

RECOMMANDATION UIT-R M.1635

**Méthode générale d'évaluation des risques de brouillages
entre les IMT-2000 ou les systèmes postérieurs
aux IMT-2000 et les autres services**

(2003)

Résumé

L'examen des risques de brouillages entre les IMT-2000 ou les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et les autres services est essentiel à la planification par les administrations de l'utilisation des bandes de fréquences dans lesquelles le service mobile est attribué à titre coprimaire avec d'autres services.

Les réseaux des IMT-2000 et des systèmes postérieurs aux IMT-2000, qui sont susceptibles de prendre en charge un grand nombre d'abonnés cellulaires, nécessitent une capacité de transmission significative, notamment pour le déploiement d'infrastructures haute densité. Une analyse en termes de partage d'accès entre les IMT-2000 ou systèmes postérieurs aux IMT-2000 et les autres services est nécessaire à cet égard.

La présente Recommandation donne aux administrations des recommandations sur une méthode d'évaluation des risques de brouillages entre les IMT-2000 ou les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et les autres services, dans des conditions de partage dans la même bande de fréquences ou dans des bandes adjacentes.

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que l'utilisation en partage du spectre des fréquences contribue à l'objectif général de l'utilisation efficace du spectre;
- b) qu'en raison de l'encombrement des bandes de fréquences adaptées aux applications large bande du service mobile, l'utilisation en partage du spectre avec d'autres services doit être considérée comme une solution possible;
- c) que l'utilisation en partage de bandes de fréquences par les IMT-2000 et/ou les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et par d'autres services nécessite un examen attentif des conditions de coexistence concernées;
- d) que la réduction de la bande de garde nécessaire aux services exploités dans les bandes de fréquences adjacentes aux bandes attribuées aux IMT-2000 contribue, dans la mesure du possible, à améliorer l'utilisation efficace du spectre,

reconnaissant

- a) que les IMT-2000 et leurs versions ultérieures continueront à fonctionner dans les bandes identifiées par l'UIT à la CAMR-92 et à la CMR-2000;
- b) que le perfectionnement des systèmes postérieurs aux IMT-2000 peut nécessiter des fréquences additionnelles à celles qui sont actuellement identifiées pour les IMT-2000;

- c) que les gammes de fréquences adaptées aux systèmes postérieurs aux IMT-2000, qui prennent en charge les services large bande à mobilité totale de zone étendue, peuvent être celles qui se trouvent à proximité des bandes de fréquences existantes identifiées pour les IMT-2000;
- d) que du spectre additionnel est nécessaire en particulier dans les régions fortement peuplées;
- e) que la Recommandation UIT-R M.1461 fournit une méthode approuvée permettant de mener des études de partage entre le service de radiorepérage et d'autres services,

recommande

1 d'utiliser les procédures énoncées dans l'Annexe 1, propres à évaluer les risques de brouillages entre les IMT-2000 ou les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et les systèmes d'autres services, dans les conditions de partage dans la même bande de fréquences et dans des bandes adjacentes, compte tenu des autres Recommandations UIT-R pertinentes relatives à l'évaluation des brouillages affectant les services considérés.

Annexe 1

Méthode générale d'évaluation des risques de brouillages entre les IMT-2000 ou les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et les autres services

1 Introduction

L'examen des risques de brouillages entre les IMT-2000 ou les systèmes postérieurs aux IMT-2000 et les autres services est essentiel à la planification par les administrations de l'utilisation des bandes de fréquences dans lesquelles le service mobile est attribué à titre coprimaire avec d'autres services ou dans des bandes de fréquences adjacentes.

La présente Annexe décrit les principes d'une méthode d'évaluation de la compatibilité visant à mener des études de partage entre le service mobile et d'autres services exploités dans la même bande de fréquences ou dans des bandes adjacentes. Cette méthode tient compte des scénarios correspondant aux cas les plus défavorables ainsi que d'une approche plus représentative afin de donner une description complète des scénarios de brouillages considérés. Ces procédures d'évaluation doivent reposer en partie sur une méthodologie statistique, plus connue sous le nom de technique de Monte Carlo. Les résultats peuvent porter plus particulièrement sur les distributions cumulatives des rapports I/N ou C/I des récepteurs des applications concernées, en vue de démontrer la probabilité de brouillage.

Les équations contenues dans la présente Annexe décrivent une méthode générale de calcul. Dans une étude donnée, les unités des paramètres figurant dans les équations doivent être cohérentes.

2 Méthode d'évaluation des brouillages

Afin de mener des études de partage entre des services mobiles et d'autres services exploités dans la même bande de fréquences ou dans des bandes adjacentes, il est nécessaire d'appliquer des modèles de simulation analysant les différentes parties du trajet de brouillage:

- émetteur,
- récepteur,
- antennes,
- propagation.

Il est nécessaire par ailleurs d'adopter des hypothèses concernant les projets bien définis de mise en place des réseaux et des applications mobiles dans d'autres services, avant la phase de mise en service de ces réseaux. Ainsi, on pourra obtenir, à un stade avancé, des résultats aussi réalistes que possibles. Etant donné que l'on peut analyser, au moyen de cette méthode, des scénarios de brouillage entre diverses applications, on devrait appliquer la méthode de calcul de la densité spectrale de puissance au niveau d'un récepteur brouillé. Ainsi l'on pourra tenir compte de toutes les formes de combinaisons de modulation et de largeur de bande, ainsi que des diverses exigences relatives aux niveaux de brouillage tolérables.

Les méthodes visant à modéliser les différentes parties du trajet de brouillage devraient se fonder, dans la mesure du possible, sur les Recommandations UIT-R.

2.1 Niveau de brouillage reçu par un récepteur

2.1.1 Evaluation de la densité spectrale de puissance reçue par un récepteur

La densité spectrale de puissance d'un signal brouilleur reçu par un récepteur est essentielle dans le calcul des brouillages. En raison de la grande diversité des spectres de brouillage et des récepteurs à prendre en considération dans l'évaluation des risques de brouillages entre le service mobile et d'autres services exploités dans une même bande de fréquences ou dans des bandes de fréquences adjacentes, la méthode de calcul de la densité spectrale de puissance est la méthode la plus souple. Pour évaluer les risques de brouillages entre des systèmes du service mobile et ceux d'autres services, on peut appliquer toutes les formes de combinaisons de spectres de puissance et de sélectivités du récepteur. Aussi, la méthode de calcul de la densité spectrale de puissance des brouillages reçus à l'entrée d'un récepteur est-elle indispensable à toute évaluation de la compatibilité.

Le spectre de densité de la puissance de réception au niveau d'un récepteur brouillé peut être obtenu à partir de l'algorithme suivant:

$$P_{Rx}(f, p) = \frac{P_{Tx}(f) \cdot G_{Tx}(\varphi) \cdot G_{Rx}(\theta) \cdot PM_{Rx}(\theta) \cdot S(f)}{R_{Tx} \cdot R_{Rx} \cdot L_b(f, p)} \quad (1)$$

où:

$P_{Rx}(f, p)$: spectre de densité de la puissance brouilleuse au niveau du récepteur

$P_{Tx}(f)$: densité spectrale de puissance de sortie de l'émetteur

$G_{Tx}(\varphi)$: gain de l'antenne d'émission dans la direction du récepteur

$G_{Rx}(\theta)$: gain de l'antenne de réception dans la direction de l'émetteur

$PM_{Rx}(\theta)$: coefficient de perte due aux réflexions de l'antenne de réception

$S(f)$: sélectivité du récepteur

R_{Tx} : affaiblissement dans la ligne d'alimentation de l'antenne d'émission

R_{Rx} : affaiblissement dans la ligne d'alimentation de l'antenne de réception

$L_b(f, p)$: affaiblissement dû aux effets de propagation

f : fréquence

p : pourcentage de temps

φ : angle entre l'axe de visée de l'antenne d'émission et la direction de l'antenne de réception

θ : angle entre l'axe de visée de l'antenne de réception et la direction de l'antenne d'émission

l'isolement entre l'émetteur et le récepteur étant le suivant:

$$I_S(p) = \frac{G_{Tx}(\varphi) \cdot G_{Rx}(\theta) \cdot PM_{Rx}(\theta)}{R_{Tx} \cdot R_{Rx} \cdot L_b(f, p)} \quad (2)$$

où:

$I_S(p)$: isolement entre l'émetteur et le récepteur

le spectre de puissance à la sortie de l'émetteur étant le suivant:

$$P_{Tx}(f) = P_{out} \cdot M_E(f) \quad (3)$$

où:

$P_{Tx}(f)$: densité spectrale de la puissance de sortie de l'émetteur

P_{out} : niveau de la puissance de sortie de l'émetteur

$M_E(f)$: enveloppe de modulation de la sortie de l'émetteur.

Le spectre de densité de la puissance brouilleuse est défini par:

$$P_{Rx}(f, p) = P_{out} \cdot (M_E(f) \cdot I_S(p) \cdot S(f)) \quad (4)$$

Ce résultat, qui représente le niveau global de brouillage en fonction de la fréquence et du pourcentage de temps, permet l'évaluation de tous les types d'effets et de scénarios de brouillage dans la même bande de fréquences ainsi que dans des bandes adjacentes.

2.1.2 Brouillage cumulatif provenant de plusieurs sources

Dans le cas des scénarios de brouillage dans lesquels plusieurs émetteurs fonctionnent dans une même gamme de fréquences et dans une même zone géographique, il faut employer des méthodes permettant de déterminer le brouillage cumulatif reçu par un récepteur. Pour évaluer dans quelle mesure on peut prévoir le brouillage global dans ces scénarios, on devrait faire la somme de la puissance des différents signaux brouilleurs:

$$P_I(f, p) = \sum_{I=1}^N P_{Rx}(f, p) \quad (5)$$

où:

$P_I(f, p)$: spectre de densité de la puissance brouilleuse cumulative au niveau du récepteur

N : nombre de signaux brouilleurs.

2.1.3 Puissance brouilleuse effective

Pour certains scénarios de brouillage, il est nécessaire de calculer la puissance brouilleuse effective dans une certaine partie du spectre de fréquences. On calcule ce niveau de puissance effective en intégrant la densité spectrale de puissance sur la largeur de bande considérée:

$$P_{In}(p) = \int_{f_1}^{f_2} P_I(f, p) \quad df \quad (6)$$

où:

$P_{In}(p)$: puissance de brouilleuse effective au niveau du récepteur

f_1 : limite inférieure de la bande considérée

f_2 : limite supérieure de la bande considérée

ce qui permet d'obtenir, si nécessaire, le niveau moyen de densité de la puissance brouilleuse dans la bande de fréquences considérée:

$$P_{ds}(p) = \frac{P_{In}(p)}{f_2 - f_1} \quad (7)$$

où:

$P_{ds}(p)$: densité moyenne de la puissance brouilleuse.

2.1.4 Calcul du niveau de puissance de crête

Dans les scénarios de brouillage dans lesquels on doit tenir compte d'antennes à gain élevé et/ou d'antennes rotatives, le niveau de brouillage de crête est utile pour évaluer les aspects de probabilité des niveaux de brouillage. En pareils cas, on peut simplifier la procédure de calcul en se limitant au scénario de couplage du lobe principal des émetteurs et des récepteurs considérés. On peut ensuite obtenir le niveau de densité spectrale de la puissance brouilleuse de crête au niveau de l'entrée du récepteur considéré à partir de l'algorithme suivant:

$$P_{Rx}(f, p) = \frac{P_{Tx}(f) \cdot G_{Tx} \cdot G_{Rx}}{R_{Tx} \cdot R_{Rx} \cdot L_b(f, p)} \quad (8)$$

où:

$P_{Rx}(f, p)$: spectre de densité de la puissance brouilleuse au niveau du récepteur

$P_{Tx}(f)$: densité spectrale de la puissance de sortie de l'émetteur

G_{Tx} : gain de crête de l'antenne d'émission

G_{Rx} : gain de crête de l'antenne de réception

R_{Tx} : affaiblissement dans la ligne d'alimentation de l'antenne d'émission

R_{Rx} : affaiblissement dans la ligne d'alimentation de l'antenne de réception

$L_b(f, p)$: affaiblissement dû aux effets de propagation

f : fréquence

p : pourcentage de temps.

La propagation en espace libre correspond au scénario le plus défavorable.

2.2 Modèle d'émetteur

Les émissions de l'émetteur peuvent être classées dans les catégories suivantes:

- émissions fondamentales;
- émissions associées sur des fréquences harmoniques;
- émissions associées sur des fréquences non harmoniques;
- bruit à large bande.

Le gabarit spectral d'un émetteur doit définir la densité spectrale de la puissance émise par l'émetteur. En raison de la structure complexe du spectre de l'émetteur, on devrait appliquer un modèle plus général permettant d'évaluer les brouillages. Les émissions fondamentales devraient être définies sur la base d'un modèle d'enveloppe de modulation en fonction de la largeur de la bande d'émission, qui permet de couvrir 2,5 fois la largeur de bande nécessaire. A l'extérieur de cette fréquence, on appliquerait les Recommandations UIT-R pertinentes relatives aux niveaux des rayonnements non essentiels. L'affaiblissement relatif à la densité spectrale des rayonnements utiles doit être défini en fonction du décalage de fréquence.

2.3 Modèle de récepteur

2.3.1 Susceptibilité du récepteur

Les récepteurs sont destinés à répondre à certains types de signaux électromagnétiques dans une bande de fréquences déterminée. Toutefois, ils répondent aussi à des signaux non désirés présentant diverses caractéristiques de modulation et de fréquence. On considère que les signaux potentiellement brouilleurs peuvent être classés dans l'une des trois catégories principales suivantes:

- Les signaux brouilleurs dans le même canal se rapportent aux signaux de fréquences présentes dans la bande passante la plus étroite du récepteur.
- Les signaux brouilleurs dans le canal adjacent se rapportent aux signaux de fréquences présentes à l'intérieur ou à proximité de la bande passante la plus large du récepteur.
- Les signaux brouilleurs hors bande se rapportent aux signaux de fréquences se trouvant à l'extérieur de la bande passante la plus large du récepteur.

Dans le cas du brouillage dans la bande adjacente, la sélectivité des fréquences radioélectriques est le paramètre le plus important. Cette caractéristique définit la région du spectre des fréquences radioélectriques, dans laquelle peuvent se produire des brouillages. Par ailleurs, la sélectivité des fréquences intermédiaires permet à un récepteur de différencier les brouillages dans le canal adjacent. Outre le gabarit spectral de l'émetteur, la sélectivité des fréquences radioélectriques et des fréquences intermédiaires est essentielle pour l'espacement des fréquences.

Si les caractéristiques techniques ou les données mesurées ne sont pas disponibles, un bon indicateur des caractéristiques de sélectivité d'un récepteur est donné par le rapport de la largeur de bande à 60 dB sur la largeur de bande à 3 dB. Le facteur de forme des récepteurs de sélectivité élevée peut être de 2, alors que celui des récepteurs de faible sélectivité peut être supérieur à 8.

Puisque la sélectivité des fréquences intermédiaires du récepteur permet à un récepteur de différencier les signaux dans sa bande passante la plus large, elle représente le brouillage dans le même canal et le brouillage dans le canal adjacent. Cette sélectivité devrait être déterminée au moyen d'un gabarit de largeur de bande de réception. A cette fin, il faut définir plusieurs combinaisons de largeurs de bande et de niveaux de seuil de susceptibilité (dB) supérieurs au seuil de sensibilité. Il convient de calculer la valeur maximale d'affaiblissement des signaux à partir de la sélectivité vis-à-vis des émissions hors bande fondamentales, en ne tenant pas compte des réponses parasites.

2.3.2 Refus des réponses parasites

Les récepteurs sont généralement susceptibles aux signaux hors bande pouvant produire une réponse parasite dans le récepteur. Une réponse parasite peut être produite si la fréquence d'un signal brouilleur est telle que le signal ou l'une de ses harmoniques peut interférer avec un oscillateur local ou avec l'une de ses harmoniques pour produire un signal dans la bande passante des fréquences intermédiaires du récepteur. La fréquence la plus critique à cet égard est la fréquence-image d'un récepteur. Pour tenir compte du refus des réponses parasites, on devrait appliquer le seuil de susceptibilité de la fréquence-image. En cas de problèmes de brouillage dus à la fréquence-image, des examens plus approfondis des caractéristiques réelles des réponses parasites des récepteurs considérés seront nécessaires; toutefois, on devra disposer d'informations détaillées sur ces caractéristiques.

2.3.3 Désensibilisation de l'entrée du récepteur

De forts signaux brouilleurs à l'intérieur de la bande des fréquences radioélectriques d'un récepteur risquent d'entraîner des brouillages, même si les émissions se produisent à l'extérieur de la bande passante de la bande des fréquences intermédiaires, ainsi qu'une réduction du gain associé au signal utile en raison de non-linéarités à l'entrée du récepteur. Cet effet conduit à une réduction du rapport S/N du récepteur concerné, si un certain niveau de puissance de saturation de référence est dépassé (blocage ou désensibilisation). On doit calculer le niveau de puissance brouilleuse à l'entrée d'un récepteur au moyen de l'équation (6) en intégrant sur la largeur de bande des fréquences radioélectriques.

2.3.4 Intermodulation du récepteur

En raison des non-linéarités d'un récepteur, au moins deux signaux peuvent intermoduler pour produire des signaux à d'autres fréquences. Si ces nouvelles fréquences sont suffisamment proches de la bande de fréquences reçue, ces signaux risquent de causer des brouillages puisqu'ils sont amplifiés et détectés par le même mécanisme traitant le signal utile. La prévision de l'intermodulation vise à identifier les paires d'émetteurs dans l'environnement électromagnétique, susceptibles de dégrader la qualité de fonctionnement d'un récepteur donné en raison des effets de l'intermodulation.

2.4 Antennes

Les modèles d'antenne utilisés dans le calcul des brouillages devraient être sélectionnés parmi les sources suivantes:

- Recommandations UIT-R,
- normes techniques (par exemple, ETSI),
- informations des fabricants (le cas échéant).

Il convient, s'il y a lieu, d'examiner les effets de la polarisation.

2.5 Modèles de propagation

L'affaiblissement de la propagation entre une station émettrice et un récepteur brouillé est l'un des éléments essentiels dans l'évaluation des brouillages. Afin d'obtenir des scénarios de brouillage réalistes, il convient d'appliquer des modèles de propagation faisant intervenir, dans la mesure du possible, une base de données topographiques (relative au terrain ou à la couverture du sol). Ainsi l'on peut appliquer des modèles de propagation détaillés. En ce qui concerne la modélisation de la

propagation, on doit tenir compte des conditions particulières des applications concernées. A cet égard, on doit distinguer plusieurs scénarios généraux:

- scénarios point à point;
- scénarios point à zone;
- scénarios de pénétration à l'intérieur des bâtiments.

Si les services spatiaux sont concernés, les conditions particulières des trajets de propagation espace-Terre doivent être prises en considération.

2.5.1 Scénarios point à point

Dans le cas de stations d'émission ou de réception fixes brouillées, l'affaiblissement de la propagation devrait être calculé conformément à la Recommandation UIT-R P.452. Cette Recommandation contient une méthode analytique des conditions de propagation du trajet de brouillage. Elle traite des effets de propagation ci-après conformément à la valeur définie de pourcentage de temps et à la bande de fréquences concernée:

- affaiblissement dû aux gaz atmosphériques;
- diffraction;
- diffusion troposphérique;
- superréfraction et propagation guidée de surface;
- réfraction et réflexion sur les couches hautes de l'atmosphère;
- effet d'écran du site dû à des groupes d'obstacles au sol;
- diffusion par les précipitations.

Ce modèle de propagation permet le calcul de l'affaiblissement pour une large gamme de pourcentages de temps. Ainsi on peut l'appliquer dans des conditions de propagation tant à court terme qu'à long terme.

2.5.2 Scénarios point à zone

Lorsque l'on doit examiner les scénarios de brouillage point à zone, on devrait appliquer des modèles de propagation tenant compte des conditions particulières. Dans le cas des bandes de fréquences inférieures à 3 GHz, on peut se fonder sur la Recommandation UIT-R P.1546.

Cependant, la Recommandation UIT-R P.452 donne aussi une méthode statistique de calcul de l'affaiblissement à partir des affaiblissements supplémentaires de diffraction lorsque les antennes se trouvent dans un environnement où l'on observe des groupes d'obstacles au sol (bâtiments ou végétation). Ce modèle de correction a été réalisé à partir d'une méthode traditionnelle, compte tenu de la situation incertaine d'un émetteur ou d'un récepteur. En fonction de cette situation (hauteur d'antenne, distance, etc.), les effets d'écran du terrain conduiront à un affaiblissement supérieur à 20 dB. Ainsi, on peut également appliquer la Recommandation UIT-R P.452 lorsque l'on examine des scénarios de brouillage de stations mobiles, en particulier des scénarios dans les bandes de fréquences supérieures à 3 GHz.

Pour les distances inférieures à 1 km, on peut donc se fonder sur la Recommandation UIT-R P.1411 – Données de propagation et méthodes de prévision pour la planification de systèmes de radiocommunication, à courte portée, destinés à fonctionner à l'extérieur de bâtiments et de réseaux locaux hertziens dans la gamme de fréquences comprises entre 300 MHz et 100 GHz. Cette Recommandation fournit des modèles généraux (indépendants du site) ainsi que des modèles propres à certains sites.

2.5.3 Scénarios de propagation et de pénétration à l'intérieur des bâtiments

Lorsqu'une station de base/mobile du service mobile ou une station de tout autre service se trouve à l'intérieur d'un bâtiment, on doit s'attendre à des affaiblissements de pénétration supplémentaires dus aux murs extérieurs (affaiblissement de pénétration à l'intérieur du bâtiment) ainsi qu'aux murs intérieurs ou aux sols (affaiblissement de pénétration). Toutefois, la valeur de cet affaiblissement de pénétration dépend grandement du bâtiment considéré. Puisqu'on ne connaît généralement pas la nature exacte de la structure des bâtiments, il est impossible de tenir compte de tous les facteurs nécessaires dans un environnement donné afin de calculer exactement les conditions de propagation à l'intérieur des bâtiments. Ainsi, il faut appliquer des modèles généraux de site nécessitant peu d'informations sur le trajet ou le site. Les différents emplacements possibles des stations à l'intérieur d'un bâtiment se traduiront en outre par de grandes variations des niveaux de brouillage. Aussi doit-on s'attendre à des résultats différents en fonction de l'environnement considéré. Dans certains cas, on observera un affaiblissement énorme, par exemple dans les sous-sols d'immenses bâtiments. Par ailleurs, si l'antenne est situé à l'extérieur d'un bâtiment (par exemple sur un toit ou un balcon), on n'observera aucun affaiblissement supplémentaire. Cela conduit à des variations supérieures à 60 ou 70 dB pour différentes situations dans le même environnement.

L'environnement, la hauteur et la taille des bâtiments exerceront une grande influence sur les résultats. Les différents emplacements possibles des stations à l'intérieur d'un bâtiment se traduiront en outre par de grandes variations des niveaux de brouillage. Aussi doit-on s'attendre à des résultats différents en fonction de l'environnement considéré. La Recommandation UIT-R P.1238 – Données de propagation et méthodes de prévision pour la planification de systèmes de radiocommunication destinés à fonctionner à l'intérieur de bâtiments et de réseaux locaux hertziens fonctionnant à des fréquences comprises entre 900 MHz et 100 GHz, fournit un modèle général de site faisant la distinction entre les bâtiments résidentiels, les bureaux et les bâtiments commerciaux. Les valeurs d'affaiblissement de pénétration dans les bâtiments figurent dans la Recommandation UIT-R P.679 – Données de propagation nécessaires pour la conception des systèmes de radiodiffusion par satellite.

2.5.4 Scénarios espace vers Terre

Pour évaluer les brouillages entre des stations de Terre et des stations spatiales, on devrait calculer l'affaiblissement de propagation conformément à la Recommandation UIT-R P.619. Cette Recommandation aborde les trois principaux mécanismes de propagation:

- propagation en atmosphère claire;
- diffusion par les précipitations;
- affaiblissement différentiel sur des trajets Terre-espace adjacents;

permettant de calculer l'affaiblissement de propagation le long de trajets de propagation espace-Terre aux fins d'évaluation des brouillages.

2.6 Scénarios de déploiement

Pour mener des études de partage entre des services mobiles et d'autres services radioélectriques dans la même bande de fréquences ou dans des bandes de fréquences adjacentes, il est absolument nécessaire de tenir compte du réseau mobile, dans sa totalité, puisque les nombreuses stations de base ou mobiles fonctionnant dans la même bande de fréquences peuvent exercer une grande influence sur les résultats. Au cas où l'on devrait envisager la mise en place de nouveaux systèmes, il faudrait appliquer des simulations de scénarios de déploiement stables (aussi réalistes que possible) en vue de l'évaluation des brouillages susceptibles d'être causés aux services existants.

Cette méthode de simulation de futurs réseaux mobiles stables repose sur le calcul de la demande de communication anticipée permettant de déterminer les infrastructures nécessaires des réseaux, afin de pouvoir répondre à cette demande. On peut déterminer la demande de communication et les infrastructures des réseaux mobiles qui en résultent en tenant compte:

- des statistiques démographiques;
- des structures économiques;
- de la répartition des habitants;
- des taux de pénétration en fonction des différentes catégories de groupes d'obstacles au sol, etc.;

et des modèles appropriés de prévision du marché permettant de déterminer les exigences liées à la capacité des applications de services mobiles.

Pour les autres services, dans la mesure du possible, on tiendrait compte dans le calcul des brouillages du déploiement actuel ou futur d'émetteurs ou de récepteurs.

3 Evaluation des scénarios de brouillage

Dans les méthodes de calcul des brouillages entre des réseaux mobiles et d'autres services, on doit faire la distinction entre les scénarios de stations de base et les scénarios de stations mobiles. La mobilité des stations mobiles et leur durée d'accès relativement courte font qu'il est nécessaire de tenir compte de ces aspects dans les procédures de simulation. Par ailleurs, l'emplacement de la station de base est fixe. On peut donc s'attendre à ce qu'elle fonctionne en continu. Cela donne lieu à différentes méthodes de calcul des brouillages des stations de base et des stations mobiles.

En outre, dans tout processus d'évaluation des brouillages, on doit tenir compte des conditions particulières des services radioélectriques concernés, à savoir:

- les systèmes fonctionnant avec des antennes verticales, omnidirectionnelles et à gain élevé, placées bien au-dessus des groupes d'obstacles locaux (par exemple, des stations centrales à accès hertzien fixe);
- les systèmes fonctionnant avec des antennes à gain élevé, qui sont susceptibles de recevoir des brouillages sur de grandes distances, le long de l'axe de visée de l'antenne (par exemple, dans les services fixe, fixe par satellite, de radioastronomie, de radionavigation aéronautique, etc.);
- les équipements des locaux d'utilisateur exploités à proximité immédiate des terminaux IMT-2000;
- les systèmes subissant des brouillages provenant de vastes zones ou causant des brouillages à celles-ci (par exemple, des stations spatiales géostationnaires ou non géostationnaires ou des systèmes aéroportés).

Il faut avant tout examiner chaque scénario attentivement en s'attachant aux effets physiques principaux.

3.1 Calcul de la densité spectrale de la puissance brouilleuse

3.1.1 Scénarios de brouillage des stations de base

Le brouillage entre stations de base du service mobile et stations d'autres services devrait se fonder sur les systèmes existants ou futurs du service considéré. Afin d'avoir une idée des divers scénarios de brouillage dans les différentes régions ainsi que du déploiement de différents services, il est nécessaire d'examiner des scénarios types.

On doit analyser, sur la base des infrastructures des réseaux considérés, toutes les stations de base censées fonctionner dans la bande de fréquences considérée, à une certaine distance maximale du récepteur brouillé. Cette analyse porte sur:

- le calcul de l'isolement entre les stations considérées;
- l'application de processus variables dans le temps permettant de calculer la variation temporelle des niveaux de brouillage (par exemple, le pointage de l'antenne ou les conditions de propagation);
- le calcul du niveau de densité spectrale du brouillage cumulatif au niveau du récepteur brouillé.

Pour ce qui est de la mobilité du récepteur brouillé ou de l'antenne mobile/rotative brouillée, les niveaux de brouillage seront variables dans le temps. Ainsi, pour évaluer les risques de brouillage, il faut examiner la variation des niveaux de brouillage dans le temps. Afin d'obtenir des distributions cumulatives stables des niveaux de brouillage, il peut être nécessaire de calculer plusieurs scénarios en fonction des caractéristiques du récepteur brouillé. Le fait de ne pas tenir compte du processus variable dans le temps ni des conditions réelles de propagation (conditions en espace libre) correspond au scénario le plus défavorable. Il convient toujours de comparer ces valeurs avec les risques de brouillages correspondant au cas le plus défavorable sur la base du couplage entre faisceaux principaux et de l'affaiblissement sur le trajet en espace libre.

3.1.2 Scénarios de brouillage de stations mobiles

Comparé à l'examen du brouillage des stations de base, l'examen du brouillage entre stations mobiles et stations d'autres services est généralement plus compliqué. Le principal problème réside en ce qu'une station mobile ne fonctionne pas 24 h sur 24 et qu'elle est également en service lorsqu'elle est en mouvement.

Pour calculer les scénarios de brouillage entre stations mobiles et stations d'autres services, il faut appliquer les méthodes qui conviennent. Les utilisateurs mobiles devraient être répartis de façon aléatoire dans la région considérée, en fonction de taux de pénétration déterminés dans les différentes zones. A chaque instant considéré, on doit évaluer les risques de brouillage de la façon suivante:

- on choisit au hasard des stations mobiles actives parmi une population d'utilisateurs hypothétiques, en fonction d'hypothèses concernant la durée et la probabilité d'appel des stations, des mécanismes de commande de puissance des systèmes mobiles et des exigences relatives à la capacité cellulaire variable dans le temps de la cellule considérée;
- on calcule l'isolement entre toutes les combinaisons de stations des services considérés (les utilisateurs actifs des stations mobiles et des stations d'autres services qu'il est prévu d'exploiter);
- on calcule les niveaux de densité spectrale du brouillage cumulatif au niveau du récepteur brouillé.

En fonction des scénarios de brouillage considérés, en particulier si l'on doit tenir compte de conditions variables dans le temps dans les deux services en question, on doit réaliser un très grand nombre de calculs des brouillages afin d'obtenir une distribution cumulative stable du scénario de brouillage concerné. Il convient toujours de comparer ces valeurs avec les risques de brouillages correspondant au cas le plus défavorable sur la base du couplage entre faisceaux principaux et de l'affaiblissement sur le trajet en espace libre.

Si les aspects de la durée des brouillages sont importants dans l'évaluation des risques de ces brouillages, il faut prendre en considération la mobilité des stations mobiles ainsi que la durée des appels et l'accès à ces derniers.

3.2 Probabilité de brouillage

La distribution cumulative de la densité spectrale de la puissance brouilleuse au niveau de l'entrée d'un récepteur brouillé permet l'évaluation de la probabilité de brouillages par rapport aux niveaux des brouillages tolérables du service considéré. En fonction des exigences liées au service, on appliquera, pour la station réceptrice d'un service donné, les principes régissant les brouillages ci-après:

- le niveau de brouillage tolérable désigne le niveau de bruit inhérent au récepteur, qui définit une certaine dégradation du rapport C/N (notion I/N);
- le niveau de brouillage tolérable désigne le niveau requis des signaux utiles (notion C/I).

Les effets des signaux brouilleurs à court terme peuvent également être importants pour les systèmes de certains services. En pareils cas, il convient d'évaluer non seulement la probabilité d'un événement de brouillage, mais aussi sa durée et son incidence sur la qualité de fonctionnement du récepteur brouillé.

3.3 Coexistence

Pour évaluer les brouillages dans une même bande de fréquences ou dans des bandes de fréquences adjacentes, il faut principalement déterminer l'espacement de fréquence et la distance géographique nécessaire pour protéger les récepteurs considérés contre des brouillages préjudiciables.

En cas de partage dans une même bande de fréquences, une certaine séparation géographique est nécessaire pour limiter le nombre de signaux brouilleurs au niveau tolérable pour un certain service. Par ailleurs, pour éviter tout brouillage préjudiciable, un certain espacement de fréquence, limitant le niveau des signaux brouilleurs dans la largeur de bande du récepteur au niveau des rayonnements non essentiels, peut aussi convenir. Cette bande de garde dépend de la densité spectrale des émissions ainsi que de la capacité de filtrage du récepteur brouillé. En ce qui concerne les applications de puissance élevée et/ou les récepteurs sensibles, la définition d'une bande de garde simple peut ne pas suffire dans tous les cas. Il faudra alors définir une séparation géographique supplémentaire.

3.3.1 Bande de garde

L'espacement de fréquence requis entre la bande d'émission et la bande de réception est essentiel pour la définition de la bande de garde entre deux services. Afin d'atteindre l'affaiblissement maximal d'un signal brouilleur à l'intérieur de la bande passante d'un récepteur, la condition suivante doit être remplie:

$$\Delta f = (2,5 \cdot B_{Tx}) / 2 + B_{Rx60} / 2 \quad (9)$$

où:

Δf : espacement de fréquence

B_{Tx} : largeur de bande d'émission

B_{Rx60} : largeur de bande des fréquences intermédiaires du récepteur à 60 dB.

Dans de nombreux cas, on n'a pas besoin d'un espacement de fréquence dans sa totalité pour limiter le niveau des signaux brouilleurs au niveau tolérable d'un récepteur. En fonction de la densité spectrale des rayonnements non désirés et de la capacité de filtrage du récepteur brouillé, un espacement de fréquence inférieur peut convenir dans les conditions suivantes:

$$\int_{f_1}^{f_2} P_I(f + \Delta f, p) \, df \leq P_{tol} \quad (10)$$

où:

- $P_I(f + \Delta f, p)$: densité spectrale du brouillage cumulatif au niveau d'un récepteur
- f_1 : limite inférieure de la bande des fréquences intermédiaires d'un récepteur à 60 dB
- f_2 : limite supérieure de la bande des fréquences intermédiaires d'un récepteur à 60 dB
- Δf : espacement de fréquence
- P_{tol} : puissance du brouillage cumulatif tolérable d'un récepteur.

3.3.2 Séparation géographique

En fonction des exigences liées à l'isolement dû aux conditions de propagation, on peut calculer la séparation géographique nécessaire pour limiter le niveau des signaux brouilleurs au niveau tolérable d'un récepteur.

La distance de séparation, dans le cas le plus défavorable, est déterminé par la propagation en espace libre. Toutefois, on peut dans certains cas obtenir de grandes distances, qui, la plupart du temps, ne sont pas envisageables. Par ailleurs, la probabilité de brouillage est limitée à son minimum théorique.

Les systèmes de certains services radioélectriques sont conçus en fonction de la disponibilité des services, qui dépend de leur mission. Ainsi, on doit définir le brouillage tolérable d'un récepteur en fonction de la disponibilité recherchée. Dans l'examen de scénarios de brouillage réalistes, on tiendra compte des exigences des services affectés ainsi que de l'utilisation efficace des ressources spectrales. Pour définir la séparation géographique nécessaire, la solution la plus appropriée peut consister à appliquer la distribution cumulative du brouillage cumulatif étant donné qu'elle permet d'obtenir des séparations géographiques plus faibles et plus réalistes. Par ailleurs, le risque de brouillage dépend du critère de protection. Ainsi, on dispose d'une méthode d'utilisation plus efficace du spectre. Il convient d'évaluer l'applicabilité d'autres méthodes énumérées antérieurement en fonction des exigences techniques et opérationnelles des systèmes fonctionnant dans les divers services radioélectriques.