

RECOMMANDATION UIT-R SM.1599

Détermination de la répartition géographique et en fréquence du facteur d'utilisation du spectre aux fins de la planification des fréquences

(Question UIT-R 66/1)

(2002)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

considérant

- a) que la disponibilité de fréquences radioélectriques non utilisées est une condition pour satisfaire à la demande de spectre;
- b) que dans la planification des fréquences, c'est-à-dire dans l'assignation de fréquence aux nouvelles stations de radiocommunication, les méthodes quantitatives permettant de déterminer les meilleures assignations susceptibles de conduire à l'utilisation la plus économique du spectre ne sont utilisées que de façon limitée dans la pratique;
- c) que dans la procédure de redistribution des bandes de fréquences dans l'intérêt des autres services de radiocommunication, l'approche adoptée consiste, en règle générale, à appliquer des méthodes heuristiques et à utiliser des données empiriques de probabilité de brouillage préjudiciable entre stations de radiocommunication;
- d) qu'aux fins de la planification des fréquences, il est utile de connaître la capacité potentielle, c'est-à-dire les ressources en fréquences disponibles au lieu géographique correspondant au site notifié à la station de radiocommunication considérée et qu'à cet effet il est nécessaire de disposer de méthodes suffisamment précises de détermination de la répartition géographique et en fréquence du facteur d'utilisation du spectre défini à des fins générales dans l'Annexe 1 à la Recommandation UIT-R SM.1046,

recommande

- 1 aux administrations, dans le processus de planification, d'utiliser les données disponibles sur la répartition géographique et en fréquence du facteur d'utilisation du spectre;
- 2 d'utiliser, pour déterminer la répartition géographique et en fréquence du facteur d'utilisation du spectre, les méthodes exposées dans l'Annexe 1.

ANNEXE 1

Méthodes de détermination de la répartition géographique et en fréquence du facteur d'utilisation du spectre**1 Description générale des méthodes**

Il existe un certain nombre de méthodes permettant d'obtenir des informations détaillées sur le taux d'encombrement du spectre, méthodes fondées sur le calcul des caractéristiques de l'environnement électromagnétique qui résulte des émissions des diverses stations de radiocommunication.

L'une de ces méthodes consiste à établir un tableau fréquentiel d'encombrement du spectre, représentant le champ ou la densité de puissance spectrale des émissions reçues en un lieu géographique donné en fonction de la fréquence, et à déterminer ensuite les bandes de fréquences dans lesquelles le niveau des caractéristiques électromagnétiques en question dépasse une certaine valeur seuil. Cette méthode donne une idée de la situation en ce qui concerne l'utilisation du spectre. Toutefois, les résultats que l'on obtient ainsi sont approximatifs, et ce, pour les raisons suivantes. Dans la procédure de détermination des caractéristiques électromagnétiques, les paramètres temporels des émissions ne sont pour ainsi dire pas pris en compte. C'est ainsi notamment que des données telles que l'aspect continu de la modulation du signal ou la classe de l'émission sont totalement perdues. Les signaux modulés par impulsions sont traités comme des signaux continus, de puissance moyenne constante. La grande diversité des signaux émis par les stations de radiocommunication existantes impose la fixation d'une valeur flottante (c'est-à-dire différente d'un type de signal à l'autre) pour le niveau admissible des caractéristiques électromagnétiques qui déterminent les lignes de démarcation entre les secteurs encombrés du spectre, et cette procédure devient relativement lourde lorsque l'environnement électromagnétique est complexe. La fixation d'une valeur seuil unique ne convient pas vraiment et conduit à des résultats approximatifs.

Les mêmes inconvénients se retrouvent dans une autre méthode bien connue d'évaluation de l'utilisation du spectre, laquelle consiste à établir des représentations bidimensionnelles d'isocourbes de champs électromagnétiques combinés des sources de brouillage radioélectrique (cartes électromagnétiques). En conséquence, il n'est pas possible de répondre simplement à la question de savoir si la fréquence considérée est ou n'est pas encombrée pour une station de radiocommunication donnée en un lieu où le champ mesuré présente une valeur donnée. Plus précisément, l'application pratique des méthodes mentionnées concerne essentiellement les situations dans lesquelles les signaux émis par les différentes sources relèvent de la même classe.

Une démarche plus logique, lorsque l'on cherche à obtenir des données détaillées sur le facteur d'utilisation du spectre dans telle ou telle région, consiste à échantillonner les ressources géographiques et fréquentielles considérées à l'aide d'une station de radiocommunication de référence et à vérifier si les conditions permettant d'assurer la compatibilité de cette station et des stations existantes, auxquelles des fréquences ont déjà été assignées, sont respectées.

Les principaux inconvénients de cette méthode, qui en limitent l'utilisation généralisée dans la pratique, sont les suivants:

- les calculs sont très longs, car il est nécessaire de déterminer directement les conditions de puissance de l'interaction entre les signaux et les brouillages pour tous les points d'échantillonnage géographique et fréquentiel considérés;
- les organismes responsables de l'examen des fiches de notification d'utilisation de fréquence de radiocommunication doivent disposer d'un important volume de données initiales, tout particulièrement quant aux caractéristiques techniques des stations de radiocommunication, et ces données sont, dans de nombreux cas, très difficiles à obtenir.

Une méthode relativement plus simple et plus commode permettant d'obtenir des données détaillées sur le facteur d'utilisation du spectre dans les différentes régions géographiques, fondée sur l'utilisation généralisée des règles relatives aux caractéristiques distance-fréquence exposées de façon générale dans l'Annexe 2 à la Recommandation UIT-R SM.337, est décrite ci-après.

2 Méthode simplifiée d'évaluation détaillée du degré d'encombrement du spectre

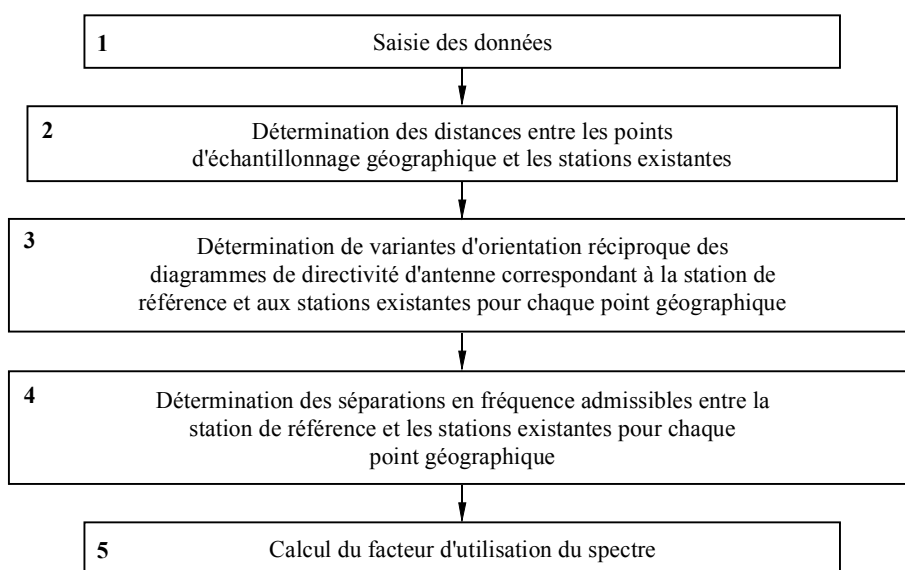
2.1 Description de la méthode

La méthode a pour objet d'obtenir des données objectives sur le degré d'encombrement du spectre sous forme d'une fonction représentant les limites d'utilisation du spectre par une station de radiocommunication de référence additionnelle donnée en fonction de la fréquence d'exploitation et de l'emplacement de cette station.

Les résultats des calculs obtenus avec cette méthode seront d'autant plus précis que les règles fréquence-distance seront évoluées, et couvriront de façon globale l'ensemble des paramètres et des principales conditions d'interaction des signaux et des brouillages (même canal, canal adjacent, canal latéral). Il s'agira de vérifier les conditions permettant d'assurer la compatibilité des stations de radiocommunication par référence aux points d'échantillonnage géographique et fréquentiel.

La Fig. 1 schématise l'algorithme qui sous-tend cette méthode.

FIGURE 1
Schéma d'ensemble de l'algorithme



1599-01

Les cases du schéma rassemblent les éléments suivants:

Case 1 – Saisie des données initiales: dimensions de la zone géographique considérée; limites inférieure et supérieure de la bande de fréquences en question; caractéristiques des stations de radiocommunication existantes (fréquences nominales assignées, coordonnées géographiques, orientation des diagrammes de directivité d'antenne); règles fréquence-distance applicables à la station de radiocommunication de référence et aux stations existantes; base des calculs (points spécifiques de la zone considérée, ensemble de la zone considérée, ensemble de la bande considérée, fréquences spécifiques); intervalles d'échantillonnage géographique et fréquentiel.

Case 2 – Détermination des distances entre les points d'échantillonnage géographique et les stations de radiocommunication existantes. Les données initiales sont les coordonnées des sites des stations de radiocommunication existantes et des points d'échantillonnage correspondants.

Case 3 – Détermination de variantes d'orientation réciproque des diagrammes de directivité d'antenne de la station de référence et des stations existantes pour chacun des points d'échantillonnage géographique. Variantes possibles: interaction par un lobe latéral, un lobe latéral et le lobe principal ou le lobe principal. Les données initiales utilisées sont les coordonnées géographiques des stations de radiocommunication existantes et de la station de référence, les azimuts de directivité d'antenne et l'ouverture du lobe principal du diagramme de référence dans le plan horizontal. Lorsque l'on ne dispose pas de données précises sur les azimuts d'antenne des stations de radiocommunication existantes, on peut obtenir ces éléments de façon déterministe ou recourir à une valeur aléatoire.

Case 4 – Détermination des séparations en fréquence minimales admissibles entre les stations de radiocommunication existantes et la station de référence. On utilise pour ce faire les données disponibles sur les règles fréquence-distance, les distances entre les stations de radiocommunication et enfin les azimuts d'antenne. Les informations relatives aux séparations en fréquence admissibles ainsi obtenues sont présentées sous forme de matrices. Lorsque l'on ne dispose pas de données sur les assignations de fréquence effectives des stations de radiocommunication existantes, on peut procéder à des assignations théoriques en utilisant les algorithmes d'assignation reconnus.

Case 5 – Détermination des différentes valeurs du facteur d'utilisation du spectre, indiquant le degré d'utilisation:

Valeurs individuelles (pour chaque point):

$Z(f_i, x_j, y_j) = 1$ dans ce cas, la séparation en fréquence entre la $i^{\text{ème}}$ fréquence échantillonnée assignée à la station de radiocommunication de référence au point j de coordonnées (x_j, y_j) et au moins une fréquence de l'une des stations de radiocommunication existantes est inférieure à la limite admissible;

$Z(f_i, x_j, y_j) = 0$ dans le cas contraire.

Valeurs générales:

– calcul de la moyenne de l'ensemble des points géographiques:

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{N_p} \sum_{j=1}^{N_p} Z(f_i, x_j, y_j) \quad (1)$$

– calcul de la moyenne pour toutes les fréquences et tous les points géographiques:

$$\bar{Z}_i = \frac{1}{N_f \cdot N_p} \sum_{i=1}^{N_f} \sum_{j=1}^{N_p} Z(f_i, x_j, y_j) \quad (2)$$

où N_f et N_p sont respectivement le nombre de points d'échantillonnage fréquentiel et le nombre de points d'échantillonnage géographiques.

2.2 Exemple d'utilisation de la méthode

Un exemple d'utilisation de la méthode sera proposé ultérieurement, mais l'on trouvera à l'Appendice 1 à l'Annexe 1, à titre d'illustration, un exemple provisoire.

APPENDICE 1

À L'ANNEXE 1

Problème: On cherche à déterminer la répartition géographique et en fréquence du facteur d'utilisation du spectre en calculant le degré d'encombrement d'une bande de fréquences de 1 MHz dans un carré de côté $A \times A$ ($A = 10$ km), contenant par hypothèse 50 stations de radiocommunication de même type (les coordonnées des emplacements de ces stations de radiocommunication et leurs fréquences sont indiquées au Tableau 1 et représentées par des points à la Fig. 2) afin de déterminer les fréquences préférées pour une nouvelle station de radiocommunication (de référence) de même catégorie que les stations existantes dans trois cas en ce qui concerne le site:

Cas 1: La zone envisageable pour le site de la nouvelle station de radiocommunication est un carré de côté $a_1 \times a_1$ ($a = 3$ km), les coordonnées de vertex étant (0;0), (0;3), (3;0), (3;3) km (secteur 1 de la Fig. 2);

Cas 2: La zone envisageable pour le site de la nouvelle station de radiocommunication est un carré de côté $a_1 \times a_1$ ($a = 3$ km), avec des coordonnées de vertex de (4;4), (4;7), (7;7), (7;4) km (secteur 2 de la Fig. 2);

Cas 3: La zone envisageable pour le site de la nouvelle station de radiocommunication coïncide avec la zone initiale $A \times A$ (secteur 3 de la Fig. 2).

TABLEAU 1

Données de calcul

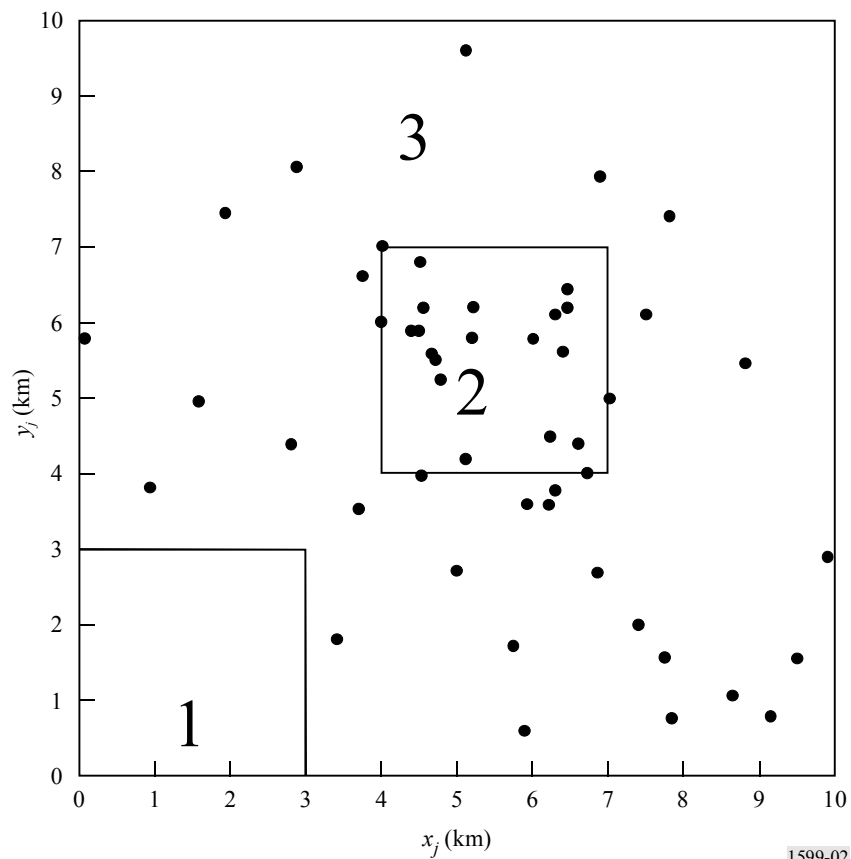
| N° | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x_j (km) | 3,75 | 6,44 | 3,71 | 4,53 | 6,71 | 4,79 | 6,21 | 4,65 | 5,94 | 6,45 |
| y_j (km) | 6,61 | 6,4 | 3,57 | 3,99 | 4,00 | 5,25 | 3,58 | 5,58 | 3,58 | 6,21 |
| f_i (MHz) | 0 | 0,144 | 0 | 0,161 | 0,509 | 0,408 | 0,607 | 0,813 | 0,105 | 0,460 |
| N° | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| x_j (km) | 6,01 | 4,57 | 4,07 | 4,65 | 5,13 | 4,36 | 6,39 | 4,48 | 5,19 | 4,02 |
| y_j (km) | 5,78 | 6,20 | 5,98 | 5,45 | 4,22 | 5,88 | 5,57 | 6,84 | 5,75 | 6,99 |
| f_i (MHz) | 0,871 | 0,616 | 0,089 | 0,927 | 0,311 | 0,510 | 0,668 | 0,354 | 0,996 | 0,191 |
| N° | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| x_j (km) | 6,56 | 4,51 | 6,20 | 6,29 | 5,22 | 4,95 | 8,82 | 5,10 | 5,73 | 9,53 |
| y_j (km) | 4,35 | 5,87 | 4,53 | 3,80 | 6,20 | 2,73 | 5,44 | 9,61 | 1,74 | 1,57 |
| f_i (MHz) | 0,765 | 0,720 | 0,044 | 0,363 | 0,253 | 0,454 | 0 | 0 | 0,206 | 0,206 |
| N° | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| x_j (km) | 6,85 | 3,39 | 0,08 | 7,05 | 9,89 | 7,74 | 7,50 | 1,98 | 1,94 | 9,14 |
| y_j (km) | 2,68 | 1,77 | 5,77 | 4,98 | 2,85 | 1,56 | 6,10 | 7,40 | 7,46 | 0,80 |
| f_i (MHz) | 0,262 | 0,092 | 0 | 0,204 | 0,046 | 0 | 0,301 | 0,241 | 0,049 | 0,095 |
| N° | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 |
| x_j (km) | 7,84 | 5,89 | 8,65 | 6,89 | 2,88 | 0,94 | 6,29 | 2,80 | 8,77 | 1,61 |
| y_j (km) | 0,76 | 0,60 | 1,07 | 7,96 | 8,06 | 3,82 | 6,12 | 4,37 | 7,41 | 4,94 |
| f_i (MHz) | 0,153 | 0,050 | 0,309 | 0,047 | 0,136 | 0,050 | 0,562 | 0,23 | 0,098 | 0,132 |

Les calculs sont faits sur la base des principales hypothèses de travail suivantes:

- la valeur zéro dans la case, f_i (MHz) indique le point de départ de la bande de fréquences considérée;
- les diagrammes de directivité d'antenne sont circulaires;
- dans le calcul des règles fréquence-distance, on considère que la surface de la Terre est lisse et que la Terre est une sphère parfaite;
- il n'est pas tenu compte des brouillages préjudiciable occasionnés par des phénomènes de blocage ou d'intermodulation.

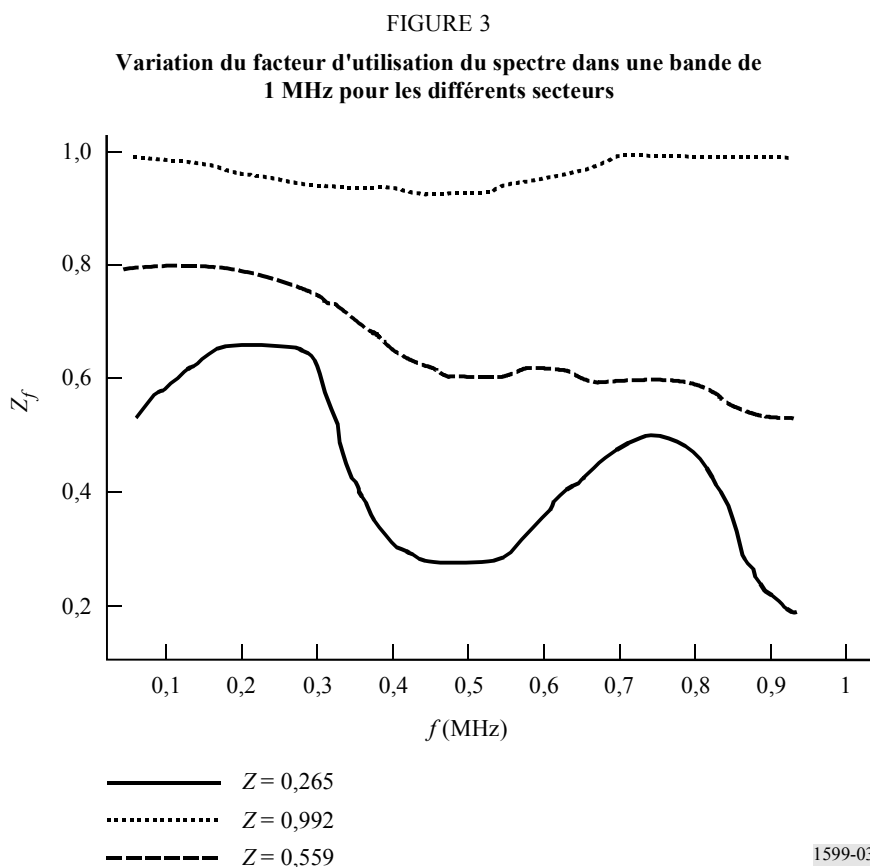
FIGURE 2

Sites des stations existantes dans la zone considérée et secteurs envisageables pour la station de radiocommunication de référence



1599-02

La Fig. 3 illustre les résultats sous forme de fonction du facteur Z_f dans la bande de 1 MHz pour les trois cas considérés pour ce qui est du site de la nouvelle station de radiocommunication. Sont également fournies les valeurs moyennes de l'indicateur Z conformément aux équations (1) et (2).



Les résultats de la Fig. 3 font apparaître que dans la zone présentant une forte densité de stations de radiocommunication existantes (secteur 2 de la Fig. 2), la bande en question est pour ainsi dire totalement occupée, de telle sorte qu'il ne semble pas envisageable, dans la pratique, d'assigner des fréquences dans cette bande à une nouvelle station de radiocommunication dans le secteur en question. En revanche, on dispose d'une relativement bonne chance d'avoir la possibilité d'assigner des fréquences dans la même bande lorsque l'emplacement retenu pour la nouvelle station de radiocommunication est le secteur 1 ou l'ensemble de la zone. Ainsi, en ce qui concerne le secteur 1, les fréquences préférées pour une assignation à la nouvelle station de radiocommunication, du point de vue de la compatibilité, seront comprises entre les valeurs 0,4-0,6 MHz ou 0,85-1 MHz dans la bande en question.

Par ailleurs, si l'on suppose que la densité géographique des stations de radiocommunication est la plus forte possible (plus forte duplication d'assignations de fréquence), dans une configuration conçue pour répondre à la demande de ressources fréquences dans les meilleures conditions, il serait plus approprié de choisir les fréquences à assigner à la nouvelle station de radiocommunication dans la fourchette 0,8-1 MHz.

De même, dans le cas de nouvelles stations dont les sites pourraient être compris dans la zone correspondant au secteur 3, pour égaliser la charge sur l'ensemble de la bande de fréquences de 1 MHz considérée, il serait souhaitable de prendre les fréquences dans la fourchette 0,4-1 MHz et de rechercher la valeur la plus élevée possible.

Il est tout à fait intéressant de constater que le secteur 1 dans son ensemble présente un taux d'occupation de plus de 25% alors qu'il ne contient aucune station de radiocommunication et qu'une seule station est directement située au voisinage de son tracé.

Ainsi, comme la Fig. 2 le montre clairement, cette méthode permet de connaître les zones spectrales encombrées et les zones disponibles dans une bande de fréquences donnée et dans une région géographique donnée. Cette méthode facilite donc la sélection des fréquences pour la mise en service des nouvelles stations de radiocommunication et elle permet également d'accroître dans son ensemble l'efficacité de la procédure de planification des fréquences.

Cette méthode, après adaptation ou extension, pourrait s'appliquer à des environnements caractérisés par des phénomènes de brouillage et des conditions de propagation plus complexes.
