

RECOMMANDATION UIT-R M.1143-3*

Méthodologie spécifique au système pour la coordination des stations spatiales non géostationnaires (espace vers Terre) du service mobile par satellite avec les systèmes du service fixe

(Questions UIT-R 201/8 et UIT-R 118/9)

(1995-1997-2003-2005)

Domaine de compétence

La présente Recommandation décrit les méthodologies et les caractéristiques du système de référence du service fixe à prendre en compte lors de l'application de la méthodologie spécifique au système (SSM, *System Specific Methodology*) mentionnée par l'Appendice 5 du Règlement des radiocommunications (RR), qui permet de déterminer de manière détaillée s'il est nécessaire de coordonner les assignations de fréquence aux stations spatiales non géostationnaires (non OSG) (espace vers Terre) et aux systèmes de réception du service fixe. Elle présente en outre une méthodologie possible de coordination bilatérale des stations spatiales d'émission non géostationnaires du service mobile par satellite (SMS) avec les stations du service fixe.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que certaines bandes de fréquences attribuées au service mobile par satellite (SMS) (espace vers Terre) sont utilisées en partage, à titre primaire et avec égalité des droits, avec le service fixe dans la gamme 1-3 GHz;
- b) que les systèmes non géostationnaires (non OSG) du SMS possèdent chacun des caractéristiques propres, notamment pour ce qui est de leurs paramètres d'orbite, de leurs caractéristiques d'émission, de leur altitude et de leur angle d'élévation;
- c) que prendre en considération les caractéristiques mentionnées au point b) du *considérant* peut éventuellement faciliter l'utilisation en partage des bandes de fréquences mentionnées avec les systèmes du service fixe lorsque sont dépassés les seuils fixés dans l'Appendice 5 du Règlement des radiocommunications (RR);
- d) qu'il existe des méthodes analytiques, des critères de brouillage et des caractéristiques de système pour décrire les systèmes du service fixe exploités dans les bandes utilisées en partage,

recommande

1 d'utiliser, lorsque les seuils fixés dans l'Appendice 5 du RR sont dépassés, la méthodologie spécifique au système exposée dans l'Annexe 1 pour estimer le besoin de coordonner les réseaux SMS (espace vers Terre) non OSG avec les assignations du service fixe, dans les bandes 1 518-1 525 MHz, 1 525-1 530 MHz, 2 160-2 170 MHz, 2 170-2 200 MHz, 2 483,5-2 500 MHz et 2 500-2 535 MHz;

* La révision de la présente Recommandation a été préparée conjointement par les Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications et toute révision ultérieure se fera également conjointement.

2 d'utiliser éventuellement, lors d'une coordination poussée, la méthode exposée dans l'Annexe 3 pour estimer le niveau de brouillage causé aux liaisons existantes du service fixe.

Annexe 1*

Méthodologie spécifique au système que doit utiliser le programme informatique normalisé pour déterminer le besoin de coordination des systèmes SMS non OSG avec les systèmes du service fixe dans les bandes attribuées au SMS (espace vers Terre)

1 Introduction

Une administration exploitant ou projetant d'exploiter des réseaux de Terre du service fixe est considérée comme potentiellement affectée par les émissions de stations spatiales SMS non OSG si les seuils de coordination applicables aux systèmes analogiques et/ou numériques du service fixe stipulés dans l'Appendice 5 du RR sont dépassés.

Le programme informatique normalisé doit être développé pour estimer précisément la nécessité de coordonner les fréquences assignées à des stations spatiales d'émission non géostationnaires d'une même constellation (source unique) du SMS avec les fréquences assignées à des stations de réception du service fixe appartenant à un réseau du service fixe d'une administration potentiellement affectée. Le programme informatique normalisé tient compte en effet des caractéristiques spécifiques du système SMS non OSG et des caractéristiques de référence du service fixe. Dans la suite de la présente Annexe, toute mention aux caractéristiques du service fixe sera comprise comme renvoyant aux caractéristiques de référence de ce service. Les systèmes spécifiques de référence du service fixe indiqués à l'Annexe 2 qu'il convient d'employer doivent correspondre aux types de systèmes de référence du service fixe effectivement utilisés par les administrations concernées.

Le programme informatique normalisé demande en entrée une caractérisation du système de référence du service fixe ainsi que du système à satellites SMS non OSG (voir le § 2).

Il utilise la méthode décrite au § 3, sur la base des données précédentes, statistiques pertinentes du brouillage causé par la constellation de satellites SMS non OSG au système de référence du service fixe.

Si les niveaux de brouillage maximum applicables mentionnés au § 4 ne sont pas dépassés, la coordination peut ne pas être nécessaire (sauf avis contraire ultérieur de la part de l'administration responsable des systèmes du service fixe).

* Le programme informatique normalisé doit être développé avec la participation conjointe des experts des Commissions d'études 8 et 9 des radiocommunications. La méthodologie décrite dans cette Annexe devra peut-être ensuite faire l'objet d'une nouvelle mise à jour pour tenir compte de ce travail.

2 Spécification des données du service fixe et du SMS

2.1 Position de la station du service fixe et détermination de l'azimut de pointage du service fixe le plus défavorable

Pour une administration donnée, le programme informatique normalisé est appliqué pour un échantillon approprié de latitudes (par exemple tous les 5°) couvrant la plage de latitudes occupée par le territoire de cette administration. Pour une constellation donnée de satellites SMS non OSG et pour une station du service fixe victime à une latitude donnée, il est possible de déterminer l'azimut de pointage le plus défavorable pour la station du service fixe auquel correspond le risque de brouillage maximum qu'elle peut recevoir de la part des satellites. Le programme informatique normalisé est appliqué pour la direction de pointage en azimut pour le service fixe le plus défavorable.

Les formules à appliquer au calcul de l'azimut le plus défavorable figurent au § 5 de l'Appendice 3 à l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R S.1257.

2.2 Données concernant les systèmes analogiques du service fixe

A supposer l'existence de $M = 13$ stations analogiques utilisant la même fréquence disséminées sur une liaison complète dont le centre passe par une latitude donnée selon une direction correspondant à l'azimut le plus défavorable pour la constellation de satellites SMS non OSG. La ligne couvre une distance de $D = 600$ km et les stations sont espacées exactement tous les $d = 50$ km. L'azimut pour chaque station correspond à l'azimut le plus défavorable donné, plus un angle variable uniformément réparti entre $V = \pm 12,5^\circ$. On suppose que chaque station du service fixe utilise une antenne à gain élevé pointée sur la station suivante selon un angle d'élévation de 0° . Le gain d'antenne des stations point à point du service fixe est conforme au diagramme d'antenne (gain dans les lobes latéraux moyennés) défini dans la Recommandation UIT-R F.1245.

Considérons que les caractéristiques du système analogique de référence du service fixe correspondent aux caractéristiques définies dans l'Appendice 2 à l'Annexe 2, ou, si elles sont disponibles, aux caractéristiques du service fixe notifiées au Bureau des radiocommunications (BR) par l'administration et conservées dans la base de données du BR.

2.3 Données concernant les systèmes numériques du service fixe

Dans ce cas, un seul récepteur du service fixe numérique est nécessaire à l'analyse, et non plus une liaison complète. La station du service fixe est située à une latitude donnée dans la direction de l'azimut le plus défavorable, à supposer qu'elle utilise une antenne dont l'angle d'élévation est de 0° . Le gain d'antenne de cette station est conforme au diagramme d'antenne (gain dans les lobes latéraux moyennés) défini dans la Recommandation UIT-R F.1245.

On considère que les caractéristiques du système numérique de référence du service fixe correspondent aux caractéristiques décrites dans l'Appendice 1 à l'Annexe 2, ou, si elles sont disponibles, aux caractéristiques du service fixe notifiées au BR par l'administration et conservées dans la base de données du BR.

2.4 Données concernant les systèmes SMS non OSG

Pour caractériser les réseaux non OSG du SMS, il faut avoir des informations complètes sur les paramètres suivants:

- fréquence centrale,
- nombre de faisceaux ponctuels,
- puissance maximum d'un satellite,

– caractéristiques d'un faisceau ponctuel.

La liste détaillée des paramètres figure dans l'Appendice 1 à l'Annexe 1.

Il faut recueillir des informations complètes sur la densité maximale de p.i.r.e./4 kHz ou 1 MHz de tout faisceau actif d'un quelconque satellite dont les fréquences porteuses risquent de chevaucher celles du récepteur du service fixe supposé, à tous les instants échantillons lors desquels un satellite donné est visible du système du service fixe. Ces informations devraient implicitement refléter les plans de réutilisation des fréquences intrasatellite et intersatellites ainsi que le volume de trafic des faisceaux du satellite compte tenu de la distribution géographique du trafic prévue pour le système SMS.

En général, si dans la constellation des satellites SMS non OSG un système à accès multiple par répartition de code (AMRC)/accès multiple par répartition de fréquence (AMRF) est utilisé, pratiquement tous les faisceaux de tous les satellites visibles peuvent alors utiliser le même canal; par contre, si un système à accès multiple par répartition dans le temps (AMRT)/AMRF ou AMRF est utilisé, seul un sous-ensemble des faisceaux des satellites visibles fonctionnera alors dans le même canal.

La Partie 1 de l'Appendice 2 à l'Annexe 1 présente une méthodologie par défaut/de référence de modélisation de la charge des faisceaux ponctuels de satellite. La Partie 2 de l'Appendice 2 à l'Annexe 1 décrit une méthodologie détaillée de modélisation de la charge des faisceaux ponctuels de satellite applicable aux systèmes d'accès AMRC-AMRF lorsque les données de trafic nécessaires relatives au système SMS sont disponibles. Puisqu'il faut disposer de projections des données de trafic du SMS, l'application de la méthodologie de la Partie 2 de l'Appendice 2 à l'Annexe 1 exigera normalement des consultations avec les administrations concernées.

En ce qui concerne tous les types de systèmes SMS non OSG (AMRT, AMRF ou AMRC), tous les satellites visibles de la constellation devraient être pris en considération dans le calcul du brouillage cumulé causé à la station du service fixe affectée, mais il conviendrait de répartir le trafic entre les satellites en question.

3 Méthode de calcul du brouillage

Le programme informatique normalisé simule le brouillage causé au réseau du service fixe par la ou les constellations de satellites non OSG de la manière indiquée ci-dessous.

3.1 Boucle de calcul

Le programme calcule les vecteurs de position et de vitesse des satellites du système à satellites non OSG et des stations du système du service fixe à chaque intervalle de temps.

Pour chaque intervalle de temps échantillonné, le programme informatique normalisé calcule la puissance brouilleuse totale exercée sur chaque station affectée du service fixe par tous les faisceaux actifs de tous les satellites du SMS visibles ou de certains faisceaux choisis de manière appropriée. Si la largeur de bande du récepteur de la station du service fixe ne couvre pas celle du signal du SMS, la puissance brouilleuse est réduite proportionnellement au facteur de largeur de bande. Dans le cas du service fixe analogique, cette puissance brouilleuse est ramenée à 4 kHz.

La puissance de brouillage cumulée provenant de tous les faisceaux actifs de tous les satellites visibles de la ou des stations du service fixe est déterminée à l'aide de l'équation suivante:

$$I = \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^S \frac{E_{jk}}{L_{ik}} G^3(\alpha_{ijk}) G^4(\theta_{ik}) \frac{B_w}{B_{ij}} \frac{1}{F_k} \frac{1}{P_{ijk} A} \quad (1)$$

où:

- I : puissance de brouillage (W)
- i : 1 des N satellites pris en compte dans le calcul de brouillage concernant la k^{e} station du service fixe considérée
- j : 1 des S faisceaux actifs du satellite du SMS visible choisi dont des fréquences chevauchent celles du récepteur de la station du service fixe considérée, compte tenu du plan de réutilisation des fréquences du faisceau ponctuel du satellite
- k : 1 des M stations du service fixe
- E_{jk} : densité maximale de p.i.r.e. par largeur de bande de référence en entrée à l'antenne pour le j^{e} faisceau actif, dans sa direction de visée, du i^{e} satellite visible choisi (W/largeur de bande de référence)
- B_{ij} : largeur de bande de référence correspondant au signal brouilleur émis par le faisceau actif j^{e} du i^{e} satellite visible choisi (kHz)
- $G^3(\alpha_{ijk})$: discrimination d'antenne du j^{e} faisceau actif du i^{e} satellite visible choisi émettant en direction de la k^{e} station du service fixe
- α_{ijk} : angle (degrés) compris entre le vecteur de pointage de l'axe de visée du j^{e} faisceau ponctuel actif du i^{e} satellite visible choisi et la k^{e} station du service fixe
- L_{ik} : affaiblissement en espace libre à la fréquence de référence donnée des signaux émis par le i^{e} satellite visible choisi en direction de la k^{e} station du service fixe
- $G^4(\theta_{ik})$: gain d'antenne de la k^{e} station du service fixe dans la direction du i^{e} satellite visible choisi
- θ_{ik} : angle (degrés) compris entre le vecteur de pointage de l'antenne de la k^{e} station du service fixe et le vecteur de distance entre la k^{e} station du service fixe et le i^{e} satellite visible choisi
- B_w : largeur de bande du récepteur de la station du service fixe affectée (4 kHz ou 1 MHz)
- A : facteur utilisé pour établir une valeur moyenne afin de tenir compte de la variabilité des paramètres du SMS (fréquences porteuses, puissance ou temps)
- F_k : affaiblissement de la ligne d'alimentation pour la k^{e} station du service fixe
- P_{ijk} : gain de polarisation entre le j^{e} faisceau ponctuel du i^{e} satellite du SMS et la k^{e} station du service fixe.

Il est possible d'appliquer le facteur A pour refléter les variations dynamiques de fréquence, de temps ou de puissance des niveaux de trafic du SMS dans une largeur de bande de référence donnée (dues, par exemple, à l'utilisation de la commande par la voix, au cycle utile, au contrôle du niveau de puissance, etc., selon ce qui s'applique au système non OSG du SMS concerné). Une étude ultérieure devra être consacrée à cette question.

Le gain de polarisation P_{ijk} doit être utilisé uniquement si le i^{e} satellite du SMS se situe à l'intérieur de la largeur de bande de 3 dB de la k^{e} station du service fixe et si la k^{e} station du service fixe se situe à l'intérieur de la largeur du faisceau de 3 dB du j^{e} faisceau ponctuel du i^{e} satellite du SMS. La formule de la Note 7 de la Recommandation UIT-R F.1245 permet de calculer P_{ijk} .

Le temps d'exécution de la simulation peut être réduit si l'on exclut du calcul de brouillage les faisceaux pour lesquels α_{ijk} est supérieur à un angle d'«exclusion» donné.

3.2 Importance et nombre des étapes de la boucle de calcul

D'une part, le temps d'exécution du programme doit être aussi court que possible, de façon à limiter pour l'utilisateur le temps d'attente des résultats, mais d'autre part la précision escomptée des résultats exige l'utilisation d'un nombre suffisant d'échantillons prélevés à des moments convenablement choisis, compte tenu de tous les signaux brouilleurs affectant le récepteur de la station fixe.

3.2.1 Incrément temporel

L'Appendice 3 à l'Annexe 1 de la présente Recommandation utilise les formules ci-dessous, et décrit en outre les étapes de leur calcul. Puisque la vitesse du satellite est sensiblement la même au niveau de l'équateur et aux latitudes plus élevées, le calcul de l'incrément temporel de simulation Δt est effectué pour un satellite à la latitude de l'équateur, compte tenu de la rotation de la Terre, de l'inclinaison de l'orbite du satellite et de l'angle d'élévation de l'antenne de la station du service fixe. Le calcul de Δt n'utilise pas le pire azimut du point de vue de la dégradation relative de la qualité de fonctionnement (FDP), ni l'azimut du déplacement horizontal.

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cos I - \omega_e)^2 + (\omega_s \sin I)^2}$$

$$\theta_\varepsilon = \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos \varepsilon\right) - \varepsilon$$

$$\Delta t = \frac{\Phi_{3dB}}{N_{hits} \omega} \frac{\sin \theta_\varepsilon}{\cos \varepsilon}$$

où:

- ω : vitesse angulaire du satellite dans un système de coordonnées terrestres fixe (système de coordonnées de référence géocentrique et géosynchrone)
- ω_s : vitesse angulaire du satellite dans un système de coordonnées spatiales fixe (système de coordonnées de référence géocentrique et héliosynchrone)
- ω_e : vitesse angulaire de rotation de la Terre à l'équateur
- I : inclinaison de l'orbite du satellite
- θ_ε : écart angulaire (par rapport au centre de la Terre) entre la station du service fixe et le satellite
- R : rayon de la Terre
- h : altitude du satellite
- ε : angle d'élévation de l'antenne de la station du service fixe
- Φ_{3dB} : ouverture à 3 dB de la station du service fixe
- N_{hits} : nombre de perturbations dans l'angle d'ouverture à 3 dB de la station du service fixe ($N_{hits} = 5$)
- Δt : incrément temporel de simulation.

3.2.2 Vitesse de précession et temps de simulation total

Pendant qu'un satellite du SMS décrit une orbite circulaire, le point subsatellite parcourt une trajectoire à la surface de la Terre. Après que le satellite a décrit un certain nombre d'orbites complètes, cette trajectoire repasse par le même point, ou presque le même point de la surface terrestre. Le temps qui s'écoule avant que cela se produise est appelé période de répétition. Pour certaines constellations de satellites, il est possible de définir une période de répétition en se fondant

sur un autre satellite de la constellation dont le point situé à la verticale repasse au même endroit. En pareille circonstance, le temps écoulé entre les deux passages consécutifs peut être considéré comme la période de répétition de la constellation.

Certaines constellations se caractérisent par de courtes périodes de répétition, de quelques jours (généralement moins d'une semaine), tandis que d'autres ont des périodes de répétition très longues, par exemple d'un grand nombre de mois. Ces fortes différences doivent faire l'objet d'une attention particulière; en effet les systèmes du service fixe doivent répondre à des exigences de qualité de fonctionnement indépendamment du mois considéré. Il y a deux possibilités pour remédier à ces disparités.

Dans le cas des constellations dont les périodes de répétition sont inférieures à 1 semaine, la solution pourrait consister à prendre la période de répétition de la constellation comme durée totale de la simulation et à exécuter le programme pour plusieurs valeurs de l'ascension droite (position initiale du nœud ascendant du plan orbital numéro 1) allant d'une longitude 0° à une longitude égale à la distance angulaire entre deux plans orbitaux consécutifs. Cette façon de procéder garantirait l'identification du cas le plus défavorable du point de vue du service fixe. Un complément d'étude s'avère nécessaire pour estimer la valeur de l'incrément en longitude, qui est lié au nombre d'incrément temporels pendant lesquels un satellite se trouve dans le faisceau principal d'une station du service fixe (voir le § 3.2.1).

Dans le cas des constellations dont les périodes de répétition sont très longues, le fait de choisir un temps total de simulation d'une durée égale à cette période risque de se traduire par un allongement correspondant du temps machine nécessaire. En outre, les trajectoires parcourues à la surface de la Terre seraient réparties de manière uniforme et la résolution en longitude (écart en longitude de deux trajectoires voisines) du même ordre de grandeur que l'incrément de longitude évoqué dans le cas précédent. La vitesse de précession artificielle correspondrait à une période de répétition artificielle, nettement inférieure à la valeur réelle, ce qui réduirait par conséquent le temps machine. Il est néanmoins indispensable d'évaluer les résultats des simulations concernant différentes périodes d'un mois, à l'intérieur du cycle de répétition, afin d'apprécier la variabilité de la FDP à cette échelle.

4 Critères de brouillage applicables

4.1 Service fixe analogique

Le programme informatique normalisé calcule la statistique de brouillage en fonction de la puissance de bruit cumulée pour toutes les stations et à chaque point d'échantillon. Cette statistique indique la probabilité pour cette puissance de bruit reçue de dépasser un niveau de brouillage donné.

La simulation décrite à l'Annexe 2 de la Recommandation UIT-R F.1108, qui se fonde en partie sur la méthode contenue dans la Recommandation UIT-R SF.766, peut être utilisée pour ce faire, avec les paramètres suivants:

N_t : puissance de bruit thermique introduite dans un canal téléphonique de 4 kHz d'une station = 25 pW, pondérée psophométriquement en un point de niveau relatif zéro (pW0p)

T : température de bruit du système de réception de la station (K)

L_f : affaiblissement de la ligne d'alimentation (dB).

Pour savoir si la coordination est nécessaire ou non, il faut comparer la distribution de la puissance de brouillage à un gabarit composé de deux objectifs de brouillage, l'un à long terme et l'autre à court terme, fixés dans la Recommandation UIT-R SF.357.

4.2 Système numérique du service fixe

Dans le cas du système numérique du service fixe, le programme informatique normalisé calcule la FDP pour la station numérique conformément à l'Annexe 3 de la Recommandation UIT-R F.1108:

$$FDP = \sum_{I_i=\min}^{\max} \frac{I_i f_i}{N_T} \quad (2)$$

où:

- I_i : puissance de brouillage dans la largeur de bande du récepteur du service fixe, B_w
- f_i : fraction de temps pendant laquelle la puissance de brouillage est égale à I_i
- N_T : puissance de bruit du système récepteur de la station
 $= k T B_w$

où:

k : constante de Boltzmann

T : température de bruit (K) du système récepteur de la station

B_w : largeur de bande du récepteur du service fixe (habituellement la FDP est calculée à l'intérieur d'une largeur de bande de référence de 1 MHz).

Pour voir si la coordination est nécessaire ou non en ce qui concerne les systèmes numériques du service fixe, il faut comparer la FDP calculée au critère applicable de 25%.

Appendice 1 à l'Annexe 1

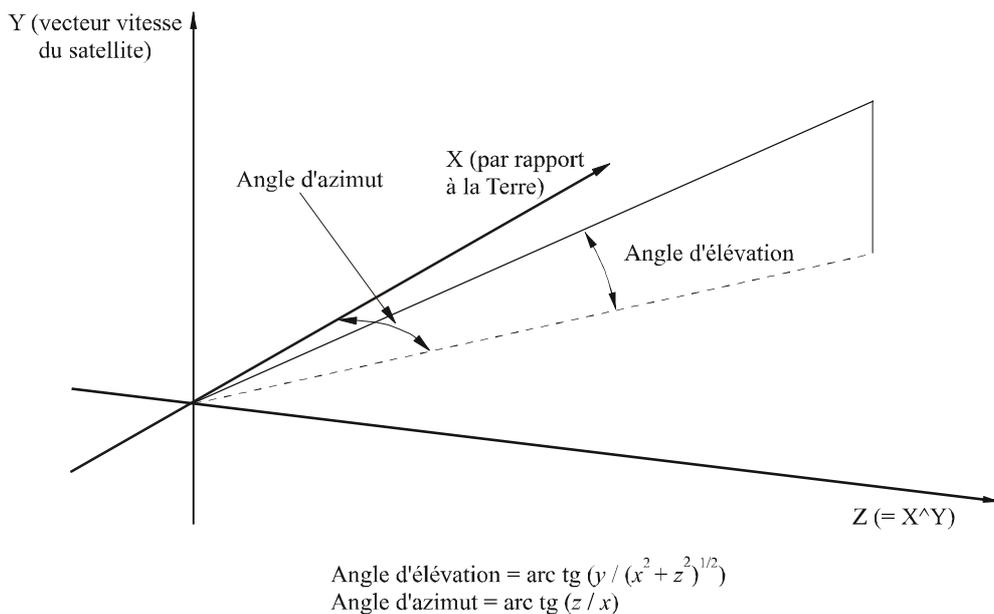
Liste des paramètres du SMS

- Paramètres orbitaux:
 - rayon de l'orbite (km),
 - inclinaison (degrés),
 - nombre de plans,
 - nombre de satellites par plan,
 - décalage des satellites entre deux plans consécutifs (degrés),
 - longitude du nœud ascendant d'un plan à l'instant 0,
 - angles entre les plans (sauf mention contraire, la répartition des plans est uniforme).
- Orbites elliptiques:
 - argument du périhélie,
 - anomalie moyenne,
 - déplacement et temps de passage moyens.
- Nombre de faisceaux ponctuels
- Puissance maximum d'un satellite (W)
- Caractéristiques d'un faisceau ponctuel:

- angle d'azimut (degrés) (voir la Fig. 1),
- angle d'élévation (degrés) (voir la Fig. 1),
- grand axe (degrés),
- petit axe (degrés),
- grand axe par rapport à l'azimut (degrés),
- gain d'antenne maximum (dBi),
- diagramme d'antenne: par exemple, à décroissance parabolique suivie d'un plancher, un des diagrammes d'antenne de satellite pertinents mentionnés par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications sur l'utilisation de l'orbite des satellites géostationnaires et la planification des services spatiaux utilisant cette orbite (Genève, 1988) (CAMR ORB-88) ou par la Conférence administrative mondiale des radiocommunications pour la radiodiffusion par satellite (Genève, 1977) (CAMR RS-77), ou encore diagramme indiqué dans la Recommandation UIT-R S.672,
- p.i.r.e. maximale du faisceau (dBW) dans les bandes de 4 kHz et de 1 MHz,
- largeur de bande maximale du faisceau (kHz),
- p.i.r.e. moyenne du faisceau (dBW) dans les bandes de 4 kHz et 1 MHz,
- largeur de bande moyenne du faisceau (kHz),
- p.i.r.e. minimum du faisceau (dBW) dans les bandes de 4 kHz et 1 MHz,
- largeur de bande minimum du faisceau (kHz),
- polarisation,
- fréquence centrale du faisceau (MHz).

FIGURE 1

Définition du système de référence et des angles d'azimut et d'élévation des satellites non OSG



Appendice 2 à l'Annexe 1

Partie 1

Il faut supposer un chevauchement des fréquences des différents faisceaux ponctuels de chacun des satellites avec le récepteur du service fixe, ainsi qu'un niveau de charge défini par une loi de variation aléatoire entre les niveaux de charge correspondant respectivement au trafic maximum et au trafic moyen.

NOTE 1 – On calcule le niveau de charge d'un faisceau ponctuel relatif au trafic moyen du SMS en divisant la capacité totale instantanée maximale du satellite par le nombre de faisceaux ponctuels du satellite.

Partie 2

La p.i.r.e. de chaque faisceau ponctuel du satellite est un élément important à prendre en compte dans le calcul du niveau de brouillage des systèmes du service fixe par les systèmes du SMS. La méthodologie du programme informatique normalisé décrite à l'Annexe 1 repose sur la sélection aléatoire d'une valeur de la p.i.r.e. de chaque faisceau ponctuel comprise entre les niveaux MAX (niveau maximum) et MEAN (niveau moyen). La prise en considération de la charge de trafic du satellite permettrait de mieux évaluer le niveau du signal brouilleur du SMS reçu par le service fixe.

Tandis que le niveau de trafic par faisceau varie en fonction de la demande, certaines contraintes limitent la p.i.r.e. par faisceau, notamment:

- la charge totale susceptible d'être acheminée par un faisceau ponctuel donné,
- la charge totale susceptible d'être acheminée par un satellite donné.

Les modélisations du trafic doivent tenir compte de la possibilité de laisser le trafic d'un faisceau ponctuel particulier dépasser le niveau moyen, tout en évitant d'aboutir à des situations peu réalistes telles que l'exploitation à pleine charge de tous les faisceaux ponctuels de chacun des satellites.

Le calcul de la p.i.r.e. de chaque faisceau ponctuel fait appel à deux méthodologies, choisies en fonction du type d'accès.

Méthodologie applicable à l'accès AMRT

Les données d'entrée sont définies en divisant la surface du globe en cellules identiques en latitude et en longitude. Chaque cellule est associée à différents paramètres permettant de calculer le niveau du trafic qu'elle achemine à un moment quelconque de la simulation. Ces indications seraient transmises par les exploitants du SMS en fonction des prévisions de demande. Il est alors possible d'attribuer le trafic aux faisceaux ponctuels, en le partageant en principe entre les divers satellites visibles, compte tenu du trafic total admis par faisceau et par satellite.

Méthodologie applicable à l'accès AMRC

Dans chaque pays, le niveau de trafic est défini comme dit élevé, moyen ou faible. Ces indications seraient transmises par les exploitants du SMS en fonction des prévisions de demande. Le faisceau

ponctuel desservant chaque pays est ensuite chargé à raison d'une p.i.r.e. déterminée en fonction de ce niveau de trafic escompté, et en tenant compte du trafic total admis par faisceau et par satellite.

Les paragraphes suivants décrivent en détail chacune des étapes de ces deux méthodologies.

Etape 1: Méthodologie d'affectation du trafic pour système de type AMRT

Deux sources de données permettent de déterminer les niveaux de trafic:

- un fichier géographique, sous forme de matrice contenant, pour chacune des cellules définies (en latitude et en longitude), un niveau de trafic de pointe et un «décalage pour l'heure chargée», qui est la différence en nombre de fois où le trafic de pointe se produit dans la cellule et dans le fichier des variations quotidiennes ci-après;
- un fichier des variations quotidiennes, indiquant la variation normalisée du niveau de trafic dans la journée en fonction du temps.

L'utilisation du programme informatique normalisé étant envisagée dans un environnement PC, le choix de cellules de 5° en latitude comme en longitude s'avère réaliste.

Le niveau de trafic est alors calculé comme suit:

- a) le temps de la simulation et la position de la station donnent l'heure locale et par conséquent un décalage temporel de base à prendre en considération lors de la connexion au fichier des variations quotidiennes du trafic;
- b) le fichier de données géographiques de trafic indique le décalage supplémentaire pour l'heure chargée propre à la cellule considérée;
- c) le décalage temporel total (c'est-à-dire la somme du décalage de base et du décalage pour l'heure chargée) définit le pourcentage du trafic propre à la cellule à appliquer aux données du fichier du profil quotidien du trafic:
 - Dans le fichier géographique, les valeurs affectées aux variables sont stockées sous forme de:
 - décalage en minutes par rapport à l'heure locale,
 - nombre de porteuses actives à l'heure de pointe.
 - Dans le fichier des variations quotidiennes, les valeurs affectées aux variables sont stockées sous forme de:
 - décalage en minutes par rapport au temps zéro,
 - pourcentage rapporté au trafic de l'heure de pointe, suivant une échelle de 0 à 100.

Une fois calculé, le pourcentage du trafic est multiplié par le nombre de porteuses maximum à l'heure de pointe indiqué dans le fichier des données de trafic relatif à cette cellule, de manière à obtenir le nombre total de porteuses dans la cellule de trafic, correspondant à cet intervalle de temps (le nombre de porteuses peut être multiplié par la largeur de bande de la porteuse afin de déterminer la largeur de bande requise pour cette cellule de trafic).

L'étape suivante consiste à affecter à un ou à plusieurs satellites le trafic relatif à une cellule particulière. Dans le cas du système LEO-F, de 2 à 4 satellites sont généralement visibles, suivant des angles d'élévation différents. Pour chaque satellite, il y a lieu de supposer que le trafic est affecté au faisceau dont l'empreinte est la plus rapprochée du centre de la cellule. Les deux algorithmes suivants ont été appliqués:

- *Proportionnellement à l'angle d'élévation*

Le trafic est alors affecté proportionnellement à l'angle d'élévation. Ainsi en présence de deux satellites vus sous des élévations de 30° et de 60°, un trafic deux fois plus important sera affecté au second par rapport au premier.

- *Proportionnellement à l'angle d'élévation, le satellite le plus haut étant choisi en priorité*
Cet algorithme introduit un biais en faveur des angles d'élévation importants, fondé sur le principe suivant lequel le blocage est fonction de l'angle d'élévation, selon une relation linéaire, autrement dit: probabilité de non-blocage \sim angle d'élévation/90°.

Le trafic est ensuite affecté aux satellites visibles, avec sélection prioritaire du satellite dont l'angle d'élévation est le plus important.

Si e est l'angle d'élévation/90°, alors:

$$\begin{aligned} p_1 &= e_1 && \text{pour le satellite 1} \\ p_2 &= (1 - e_1) e_2 && \text{pour le satellite 2} \\ p_3 &= (1 - e_1) (1 - e_2) e_3 && \text{pour le satellite 3, etc.} \end{aligned}$$

La proportion du trafic total affecté au satellite n est donc:

$$T_n = p_n / \sum p_i$$

Si après application de l'un des algorithmes ci-dessus, une fraction du trafic reste non affectée, elle sera alors affectée à d'autres satellites.

Etape 2: Méthodologie d'affectation du trafic pour système de type AMRC

A chaque étape de la simulation et pour chaque satellite visible depuis la station du service fixe, la simulation calcule la charge de trafic affectée à chaque faisceau ponctuel, puis la p.i.r.e.

Trois niveaux de trafic sont à distinguer: nul, faible et intense.

Le niveau de trafic dans chaque faisceau ponctuel est déterminé d'après une matrice de valeurs du trafic dans chaque cellule et en fonction des données de fluctuations quotidiennes.

D'après le niveau de trafic, le sous-programme détermine la puissance dans chacun des faisceaux ponctuels d'un satellite (la puissance est rapportée à la largeur de bande totale de l'accès AMRC):

- trafic nul $\rightarrow P_{spot_{min}}$
- trafic faible $\rightarrow P_{spot_{mean}}$
- trafic intense $\rightarrow P_{spot_{max}}$

Les valeurs relatives au système LEO-D seraient, par exemple, les suivantes:

$$P_{spot_{max}} = \frac{P_{sat_{max}}}{4}$$

$$P_{spot_{mean}} = \frac{P_{sat_{max}}}{24}$$

$$P_{spot_{min}}, \text{ puissance nécessaire à la signalisation} = 4 \times \frac{P_{spot_{max}}}{50} = \frac{P_{sat_{max}}}{50}$$

La simulation calcule ensuite la puissance totale émise concernant le satellite; si elle dépasse le niveau maximum $P_{sat_{max}}$ de la puissance émise, la puissance émise totale est mise à la valeur $P_{sat_{max}}$ et la puissance de chaque faisceau ponctuel est réduite en proportion.

Enfin, le sous-programme calcule la p.i.r.e. de chaque faisceau ponctuel i en direction de la station du service fixe:

$$\text{p.i.r.e.}_i(\theta, \varphi) = P_i \cdot G_i(\theta, \varphi)$$

Appendice 3 à l'Annexe 1

Calcul de l'incrément temporel

Etablissement des formules de calcul

Les angles figurant dans les relations ci-dessous sont toujours exprimés en radians, sauf mention contraire d'angles exprimés en degrés, tandis que les vitesses angulaires sont exprimées en rad/min, sauf indication contraire.

Dans le présent Appendice, l'angle géocentrique désigne dans tous les cas un angle mesuré dans un système de coordonnées sphériques, dont l'origine est située au centre de la Terre. A remarquer que si deux points de l'équateur ont une différence de longitude de 1° , leur distance est de 1° en coordonnées géocentriques, mais aux latitudes plus élevées la même différence de longitude correspond à un angle géocentrique plus petit; ainsi à une latitude de 60° , cette différence est seulement de $0,5^\circ$.

Un angle par rapport à l'enveloppe orbitale (par exemple, mesurant le déplacement ou l'intersection du faisceau d'antenne) est différent suivant qu'il est mesuré en coordonnées géocentriques ou à partir d'un point de la surface de la Terre. Le rapport entre ces deux valeurs est fonction de l'altitude du point de l'enveloppe orbitale et également de l'orientation du mouvement (s'il s'agit d'un mouvement horizontal ou vertical (= «en direction de»)).

Un système de coordonnées géocentriques peut soit être fixe par rapport à la Terre et donc tourner avec elle, soit comporter des axes dont les directions sont fixes par rapport à l'espace. Dans ce dernier type de système de coordonnées le plan orbital du satellite est pratiquement stationnaire; seul le mouvement de précession lui imprime un mouvement de rotation.

Lorsqu'il faut calculer la vitesse du satellite, mesurée à partir d'un point de la surface terrestre, il faut tenir compte de la rotation de la Terre, pour l'obtention des résultats suffisamment précis. La vitesse de rotation de la Terre qu'il convient d'utiliser est la vitesse réelle d'un point de la surface terrestre, qui est un point subsatellite d'un point de l'enveloppe orbitale (par exemple, point d'intersection du faisceau de l'antenne de liaison ou satellite). A la latitude de l'équateur, la vitesse angulaire de la Terre en coordonnées géocentriques est d'environ $360^\circ/j$, mais à la latitude des pôles elle est de 0° . Cette mesure angulaire dépend donc de la latitude de la zone considérée:

$$\omega'_e = (\cos L) \cdot \omega_e \quad (3)$$

où:

ω_e : vitesse de rotation de la Terre à l'équateur

L : latitude de la zone.

Puisque la latitude de la zone dépend de celle du site d'observation et de l'azimut d'observation, il en est ainsi de la vitesse angulaire.

La vitesse du satellite dans un système de coordonnées terrestres fixe est égal au vecteur somme de la vitesse de la Terre et de la vitesse du satellite mesurée dans un système de coordonnées spatiales fixe. La valeur du vecteur somme dépend de l'angle α entre la trajectoire du satellite et les parallèles. L'angle reste égal à l'inclinaison I , si le satellite est au-dessus de l'équateur, mais s'annule à la latitude maximum du satellite (sinon à 90°). Il est égal à:

$$\alpha = \arccos \frac{\cos I}{\cos L} \quad (4)$$

La vitesse angulaire géocentrique est donc égale à:

$$\omega = \sqrt{(\omega_s \cdot \cos \alpha - \omega'_e)^2 + (\omega_s \cdot \sin \alpha)^2} \quad (5)$$

où:

ω_s : vitesse angulaire de satellite dans un système fixe de coordonnées spatiales.

L'angle géocentrique entre le point d'observation et la zone observée de l'enveloppe orbitale est égal à:

$$\theta_\varepsilon = \arccos\left(\frac{R}{R+h} \cos \varepsilon\right) - \varepsilon \quad (6)$$

où:

ε : élévation de la zone observée.

Si le satellite se déplace en formant un angle géocentrique $\Delta\theta$, il est alors possible d'exprimer comme suit le déplacement β vu depuis le point d'observation, en cas de déplacement **horizontal** du satellite, et s'il s'agit de petits angles:

$$\beta = \frac{\cos \varepsilon}{\sin \theta_\varepsilon} \Delta\theta \quad (7)$$

et en cas de déplacement **vertical** du satellite, pour de petits angles:

$$\beta = \frac{-\cos \varepsilon}{\sin \theta_\varepsilon} \sqrt{1 - (k \cdot \cos \varepsilon)^2} \Delta\theta \quad (8)$$

$$k = \frac{R}{R+h} \quad (9)$$

Si γ est l'angle formé par la trajectoire du satellite et l'horizon, β vaut alors:

$$\beta = \frac{\cos \varepsilon}{\sin \theta_\varepsilon} \Delta\theta \sqrt{1 - (k \cdot \cos \varepsilon \cdot \cos \gamma)^2} \quad (10)$$

La vitesse du satellite, vu du point d'observation, est plus grande lorsque le satellite se déplace horizontalement. Aussi les calculs qui suivent prennent-ils en considération cette orientation de déplacement et s'appuient-ils sur l'équation (7).

Si l'angle β désigne le déplacement angulaire du satellite pendant un échelon de temps de calcul Δt , la formule suivante permet d'obtenir la valeur requise:

$$\beta = \frac{\Phi_{3dB}}{N_{hits}} \quad (11)$$

Le déplacement angulaire élémentaire du satellite pendant un échelon de temps est égal à:

$$\Delta\theta = \Delta t \cdot \omega \quad (12)$$

La combinaison des relations (7), (10) et (11) donne:

$$\Delta t = \frac{\Phi_{3dB}}{N_{hits} \omega} \frac{\sin \theta_\varepsilon}{\cos \varepsilon} \quad (13)$$

Si l'angle d'élévation est nul, l'introduction de la valeur $\varepsilon = 0$ dans l'équation (6) et la substitution à l'équation (12) donne:

$$\Delta t = \frac{\theta_{3dB}}{N_{hits} \omega} \sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h}\right)^2} \quad (14)$$

- ω : vitesse angulaire du satellite dans un système fixe de coordonnées terrestres (géocentrique, en rotation)
- ω_e : vitesse de rotation de la Terre à l'équateur
- ω_s : vitesse angulaire du satellite dans un système de coordonnées spatiales fixes (géocentriques inertielles)
- I : inclinaison orbitale du satellite
- θ_ε : angle géocentrique entre la station du service fixe et le satellite
- R : rayon de la Terre
- h : altitude du satellite
- ε : élévation de l'antenne du service fixe
- Φ_{3dB} : ouverture à 3 dB de la station du service fixe
- N_{hits} : nombre de perturbations dues au brouillage dans l'ouverture à 3 dB de la station du service fixe
- Δt : échelon de temps de simulation

Annexe 2

Caractéristiques de référence de systèmes du service fixe dans la bande 1-3 GHz à utiliser dans des analyses de partage avec d'autres services

1 Introduction

Les Appendices suivants fixent les caractéristiques de systèmes du service fixe, fonctionnant dans la bande 1-3 GHz, qui peuvent être utilisées pour effectuer des analyses de partage entre des stations du service fixe et des stations d'autres services. Les paramètres types et les paramètres des systèmes les plus sensibles sont, lorsqu'il y a lieu, présentés en détail.

Appendice 1 – Caractéristiques des systèmes point à point numériques

Appendice 2 – Caractéristiques des systèmes point à point analogiques

Appendice 3 – Caractéristiques des systèmes de référence point à multipoint.

Il convient de noter que les systèmes numériques du service fixe sont en règle générale plus sensibles aux brouillages que les systèmes analogiques et que les nouvelles installations de systèmes du service fixe seront essentiellement numériques.

Il convient de noter en outre que les paramètres des systèmes à diffusion troposphérique sont décrits en détail dans la Recommandation UIT-R F.758, au Tableau 6 pour la bande 1,7-2,45 GHz et au Tableau 7 pour la bande 2,45-2,69 GHz.

Appendice 1 à l'Annexe 2

Caractéristiques des systèmes point à point numériques

TABLEAU 1

Caractéristiques des systèmes point à point numériques de référence pour les calculs du programme informatique normalisé

| | |
|--|-----------|
| Capacité | 45 Mbit/s |
| Modulation | MAQ-64 |
| Gain d'antenne (dB) | 33 |
| Puissance d'émission (dBW) | 1 |
| Affaiblissement en alimentation/multiplexage (dB) | 2 |
| p.i.r.e. (dBW) | 32 |
| Largeur de bande FI du récepteur (MHz) | 10 |
| Facteur de bruit du récepteur (dB) | 4 |
| Niveau d'entrée du récepteur pour un taux d'erreur binaire (TEB) de 1×10^{-3} (dBW) | -106 |

MAQ: modulation d'amplitude en quadrature.

Diagramme d'antenne pour le service fixe

Voir la Recommandation UIT-R F.1245.

Appendice 2 à l'Annexe 2

Caractéristiques des systèmes point à point analogiques

Les types de systèmes point à point analogiques fonctionnant dans la bande 1-3 GHz comprennent les liaisons de téléphonie, de télévision à modulation de fréquence et les liaisons de reportage électronique. Les caractéristiques de référence sont extraites des Tableaux 5, 6 et 7 de la Recommandation UIT-R F.758, du Tableau 1 de la Recommandation UIT-R F.759 et de la Recommandation UIT-R SF.358; qui décrivent le circuit de référence analogique fictif qui est actuellement utilisé pour les études de partage de l'UIT-R.

Caractéristiques types des systèmes du service fixe analogiques fonctionnant dans la bande 1-3 GHz

Caractéristique du diagramme de l'antenne: Recommandation UIT-R F.1245

Gain d'antenne: 33 dBi

p.i.r.e.: 36 dBW

Valeur du bruit du récepteur (à l'entrée du récepteur): 8 dB

Longueur des bonds: 50 km

Nombre de bonds: 12.

Appendice 3 à l'Annexe 2

Caractéristiques des systèmes de référence point à multipoint

Caractéristiques types: voir le Tableau 2.

Diagramme d'antenne: pour le diagramme d'antenne équidirective et celui de station d'extrémité, le diagramme de référence décrit dans la Recommandation UIT-R F.1336 devrait être utilisé.

NOTE 1 – L'application du programme informatique normalisé n'exige pas l'utilisation des paramètres point à multipoint du système de référence du service fixe en ce qui concerne la bande 2 170-2 200 MHz.

TABLEAU 2
Caractéristiques types

| Paramètre | Station centrale | Station distante |
|---|-----------------------|-------------------------------|
| Type d'antenne | Equidirective/secteur | Parabolique/cornet |
| Gain d'antenne (dBi) | 10/13 | 20 analogique 27 numérique |
| Perte dans la ligne d'alimentation/de multiplexage (dB) | 2 | 2 |
| p.i.r.e. (maximale) (dBW) | | |
| – analogique | 12 | 21 |
| – numérique | 24 | 34 |
| Largeur de bande FI du récepteur (MHz) | 3,5 | 3,5 |
| Niveau de bruit du récepteur (dB) | 3,5 | 3,5 |

Annexe 3

Méthode susceptible d'être utilisée dans une coordination bilatérale

Si les paramètres des systèmes SMS non OSG dépassent les valeurs seuils indiquées dans l'Appendice 5 du RR ou mentionnées dans la présente Recommandation, les administrations concernées devront procéder à une coordination bilatérale poussée. A cette fin, elles pourraient utiliser les paramètres du service fixe existants. La présente Annexe expose toutefois une méthode susceptible d'être utilisée dans une coordination bilatérale.

1 Description d'une méthode possible

Il convient d'évaluer la fonction de distribution cumulative du rapport $C/(N + I)$ pour des systèmes du service fixe analogiques ou numériques. La puissance de la porteuse brouilleuse, variable avec le temps émise par le satellite de SMS non OSG est quant à elle estimée à chaque récepteur du service fixe au moyen d'une simulation dynamique de l'orbite tenant compte des caractéristiques des antennes des satellites du SMS non OSG et de la modélisation du volume du trafic.

Il convient d'évaluer ensuite la porteuse du service fixe reçue utile, variable avec le temps, à chaque station de réception du service fixe à l'aide des caractéristiques d'émission du service fixe et d'un modèle d'évanouissement sur trajet multiple. La Recommandation UIT-R P.530 pourrait être utilisée si l'une et l'autre des parties la considèrent comme appropriée. A chaque intervalle de temps de simulation, il faut évaluer les rapports C/N et C/I par bond et les additionner pour obtenir le rapport $C/(N+I)$ de bout en bout. La fonction de distribution cumulative de $C/(N+I)$ peut alors être directement comparée avec les objectifs de qualité applicables au système du service fixe concerné pour vérifier si la dégradation causée par le satellite du SMS non OSG altère de façon inacceptable la qualité de fonctionnement.

2 Critères de brouillage

Cette analyse s'appliquerait aux systèmes du service fixe tant analogiques que numériques.

La Recommandation UIT-R F.393, qui traite de la puissance de bruit totale admissible dans un système hertzien analogique, sert à évaluer les brouillages subis par les systèmes du service fixe analogiques.

Les Recommandations UIT-R F.695, UIT-R F.696 et UIT-R F.697 spécifient des objectifs de qualité de fonctionnement du réseau (objectifs de qualité en matière d'erreur et de disponibilité) pour les systèmes numériques existants dans les sections de qualité élevée, moyenne et locale du réseau numérique à intégration de services (RNIS), en termes de valeurs prescrites du TEB pendant différents pourcentages du temps. La procédure applicable aux nouveaux systèmes numériques du service fixe, d'après les indications des Recommandations UIT-R F.1397 et UIT-R F.1491, doit faire l'objet d'un complément d'étude.

Il conviendrait par ailleurs de tenir compte du bruit total, N , c'est-à-dire de prévoir une marge correspondant au brouillage intrasystème et intraservice dans le cadre du service fixe, ainsi que des contributions d'autres services (non SMS) faisant l'objet d'attributions à titre coprimaire. La valeur de cette marge devrait être déterminée avec les parties concernées. Il convient de noter que la Recommandation UIT-R F.1094 précise la valeur maximum admissible de la dégradation de la qualité de fonctionnement en matière d'erreur et de disponibilité des systèmes du service fixe numériques.
