

## RECOMMANDATION UIT-R M.1316-1\*

**Principes et méthodes de partage de fréquences dans les bandes  
1 610,6-1 613,8 et 1 660-1 660,5 MHz entre le service mobile  
par satellite (Terre vers espace) et le service de radioastronomie**

(Question UIT-R 201/8)

(1997-2005)

**Domaine de compétence**

Cette Recommandation expose les principes et la méthodologie applicables à la protection des observations radioastronomiques contre les émissions des stations terriennes mobiles terrestres et maritimes dans la bande 1 610,6-1 613,8 MHz et dans la bande 1 660-1 660,5 MHz. L'Annexe 1 définit les trois étapes à suivre, et l'Annexe 2 décrit le calcul de la valeur par défaut de l'espacement par la méthode de Monte Carlo suivant le principe d'un échantillonnage de variables aléatoires. L'Annexe 3 calcule les zones de restriction. L'Etape 3 consiste à calculer les zones d'exclusion en fonction des caractéristiques spécifiques des systèmes considérés.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que la Conférence administrative mondiale des radiocommunications chargée d'étudier les attributions de fréquences dans certaines parties du spectre (Malaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) a attribué la bande 1 610-1 626,5 MHz à titre primaire au service mobile par satellite (SMS) dans la direction Terre vers espace, et la bande 1 610,6-1 613,8 MHz à titre primaire au service de radioastronomie (RAS);
- b) que la bande 1 610,6-1 613,8 MHz est utilisée par les radioastronomes pour l'observation de la raie du radical oxhydryle au voisinage de 1 612 MHz;
- c) que le numéro 5.372 du Règlement des radiocommunications (RR) dispose que «les stations du service de radiopérage par satellite et du service mobile par satellite ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable aux stations du service de radioastronomie qui utilisent la bande 1 610,6-1 613,8 MHz (le numéro **29.13** s'applique).»;
- d) que les systèmes mobiles à satellites fonctionnant dans la bande 1 610-1 626,5 MHz sont susceptibles d'utiliser des stations terriennes mobiles (STM) équipées d'antennes équidirectives;
- e) que la bande 1 660-1 660,5 MHz est attribuée au RAS à titre primaire, en partage avec le service mobile terrestre par satellite (SMTS) dans la direction Terre vers espace;
- f) que l'importance de l'attribution de la bande 1 660-1 660,5 MHz au RAS a été confirmée par la Résolution 6 de la 20<sup>e</sup> Assemblée générale de l'Union astronomique internationale (UAI) (Baltimore, Etats-Unis d'Amérique, août 1988), avant d'être soulignée à nouveau à la 21<sup>e</sup> Assemblée générale de l'UAI (Buenos Aires, Argentine, juillet 1991), puis à la 22<sup>e</sup> Assemblée générale de l'UAI (La Haye, Pays-Bas, 1994);

---

\* Cette Recommandation doit être portée à l'attention de la Commission d'études 7 des radiocommunications.

g) que la Recommandation UIT-R RA.1031 ne tient pas pleinement compte de la nature aléatoire des brouillages causés par des émetteurs mobiles,

*recommande*

1 que des principes et des méthodes analogues à ceux décrits dans l'Annexe 1 soient éventuellement utilisés pour la coordination entre stations de radioastronomie et stations terriennes mobiles maritimes et terrestres dans les bandes 1 610,6-1 613,8 MHz et 1 660-1 660,5 MHz;

2 que de nouvelles études soient effectuées par l'UIT-R, en particulier des études concernant les stations terriennes d'aéronef, afin de revoir l'application de la présente Recommandation en vue d'une coordination détaillée entre le SMS et le RAS;

3 que, dans toute application d'une méthode, les parties concernées s'accordent sur les paramètres d'entrée au cours de la coordination;

4 que l'UIT-R élabore, conjointement avec le Bureau des radiocommunications, un programme informatique pour mettre en œuvre la méthode décrite dans les Annexes 1 à 4.

## Annexe 1

### Evaluation du brouillage causé par les STM du SMS aux observations radioastronomiques

Il est possible de protéger les observations radioastronomiques en suivant les trois étapes distinctes ci-dessous:

*Etape 1:* Détermination d'une **distance de séparation par défaut** entre un site radioastronomique et une STM, de manière à délimiter un secteur autour d'un site radioastronomique en dehors duquel l'exploitation des stations mobiles terriennes ne fait l'objet d'aucune restriction.

*Etape 2:* Détermination d'une **zone de restriction** autour d'un site radioastronomique, de manière à délimiter un secteur à l'intérieur duquel l'exploitation des STM peut faire l'objet de certaines restrictions. Celles-ci doivent être définies par l'organisme de réglementation et approuvées par la communauté des radioastronomes et par l'exploitant du SMS.

*Etape 3:* Détermination d'une **zone d'exclusion** autour d'un site radioastronomique, définie grâce à une évaluation détaillée des caractéristiques des systèmes concernés, et si nécessaire par des mesures, à l'intérieur de laquelle l'exploitation d'aucune station terrienne mobile n'est admise.

Les Annexes 2 et 3 décrivent la méthodologie à suivre pour effectuer les calculs se rapportant respectivement aux Etapes 1 et 2. Il est nécessaire que les parties concernées s'accordent sur les conditions et modalités détaillées d'exploitation des mobiles dans la zone de restriction, afin de pouvoir déterminer une zone d'exclusion, telle qu'elle est définie ci-dessus (voir l'Etape 3).

L'Annexe 4 donne la liste des caractéristiques à prendre en compte pour effectuer une simulation.

Le calcul relatif à l'Etape 1 vise à déterminer les distances de séparation par défaut. L'Annexe 2 présente une méthodologie générale applicable à cet effet, qui utilise une méthode de simulation de Monte Carlo.

Ce modèle repose sur le calcul de statistiques de puissance brouilleuse produite dans un site radioastronomique due au fonctionnement de STM.

Ainsi, pour assurer la protection des observations radioastronomiques, il est dit que:

«Une période d'intégration de 2 000 s, à un moment quelconque de la journée, doit être exempte de tout brouillage dans une proportion d'au moins  $(100 - x)\%$ , c'est-à-dire correspondre à un niveau moyen de puissance brouilleuse inférieur aux valeurs spécifiées dans la Recommandation UIT-R RA.769.

Le chiffre de 90% ( $x = 10$ ) est lié aux calculs de propagation (Manuel de radioastronomie de l'UIT-R, § 4.2.4. Voir également la Recommandation UIT-R RA.1031). L'interprétation élargie de ce chiffre est actuellement à l'étude au sein de l'UIT-R.»

L'application de la méthodologie de l'Annexe 2 suppose donc les hypothèses suivantes:

- temps d'intégration de 2 000 s (pour tous les essais);
- trafic de crête;
- seuil de brouillage maximum:  $x\%$  de la durée des observations radioastronomiques (10% est la valeur actuelle qui pourra être revue par l'UIT-R).

Lorsque plusieurs sources de brouillage affectant les observations radioastronomiques sont mises en évidence, il est nécessaire d'entreprendre une analyse plus détaillée afin, s'il y a lieu, de répartir le niveau de puissance brouilleuse maximale.

## Annexe 2

### Méthodologie de l'Etape 1: calcul des distances de séparation par défaut entre sites RAS et STM

#### 1 Introduction

La présente Annexe décrit une méthodologie générale applicable au calcul des distances de séparation par défaut entre sites RAS et secteurs à l'intérieur desquels des STM sont autorisées à émettre.

Le respect de ces distances de séparation, qui sont basées sur des calculs utilisant une méthode de Monte Carlo, doit garantir la protection des observations radioastronomiques.

#### 2 Principes généraux de la méthodologie

##### 2.1 Méthode de Monte Carlo

Le calcul des distances de séparation par défaut entre sites RAS et STM exige la détermination de la fonction de probabilité de la puissance brouilleuse produite par les stations mobiles et subie par les récepteurs du RAS.

Cette détermination est possible en faisant appel à une modélisation statistique du brouillage, telle qu'une méthode de Monte Carlo.

La méthode de Monte Carlo repose sur le principe de l'échantillonnage de variables aléatoires à partir des lois de probabilité correspondantes.

Les variables à échantillonner sont souvent variées et nombreuses, d'autant que la précision du modèle augmente généralement avec leur nombre.

Dans le cas particulier de la détermination des distances de séparation par défaut, le nombre de stations mobiles, leur emplacement, les conditions de propagation, etc. peuvent figurer parmi les variables en question.

Les statistiques de la puissance brouilleuse produite dans un site RAS par des STM en exploitation sont alors établies d'après le calcul des puissances brouilleuses subies, pour chaque échantillon.

## 2.2 Protection des observations radioastronomiques

Les observations radioastronomiques sont réalisées par une mise en moyenne dans le temps, afin de réduire sensiblement les fluctuations du bruit.

Afin d'observer cette pratique, les statistiques de la puissance brouilleuse reçue sont fondées sur les échantillons de temps d'intégration utilisés lors des observations.

La puissance brouilleuse reçue d'un ensemble de STM est admissible à condition que la puissance brouilleuse moyenne dépasse le niveau nuisible pour le RAS pour moins de  $x\%$  des périodes d'intégration de 2 000 s.

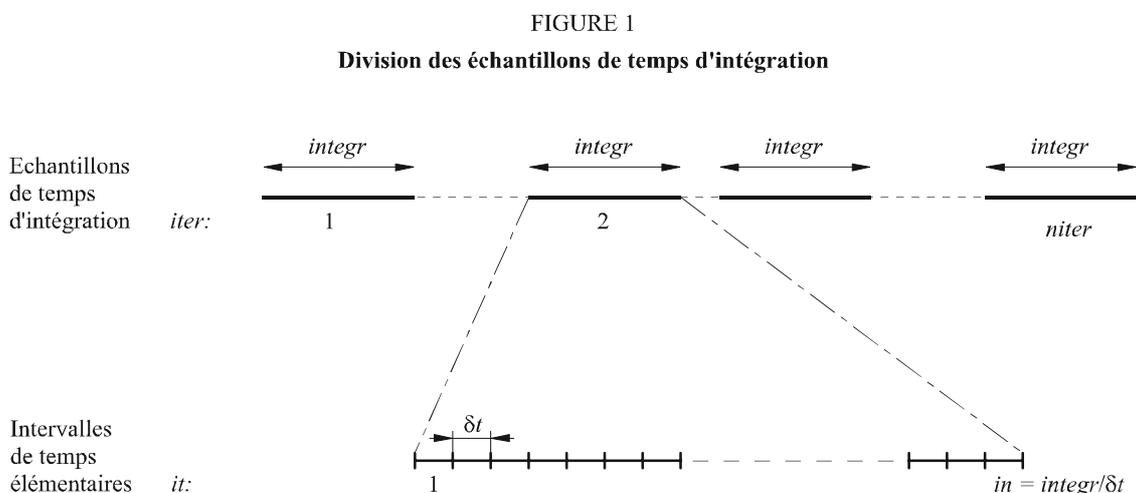
L'exposé qui suit repose sur cette définition.

## 3 Présentation de la méthode de calcul

Comme indiqué au § 2, les statistiques de puissance brouilleuse sont établies à partir d'échantillons de temps d'intégration:

- niter*: nombre d'échantillons de temps d'intégration nécessaire à l'établissement de la statistique.
- integr*: durée de l'échantillon de temps d'intégration. Dans ce qui suit, *integr* est supposé constant.

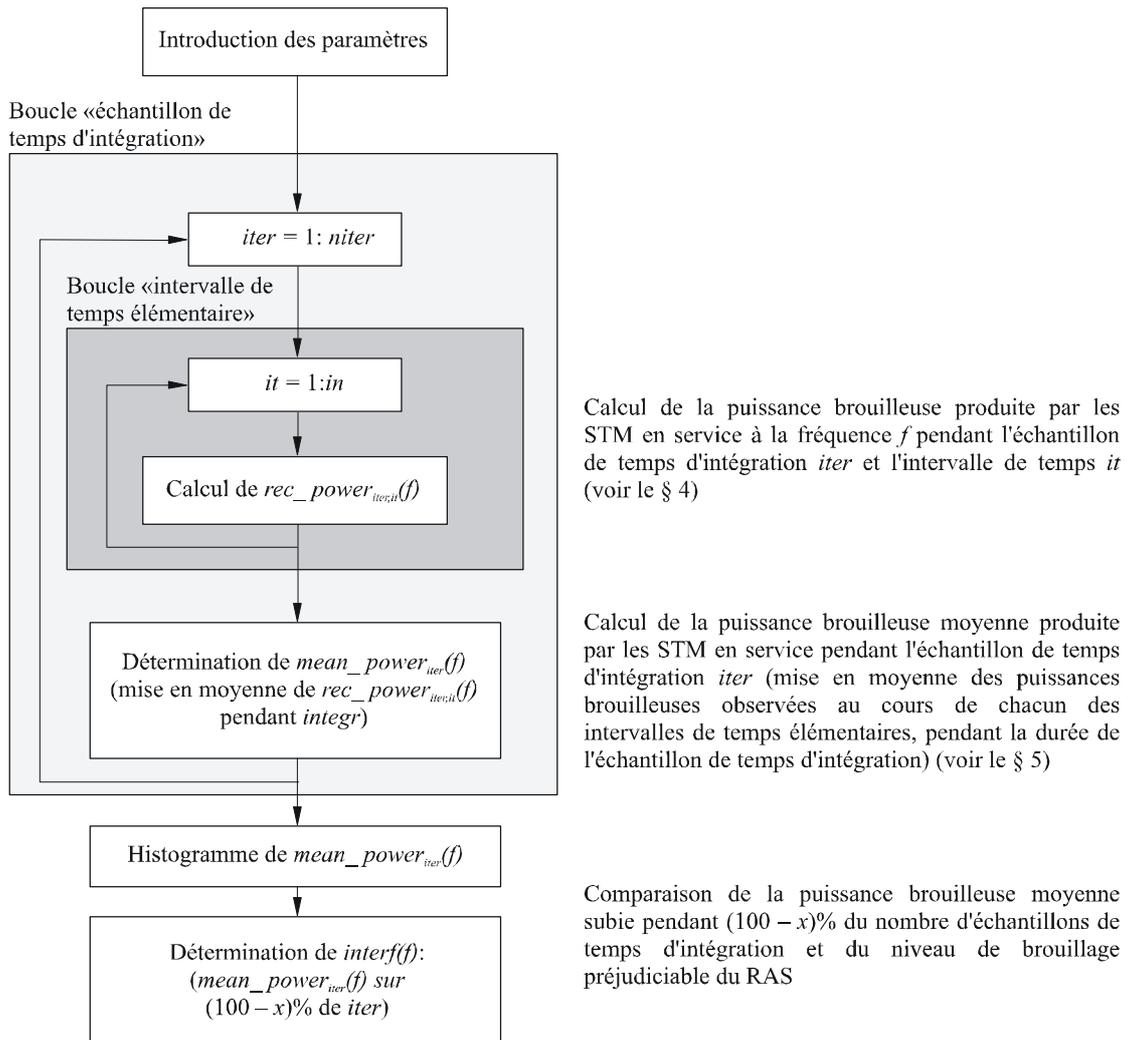
Au cours de chaque échantillon de temps d'intégration de durée *integr*, la puissance brouilleuse moyenne produite par les STM est calculée en mettant en moyenne les puissances brouilleuses «instantanées» produites pendant les intervalles de temps élémentaires en secondes de  $\delta t$ .



Pendant chaque intervalle de temps élémentaire, les puissances brouilleuses sont déterminées en effectuant des contrôles aléatoires de la charge de trafic du système SMS considéré et à l'emplacement de chacune des STM en service.

Le schéma type de calcul est reproduit sur la Fig. 2:

FIGURE 2  
Schéma type de calcul



1316-02

#### 4 Calcul de la puissance brouilleuse subie pendant un intervalle de temps élémentaire – modélisation du trafic

La puissance brouilleuse subie pendant chaque intervalle de temps élémentaire à la fréquence  $f$  est calculée en additionnant les puissances produites par chaque station mobile en service pendant cet intervalle de temps.

Pour chaque intervalle de temps élémentaire  $it$ , il faut donc déterminer:

- le nombre de stations mobiles en service pendant l'intervalle de temps élémentaire  $it$  (obtenu à partir d'une distribution de trafic donnée);

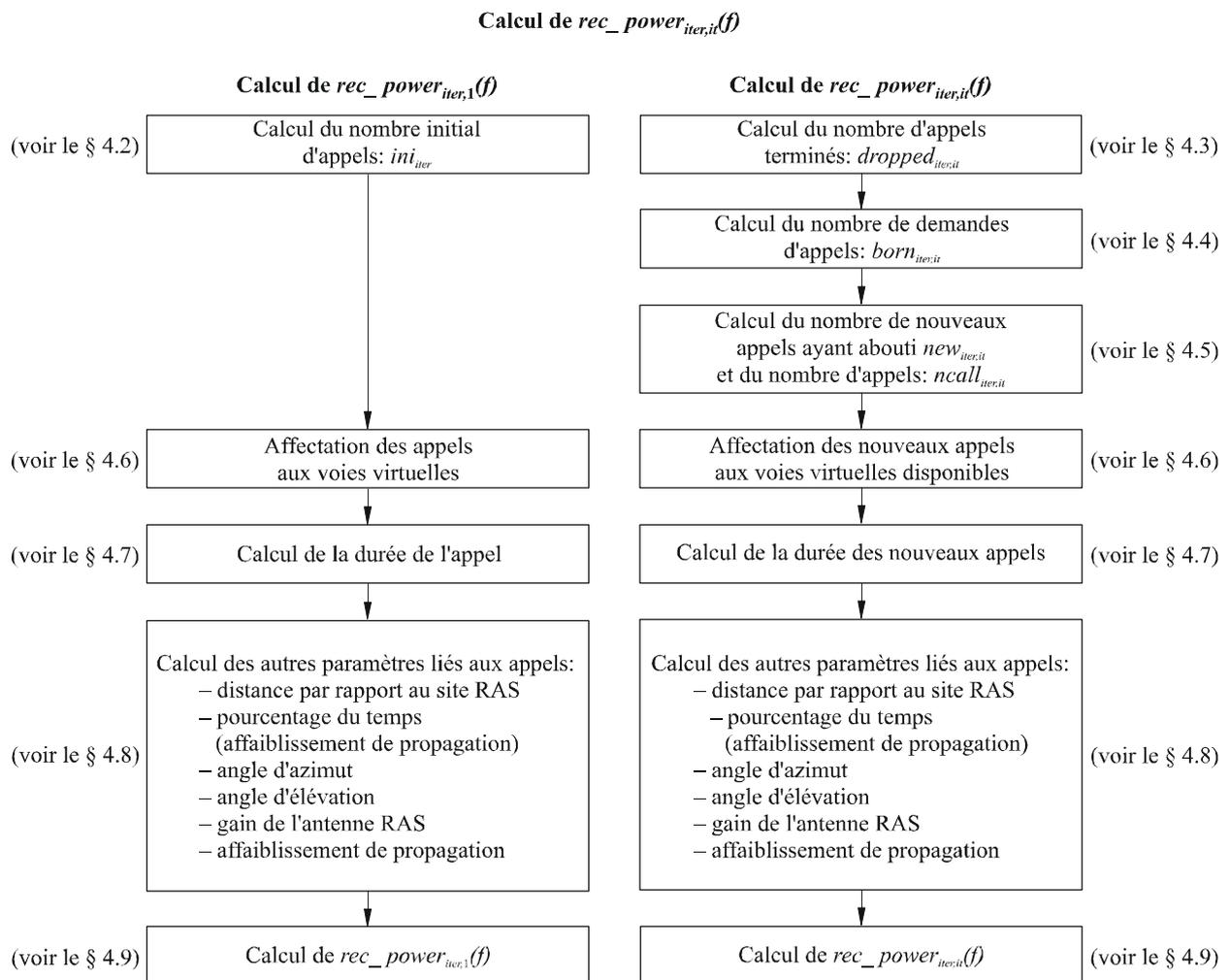
- les voies utilisées par les STM actives;
- l'emplacement des stations mobiles autour du site RAS (distance, azimut, etc.).

Pour préserver la corrélation existante entre les intervalles de temps élémentaires successifs, le nombre de stations mobiles en service pendant l'intervalle de temps élémentaire  $it$  est calculé d'après le nombre de stations mobiles en service pendant l'intervalle de temps précédent,  $it - 1$ , en tenant compte du nombre d'appels terminés et du nombre d'appels amorcés entre-temps.

En ce qui concerne le premier intervalle de temps élémentaire, le nombre initial d'appels est calculé en effectuant un essai aléatoire.

La Fig. 3 représente le schéma type de calcul de la puissance brouilleuse reçue  $rec\_power_{iter,it}(f)$  (échantillon de temps d'intégration  $iter$ , intervalle de temps élémentaire  $it$ ).

FIGURE 3



1316-03

#### 4.1 Essais d'échantillonnage de variables aléatoires suivant la méthode de Monte Carlo

Tel qu'indiqué au § 2.1, la méthode de Monte Carlo repose sur le principe de l'échantillonnage de variables aléatoires à partir des lois de distribution cumulative correspondantes établies.

Considérons par exemple une variable  $x$ , avec une loi de distribution cumulative  $P(X)$  est alors la probabilité  $p(x \leq X)$ .

La distribution de  $P(x)$  entre 0 et 1 est uniforme.

Ainsi, un échantillonnage de la loi uniforme  $P = P(x_i)$  entre 0 et 1 conduit à une seule valeur  $x_i$ , ce qui permet de tracer la courbe représentant la fonction  $x = f^{-1}(P)$ .

#### 4.2 Calcul du nombre initial d'appels: $ini_{iter}$

Au début de chaque échantillon de temps d'intégration, le nombre initial d'appels est calculé au moyen de la formule de la fonction de distribution cumulative, qui indique la probabilité d'occurrence à l'instant  $t$  d'un nombre « $ini_{iter}$ » d'appels simultanés:

$$P = \frac{\sum_{i=0}^{ini_{iter}} \frac{E^i}{i!}}{\sum_{i=0}^{Ncall} \frac{E^i}{i!}} \quad (1)$$

où:

- $P$ : probabilité cumulative de  $ini_{iter}$  appels simultanés à l'instant  $t$  ( $ini_{iter} \leq Ncall$ )
- $E$ : charge de trafic maximale imposée au système (E)
- $Ncall$ : nombre maximum d'appels simultanés susceptibles d'être acheminés par le système SMS.

Il est par conséquent possible de déterminer  $ini_{iter}$  au moyen d'un échantillonnage aléatoire uniforme de  $P$ , en utilisant la formule (1) (voir le § 4.1).

#### 4.3 Calcul du nombre d'appels terminés: $dropped_{iter,it}$

Pour calculer le nombre d'appels terminés pendant l'échantillon de temps d'intégration  $iter^{th}$ , on détermine le nombre de communications dont la durée est inférieure ou égale à  $it$ :

Soit  $ncall_{iter,it-1}$  le nombre d'appels pendant l'intervalle de temps élémentaire  $it-1$  ( $it \neq 1$ ), considérons un appel particulier  $c$  de cet intervalle de temps élémentaire:

- si l'instant de fin de l'appel  $c$  est inférieur ou égal à  $it$ , alors cet appel est terminé et n'est pas pris en compte dans le calcul de  $rec\_power_{iter,it}(f)$ . Il est alors comptabilisé avec les appels terminés ( $dropped_{iter,it}$ );
- si l'instant de fin de l'appel  $c$  est supérieur à  $it$ , alors cet appel est pris en compte dans le calcul relatif à l'intervalle de temps élémentaire  $it$ .

#### 4.4 Calcul du nombre potentiel de tentatives d'appel: $born_{iter,it}$

Pendant chaque intervalle de temps, le nombre potentiel de demandes d'appel est calculé par la formule indiquant la distribution cumulative de la génération d'appels pendant un intervalle de temps donné:

$$P = \sum_{i=0}^{born_{iter,it}} \frac{(\lambda \delta t)^i}{i!} e^{-\lambda \delta t} \quad (2)$$

où:

- $P$ : probabilité cumulative du nombre  $born_{iter,it}$  de demandes d'appel entre les intervalles de temps élémentaires  $it$  et  $it + 1$
- $\lambda$ : nombre moyen d'appels sur le système à satellites
- $\delta t$ : durée des intervalles de temps élémentaires.

L'échantillonnage aléatoire uniforme de la fonction  $P$ , permet donc d'obtenir  $born_{iter,it}$  en utilisant la formule (2) (voir le § 4.1).

#### 4.5 Calcul du nombre effectif de nouveaux appels $new_{iter,it}$ et du nombre d'appels $ncall_{iter,it}$

Toutes les tentatives d'appel n'aboutiront pas, en raison des limites physiques du système (nombre maximum d'appels).

Soit,

- $ncall_{iter,it-1}$ , le nombre d'appels pendant l'intervalle de temps élémentaire  $it-1$  ( $it \neq 1$ ) (utilisé pour le calcul de  $rec\_power_{iter,it}(f)$ );
- $dropped_{iter,it}$  le nombre d'appels terminés entre les intervalles de temps élémentaires  $it$  et  $it+1$ ,
- $born_{iter,it}$  le nombre d'appels (tentatives d'appel) entre les intervalles de temps élémentaires  $it$  et  $it+1$ ,

alors la formule suivante permet de calculer le nombre d'appels ayant abouti à prendre en considération pour le calcul de  $rec\_power_{iter,it}(f)$ :

$$ncall_{iter,it} = \min(Ncall, ncall_{iter,it-1} + born_{iter,it} - dropped_{iter,it}) \quad (3)$$

et le nombre de nouveaux appels ayant abouti:

$$\begin{aligned} new_{iter,it} &= ncall_{iter,it} - ncall_{iter,it-1} + dropped_{iter,it} \\ (new_{iter,it} &\leq born_{iter,it}) \end{aligned} \quad (4)$$

Si  $it = 1$ ,  $ncall_{iter,1} = ini_{iter}$ .

#### 4.6 Affectation des (nouveaux) appels aux canaux de trafic disponibles

Avec les techniques AMRC (accès multiple par répartition en code) et AMRT (accès multiple par répartition dans le temps), plusieurs appels peuvent être affectés au même canal physique. Par canal de trafic, on entend ici chacun des intervalles d'appel possibles (identifiés dans le domaine temporel pour l'AMRT ou par le code pour l'AMRC) de sorte qu'il y a un nombre  $nmax$  de canaux de trafic pour un canal physique.

L'ensemble du trafic est réparti de façon uniforme entre les canaux de trafic disponibles à l'intérieur d'une zone circulaire dont le rayon est celui d'un faisceau ponctuel. Autrement dit:

- si  $it = 1$ , les  $ini_{iter}$  appels sont répartis uniformément sur la totalité des  $Ncall$  canaux de trafic,
- si  $it \neq 1$ , les  $new_{iter,it}$  appels sont répartis uniformément sur les canaux de trafic disponibles au nombre de  $ncall_{iter,it-1} - dropped_{iter,it}$ .

Si les opérateurs fournissent des distributions différentes pour l'assignation du trafic entre les canaux de trafic disponibles, ces distributions peuvent être intégrées dans la méthodologie.

#### 4.7 Calcul de l'instant de fin des (nouveaux) appels

La formule exprimant la fonction de distribution cumulative des durées d'appel permet de déterminer l'instant de fin de chaque nouvel appel  $c$ :

$$P = 1 - e^{-\frac{(T_c - t)}{\mu}} \quad (5)$$

où:

- $P$ : probabilité cumulative d'une durée d'appel inférieure à  $(T_c - t)$
- $t$ : intervalle de temps élémentaire actuel (date de génération de l'appel)
- $T_c$ : instant de fin d'appel
- $\mu$ : durée moyenne des appels du système à satellites.

La formule suivante permet donc, par un échantillonnage aléatoire uniforme de  $P$ , de déterminer  $T_c$  (voir le § 4.1):

$$T_c = t - \mu \cdot \ln(1 - P) \tag{6}$$

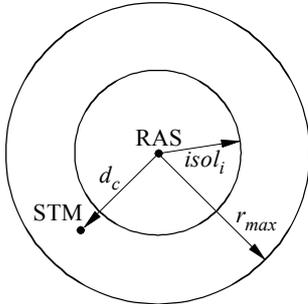
#### 4.8 Calcul des autres paramètres liés aux (nouveaux) appels

##### 4.8.1 Calcul de la distance entre la station mobile et l'antenne RAS

Les STM sont censées être uniformément réparties autour du site RAS.

Lorsqu'un nouvel appel  $c$  est établi sur la voie  $i$ , la fonction de distribution cumulative de la probabilité de trouver la STM à la distance  $d_c$  est donnée par la formule suivante:

$$P = \frac{d_c^2 - isol_i^2}{r_{max}^2 - isol_i^2} \tag{7}$$



1316-04

où:

- $P$ : probabilité cumulative de trouver une STM acheminant l'appel  $c$  sur la voie  $i$  à la distance  $d_c$
- $isol_i$ : distance de séparation par défaut entre la STM et le site RAS
- $r_{max}$ : rayon maximum de recherche des STM autour du site RAS.

La formule ci-dessous permet donc de calculer  $d_c$  à partir d'un échantillonnage aléatoire uniforme des valeurs de  $P$  (voir le § 4.1):

$$d_c = \sqrt{P(r_{max}^2 - isol_i^2) + isol_i^2} \tag{8}$$

##### 4.8.2 Calcul du pourcentage de temps pour la détermination de l'affaiblissement de propagation

Lorsqu'un nouvel appel est établi, le pourcentage de temps  $p_c$  à utiliser pour déterminer l'affaiblissement de propagation entre le site RAS et la STM acheminant l'appel  $c$  est supposé être uniformément réparti entre 0% et 100%. En l'occurrence,  $p_c$  a la même signification que  $p$  dans la Recommandation UIT-R P.452 défini comme «étant le pourcentage de temps requis pendant lequel l'affaiblissement de propagation calculé n'est pas dépassé».

Il est donc possible d'obtenir la valeur de  $p_c$  en procédant à un échantillonnage uniforme (voir le § 4.1). Si la valeur obtenue est supérieure à 50%, elle est alors fixée à 50% (calcul dans l'hypothèse la plus défavorable). Si la valeur obtenue est inférieure à 0,001%, elle est alors fixée à 0,001%.

Ce pourcentage reste inchangé jusqu'à ce que la communication soit terminée.

#### 4.8.3 Calcul des angles

Considérons un nouvel appel  $c$  établi par une STM et:

$az_{RAS}$ : angle d'azimut de l'antenne RAS (obtenue le cas échéant par un échantillonnage aléatoire uniforme au début de chaque pas d'itération)

$elev_{RAS}$ : angle d'élévation de l'antenne RAS (obtenue le cas échéant par un échantillonnage aléatoire uniforme avec un angle solide, au début de chaque pas d'itération).

La formule donnant la fonction de distribution cumulative pour cet échantillonnage est la suivante:

$$P = \frac{\sin(\varphi) - \sin(elev_{min})}{\sin(elev_{max}) - \sin(elev_{min})} \quad (9)$$

où:

$P$ : probabilité cumulative de fonctionnement pour un angle d'élévation inférieur à  $\varphi$

$elev_{min}$ : angle d'élévation minimal

$elev_{max}$ : angle d'élévation maximal

$az_c$ : angle d'azimut de l'antenne de la STM acheminant l'appel  $c$  (antennes directionnelles uniquement)

$elev_c$ : angle d'élévation de l'antenne de la STM acheminant l'appel  $c$  (antennes directionnelles uniquement)

$az_{c,RAS}$ : angle d'azimut depuis l'antenne RAS vers la STM acheminant l'appel  $c$ .

Résultat d'un échantillonnage aléatoire uniforme entre  $0^\circ$  et  $360^\circ$  (voir le § 4.1)

$\alpha_c$ : angle par rapport à l'axe principal à prendre en considération dans le calcul du gain de l'antenne RAS dans la direction de la STM acheminant l'appel  $c$

$\beta_c$ : angle par rapport à l'axe principal à prendre en considération dans le calcul du gain de l'antenne de la STM (MES – mobile earth station) acheminant l'appel  $c$  dans la direction de l'antenne RAS (dans le cas d'antennes directionnelles)

Alors:

$$\begin{aligned} \alpha_c &= \cos^{-1} (\cos(az_{c,RAS} - az_{RAS}) \cos(elev_{RAS})) \\ \beta_c &= \cos^{-1} (\cos(az_{MES} - az_{c,RAS} - 180) \cos(elev_{MES})) \end{aligned} \quad (10)$$

Une autre distribution des pointages peut être utilisée.

#### 4.8.4 Calcul du gain de l'antenne RAS dans la direction de la STM considérée

Lorsqu'un nouvel appel  $c$  est établi, la formule (11) permet de calculer le gain de l'antenne RAS,  $G_{c,RAS}$  (voir la Recommandation UIT-R SA.509):

$$\begin{aligned} G_{c,RAS} &= 32 - 25 \log \alpha_c \quad \text{pour } 1^\circ \leq \alpha_c \leq 48^\circ \\ &= -10 \quad \text{pour } \alpha_c \geq 48^\circ \end{aligned} \quad (11)$$

On suppose  $\alpha_c$  supérieur à  $1^\circ$ .

La valeur du gain reste inchangée jusqu'à ce que la communication soit terminée.

Il sera peut-être nécessaire d'appliquer d'autres modèles de gain d'antenne lors de la mise en œuvre de la méthodologie pour certains sites.

#### 4.8.5 Calcul du gain de l'antenne de la STM dans la direction du site RAS

Lorsqu'un nouvel appel  $c$  est établi, la formule  $\beta_c$  permet de calculer le gain de l'antenne de la STM,  $G_{c,MES}$ .

La valeur du gain reste inchangée jusqu'à ce que la communication soit terminée.

#### 4.8.6 Calcul de l'affaiblissement de propagation

Le calcul de l'affaiblissement de propagation  $L_c$  s'appuie sur des modèles de la diffusion troposphérique (voir la Recommandation UIT-R P.452) pour les trajets longs et de diffraction sphérique (voir la Recommandation UIT-R P.526) pour les trajets courts. Il faut veiller cependant à assurer la continuité des indications de ces deux modèles. Pour assurer cette continuité, on peut choisir, pour chaque appel, le modèle présentant l'affaiblissement de propagation le plus faible, selon la distance et le pourcentage de temps  $p_c$  considéré. En outre, l'affaiblissement de propagation est calculé par ciel clair, c'est-à-dire sans tenir compte de la diffusion par les hydrométéores, les aéronefs et les satellites. Les valeurs de  $d_{tm}$  et  $d_{im}$  à utiliser dans les formules (3) et (3a) de la Recommandation UIT-R P.452 sont respectivement  $d_c$  et 0, pour prendre un cas général.

Lorsque l'on applique le modèle de diffraction sphérique, la formule (12) de la Recommandation UIT-R P.452 permet de calculer  $k$  (rayon de la Terre équivalent). Les valeurs des paramètres  $d_{lt}$  et  $d_{lr}$  utilisées dans la formule (13a) de la Recommandation UIT-R P.452 correspondent aux distances qui séparent les antennes de l'émetteur et du récepteur de leur horizon respectif (cas le plus défavorable). On peut les évaluer de la façon suivante:

$$d_{lt} = \sqrt{(h_{mes} + R)^2 - R^2}$$

$$d_{lr} = \sqrt{(h_{ras} + R)^2 - R^2}$$

où:

$h_{mes}$ : hauteur de l'antenne de la STM

$h_{ras}$ : hauteur de l'antenne RAS

$R$ : rayon de la Terre (6 378,1 km).

Si l'on applique la Recommandation UIT-R P.526, le paragraphe à prendre en compte est le § 3.1.2. La valeur de  $\beta$ , dans les formules (7) et (8) de la Recommandation UIT-R P.526, est fixée à 1 et l'on applique la formule (11a) de cette même Recommandation.

Lorsque l'on applique le modèle de diffusion troposphérique, le calcul de l'angle  $\theta$  est effectué selon les indications de l'Appendice 2 de l'Annexe 1 de la Recommandation UIT-R P.452, en ajoutant  $\theta_d$  (à la distance angulaire entre les STM et le RAS), c'est-à-dire l'angle d'élévation par rapport à l'horizon vu depuis la STM (sans effet d'écran du terrain) et un angle supplémentaire  $\theta_r$  (par exemple,  $1^\circ$ ). Cet angle supplémentaire vise à tenir compte de la protection (arbres, bâtiments, collines, montagnes ...) dont peuvent bénéficier les abords de l'observatoire radioastronomique. La valeur de  $\theta_d$  est négative, car la hauteur de l'antenne de la STM a une valeur positive. On peut l'évaluer comme  $-d_{lt}/R$ , à l'aide des définitions de ces deux variables données précédemment, en faisant une approximation de  $-\sin(d_{lt}/R)$ . Enfin, la formule servant à calculer la distance angulaire est la suivante:

$$\theta = d_c / R + \theta_r - d_{lt} / R$$

Les valeurs par défaut des hauteurs d'antenne sont de 1,5 m pour la STM et de 30 m pour la station RAS. Il faudra peut-être utiliser des valeurs différentes pour appliquer la méthodologie à certains sites.

#### 4.9 Calcul de $rec\_power_{iter,it}(f)$

Considérons un appel  $c$  au cours de l'intervalle de temps  $it$  et de l'échantillon de temps d'intégration  $iter$ , acheminé par la voie  $i$ ; la puissance brouilleuse  $I_c(f)$  produite par la STM au niveau du site de l'antenne RAS à la fréquence  $f$  est donnée par:

$$I_c(f) = P_i(f) + G_{c,MES} - L_c + G_{c,RAS} \quad (12)$$

où:

- $P_i(f)$ : puissance moyenne produite par la STM acheminant l'appel  $c$  (dans la voie  $i$ ) à la fréquence  $f$ . On peut calculer la valeur à une certaine fréquence  $f$  à l'aide du gabarit d'émission prévu pour la catégorie de station mobile considérée, compte tenu de l'espacement en fréquence ( $f-f_i$ ) par rapport à la fréquence centrale  $f_i$  du canal utilisé pour l'appel  $c$
- $G_{c,MES}$ : gain de l'antenne de la STM acheminant l'appel  $c$  dans la direction du site RAS
- $L_c$ : affaiblissement de propagation entre la STM acheminant l'appel  $c$  et le site RAS
- $G_{c,RAS}$ : gain de l'antenne RAS dans la direction de la STM acheminant l'appel  $c$
- $r_{max}$ : rayon maximum de recherche de la STM autour du site RAS.

$rec\_power_{iter,it}$  est alors égal à la somme des puissances brouilleuses produites par les  $ncall_{iter,it}$  STM simultanément en service:

$$rec\_power_{iter,it}(f) = 10 \log \left( \sum_{c=1}^{ncall_{iter,it}} 10^{\frac{I_c(f)}{10}} \right) \quad (13)$$

## 5 Détermination de $mean\_power_{iter}(f)$

La puissance brouilleuse moyenne observée pendant un échantillon de temps d'intégration est déterminée en calculant la moyenne des puissances brouilleuses individuelles au cours de chaque intervalle de temps élémentaire pendant l'échantillon de temps d'intégration. On a donc:

$$mean\_power_{iter}(f) = 10 \log \left( \frac{1}{in} \sum_{it=1}^{in} 10^{\frac{rec\_power_{iter,it}(f)}{10}} \right) \quad (14)$$

où:

- $mean\_power_{iter}(f)$ : puissance brouilleuse moyenne observée sur le site RAS pendant le  $iter^e$  échantillon de temps d'intégration à la fréquence  $f$
- $rec\_power_{iter,it}(f)$ : puissance brouilleuse observée sur le site RAS à la fréquence  $f$  pendant le  $it^e$  intervalle de temps élémentaire du  $iter^e$  échantillon de temps d'intégration
- $integr$ : durée de l'échantillon de temps d'intégration
- $in$ : nombre d'intervalles de temps élémentaires à l'intérieur des échantillons de temps d'intégration.

## Appendice 1 de Annexe 2

### Liste des variables

$\alpha_c$ :	angle par rapport à l'axe principal à prendre en considération dans le calcul du gain de l'antenne RAS dans la direction de la STM acheminant l'appel $c$
$\beta_c$ :	angle par rapport à l'axe principal à prendre en considération dans le calcul du gain de l'antenne de la STM acheminant l'appel $c$ dans la direction de l'antenne RAS (dans le cas d'antennes directionnelles)
$\lambda$ :	taux moyen d'appels du système à satellites (/s). (Le taux moyen d'appels du système à satellites, $\lambda$ , est égal au taux moyen d'appels par station mobile, $\lambda_{MES}$ multiplié par le nombre de stations mobiles situées dans une zone circulaire dont le rayon est égal à celui d'un faisceau ponctuel $N_{MES}$ : $\lambda = \lambda_{MES} N_{MES}$ )
$\mu$ :	durée moyenne d'une communication du satellite (s)
$az_c$ :	angle d'azimut de l'antenne de la STM acheminant l'appel $c$
$az_{c,RAS}$ :	angle d'azimut de l'antenne RAS en direction de la STM acheminant l'appel $c$
$az_{RAS}$ :	angle d'azimut de l'antenne RAS
$born_{iter,it}$ :	nombre de tentatives d'appel entre les intervalles de temps élémentaires $it$ et $it + 1$ du $iter^e$ échantillon de temps d'intégration. Sert à calculer $ncall_{iter,it}$ . Le nombre d'appels ayant abouti est inférieur ou égal à ce chiffre
$d_c$ :	distance séparant le site RAS de la STM acheminant l'appel $c$
$dropped_{iter,it}$ :	nombre d'appels terminés entre les intervalles de temps élémentaires $it$ et $it + 1$ du $iter^e$ échantillon de temps d'intégration. Sert à calculer $ncall_{iter,it}$
$\delta t$ :	durée élémentaire
$elev_c$ :	angle d'élévation de l'antenne de la STM acheminant l'appel $c$
$elev_{RAS}$ :	angle d'élévation de l'antenne RAS
$E$ :	nombre maximum d'Erlang du système à satellites la valeur de $E$ peut être: <ul style="list-style-type: none"> <li>– directement donnée par l'exploitant du SMS ou du SMTS</li> <li>– calculée, compte tenu des valeurs de <math>\lambda</math> et de <math>\mu</math>, par la formule suivante: <math>E = \lambda \mu</math>, dans laquelle <math>\lambda</math> désigne le taux moyen d'appels du système à satellites et <math>\mu</math> la durée moyenne des communications</li> </ul>
$G_{c,MES}$ :	gain de l'antenne de la STM acheminant l'appel $c$ dans la direction du site RAS
$G_{c,RAS}$ :	gain de l'antenne RAS dans la direction de la STM acheminant l'appel $c$
$h_{mes}$ :	hauteur de l'antenne STM
$h_{ras}$ :	hauteur de l'antenne RAS
$ini_{iter}$ :	nombre d'appels du $iter^e$ échantillon de temps d'intégration

$integr$ :	durée de l'échantillon de temps d'intégration
$I_c(f)$ :	puissance brouilleuse produite par la STM utilisée pour l'appel $c$ sur le site de l'antenne RAS à la fréquence $f$
$interf(f)$ :	puissance brouilleuse moyenne reçue par le site RAS pendant $(100 - x)\%$ de la totalité des échantillons de temps d'intégration à la fréquence $f$ [ $(100 - x)\%$ de $niter\ mean\_power_{iter}(f)$ ]
$isol_i$ :	distance d'isolation entre le site RAS et la STM acheminant l'appel $c$ dans la voie $i$ (les distances d'isolation dépendent parfois des voies utilisées)
$in$ :	valeur maximale de $it$
$it$ :	intervalle de temps élémentaire actuel de l'échantillon de temps d'intégration. Il varie de 1 à $in$
$iter$ :	échantillon actuel de temps d'intégration. Il varie de 1 à $niter$
$k$ :	rayon terrestre équivalent
$mean\_power_{iter}(f)$ :	puissance brouilleuse moyenne reçue par le site RAS pendant le $integr^e$ échantillon de temps d'intégration. Déterminée en calculant la moyenne $rec\_power_{iter,it}(f)$ sur la durée $integr$
$Ncall$ :	nombre maximum d'appels. Limite physique déterminée par le nombre maximum de voies $nchannel$ et le nombre maximum d'appels par voie $nmax$
$ncall_{iter,it}$ :	nombre d'appels établis entre les intervalles de temps élémentaires $it$ et $it + 1$ , à prendre en compte pour le calcul de la puissance brouilleuse $rec\_power_{iter,it}$ . Calculé à partir de $ncall_{iter,it-1}$ , $dropped_{iter,it}$ et de $born_{iter,it}$ , ou égal à $Ncall$
$nchannel$ :	nombre maximum de voies du SMS
$new_{iter,it}$ :	nombre de nouveaux appels ayant abouti effectués entre les intervalles de temps élémentaires $it$ et $it + 1$ du $iter^e$ échantillon de temps d'intégration. $new_{iter,it} \leq born_{iter,it}$
$niter$ :	nombre d'échantillons de temps d'intégration nécessaires à l'établissement de statistiques. Représente le nombre d'échantillons à recueillir pour pouvoir établir l'histogramme
$nmax$ :	nombre maximum d'appels par voie du SMS (= 1 pour un système AMRF, > 1 pour un système AMRC)
$P_i(f)$ :	puissance moyenne produite par la voie numéro $i$ à la fréquence $f$
$p_c$ :	pourcentage du temps à prendre en considération pour calculer l'affaiblissement de propagation entre le site RAS et la STM acheminant l'appel $c$
$rec\_power_{iter,it}(f)$ :	puissance brouilleuse reçue au site RAS entre l'intervalle de temps élémentaire $it$ et $it + 1$ du $iter^e$ échantillon de temps d'intégration
$r_{max}$ :	rayon maximum de détermination de l'emplacement des stations mobiles (km). $r_{max}$ est égal à 500 km ou au rayon d'un faisceau ponctuel, suivant la plus petite de ces deux valeurs
$t$ :	intervalle de temps élémentaire actuel de l'échantillon de temps d'intégration. Il varie de $\delta t$ à $integr$
$T_c$ :	instant de fin de la communication $c$

$L_c$ :	affaiblissement de propagation de l'appel $c$
$d_{tm}$ :	comme dans la Recommandation UIT-R P.452, longueur du plus long tronçon terrestre continu (intérieur des terres + zones côtières) du trajet dans le plan du grand cercle (km)
$d_{lm}$ :	comme dans la Recommandation UIT-R P.452, longueur du plus long tronçon terrestre continu (intérieur des terres) du trajet dans le plan du grand cercle (km)
$d_{lt}, d_{lr}$ :	comme dans la Recommandation UIT-R P.452, distance entre les antennes d'émission et de réception et leur horizon respectif (km)
$\theta$ :	comme dans la Recommandation UIT-R P.452, distance angulaire du trajet (mrad)
$\theta_t, \theta_r$ :	comme dans la Recommandation UIT-R P.452, angles d'élévation vers l'horizon à l'émission et à la réception (mrad)
$\beta$ :	comme dans la Recommandation UIT-R P.526 (§ 3.1.2), paramètre qui tient compte de la nature du sol et de la polarisation.

### Annexe 3

## Méthodologie de l'Étape 2: Calcul des zones de restriction autour des sites RAS nécessaires au partage des fréquences avec les STM

### 1 Introduction

La présente Annexe fournit des indications pour la détermination des zones de restriction autour des sites RAS pour assurer la protection des observations radioastronomiques.

La méthode de calcul des zones de restriction est identique à celle qui a été utilisée pour calculer les distances de séparation par défaut, tel qu'indiqué à l'Annexe 2.

Des éléments supplémentaires sont intégrés à ce modèle, de façon à tenir compte des données particulières au site. Le § 2 de la présente Annexe expose des considérations supplémentaires concernant l'Étape 2, en rapport avec la méthode de détermination des zones de restriction autour des sites RAS définie pour l'Étape 1.

### 2 Perfectionnements envisageables de la méthodologie liée à l'Étape 1

En général, les considérations annexes se rapportent toutes au traitement des données géographiques propres à un site RAS donné. Un logiciel conçu pour définir les zones de restriction autour de sites RAS spécifiques devrait tenir compte des éléments suivants:

– *Modèle de propagation:*

L'intégration des méthodes de calcul de l'affaiblissement de propagation définies dans la Recommandation UIT-R P.452 exigerait l'utilisation de données topographiques réelles.

De plus, puisque la hauteur de l'antenne de la STM par rapport au sol n'est pas très importante (on peut supposer qu'elle est de 1,5 m), tout obstacle rencontré sur le trajet affectera la propagation entre la STM et l'antenne RAS.

En première approximation, il pourrait suffire d'une application restreinte de la Recommandation UIT-R P.452, utilisant les données disponibles sur l'angle d'élévation de l'horizon dans toutes les directions autour de l'observatoire RAS, et sur l'altitude de l'emplacement de la STM et le cas échéant du groupe local de STM.

– *Distribution des stations mobiles:*

L'hypothèse d'une distribution uniforme des STM autour d'un site RAS devrait être reconsidérée et il conviendrait de prendre en compte les caractéristiques spécifiques du réseau brouilleur.

La simulation devrait également prendre en compte les caractéristiques des déplacements des STM, et non supposer qu'elles restent stationnaires pendant la durée d'une communication.

Il convient de signaler que les déplacements des STM peuvent avoir une certaine influence tant sur le gain de l'antenne RAS que sur le pouvoir discriminatoire de l'antenne de la STM.

D'autres facteurs, tels que la régulation de la puissance, devraient être pris en compte. Il faudrait toutefois utiliser à cet effet certaines mesures/données d'exploitation qui ne sont pas nécessairement disponibles pour certains des réseaux du SMS considérés.

La liste des modifications proposées de la méthode de base n'est vraisemblablement pas exhaustive et d'autres aspects pourraient être intégrés par les parties impliquées dans la définition des zones de coordination.

## Annexe 4

**Données d'entrée à recueillir auprès des exploitants des SMS pour calculer des distances de séparation par défaut entre site RAS et STM**

	<b>Observations</b>
Type d'accès	AMRT ou AMRC
Canaux: – fréquences centrales des canaux (MHz) – largeurs de bande désignées (kHz) – facteur de réutilisation des fréquences	
Gabarit d'émission	p.i.r.e. par rapport à la fréquence porteuse
Détermination de la puissance moyenne de la STM (dB(W/4 kHz)): – densité de puissance de crête dans les largeurs de bande désignées (dB) – facteur de réduction de puissance relatif aux systèmes AMRT (moyenne calculée sur des intervalles de temps) (dB) – facteur de réduction de puissance lié à la régulation d'alimentation (affaiblissement moyen lié à la régulation d'alimentation) (dB).  NOTE 1 – Prière d'indiquer si ces facteurs s'appliquent uniquement à l'intérieur des bandes désignées ou aussi au gabarit d'émission	
Nombre maximum d'appels par voie	
Gain d'antenne maximum de la STM en direction de l'horizon (dBi)	
Diagramme d'antenne dans le plan horizontal (antenne directionnelle) de la STM	
Angle d'azimut de l'antenne de la STM (degrés)	Antennes directionnelles uniquement
Angle d'élévation de l'antenne de la STM (degrés)	Antennes directionnelles uniquement
Taux moyen d'appels par STM (trafic de crête) (/s)	
Durée moyenne des communications établies par STM (trafic de crête) (s)	
Probabilité de blocage de l'accès au système	Nécessaire au calcul du nombre d'Erlangs d'après les courbes d'Erlang B. Correspond à la probabilité de blocage d'une tentative d'appel
Densité maximum d'utilisateurs (/km <sup>2</sup> )	
Densité maximum d'utilisateurs actifs (/km <sup>2</sup> )	