

Union internationale des télécommunications

**UIT-R**

Secteur des Radiocommunications de l'UIT

**Recommandation UIT-R SM.2039-0**  
(08/2013)

**Evolution du contrôle du spectre**

**Série SM**  
**Gestion du spectre**



Union  
internationale des  
télécommunications

## Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

## Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en oeuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

### Séries des Recommandations UIT-R

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

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

*Note: Cette Recommandation UIT-R a été approuvée en anglais aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2014

© UIT 2014

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

## RECOMMANDATION UIT-R SM.2039-0\*

**Evolution du contrôle du spectre**

(Question UIT-R 235/1)

(2013)

**Domaine d'application**

La présente Recommandation contient une brève présentation de l'évolution du contrôle du spectre et indique les spécifications et les techniques qu'il est recommandé d'utiliser pour cette évolution.

**Mots clés**

Évolution du contrôle du spectre, exigences pour les systèmes

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) que le contrôle du spectre est un élément essentiel de la gestion du spectre;
- b) que les techniques et systèmes de radiocommunication évoluent constamment et rapidement;
- c) qu'il faut étudier, entre autres techniques, l'incidence des systèmes de radiocommunication pilotés par logiciel et des systèmes de radiocommunication cognitifs sur le contrôle du spectre;
- d) que l'utilisation de fréquences dans les bandes de fréquences élevées ne cesse d'augmenter;
- e) que les Recommandations et Rapports UIT-R de la série SM ainsi que le Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre radioélectrique (édition de 2011) contiennent de nombreuses informations sur le contrôle des émissions produites par les techniques et systèmes de radiocommunication existants;
- f) qu'il peut être nécessaire d'évaluer les méthodes et/ou les systèmes existants de contrôle du spectre (y compris les stations fixes, mobiles et transportables) en ce qui concerne leur capacité à contrôler les nouvelles techniques et les nouveaux systèmes de radiocommunication;
- g) que l'amélioration des équipements de contrôle du spectre permet de renforcer la performance et l'efficacité du processus de gestion du spectre;
- h) que, compte tenu de la quantité croissante des résultats de mesure du spectre collectés, il faut peut-être adapter l'organisation et le traitement des données ainsi que les techniques de contrôle du spectre utilisées,

*reconnaissant*

- a) que l'utilisation du multiplexage sur la même fréquence, de techniques évoluées de partage de fréquences et d'autres méthodes pourrait améliorer le degré d'occupation du spectre et l'efficacité d'utilisation du spectre;

---

\* La Commission d'études 1 des radiocommunications a apporté des modifications rédactionnelles à la présente Recommandation en 2019 conformément aux dispositions de la Résolution UIT-R 1.

b) que les systèmes de radiocommunication large bande pourraient permettre des communications plus rapides, et que la technique se développe très rapidement, en particulier dans les futurs réseaux de données;

c) que certains systèmes de contrôle du spectre rencontrent des difficultés pour détecter et localiser les dispositifs de radiocommunication à faible puissance qui utilisent des techniques de modulation modernes,

*recommande*

1 d'utiliser, pour l'évolution du contrôle du spectre, les systèmes décrits à l'Annexe 1 qui permettent d'élargir la couverture du contrôle, de réaliser diverses fonctions et sont simples à exploiter;

2 d'utiliser, pour l'évolution du contrôle du spectre, des techniques telles que la détection des signaux de faible intensité, la séparation des signaux sur la même fréquence et la localisation multimode fondée sur une combinaison de techniques, qui sont décrites à l'Annexe 2.

## **Annexe 1**

### **Spécifications des systèmes à utiliser pour l'évolution du contrôle du spectre**

#### **1 Elargissement de la couverture du contrôle**

Compte tenu des progrès permanents et rapides concernant les techniques de radiocommunication, qui font appel à des fréquences de plus en plus élevées et des largeurs de bande de plus en plus grandes, la distance de propagation des ondes radioélectriques ne cesse de diminuer, ce qui pose un nouveau problème pour la gestion et le contrôle du spectre. Pour renforcer la performance de la gestion et du contrôle du spectre radioélectrique, il est nécessaire d'élargir la couverture du contrôle du spectre ou d'améliorer la sensibilité du système de contrôle afin de pouvoir détecter les signaux de faible intensité avec un rapport signal/bruit faible. Pour pouvoir détecter les signaux de faible intensité, il faudrait:

- augmenter le gain d'antenne (par exemple antenne directive, antenne reconfigurable);
- diminuer l'affaiblissement de transmission (par exemple installation des équipements à l'extérieur pour réduire l'affaiblissement dans le câble RF);
- réduire le facteur de bruit du récepteur;
- réduire le bruit au moyen d'un traitement du signal (par exemple soustraction du bruit, corrélation).

Ce n'est toutefois pas suffisant pour faire face à la diminution de la distance de propagation des ondes radioélectriques. Une augmentation du nombre des stations de contrôle devrait être envisagée mais il n'est pas toujours possible de déployer des réseaux avec de nombreuses stations de contrôle fixes. Lors de l'étude des conditions pratiques, il convient de veiller à la souplesse d'exploitation et de déploiement avec divers types de systèmes de contrôle:

- systèmes de contrôle très performants (par exemple système de contrôle fixe);
- systèmes de contrôle bon marché pour des bandes/signaux particuliers (par exemple système de contrôle pour la bande ISM des 2,4 GHz);

- systèmes de contrôle pour une finalité/zone particulière (par exemple système de contrôle dans un aéroport, système de contrôle transportable pour les grands événements);
- systèmes de contrôle mobiles et portables.

## 2 Réalisation de diverses fonctions

### 2.1 Domaines multiples

Le système de contrôle devrait effectuer diverses analyses dans plusieurs domaines comme indiqué dans le Tableau 1. Ce type d'analyse aide les opérateurs à identifier les signaux et à extraire les paramètres des signaux. En particulier, l'analyse du protocole de communication de données standard connu peut fournir davantage d'informations, notamment l'identification de l'émetteur. L'analyse existante dans le domaine temps/spectre et dans le domaine amplitude/phase est fondamentale et nécessaire. Etant donné que la tendance est aux plus grandes largeurs de bande de signal et aux durées de signal plus courtes, il peut être nécessaire d'effectuer une radiogoniométrie multicanal en plus d'une radiogoniométrie générale dans un seul canal. Les progrès techniques en matière de traitement du signal permettent d'effectuer simultanément une radiogoniométrie dans plusieurs canaux, ce qui permet d'obtenir des informations spatiales pour chaque canal. En outre, la radiogoniométrie de signaux de courte durée comme les signaux à saut de fréquence est possible et les résultats de radiogoniométrie multicanal permettent de savoir si un signal large bande inconnu est situé dans un seul ou plusieurs canaux. Par ailleurs, si on effectue simultanément une radiogoniométrie monocanal et une radiogoniométrie multicanal, on devrait obtenir des résultats de radiogoniométrie plus fiables.

TABLEAU 1

#### Exemple de diverses analyses dans plusieurs domaines

Niveau/temps	Niveau/fréquence	Fréquence/ temps	En phase/en quadrature	Espace/fréquence
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Amplitude</li> <li>– Impulsion</li> <li>– Diagramme de l'œil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Spectre</li> <li>– Occupation</li> <li>– Rayonnements non essentiels</li> <li>– Gabarit spectral</li> <li>– Bruit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ecart de fréquence</li> <li>– Décalage de fréquence</li> <li>– Saut de fréquence</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Diagramme de constellation</li> <li>– EVM</li> <li>– Décalage de phase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Radiogoniométrie multicanal</li> </ul>

### 2.2 Mesures multiples

Avec des systèmes de mesure très performants, la réalisation des mesures prend moins de temps du fait de la réduction du délai de traitement (durée de réglage du récepteur et durée de traitement du signal par exemple). En conséquence, plusieurs mesures peuvent être réalisées sur la base d'un partage du temps comme indiqué dans les exemples suivants:

- mesure du degré d'occupation d'un canal et analyse d'une fréquence particulière simultanément sur la base d'un partage du temps;
- lorsque deux utilisateurs demandent simultanément une mesure et une analyse dans des bandes de fréquences distinctes, le calcul et la transmission des résultats sont possibles sur la base d'un partage du temps.

### 2.3 Récepteurs multiples

Avec l'utilisation de plusieurs récepteurs, il devrait être possible de réaliser des mesures simultanées plus rapidement et avec une meilleure qualité, et on peut effectuer les fonctions suivantes:

- Recherche et écoute en passant d'un récepteur à un autre  
Les opérateurs peuvent rechercher des signaux et écouter les signaux détectés en passant d'un récepteur à un autre.
- Radiogoniométrie et localisation  
La radiogoniométrie et la localisation des émetteurs sont décrites en détail au § 4.7 du Manuel de l'UIT sur le contrôle du spectre radioélectrique (édition de 2011). Dans le cas de l'utilisation de plusieurs stations pour la localisation, deux méthodes sont possibles, à savoir la méthode de triangulation reposant sur l'angle d'arrivée (AOA) utilisée par les systèmes avec plusieurs récepteurs et la méthode de la différence entre les instants d'arrivée (TDOA) qui utilise la différence temporelle pour chaque système réparti. La combinaison des deux méthodes permet d'obtenir une meilleure précision de localisation car les avantages et les inconvénients ne sont pas les mêmes pour chacune des méthodes.
- Diversité spatiale  
Le signal est transmis sur plusieurs trajets de propagation différents, entraînant des décalages de phase, des retards, des affaiblissements et des distorsions qui peuvent interférer de manière destructive les uns avec les autres à l'entrée de l'antenne de réception. La diversité spatiale, généralement utilisée pour choisir le meilleur rapport signal/bruit (SNR) parmi les signaux reçus et/ou pour combiner les signaux par ajout direct ou cohérent, permet d'améliorer la qualité du signal et la fiabilité d'une liaison hertzienne.
- Détection par corrélation  
Le système avec plusieurs récepteurs peut utiliser des méthodes de corrélation. Il peut être possible de détecter des signaux de faible intensité en réduisant les sources de bruit aléatoire comme le bruit blanc des récepteurs.

### 2.4 Utilisateurs multiples

Il convient de modifier les méthodes de raccordement utilisées entre les stations et les opérateurs. Pour la commande de stations de contrôle depuis un terminal, il convient d'utiliser non plus une connexion de type point à point (1:1) mais une connexion de type point à multipoint (1:N) ou multipoint à multipoint (N:N), à l'instar du passage des réseaux de télécommunication de la commutation de circuits à la commutation par paquets. Lorsque plusieurs utilisateurs demandent simultanément la réalisation de mesures depuis des stations arbitraires, la station analyse et programme ses propres ressources. Puis elle réalise la mesure et transmet les résultats au moment prévu. Dans le cas de l'utilisation de plusieurs stations (par exemple TDOA et détection par corrélation croisée), la station principale (ou le contrôleur central) peut programmer et commander les mesures.

## 3 Simplicité d'exploitation

Les progrès techniques et l'apparition de nouveaux types de signal font que la largeur de bande des signaux augmente et que le réglage des paramètres pour l'analyse des signaux est de plus en plus complexe. L'utilisation de sons et d'images à modulation analogique a cédé la place à des communications de données numériques qui utilisent en général des méthodes de modulation plus compliquées et diverses techniques de codage. Par exemple, dans le cas de l'utilisation de la modulation analogique, il est possible d'analyser les signaux en réglant la fréquence, la largeur de bande et le type de modulation. En revanche, lors de l'analyse de méthodes de modulation

numériques, il convient de tenir compte non seulement de la fréquence, de la largeur de bande et des méthodes de modulation mais aussi de paramètres standard tels que le type de filtre adapté, la rapidité de modulation, la structure de trame et divers codes.

En cas d'utilisation non plus d'un seul domaine (par exemple niveau des signaux en fonction de la fréquence) mais de plusieurs domaines comme indiqué dans le Tableau 1, les opérateurs pourront avoir besoin d'un écran de commande convivial (souvent appelé interface graphique ou GUI), permettant de régler automatiquement les paramètres et les graphiques en vue d'une analyse efficace et pratique. L'écran convivial utilisé pour le contrôle peut être équipé de fonctions telles que le réglage automatique des paramètres en fonction des types de signal et des différentes normes de communications numériques. Il devrait en outre assurer une commande de gain en fonction du niveau du signal reçu et d'un diagnostic approprié du réseau et des matériels. Lorsque le contrôle et les mesures sont effectués sur une longue période, des quantités importantes de données sont accumulées dans la base de données. Par conséquent, un accès aisé à la base de données permet de faire des comparaisons avec les données existantes et d'estimer efficacement les modifications temporelles et spatiales des signaux.

## **Annexe 2**

### **Techniques à utiliser pour l'évolution du contrôle du spectre**

#### **1 Détection des signaux de faible intensité**

Avec la généralisation de l'utilisation de dispositifs large bande et de dispositifs à courte portée ces dernières années, certains systèmes de contrôle dépourvus de traitement évolué rencontrent des difficultés pour traiter les signaux à faible densité de puissance émis par ces dispositifs et, par conséquent, pour localiser des émetteurs illicites ou des rayonnements non essentiels, etc. Le déploiement d'un plus grand nombre de systèmes de contrôle aidera à résoudre ce problème, mais cette solution peut être onéreuse.

Dans de nombreux cas, la détection des signaux de faible intensité peut être améliorée par l'utilisation d'un réseau de contrôle dynamique, constitué par exemple de systèmes mobiles venant s'ajouter aux stations fixes.

Les futurs systèmes de contrôle du spectre qui utiliseront une technique de détection des signaux de faible intensité pourront détecter les signaux à faible densité de puissance sans que le coût soit élevé. En règle générale, la corrélation croisée permet d'améliorer la sensibilité des systèmes de contrôle du spectre de 20 à 30 dB. Des techniques évoluées – amplificateur à détection synchrone, intégration d'échantillons, autocorrélation, corrélation croisée, suppression adaptative du bruit, etc. – peuvent être utilisées pour détecter les signaux de faible intensité émis avec une faible densité de puissance.

## **2 Séparation des signaux sur la même fréquence**

Pour améliorer le degré d'occupation du spectre et l'efficacité d'utilisation du spectre, les fréquences radioélectriques sont utilisées dans différents domaines – fréquence, temps, amplitude, modulation, espace, etc. Les dispositifs de contrôle traditionnels peuvent séparer facilement différents signaux FDMA, mais il peut être difficile de contrôler des signaux sur la même fréquence, par exemple des signaux de brouillage, TDMA, CDMA et SDMA sur la même fréquence.

Les futurs systèmes de contrôle du spectre qui utiliseront une technique de séparation des signaux sur la même fréquence pourront contrôler facilement des signaux relevant de différents domaines. Tout comme un filtre permet de séparer des signaux émis sur des fréquences qui ne se chevauchent pas, une antenne à conformation de faisceau pourra séparer des signaux provenant de différentes directions. Des techniques évoluées – récupération de signal de forte intensité, analyse indépendante des composantes, conformation de faisceau basée sur le spectre spatial, filtrage adapté à l'espace, etc. – peuvent être utilisées pour séparer des signaux relevant de différents domaines en fonction de leurs caractéristiques différentes.

## **3 Localisation multimode (fondée sur une combinaison de technologies de localisation)**

Les signaux relevant de différents domaines contiennent des informations de localisation connexes. Ces informations de localisation peuvent alors être extraites au moyen de la technique connexe ou d'algorithmes de traitement informatique utilisés pour la localisation des signaux. Les capacités de traitement numérique du signal (DSP) et de réseautique sont de plus en plus performantes et les dispositifs utilisant ces capacités sont de plus en plus accessibles financièrement. Les systèmes de contrôle du spectre utilisant des algorithmes DSP et la réseautique peuvent identifier plus facilement les émetteurs ayant des caractéristiques différentes fonctionnant dans des domaines différents.

Les futurs systèmes de contrôle du spectre qui utiliseront une technique de localisation multimode basée sur le traitement DSP et la réseautique pourront contrôler de manière plus efficace et plus précise les signaux ayant des caractéristiques différentes. Le système TDOA est un bon exemple de système basé sur le traitement DSP et la réseautique qui permet de localiser les émetteurs en utilisant les instants relatifs d'arrivée d'un signal au niveau de plusieurs récepteurs. Les systèmes TDOA offrent une certaine souplesse pour le choix et l'emplacement des antennes, car les réflecteurs voisins n'ont que peu d'incidence sur la précision TDOA, et en général les antennes et les câbles ne sont pas intégrés aux récepteurs TDOA. Les techniques évoluées disponibles – AOA (angle d'arrivée), TDOA, FDOA (différence entre les fréquences d'arrivée), POA (puissance d'arrivée), techniques d'identification fondées sur des données, etc. – peuvent être utilisées pour localiser les émetteurs dans diverses situations.

---