

UIT-R

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

Recommandation UIT-R M.1642-2
(10/2007)

**Méthode d'évaluation de la puissance
surfacique équivalente cumulative
maximale produite au niveau d'une station
du service de radionavigation aéronautique
par tous les systèmes du service de
radionavigation par satellite exploités
dans la bande 1 164-1 215 MHz**

Série M

**Services mobile, de radiorepérage et d'amateur
y compris les services par satellite associés**



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 l'Annexe 1 de 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 oeuvre 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

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

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systèmes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre
SNG	Reportage d'actualités par satellite
TF	Emissions de fréquences étalon et de signaux horaires
V	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, 2010

© UIT 2010

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 M.1642-2

Méthode d'évaluation de la puissance surfacique équivalente cumulative maximale produite au niveau d'une station du service de radionavigation aéronautique par tous les systèmes du service de radionavigation par satellite exploités dans la bande 1 164-1 215 MHz

(2003-2005-2007)

Domaine de compétence

On trouvera dans cette Recommandation une méthode et les caractéristiques d'antenne de référence permettant d'évaluer le niveau de puissance surfacique équivalente (epfd) cumulative maximale produite à l'entrée d'une station du service de radionavigation aéronautique (SRNA) par tous les systèmes du service de radionavigation par satellite (SRNS) exploités dans une partie quelconque de la bande 1 164-1 215 MHz.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que conformément au Règlement des radiocommunications (RR), la bande 960-1 215 MHz est attribuée à titre primaire au service de radionavigation aéronautique (SRNA) dans toutes les Régions de l'UIT;
- b) que des analyses montrent que l'on peut générer dans la bande 1 164-1 215 MHz des signaux du SRNS ne causant pas de brouillages aux récepteurs DME/TACAN du SRNA exploités dans cette bande;
- c) qu'un critère de protection du SRNA a été élaboré et qu'il est exprimé sous forme d'un niveau de puissance surfacique équivalente (epfd) dans la Recommandation UIT-R M.1639,

reconnaissant

- a) que la CMR-2000 a attribué à titre coprimaire la bande de fréquences 1 164-1 215 MHz au service de radionavigation par satellite (SRNS), sous réserve des conditions en vertu desquelles le SRNS doit protéger le service de radionavigation aéronautique (SRNA) contre les brouillages préjudiciables;
- b) que la CMR-03 a établi que la protection du SRNA par rapport au SRNS peut être assurée si la valeur de la puissance surfacique équivalente (epfd) produite par toutes les stations spatiales de tous les systèmes du SRNS (espace vers Terre) exploités dans la bande 1 164-1 215 MHz ne dépasse pas $-121,5 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ dans une bande quelconque de 1 MHz et qu'elle a adopté la Résolution 609 (CMR-03) pour garantir que ce niveau n'est pas dépassé;
- c) que, conformément au numéro 1.59 du RR, le SRNA est un service de sécurité et que des dispositions spéciales doivent être prises par les administrations pour protéger les services de sécurité, conformément aux dispositions du numéro 4.10 du RR,

recommande

1 d'utiliser la méthode de l'Annexe 1 et les caractéristiques de référence d'une station du SRNA données dans l'Annexe 2 afin de calculer le niveau d'epfd cumulative maximale produite par les émissions de tous les systèmes du SRNS au niveau d'une station de radionavigation aéronautique quelconque.

Annexe 1

Méthode d'évaluation d'epfd cumulative maximale produite au niveau d'une station du SRNA par tous les systèmes du SRNS exploités dans la bande 1 164-1 215 MHz

Résumé de la méthode

Grâce à la méthode décrite dans la présente Annexe, il est possible de calculer le niveau de puissance epfd cumulative maximale produite par tous les systèmes du SRNS dans la bande 1 164-1 215 MHz.

On peut facilement associer des systèmes différents dans le cadre de cette méthode, ce qui permet d'examiner au cours d'une réunion de consultation l'incidence de modifications telles que l'inclusion ou l'exclusion d'un ou plusieurs systèmes ou l'effet induit par la modification des caractéristiques de certains systèmes.

Cette méthode s'applique aussi bien aux systèmes non OSG composés de constellations de satellites sur n'importe quelle orbite d'inclinaison qu'aux systèmes OSG.

Elle s'articule en deux étapes:

Etape 1: Calcul de la puissance epfd produite par chacun des systèmes du SRNS. Peut être effectué indépendamment par chaque opérateur préalablement à la réunion de consultation, à condition que le format des résultats soumis soit compatible aux spécifications (voir le § 1.3 pour les systèmes non OSG et le § 1.4 pour les systèmes OSG).

Etape 2: Association des niveaux de puissance epfd maximale produite par chacun des systèmes en superposant les cartes d'epfd, si nécessaire pour différentes fréquences, afin d'obtenir le niveau de puissance epfd cumulative maximale (voir le § 2) produite dans la bande 1 164-1 215 MHz.

Description de la méthode

1 Méthode de calcul de l'epfd maximale produite par un seul système du SRNS

1.1 Définition de l'epfd

La définition de la puissance surfacique équivalente (epfd) est fondée sur les termes du numéro 22.5C.1 du RR tel que l'a adopté la CMR-2000.

Soit une antenne recevant dans sa largeur de bande de référence une puissance émanant de plusieurs émetteurs situés à des distances diverses suivant des directions variées et émettant différents niveaux de puissance surfacique incidente. La puissance *epfd* reçue par cette antenne est égale à la puissance surfacique qui, générée par un émetteur unique situé dans le champ lointain de l'antenne suivant la direction de gain maximal de celle-ci, produirait à l'entrée de l'antenne une puissance égale à la somme des différentes puissances effectivement reçues en provenance des divers émetteurs.

L'*epfd* instantanée est calculée à l'aide de la formule suivante:

$$epfd = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{P_i}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{G_{r,max}} \right]$$

où:

- N_a : nombre de stations spatiales visibles depuis le récepteur
- i : indice de la station spatiale considérée
- P_i : puissance RF (dans la largeur de bande de référence) à l'entrée de l'antenne (ou puissance RF rayonnée dans le cas d'une antenne active) générée par la station spatiale émettrice (dB(W/MHz))
- θ_i : angle entre l'axe de visée de la station spatiale émettrice et la direction du récepteur (degrés)
- $G_t(\theta_i)$: gain de l'antenne d'émission de la station spatiale en direction du récepteur (rapport de puissances)
- d_i : distance entre la station émettrice et le récepteur (m)
- φ_i : angle entre la direction de pointage du récepteur et la direction de la station spatiale émettrice (degrés)
- $G_r(\varphi_i)$: gain de l'antenne du récepteur en direction de la station spatiale émettrice (voir l'Annexe 2) (rapport de puissances)
- $G_{r,max}$: gain maximal de l'antenne du récepteur (rapport de puissances)
- $epfd$: puissance surfacique équivalente instantanée au niveau du récepteur (dB(W/(m² · MHz))).

NOTE 1 – On suppose que chaque émetteur est situé dans le champ lointain du récepteur (c'est-à-dire à une distance supérieure à $2D \ 2/\lambda$, D étant le diamètre réel de l'antenne du récepteur et λ étant la longueur d'onde d'observation exprimée dans la même unité). Cette hypothèse est toujours satisfaite dans le cas examiné ici.

1.2 Considérations générales

Lors de la première étape de la méthode, la valeur maximale d'*epfd* produite par chaque constellation de satellites du SRNS est calculée pour chaque degré de latitude et de longitude sur toute la surface de la Terre pour chaque largeur de bande de 1 MHz occupée par le système.

Le récepteur brouillé du SRNA pouvant équiper un aéronef dont l'altitude peut atteindre jusqu'à 40 000 pieds (12 192 m) (voir le § 2 de l'Annexe 2), il convient de considérer pour les calculs tous les satellites dont l'angle d'élévation est compris entre 90° et –3,54°.

Le calcul de la distribution de puissance *epfd* produite par chaque système est nécessaire uniquement à une seule fréquence de référence, de préférence à la fréquence à laquelle la puissance du signal est maximale. Le profil spectral du signal du SRNS devrait être fourni lors d'une réunion

de consultation, de telle sorte que l'on puisse multiplier les résultats des calculs par les facteurs de profilage spectral appropriés pour obtenir les résultats à une autre fréquence.

1.3 Méthode de calcul de la valeur maximale d'epfd produite par un système non OSG du SRNS

On pourra utiliser la méthode de simulation donnée dans l'Appendice 1 à l'Annexe 1, qui est entièrement fondée sur la méthode décrite dans la Recommandation UIT-R S.1325.

La méthode exposée dans l'Appendice 2 à l'Annexe 1 est entièrement fondée sur une approche de type analytique. Elle permet d'obtenir des estimations rapides mais pas la valeur exacte de la limite supérieure.

1.4 Méthode de calcul de la valeur maximale d'epfd produite par un système OSG du SRNS

La valeur maximale d'epfd produite par chaque satellite OSG doit être calculée pour chaque degré de latitude et de longitude sur toute la surface de la Terre pour chaque largeur de bande de 1 MHz utilisée par le système.

Puisque, dans un tel cas, la puissance epfd produite ne dépend pas du temps, on peut calculer directement les valeurs associées à un seul tableau de résultats.

2 Méthode de calcul de la valeur d'epfd cumulative maximale produite par tous les systèmes du SRNS

2.1 Données requises pour chaque système

Pour chaque système non OSG du SRNS n'ayant pas de période géosynchrone, la réunion de consultation se verra remettre une liste des valeurs maximales d'epfd en fonction de la latitude (valables quelle que soit la longitude) ainsi que le profil spectral du signal, conformément à la méthode mentionnée au § 1.3.

Pour chaque système non OSG du SRNS ayant une période géosynchrone, la réunion de consultation se verra remettre une liste des valeurs maximales d'epfd en fonction de la latitude et de la longitude ainsi que le profil spectral du signal, conformément à la méthode mentionnée au § 1.3.

Pour chaque système OSG du SRNS, la réunion de consultation se verra remettre un tableau des valeurs maximales d'epfd en fonction de la latitude et de la longitude ainsi que le profil spectral du signal, conformément à la méthode mentionnée au § 1.4.

2.2 Association des puissances epfd produites par des systèmes utilisant des signaux ayant des caractéristiques similaires

La valeur de la puissance epfd cumulative produite par les systèmes du SRNS dont le gain maximal en émission survient à la même fréquence peut être obtenue en trois étapes:

Etape 1a: sommation point à point des valeurs maximales d'epfd dans la largeur de bande de 1 MHz présentant la puissance maximale pour chaque latitude pour toutes les listes des systèmes non OSG considérés (n'ayant pas de période géosynchrone), afin d'obtenir la liste des valeurs d'epfd cumulative produite par les systèmes non OSG (n'ayant pas de période géosynchrone) en fonction de la latitude;

Etape 1b: sommation point à point des valeurs maximales d'epfd dans la largeur de bande de 1 MHz présentant la puissance maximale pour chaque latitude et pour chaque longitude pour toutes les listes des systèmes non OSG (ayant une période géosynchrone), afin d'obtenir la liste des valeurs

d'epfd cumulative produite par les systèmes non OSG (ayant une période géosynchrone) en fonction de la latitude et de la longitude;

Etape 2: sommation point à point des valeurs maximales d'epfd dans la largeur de bande de 1 MHz présentant la puissance maximale pour chaque point de latitude et de longitude pour tous les tableaux des systèmes OSG considérés, afin d'obtenir le tableau des valeurs d'epfd cumulative produites par les systèmes OSG en fonction de la latitude et de la longitude;

Etape 3: sommation point à point de la liste des valeurs d'epfd cumulative produites par les systèmes non OSG (n'ayant pas de période géosynchrone) en fonction de la latitude et de la liste des valeurs d'epfd cumulative produites par les systèmes non OSG (ayant une période géosynchrone) en fonction de la latitude et de la longitude aux colonnes des longitudes du tableau des valeurs d'epfd cumulative produites par les systèmes OSG en fonction de la latitude et de la longitude, afin d'obtenir le tableau des valeurs globales d'epfd cumulative en fonction de la latitude et de la longitude.

L'examen de la valeur d'epfd la plus grande inscrite dans ce dernier tableau permettra de déterminer si le critère de protection de la Recommandation UIT-R M.1639 est respecté quelle que soit la largeur de bande de 1 MHz considérée.

2.3 Association de puissances epfd produites par des systèmes utilisant des signaux ayant des caractéristiques différentes

Il convient de noter que la valeur d'epfd cumulative maximale dépendra de la fréquence. Si les spectres de tous les systèmes du SRNS considérés présentent un maximum à la même fréquence, il suffira de procéder à une seule analyse. Par contre, si certains systèmes présentent des maximaux différents, parce qu'ils utilisent des fréquences centrales différentes avec recouvrement de spectre ou parce qu'ils utilisent des techniques de modulation différentes, l'analyse de la valeur d'epfd cumulative maximale nécessitera de prendre en compte les fréquences.

Pour déterminer la valeur d'epfd cumulative maximale produite par des systèmes du SRNS présentant des fréquences centrales différentes, il faudra au minimum procéder aux trois étapes susmentionnées pour chacune des fréquences à laquelle l'un des systèmes présente la valeur maximale de son spectre, et il faudra peut-être également procéder à une analyse à des fréquences intermédiaires.

Les listes ou tableaux associés à chaque fréquence seront modifiés à l'aide du facteur de profilage spectral approprié avant sommation avec d'autres listes ou tableaux.

L'examen de la valeur d'epfd la plus grande parmi tous les tableaux résultants permettra de déterminer si le critère de protection de la Recommandation UIT-R M.1639 est respecté quelle que soit la largeur de bande de 1 MHz considérée.

2.4 Examen des résultats

Après avoir déterminé la valeur d'epfd cumulative maximale, on pourra envisager de procéder à une seule simulation simultanée de tous les systèmes du SRNS pour l'emplacement de la station du SRNA sur lequel cette valeur d'epfd cumulative maximale absolue a été obtenue, afin de confirmer les résultats obtenus en utilisant l'Appendice 1 ou 2 à l'Annexe 1.

Appendice 1 à l'Annexe 1

Méthode de simulation pour déterminer la valeur maximale d'epfd produite par un système non OSG du SRNS

1 Description de la méthode de simulation

Le cadre adopté pour cette méthode fondée sur la Recommandation UIT-R S.1325 vise à modéliser tous les satellites d'un système du SRNS à une fréquence de référence particulière (généralement dans la largeur de 1 MHz de la bande 1 164-1 215 MHz qui présente la valeur maximale de densité spectrale du signal du SRNS). On échantillonne une simulation de la constellation sur une certaine durée avec un pas temporel relativement petit. On calcule à chaque pas les valeurs d'epfd pour tous les points de latitude et de longitude. On enregistre la valeur maximale d'epfd pour chaque point de latitude et de longitude. Les autres valeurs peuvent être éliminées. On obtient un tableau, qu'on peut représenter par une carte (voir les Fig. 5 et 6). On détermine ensuite la valeur maximale d'epfd pour chaque latitude, ce qui élimine les approximations dues à la durée limitée de la simulation.

2 Hypothèses de simulation

2.1 Modèle orbital

Les modèles orbitaux de simulation des stations spatiales en orbite se rapportent aux orbites circulaires et aux orbites elliptiques et tiennent uniquement compte de la précession de la ligne des nœuds dans le plan équatorial due au caractère non sphérique de la Terre.

Le modèle orbital offre une représentation du déplacement du satellite dans le repère inertiel géocentrique de la Fig. 1. L'origine de ce repère inertiel est le centre de la Terre. L'axe x pointe en direction de la constellation Aries (c'est-à-dire l'équinoxe du printemps), l'axe z est dirigé suivant l'axe de rotation moyen de la Terre et l'axe y correspond au produit vectoriel des vecteurs unités des directions z et x (c'est-à-dire $\vec{y} = \vec{z} \times \vec{x}$).

Les modèles orbitaux sont fondés sur l'équation de Newton du mouvement d'un satellite en orbite circulaire autour d'une Terre parfaitement sphérique et dans une ellipse. Dans le cas du système non OSG utilisant une orbite circulaire, ce mouvement est facile à modéliser car le rayon de l'orbite et la vitesse du satellite sont constants.

2.1.1 Constantes relatives à la Terre

Les constantes générales relatives à la Terre sont les suivantes:

R_e : rayon de la Terre (6 378,137 km)

O: centre de la Terre

μ : constante de l'attraction terrestre ($3,986005 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$)

J_2 : constante du second harmonique du potentiel terrestre ($1\,082,63 \times 10^{-6}$)

T_e : période de rotation de la Terre (23 h 56' 4,0989" = 86 164,0989 s)

Ω_e : vitesse angulaire de rotation de la Terre = $2\pi/T_e \cong 7,2921151467 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

t : temps écoulé (s) depuis l'/les époque(s) simulée(s).

2.1.2 Constantes relatives aux stations spatiales du système à satellites non OSG

Pour les stations spatiales du système à satellites non OSG utilisant des orbites circulaires (voir la Fig. 1), les constantes sont les suivantes:

- N : nombre de stations spatiales du système non OSG
- i : indice de chaque satellite non OSG ($0 \leq i < N$)
- h_{sat} : altitude du satellite au-dessus de la Terre (km)
- r : rayon de l'orbite du satellite (km) = $h_{sat} + R_e$
- I : angle d'inclinaison du plan orbital au-dessus de l'équateur (rad)
- RAAN: ascension droite du nœud ascendant (*right ascension of the ascending node*)
- $\Omega_{i,0}$: RAAN du i ème satellite non OSG à l'instant t (rad)
- $u_{i,0}$: argument de latitude du i ème satellite non OSG à l'instant t (rad)
- T : période orbitale du satellite (s) = $2\pi (r^3/\mu)^{1/2}$
- n : mouvement moyen d'un satellite (rad/s) = $2\pi/T$
- $u_{i,t}$: argument de latitude du i ème satellite à l'instant t (rad) = $u_{i,0} + n_t$
- Ω_{ri} : régression de la ligne des nœuds (nœud ascendant) (rad/s)

$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I) R_e^2 \frac{\sqrt{r\mu}}{r^4}$$

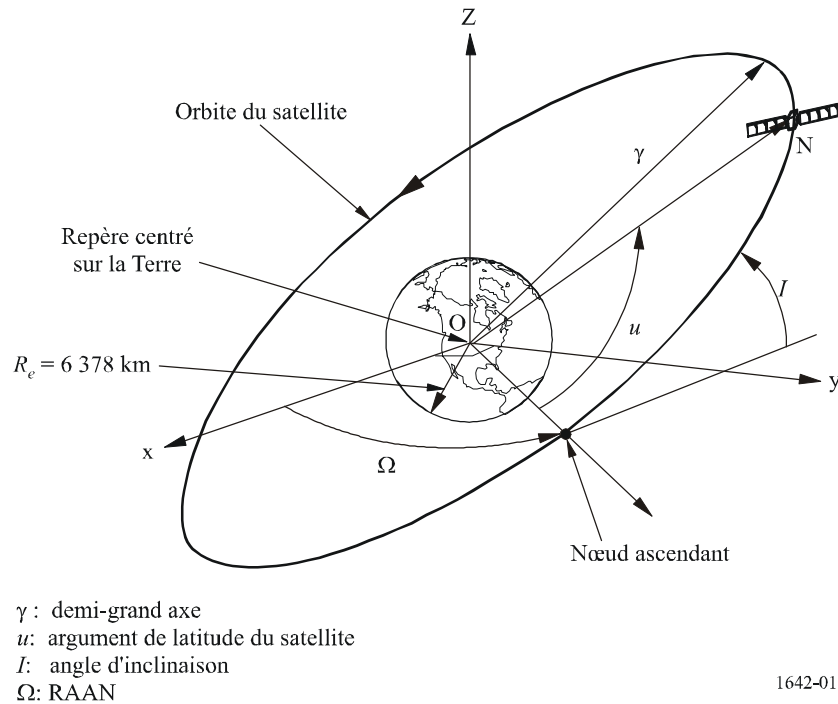
- $\Omega_{i,t}$: RAAN du i ème satellite à l'instant t (rad) = $\Omega_{i,0} + \Omega_{r,t}$

- \vec{ON}_i : vecteur des coordonnées (système de coordonnées inertiel) d'un satellite non OSG dans un repère fixe par rapport au centre de la Terre:

$$\vec{ON}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) - \cos(I_i) \cdot \sin(u_{i,t}) \cdot \sin(\Omega_{i,t}) \\ \cos(u_{i,t}) \cdot \sin(\Omega_{i,t}) + \cos(I_i) \cdot \sin(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) \\ \sin(u_{i,t}) \cdot \sin(I_i) \end{bmatrix}$$

FIGURE 1

Paramètres géométriques liés à l'orbite circulaire



1642-01

Pour les stations spatiales du système à satellites non OSG utilisant des orbites elliptiques (voir les Fig. 2 et 3), les constantes sont les suivantes:

- N : nombre de stations spatiales du système non OSG
- i : indice de chaque satellite non OSG ($0 \leq i < N$)
- a_i : demi-grand axe du i ème satellite (km)
- e_i : excentricité du i ème satellite
- $M_{i,0}$: anomalie moyenne du i ème satellite non OSG à l'instant initial (rad)
- T_i : période orbitale du satellite du i ème satellite (s) $= 2\pi(a_i^3/\mu)^{1/2}$
- n_i : mouvement moyen du i ème satellite (rad/s) $= 2\pi/T_i$
- $v_{i,t}$: anomalie vraie du i ème satellite à l'instant $t = 2 \cdot \text{tg}^{-1} \left[\frac{\sqrt{1+e_i} \text{tg} \frac{E_{i,t}}{2}}{\sqrt{1-e_i}} \right]$
- $E_{i,t}$: anomalie excentrique du i ème satellite à l'instant $t = 2 \cdot \text{tg}^{-1} \left[\sqrt{\frac{1-e_i}{1+e_i}} \text{tg} \left(\frac{v_{i,t}}{2} \right) \right]$
- $M_{i,t}$: anomalie moyenne du i ème satellite à l'instant $t = M_{i,0} + n_i \cdot t = E_{i,t} - e_i \cdot \sin E_{i,t}$ *
- I_i : angle d'inclinaison du plan orbital au-dessus de l'Equateur du i ème satellite (rad)

* Dès que $M_{i,t}$ est donnée, $E_{i,t}$ est déterminée par itération. En général, pour des instants brefs, la dernière valeur de $E_{i,t}$ peut être utilisée comme estimation initiale.

RAAN: ascension droite du nœud ascendant

$\Omega_{i,0}$: RAAN de chacun des i ème satellites non OSG à l'instant initial (rad)

$\omega_{i,0}$: argument de périégée de chaque i ème satellite non OSG à l'instant initial (rad)

$u_{i,t}$: argument de latitude du i ème satellite à l'instant t (rad) = $\omega_{i,0} + v_{i,t}$

Ω_{ri} : régression de la ligne des nœuds (nœud ascendant) du i ème satellite (rad/s)

$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I_i) R_e^2 \frac{\sqrt{a_i \mu}}{a_i^4 (1 - e_i^2)^2}$$

$\Omega_{i,t}$: RAAN du i ème satellite à l'instant t (rad) = $\Omega_{i,0} + \Omega_{ri} t$

$\vec{ON}_{i,t}$: vecteur des coordonnées (système de coordonnées inertiel) du i ème satellite non OSG dans le repère inertiel fixe par rapport au centre de la Terre à l'instant t :

$$\vec{ON}_{i,t} = \text{rot3}(-\Omega_{i,t}) \cdot \text{rot1}(-I_i) \cdot \text{rot3}(-\omega_{i,0}) \cdot \vec{r}_{i,t}$$

$\text{rot1}(\alpha)$: rotation autour de l'axe des x

$$\text{rot1}(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

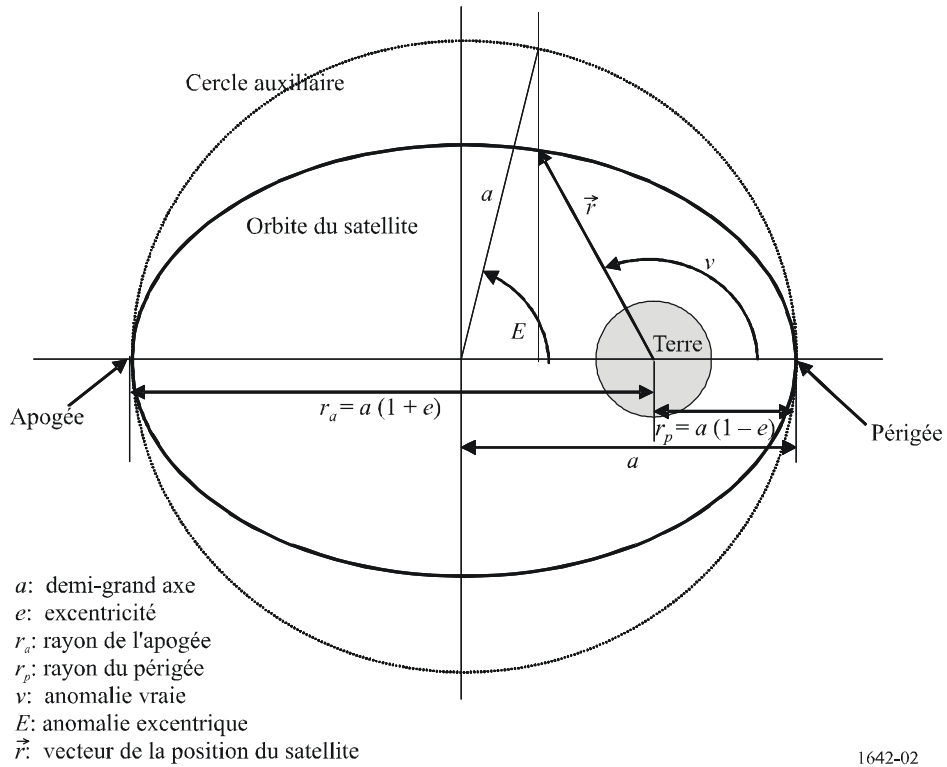
$\text{rot3}(\alpha)$: rotation autour de l'axe des z

$$\text{rot3}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r}_{i,t}: \quad \vec{r}_{i,t} = r_{i,t} \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \sin v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{a(1-e^2)}{1+e_i \cdot \cos v_{i,t}} \cdot \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \sin v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix}$$

FIGURE 2

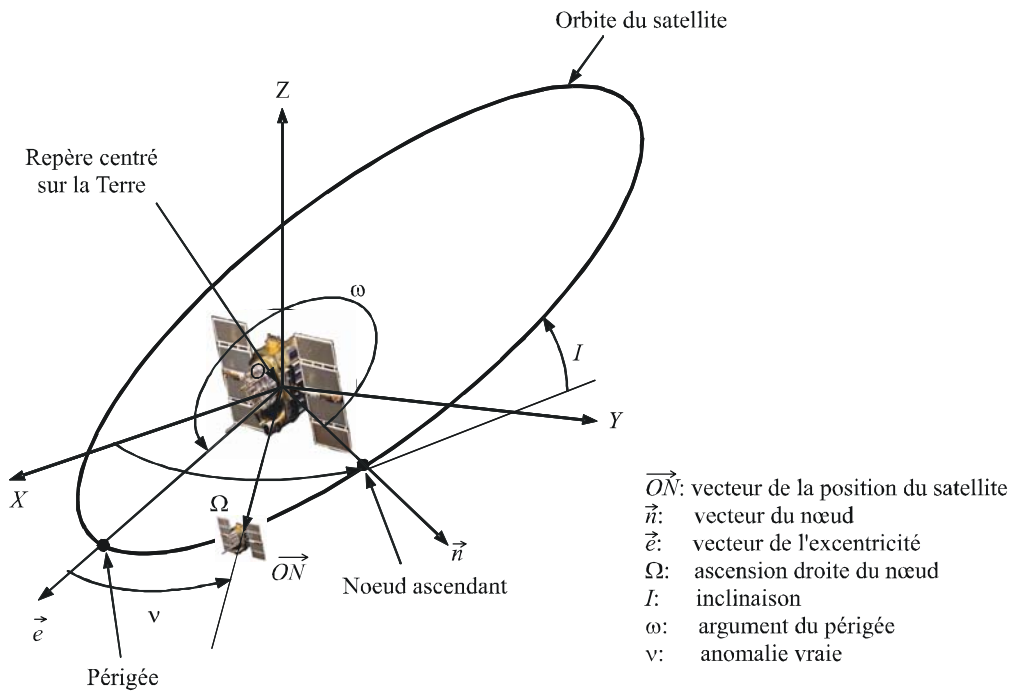
Paramètres géométriques liés à l'orbite elliptique dans le plan focal



1642-02

FIGURE 3

Paramètres géométriques liés à l'orbite elliptique dans le cadre de la coordination ECI



1642-03

La perturbation non OSG peut être prise en compte par le calcul des constantes relatives à la constellation non OSG, puisque la position des satellites est susceptible de varier lorsque l'on tient compte des perturbations.

2.1.3 Constantes relatives à la station du SRNA

- Lat: latitude de la station du SRNA (rad)
 Lon: longitude de la station du SRNA (rad)
 h_{SRNA} : altitude de la station du SRNA (km)
 \vec{OM} : coordonnées de la station SRNA dans un système de coordonnées inertiel centré sur la Terre

$$\vec{OM} = \begin{cases} X = (R_e + h_{SRNA}) \cos(\text{Lat}) \cos(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Y = (R_e + h_{SRNA}) \cos(\text{Lat}) \sin(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Z = (R_e + h_{SRNA}) \sin(\text{Lat}) \end{cases}$$

2.2 Paramètres d'antenne

2.2.1 Paramètres d'antenne de la station du SRNA

Le diagramme d'antenne de la station SRNA est un paramètre d'entrée de la simulation (voir l'Annexe 2).

2.2.2 Paramètres d'antenne de la station spatiale non OSG

Pour analyser les brouillages, il convient pour modéliser une antenne de satellite non OSG d'utiliser l'un des diagrammes suivants, selon leur disponibilité:

- un diagramme d'antenne mesuré;
- le diagramme d'antenne de référence proposé;
- une fonction analytique modélisant le diagramme de rayonnement de l'antenne du satellite non OSG.

2.3 Calcul de la durée de simulation

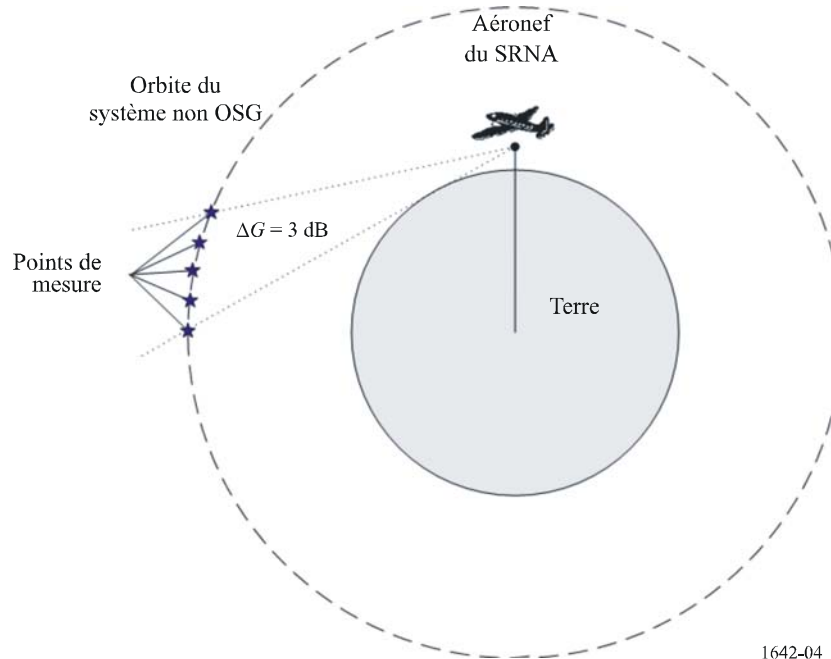
2.3.1 Pas temporel de la simulation

Il convient certes, pour obtenir des résultats précis, d'utiliser un pas temporel de simulation, t_{inc} , aussi petit que possible, mais il faut également que la durée de simulation ne soit pas excessive. Pour parvenir à la précision voulue, il faut faire en sorte de disposer d'un nombre suffisant de mesures d'epfd (N_{hits}) lorsque l'engin spatial non OSG du SRNS est visible depuis une station spatiale du SRNA dans la partie du diagramme d'antenne présentant un gain maximal. On considère que la valeur $N_{hits} = 5$ est suffisante.

La valeur maximale du gain visible depuis une station spatiale correspond à un angle d'élévation compris entre $-3,54^\circ$ et $+3^\circ$ (voir l'Annexe 2) dans le cas d'un aéronef évoluant à 40 000 pieds (12 192 m) d'altitude. Il est important de disposer de 5 N_{hits} dans cette gamme, ce qui signifie qu'un pas de simulation de 1° est suffisant pour modéliser le mouvement des satellites de la constellation.

FIGURE 4

Éléments relatifs au pas temporel de la simulation



2.3.2 Durée totale de la simulation

Un satellite appartenant à une constellation non OSG sur n'importe quelle orbite détermine un trajet sur la surface de la Terre. Au bout d'un certain temps, propre au système, le satellite, ou un autre satellite de la même constellation, passe à la verticale du même point ou d'un point quasi identique. La durée de cet intervalle de temps est la période de répétition de la constellation. La période de répétition d'une constellation est comprise entre quelques jours et plusieurs mois, selon la constellation. Les résultats types des calculs d'epfd pour un système du SRNS au cours d'une période de répétition de la constellation sont illustrés sur la Fig. 5.

La vitesse de précession en longitude d'un satellite d'une constellation non OSG subira les effets des dérives longitudinales consécutives aux erreurs de maintien à poste de la station. Cet effet peut être modélisé et intégré dans les simulations.

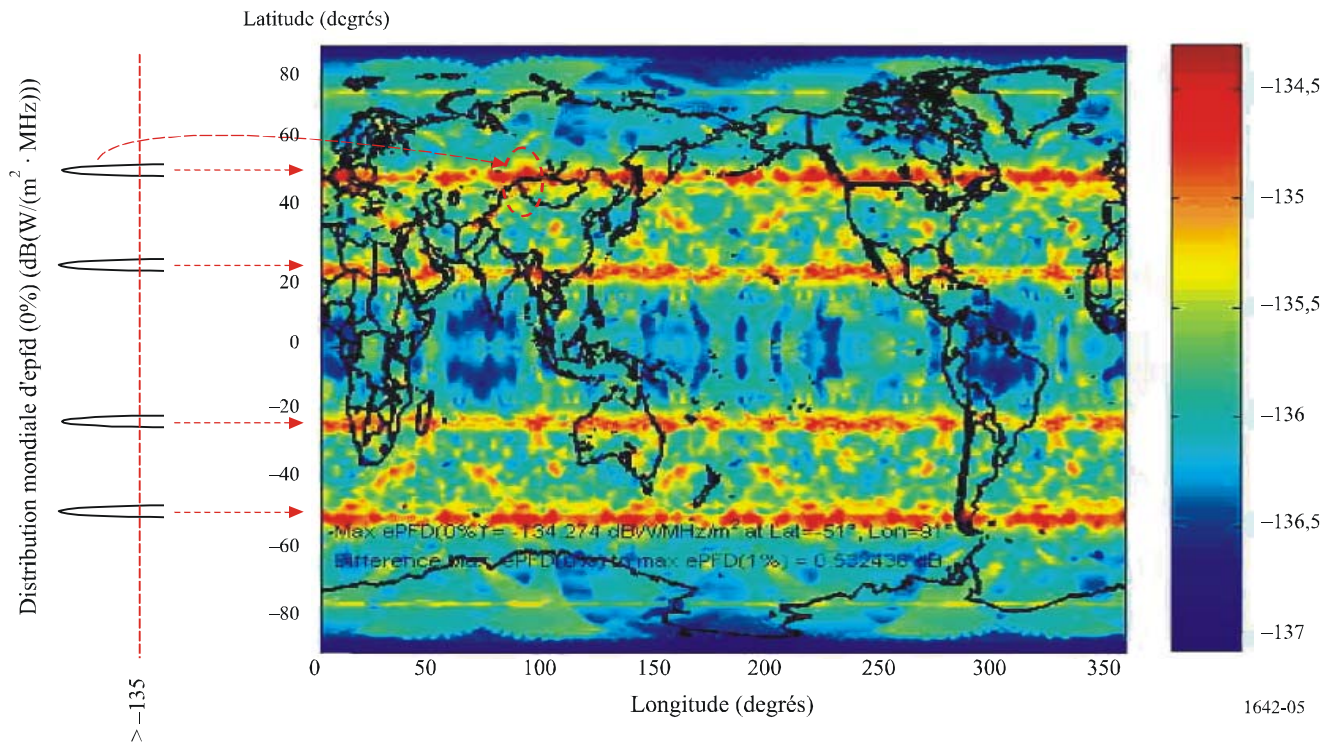
Pour le système non OSG n'ayant pas de période géosynchrone, l'effet susmentionné se traduira par la valeur maximale d'epfd pour une longitude quelconque qui sera alors la valeur maximale d'epfd pour toutes les longitudes. (En d'autres termes, si la simulation qui devait couvrir tous les états possibles de la simulation, les «points d'epfd élevée» d'epfd maximale sur la carte de la Fig. 5 se répartiraient suivant la direction horizontale pour former des raies horizontales uniformes.) On considère donc qu'il est préférable, pour une latitude donnée, de choisir la valeur maximale d'epfd pour une longitude quelconque et de l'utiliser pour toutes les longitudes. On passe ainsi d'un tableau recensant les valeurs maximales d'epfd en fonction de la latitude et de la longitude à une simple liste des valeurs maximales d'epfd en fonction de la latitude.

Ce faisant, on peut réduire la durée de la simulation à celle associée à une seule période orbitale pour le système non OSG n'ayant pas de période géosynchrone. La «carte» résultant de cette simulation limitée ne présenterait certes que quelques «points d'epfd élevée» mais, à une latitude donnée, la valeur en ces points (c'est-à-dire la valeur maximale d'epfd quelle que soit la longitude considérée) serait constante.

En outre, la quantité de données à présenter à la réunion de consultation s'en trouverait considérablement réduite.

FIGURE 5

Exemple de distribution mondiale de la valeur maximale d'epfd

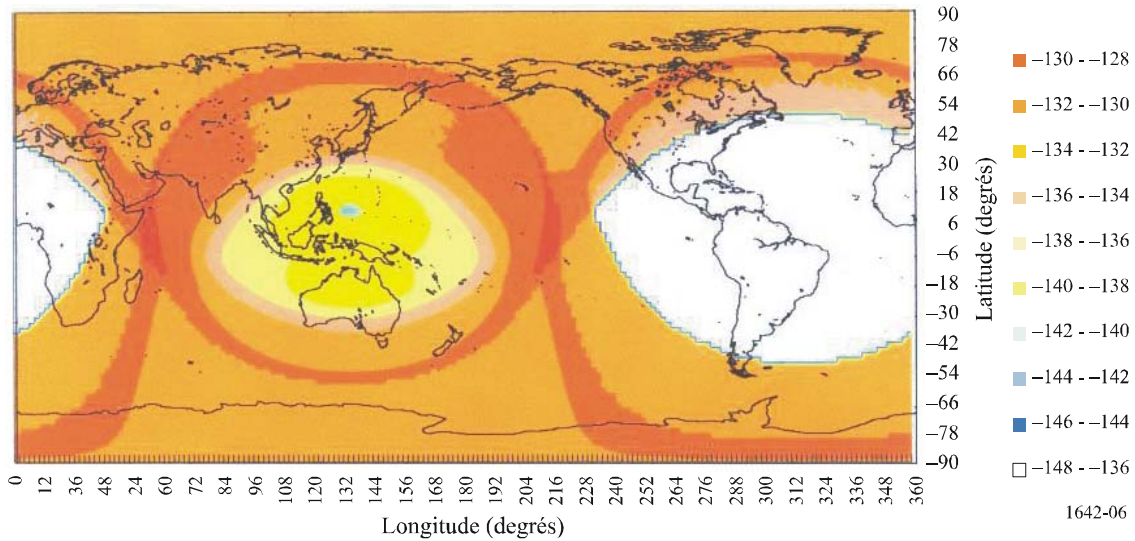


En revanche, les systèmes non OSG ayant une période géosynchrone produisent des traces au sol qui sont confinées à une gamme de longitudes limitée à la surface de la Terre. De ce fait, les «points d'epfd élevée» d'epfd maximale apparaîtront uniquement dans une zone limitée à la surface de la Terre. (En d'autres termes, les «points d'epfd élevée» d'epfd maximale à la surface de la Terre ne se répartiront pas dans la direction horizontale.) Par conséquent, la valeur d'epfd cumulative, causée par les systèmes non OSG ayant une période géosynchrone, sera calculée pour les points de latitude et de longitude à l'intérieur de la gamme visible depuis le système non OSG.

Dans le cas d'un système non OSG ayant une période géosynchrone, on peut effectuer le calcul avec une seule période orbitale. Les résultats types d'un calcul d'epfd applicable à un système non OSG ayant une période géosynchrone sont représentés sur la Fig. 6.

FIGURE 6

Exemple de distribution mondiale de la valeur maximale d'epfd pour un système non OSG avant une période géosynchrone



Appendice 2 à l'Annexe 1

Méthode analytique d'évaluation de la valeur maximale d'epfd pour un seul système du SRNS exploité dans la bande 1 164-1215 MHz

1 Introduction

L'objet de cette méthode est de permettre d'évaluer la valeur maximale d'epfd dans le cas d'un seul système du SRNS.

La définition de la puissance epfd est donnée dans le § 1.1 de l'Annexe 1.

2 Description de la méthode

Si l'on suppose qu'une constellation non OSG de systèmes du SRNS comprend un certain nombre de plans orbitaux, il est alors très probable que, dans un plan orbital donné, au maximum un satellite se trouve dans le champ de visibilité défini par l'intervalle $-3,54^\circ$ à $+3^\circ$ de l'angle d'élévation du diagramme d'antenne de la station du SRNA (voir l'Annexe 2). En outre, dans le cas des systèmes non OSG, il est probable que, lorsqu'un satellite est visible depuis une station spatiale du SRNA dans la partie du diagramme d'antenne correspondant au gain maximal, les valeurs d'epfd produites par les autres satellites de ce plan sont relativement faibles. Par conséquent, le nombre de satellites qui ne contribuent que faiblement à la valeur d'epfd cumulative d'un système du SRNS sera vraisemblablement inférieur ou égal au nombre de plans orbitaux du système. Ces hypothèses étant posées, la valeur maximale d'epfd ($epfd_{max}$) produite par la constellation non OSG du SRNS est donnée par:

$$epfd_{max} = 10 \log N_p + epfd_{i, max} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

où:

- N_p : nombre maximal de satellites dans le faisceau principal de l'antenne de réception du SRNA (en général, nombre de plans orbitaux de la constellation)
 $epfd_{i,max}$: valeur maximale d'epfd produite par un seul satellite (dB(W/(m² · MHz))).

3 Exemples de constellations non OSG

Si la valeur maximale d'epfd produite par un seul satellite est de $-136,9$ dB(W/(m² · MHz)) dans le cas d'une constellation non OSG du SRNS comprenant six plans, la valeur d' $epfd_{max}$ obtenue à l'aide de l'équation du § 2 est égale à:

$$epfd_{max} = (-136,9) + 10 \log 6 = -129,12 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

Si la valeur maximale d'epfd produite par un seul satellite est de $-130,24$ dB(W/(m² · MHz)) dans le cas d'une constellation non OSG du SRNS (voir l'équation § 2) comprenant trois plans, un calcul similaire conduit à une valeur maximale d'epfd égale à $-125,47$ dB(W/(m² · MHz)).

Ces valeurs sont très proches de celles obtenues en appliquant la méthode de simulation de l'Appendice 1 à l'Annexe 1, dont elles ne diffèrent que de 1,2 dB.

Annexe 2

Caractéristiques d'antenne de référence d'une station du SRNA à utiliser pour les calculs d'epfd

1 Caractéristiques d'antenne d'une station du SRNA

Le Tableau 1 suivant contient les valeurs de gain d'antenne pour des angles d'élévation compris entre -90° et 90° . Pour des valeurs entre ces angles, on procédera à une interpolation linéaire. La valeur $G_{r,max}$ est de 3,4 dBi conformément aux spécifications de la Recommandation UIT-R M.1639, compte tenu des 2 dB dus à la désadaptation de polarisation circulaire/linéaire. On suppose que le diagramme de gain en fonction de l'angle d'élévation ne dépend pas de l'angle d'azimut.

TABLEAU 1

Angle d'élévation (degrés)	Gain d'antenne, compte tenu de la désadaptation de polarisation circulaire-rectiligne $G_r/G_{r,max}$ (dB)	Angle d'élévation (degrés)	Gain d'antenne, compte tenu de la désadaptation de polarisation circulaire-rectiligne $G_r/G_{r,max}$ (dB)	Angle d'élévation (degrés)	Gain d'antenne, compte tenu de la désadaptation de polarisation circulaire-rectiligne $G_r/G_{r,max}$ (dB)
-90	-17,22	22	-10,72	57	-15,28
-80	-14,04	23	-10,81	58	-15,49
-70	-10,51	24	-10,90	59	-15,67
-60	-8,84	25	-10,98	60	-15,82
-50	-5,40	26	-11,06	61	-16,29
-40	-3,13	27	-11,14	62	-16,74
-30	-0,57	28	-11,22	63	-17,19
-20	-1,08	29	-11,29	64	-17,63
-10	0,00	30	-11,36	65	-18,06
-5	-1,21	31	-11,45	66	-18,48
-3	-1,71	32	-11,53	67	-18,89
-2	-1,95	33	-11,60	68	-19,29
-1	-2,19	34	-11,66	69	-19,69
0	-2,43	35	-11,71	70	-20,08
1	-2,85	36	-11,75	71	-20,55
2	-3,26	37	-11,78	72	-20,99
3	-3,66	38	-11,79	73	-21,41
4	-4,18	39	-11,80	74	-21,80
5	-4,69	40	-11,79	75	-22,15
6	-5,20	41	-12,01	76	-22,48
7	-5,71	42	-12,21	77	-22,78
8	-6,21	43	-12,39	78	-23,06
9	-6,72	44	-12,55	79	-23,30
10	-7,22	45	-12,70	80	-23,53
11	-7,58	46	-12,83	81	-23,44
12	-7,94	47	-12,95	82	-23,35
13	-8,29	48	-13,05	83	-23,24
14	-8,63	49	-13,14	84	-23,13
15	-8,97	50	-13,21	85	-23,01
16	-9,29	51	-13,56	86	-22,88
17	-9,61	52	-13,90	87	-22,73
18	-9,93	53	-14,22	88	-22,57
19	-10,23	54	-14,51	89	-22,40
20	-10,52	55	-14,79	90	-22,21
21	-10,62	56	-15,05		

2 Emplacement de la station du SRNA

L'altitude qu'il convient de choisir pour la station du SRNA correspond à celle du cas le plus défavorable (40000 pieds, soit 12192 m), c'est-à-dire le cas pour lequel la probabilité que des satellites potentiellement brouilleurs se trouvent dans le champ de visibilité de l'antenne de réception de la station du SRNA est la plus grande.
