'epfd pour 100% du temps – la valeur d'epfd↓ pour 100% du temps obtenue pendant le traitement doit être comparée avec une valeur calculée à partir de l'analyse de la constellation non OSG. La valeur obtenue doit être dans les limites de  $\pm 0.X$  dB de la valeur attendue.

### **E3 Vérification des gabarits de puissance surfacique**

Les gabarits de puissance surfacique sont des données d'entrée pour l'outil de validation du BR que l'administration notificatrice doit fournir au BR avec le logiciel utilisé pour son calcul, la description complète du logiciel et les paramètres associés. Les informations requises pour produire le gabarit de puissance surfacique peuvent être mises à la disposition des administrations intéressées qui pourront s'en servir en cas de différend.

### **E4 Recommencement du test du logiciel du BR après modifications ou mises à jour éventuelles**

Un ensemble de tests doit être défini pour être utilisé en toute occasion lorsque le logiciel du BR ou son environnement d'exploitation a été modifié ou mis à jour. Un tel test devrait inclure:

- a) une partie ou l'ensemble des tests définis dans le § E1 pour l'évaluation initiale de l'exactitude de calcul du logiciel proposé;
- b) la répétition d'un ensemble représentatif d'évaluations concernant des notifications non OSG réelles, et comparaison des résultats obtenus par le logiciel d'origine et par le logiciel modifié.

## **PARTIE F**

### **Environnement d'exploitation du logiciel**

#### **F1 Système d'exploitation**

Le logiciel devrait pouvoir être exécuté sur des plates-formes Microsoft tournant sous Windows 10 ou un système d'exploitation plus performant.

#### **F2 Interfaces avec les logiciels et bases de données existantes**

Le BR saisit toutes les fiches de notification entrantes relatives aux services spatiaux dans une base de données centrale pour données alphanumériques (SNS) et dans une autre base de données pour les données graphiques (GIMS, *graphical interference management system*) tels les diagrammes d'antenne et les zones de service. Ces bases de données sont utilisées pour la publication des données sur CD-ROM, dans la Circulaire hebdomadaire et dans ses Sections spéciales. Elles sont également utilisées pour obtenir des données d'entrée dans les progiciels effectuant les examens au titre de

l'Appendice 8 du RR et les examens de la puissance surfacique. On utilise une interface graphique de calcul par lots (GIBC) pour effectuer l'examen à l'aide de ces trois modules. On garantit ainsi que les données publiées sont également les données utilisées pour ces examens. Le BR considère cela important pour l'administration notificatrice et pour les administrations dont les services peuvent être affectés par la nouvelle station. Cela ne se justifie pas seulement par des raisons pratiques pour le BR, mais garantit l'homogénéité et la transparence vis-à-vis des administrations.

### **F3 Manuel de l'utilisateur**

L'objet du manuel de l'utilisateur est d'indiquer à l'utilisateur comment exécuter différents tests pour obtenir des résultats certains. Compte tenu de la complexité de ces tests, ils doivent être exposés dans le détail.

---