

# **Rapport UIT-R SM.2523-0 (06/2023)**

Série SM – Gestion du spectre

## **Évaluation de l'efficacité d'utilisation et de la valeur économique du spectre**



## 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 œuvre 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 Rapports UIT-R

(Également disponible en ligne: <https://www.itu.int/publ/R-REP/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>	Radioastronomie
<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>TF</b>	Émissions de fréquences étalon et de signaux horaires

*Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.*

Publication électronique  
Genève, 2023

©UIT 2023

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.

## RAPPORT UIT-R SM.2523-0

**Évaluation de l'efficacité d'utilisation et de la valeur économique du spectre**

(2023)

## TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>	
1	Domaine d'application .....	3
2	Considérations générales .....	3
3	Évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre .....	3
3.1	Étude de cas N° 1.....	4
3.2	Étude de cas N° 2.....	11
4	Évaluation de la valeur économique du spectre .....	11
4.1	Exemples de facteurs influant sur la valeur du spectre.....	12
4.2	Modèles utilisables pour évaluer la valeur du spectre (pour information uniquement) .....	15
5	Résumé .....	15
	Annexe 1 – Étude de cas sur l'évaluation de la valeur du spectre en tenant compte du PIB ...	15
1	Analyse de la contribution économique directe au PIB .....	15
2	Analyse de la contribution extra-économique au PIB.....	16
	Annexe 2 – Étude de cas sur l'évaluation de la valeur du spectre en tenant compte des paramètres de systèmes .....	18
	Annexe 3 – Étude de cas sur l'évaluation de la valeur du spectre fondée sur les résultats d'enchères de spectre .....	18
	Pièce jointe 1 à l'Annexe 3 – Procédure détaillée des enchères de spectre .....	20
1	Facteurs influant sur les enchères .....	20
2	Modèles d'enchères de spectre.....	23
3	Méthode de détermination du prix de départ pour les lots de spectre mis aux enchères .....	37

Pièce jointe 2 à l'Annexe 3 – Expériences nationales d'enchères de spectre.....	40
1 États-Unis d'Amérique.....	40
1.1 Enchères sous pli cacheté à un tour .....	402
1.2 Enchères ascendantes à plusieurs tours .....	402
1.3 Enchères au cadran .....	402
1.4 Enchères incitatives .....	402
Annexe 4 – Étude de cas en Chine sur l'évaluation de l'efficacité du spectre .....	44

## **1 Domaine d'application**

Le présent Rapport expose des méthodes permettant de quantifier l'efficacité d'utilisation et la valeur économique du spectre, examine les facteurs qui influent sur la valeur économique du spectre et décrit des modèles d'évaluation de la valeur économique du spectre.

Il convient de noter que chaque fois qu'il est fait mention dans le présent Rapport de la valeur économique, il est entendu que cela doit se limiter aux stratégies sur les approches économiques en matière de gestion du spectre au niveau national. L'évaluation de l'efficacité d'utilisation et de la valeur économique du spectre<sup>1</sup> repose sur de nombreux facteurs différents (notamment les services radioélectriques, la largeur de bande, les zones de service, la bande de fréquences, l'emplacement de la bande de fréquences et la situation économique du pays dans lequel l'évaluation va être menée), ainsi que sur des critères qu'il serait difficile d'appliquer de manière générale à tous les pays. Ainsi, ces éléments et informations reflètent simplement les points de vue du membre contributeur et ne sont pas forcément nécessaires pour étudier la situation des pays tiers. Par conséquent, les Annexes ci-après ne sont examinées qu'à titre d'information.

## **2 Considérations générales**

Afin de tirer pleinement parti des ressources spectrales limitées et de répondre à la demande sans cesse croissante d'utilisation de spectre, il est nécessaire d'améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre pour remédier à la pénurie de ces ressources. Les administrations peuvent évaluer objectivement l'utilisation des ressources spectrales à partir de l'évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre et prendre des mesures et des décisions appropriées pour améliorer la gestion du spectre sur le plan scientifique.

Par ailleurs, le spectre est une ressource naturelle limitée qui revêt une grande valeur économique. On peut diviser la valeur économique en distinguant la valeur économique directe et la valeur extra-économique. Il est très difficile d'évaluer la valeur économique du spectre proprement dit. De nombreuses études portent sur les phénomènes et les facteurs qui influent sur la valeur économique du spectre. La valeur économique du spectre reflète la valeur des ressources spectrales sur le marché économique. Cette valeur a pour effet d'encourager l'autorité compétente à réglementer l'attribution du spectre et la tarification des ressources spectrales, et constitue également un élément important de la gestion du spectre au niveau national.

## **3 Évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre**

L'efficacité d'utilisation du spectre est importante pour la gestion du spectre. Dans le présent paragraphe, on trouvera au § 3.1 une étude de cas sur l'évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre, tandis que le § 3.2 expose une autre étude de cas sur l'évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre fondée sur la mesure et le calcul de l'occupation de la bande de fréquences, du temps d'occupation annuel, du taux de couverture de la zone et du débit d'acheminement de l'utilisateur.

---

<sup>1</sup> Le Rapport UIT-R SM.2012 peut servir de référence pour analyser les principes d'évaluation des avantages économiques du spectre, présente dans les grandes lignes les pratiques des pays concernés en matière de droits de licences, et décrit brièvement les expériences acquises en matière d'enchères de spectre et d'utilisation de moyens de complément, entre autres.

### 3.1 Étude de cas N° 1

L'utilisation du spectre est la mesure quantifiée dans laquelle les informations utiles sont acheminées par les émetteurs et les récepteurs en utilisant la largeur de bande, l'espace et le temps. L'utilisation du spectre implique l'utilisation d'émetteurs et de récepteurs qui bloquent ou limitent l'utilisation du spectre par d'autres récepteurs et émetteurs. Ainsi, toute utilisation du spectre entraîne inévitablement des blocages de spectre quantifiables.

Étant donné que toute utilisation du spectre par un utilisateur quelconque entraîne un blocage (c'est-à-dire un refus ou une limitation) de l'utilisation du spectre par d'autres utilisateurs, il est évident et impératif d'étudier dans quelle mesure le spectre pourrait être davantage utilisé par les utilisateurs en général, en comprenant dans quelle mesure ce blocage peut être réduit. Le rapport entre, d'une part, la quantité d'informations utiles transférées par l'intermédiaire d'une liaison, d'un système ou d'un réseau radioélectrique, et, d'autre part, l'ampleur des blocages causés par ce même transfert d'informations, correspond à l'efficacité d'utilisation du spectre (SUE) de ce système ou réseau. Ce rapport est également appelé efficacité spectrale. Il s'agit généralement d'une quantité absolue. Le blocage peut toutefois être calculé d'au moins trois façons:

- 1) En termes absolus en comparaison avec une valeur théorique minimale de blocage.
- 2) En comparant le blocage entre un système radioélectrique réel et un système radioélectrique de référence arbitraire.
- 3) En comparant le blocage entre deux systèmes radioélectriques réels.

Ainsi, le blocage, et donc tout rapport global d'efficacité d'utilisation du spectre tenant compte de la notion de blocage, peut être relatif ou absolu. Cependant, les rapports d'efficacité d'utilisation du spectre n'ayant de sens que dans la mesure où ils permettent d'effectuer des comparaisons entre des systèmes analogues, ou bien entre un système donné et une construction théorique (comme une valeur d'efficacité spectrale maximale théorique), tous les résultats d'efficacité d'utilisation du spectre sont, dans un certain sens, toujours relatifs.

En d'autres termes, l'efficacité d'utilisation du spectre peut se présenter en principe sous la forme d'un nombre arbitraire (par exemple 225) que l'on compare à un autre nombre arbitraire (1032). Ces paires de valeurs d'efficacité d'utilisation du spectre peuvent être comparées sous la forme du rapport de leurs valeurs arbitraires (ici, 225/1032). Par ailleurs, chaque valeur d'efficacité d'utilisation du spectre peut être associée à une limite théorique, qui peut elle-même être normalisée à l'unité; dans ce cas, toutes les valeurs d'efficacité d'utilisation du spectre seront toujours comprises entre 0 et 1. Mais, même dans les deux cas, les valeurs d'efficacité d'utilisation du spectre seront en définitive comparées entre des systèmes. Les valeurs d'efficacité d'utilisation du spectre, même lorsqu'elles sont exprimées en termes absolus, sont toujours relatives dans les faits, car les comparaisons doivent toujours être faites entre des paires de ces valeurs.

L'efficacité d'utilisation du spectre est une quantification numérique; il s'agit d'un indicateur fondé sur les caractéristiques possibles des systèmes radioélectriques.

#### 3.1.1 Buts et objectifs

Une fois les modalités définies, il convient de prendre les mesures suivantes dans de possibles futurs travaux sur l'efficacité d'utilisation du spectre:

- tenir compte des résultats des études et des recommandations passées et actuelles relatives à l'efficacité d'utilisation du spectre;
- examiner les technologies radioélectriques actuellement disponibles et susceptibles d'être disponibles dans un avenir proche qui pourraient avoir une incidence sur l'efficacité d'utilisation du spectre des systèmes radioélectriques (y compris sur le potentiel de certains systèmes en matière de partage du spectre);

- mettre au point une méthode permettant de déterminer l'efficacité d'utilisation du spectre d'un système radioélectrique donné, de manière à pouvoir comparer les indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre de deux systèmes radioélectriques analogues quelconques.

Les indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre doivent être réalistes, compréhensibles par des non-spécialistes et applicables dans les études pertinentes sur l'efficacité de largeur de bande et des systèmes radioélectriques. Des outils logiciels pourraient servir à la mise en œuvre.

Les possibles futurs travaux sur l'efficacité d'utilisation du spectre pourraient englober la définition d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre pour divers services radioélectriques. Il n'est pas prévu d'étudier, dans le cadre de ces travaux, les aspects économiques de la mise en œuvre de différentes méthodes relatives à l'efficacité d'utilisation du spectre et leurs incidences sur l'efficacité de la mission (qualité ou efficacité du fonctionnement d'un système radioélectrique).

Les indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre doivent être élaborés de manière à pouvoir être appliqués à des types précis de systèmes et de services radioélectriques.

### **3.1.2 Approches relatives à l'efficacité d'utilisation du spectre**

L'évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre en cas de partage entre des systèmes et des services dans des bandes entières doit être revue. La demande croissante d'accès au spectre des fréquences radioélectriques a renouvelé l'intérêt de haut niveau des pays à l'égard de l'amélioration de l'efficacité d'utilisation du spectre et de l'élargissement de l'accès au spectre dans son ensemble. Il est nécessaire de procéder à un examen et à une évaluation détaillés des caractéristiques des systèmes dépendants du spectre, et de mettre en œuvre des pratiques et des politiques de gestion du spectre, pour établir un ensemble acceptable de critères d'efficacité d'utilisation du spectre. L'examen doit surtout porter sur de nouvelles méthodes et de nouveaux indicateurs concernant l'efficacité d'utilisation du spectre pouvant être appliqués à l'utilisation du spectre. Dans le cadre de cet examen, on devrait aussi s'intéresser à l'efficacité des technologies nouvelles ou émergentes susceptibles d'apporter des améliorations en matière d'efficacité. Le partage du spectre, en tant que nouvel élément important, doit être examiné.

Il convient de définir un ensemble d'indicateurs variés concernant l'efficacité d'utilisation du spectre, ainsi que des moyens de mise en œuvre pour des types précis de systèmes radioélectriques et de bandes qui soient rentables et pratiques pour une mise en œuvre réglementaire par les utilisateurs du spectre. Des indicateurs spécifiques de l'efficacité d'utilisation du spectre doivent être élaborés de manière à pouvoir être appliqués aux normes techniques concernant les systèmes radioélectriques utilisés par des organismes.

Il est reconnu que les indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre n'occupent qu'un axe des trois dimensions d'un système radioélectrique que sont l'efficacité, l'efficacité d'exécution de la mission et le coût. En définitive, ces trois éléments doivent être étudiés quel que soit le système radioélectrique, car il est tout à fait possible de concevoir et de mettre au point des systèmes radioélectriques présentant une efficacité d'utilisation du spectre élevée, mais qui peuvent être soit déraisonnablement coûteux à mettre en œuvre, soit peu efficaces pour la mission en question.

Les tâches à réaliser devraient être les suivantes:

- Pour chaque domaine d'étude, élaborer une proposition détaillée comprenant les éléments ci-dessous.
- Collaborer avec des organismes pour définir des approches visant à améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre, et notamment pour identifier des informations de ces organismes présentant un intérêt pour les travaux antérieurs sur les systèmes et services radioélectriques respectifs de ces organismes.

- Publier un rapport technique en y faisant figurer les éléments suivants:
  - une vue d'ensemble des travaux entrepris en ce qui concerne l'efficacité d'utilisation du spectre;
  - un examen approfondi de la littérature disponible pour les résultats d'études antérieures sur l'efficacité d'utilisation du spectre;
  - analyse des résultats des études antérieures sur l'efficacité d'utilisation du spectre.

### **3.1.3 Illustration de l'établissement d'indicateurs techniques de l'efficacité d'utilisation du spectre**

Comme le montre la littérature sur l'efficacité d'utilisation du spectre, il est assez facile de définir des indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre, mais pas du tout facile de les appliquer à des systèmes et services radioélectriques distincts. La Recommandation UIT-R SM.1046 sert de point de départ en expliquant les principes de base de l'établissement d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre. Lorsqu'il s'agit de mener des évaluations concrètes sur l'efficacité d'utilisation du spectre pour les systèmes et les services, y compris sur la base de bandes attribuées à des services, on utilisera les paramètres suivants des systèmes radioélectriques dans les futurs indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre:

- puissance d'émission et commande de puissance;
- agilité en fréquence de l'émetteur et caractéristiques d'exploitation multibandes;
- largeur de bande de l'émetteur;
- modulation de l'émetteur;
- largeur d'impulsion de l'émetteur et fréquence de répétition des impulsions (facteur d'utilisation) pour les systèmes à impulsions;
- rayonnements hors bande de l'émetteur, rayonnements non essentiels et rayonnements harmoniques;
- configurations et qualité de fonctionnement de l'antenne de l'émetteur;
- commande pilotée par logiciel de l'émetteur;
- commande dynamique de l'émetteur pour le partage du spectre;
- caractéristiques de surcharge du récepteur;
- largeur de bande du récepteur;
- sensibilité du récepteur;
- agilité du récepteur;
- capacités de rejet des brouillages du récepteur;
- qualité de fonctionnement de l'antenne du récepteur; et
- commande pilotée par logiciel du récepteur, y compris les facteurs liés à la détection de l'emplacement, à la détection environnementale et aux informations issues de bases de données.

#### **3.1.3.1 Paramètres de l'émetteur à prendre en considération pour l'établissement d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre**

Les émetteurs et les récepteurs jouent des rôles équivalents en bloquant le spectre et en réduisant l'efficacité d'utilisation du spectre. Les caractéristiques de l'émetteur et du récepteur qui seront certainement prises en considération pour établir des indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre sont décrites ci-dessous.

### **3.1.3.1.1 Puissance d'émission et commande de puissance**

La puissance de l'émetteur bloque d'autres utilisateurs; une puissance plus faible a tendance à être associée à des blocages moindres et à une plus grande efficacité d'utilisation du spectre, si tous les autres facteurs restent constants. La commande de puissance peut constituer un facteur important pour l'efficacité d'utilisation du spectre globale et devrait être prise en compte dans l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

### **3.1.3.1.2 Agilité en fréquence de l'émetteur et caractéristiques d'exploitation multibandes**

L'agilité en fréquence est la capacité de changer de fréquence en fonction de conditions variables à l'intérieur d'un système radioélectrique et de facteurs externes de l'environnement radioélectrique. L'agilité en fréquence peut contribuer à améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre. Certains systèmes peuvent fonctionner dans plusieurs bandes radioélectriques, et ainsi changer de bande pour éviter que des brouillages soient causés à certains systèmes de réception. Les options d'exploitation multibandes peuvent contribuer à améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre et doivent être prises en compte dans l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

### **3.1.3.1.3 Largeur de bande de l'émetteur**

La largeur de bande fait partie des principaux facteurs de blocage dans la définition acceptée de l'efficacité d'utilisation du spectre. On privilégie généralement des largeurs de bande plus étroites pour obtenir une meilleure efficacité d'utilisation du spectre. Cependant, le fonctionnement de nombreux systèmes modernes repose sur des largeurs de bande importantes. Toutefois, dans ces grandes largeurs de bande, des exploitations avec de faibles facteurs d'utilisation et dans des blocs de ressources relativement étroits sont possibles, ce qui peut permettre à davantage d'utilisateurs de partager des superpositions dépendantes du temps. Il convient de tenir compte de ces possibilités offertes aux systèmes radioélectriques utilisant une plus grande largeur de bande lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

### **3.1.3.1.4 Modulation de l'émetteur**

La modulation est liée à la largeur de bande, sans pour autant désigner la même chose; il est important de tenir compte de la modulation dans n'importe quel indicateur de l'efficacité d'utilisation du spectre. Bien que certains systèmes de modulation puissent être ostensiblement plus efficaces que d'autres, il peut y avoir une relation inverse entre l'efficacité d'utilisation du spectre d'un système de modulation et la robustesse de la modulation vis-à-vis des brouillages. Cette relation inverse peut signifier qu'un système de modulation plus efficace nécessite un niveau de puissance d'émission plus élevé pour atténuer ou empêcher les brouillages, ce qui tend à réduire ensuite l'efficacité d'utilisation du spectre. Les compromis se rapportant au choix de la modulation devraient être pris en compte lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

### **3.1.3.1.5 Largeur d'impulsion de l'émetteur et fréquence de répétition des impulsions (facteur d'utilisation) pour les systèmes à impulsions**

Les systèmes à impulsions (généralement des radars mais parfois des balises) utilisent des combinaisons de largeur d'impulsion et de fréquence de répétition des impulsions; le rapport entre la largeur d'impulsion et la fréquence de répétition des impulsions est appelé facteur d'utilisation. Le partage avec d'autres systèmes radioélectriques a tendance à être meilleur en réduisant les facteurs d'utilisation plutôt qu'en les augmentant. Toutefois, ces dernières années, la tendance dominante en matière de conception a été d'utiliser des facteurs d'utilisation plus élevés, car les émetteurs à semi-conducteurs ne parviennent pas à bien gérer les besoins de leur mission avec des émissions à faible facteur d'utilisation; les émetteurs à tube de forte puissance à l'ancienne qui utilisent des facteurs d'utilisation plus faibles peuvent généralement mieux partager le spectre que les émetteurs à

semi-conducteurs plus récents. Un examen des facteurs d'utilisation devrait avoir lieu lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.1.6 Rayonnements hors bande de l'émetteur, rayonnements non essentiels et rayonnements harmoniques**

En théorie de l'information, la largeur de bande désigne une largeur de canal quelconque nécessaire pour acheminer une certaine quantité de données par unité de temps. Cette définition peut être (et est) appliquée aux systèmes radioélectriques. Cependant, l'efficacité d'utilisation du spectre devrait porter sur davantage qu'une simple largeur de bande pour les données. On devrait également examiner quelle largeur de bande est préemptée par un système avant qu'un autre système (ou même un autre canal du même système) puisse utiliser un autre canal adjacent. Cette largeur de bande n'est pas véritablement liée à la limite de Shannon; du moins, elle n'y est que vaguement liée. Il s'agit de la largeur de bande des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels d'un système radioélectrique. Bien que cette largeur de bande soit rarement mentionnée comme une caractéristique de la plupart des systèmes radioélectriques, elle peut être un facteur important pour déterminer l'efficacité d'utilisation du spectre d'un système radioélectrique donné. Les rayonnements harmoniques ont également une influence sur l'efficacité d'utilisation du spectre.

Il est extrêmement important de comprendre que les niveaux des émissions hors bande, des rayonnements non essentiels et des rayonnements harmoniques ne sont pas identiques aux limites du gabarit défini par la réglementation imposées à ces niveaux. Les niveaux des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels et harmoniques de la plupart des systèmes radioélectriques sont nettement inférieurs (souvent de plusieurs dizaines de décibels) aux limites de gabarit applicables. Par conséquent, les limites de gabarit ne devraient pas être utilisées dans les études sur l'efficacité d'utilisation du spectre. Les niveaux réels des émissions hors bande et des rayonnements non essentiels et harmoniques devront être déterminés et utilisés lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre autant que possible.

#### **3.1.3.1.7 Configurations et qualité de fonctionnement de l'antenne de l'émetteur**

On a tendance à associer les faisceaux d'antenne plus étroits avec des niveaux de gain plus élevés à une meilleure efficacité d'utilisation du spectre. Les diagrammes d'antenne formés et orientés électroniquement peuvent offrir une plus grande efficacité d'utilisation du spectre que les diagrammes d'antenne statiques. La caractérisation précise des diagrammes d'antenne devrait constituer un élément important de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.1.8 Commande pilotée par logiciel de l'émetteur**

La commande pilotée par logiciel des émetteurs peut permettre d'apporter des modifications dynamiques aux configurations des émetteurs, qui peuvent ensuite contribuer à améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre des émetteurs. La commande pilotée par logiciel des modes d'émission peut jouer un rôle important dans l'amélioration du partage entre systèmes radioélectriques et devrait être prise en considération dans l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre chaque fois que cela sera possible.

#### **3.1.3.1.9 Commande dynamique de l'émetteur pour le partage du spectre**

Les indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre comprennent habituellement des facteurs tels que la largeur de bande par utilisateur et par unité de zone desservie. Ils englobent également des facteurs relatifs à la largeur de bande canal à canal (comme la mesure dans laquelle les canaux de communication peuvent être étroits et la mesure dans laquelle les canaux peuvent être espacés les uns des autres). Toutefois, à notre époque, il faut tenir compte d'un facteur complètement nouveau, à savoir la possibilité de partage (ou non) entre différents types de systèmes. Il est concevable, par exemple, qu'un Système A qui, d'une certaine manière, est grandement efficace sur le plan de

l'utilisation du spectre ne se partage pas, ou ne se partage pas bien, avec un autre type de système, le Système B. Par conséquent, le Système A utilise remarquablement bien le spectre lui-même, mais a besoin d'une attribution de spectre exclusive ou quasi exclusive pour pouvoir le faire. Considérons toutefois qu'un troisième système, le Système C, soit moins efficace que le Système A, mais que les Systèmes B et C se partagent bien. Ils ne demandent pas d'attributions ou d'assignations de fréquences exclusives pour eux-mêmes, car l'un partage avec l'autre. Que penser de l'efficacité du Système A (élevée quand il est pris individuellement, système autonome, mais avec des possibilités de partage faibles voire inexistantes) à l'égard des Systèmes B et C, moins efficaces individuellement mais qui se partagent bien l'un et l'autre? La question de savoir comment tenir compte du contrôle dynamique du partage du spectre entre différents types de systèmes radioélectriques devra être examinée lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

### **3.1.3.2 Paramètres du récepteur à prendre en considération pour les indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre**

Les récepteurs sont tout aussi importants pour les émetteurs pour évaluer l'efficacité d'utilisation du spectre. La plupart des caractéristiques de l'émetteur qui devraient être évaluées dans les études sur l'efficacité d'utilisation du spectre vont de pair avec des caractéristiques d'efficacité d'utilisation du spectre analogues (ou inversement analogues) du récepteur. Ces caractéristiques sont décrites ci-après.

#### **3.1.3.2.1 Caractéristiques de surcharge du récepteur**

Chaque récepteur est surchargé à partir d'un certain niveau de puissance d'entrée. Des seuils de surcharge plus faibles peuvent être associés à une moindre efficacité d'utilisation du spectre. Les caractéristiques de surcharge (telles que la compression de 1 dB et les niveaux de puissance de saturation dynamique ultime) devraient être évaluées pour tous les récepteurs dans de futures études sur l'efficacité d'utilisation du spectre. Ces caractéristiques n'étant souvent pas connues, il faudra peut-être les déterminer au moyen de campagnes de mesure appuyant l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.2.2 Largeur de bande du récepteur**

Dans la théorie élémentaire du génie électrique, les largeurs de bande des récepteurs doivent être adaptées aux largeurs de bande des émetteurs pour obtenir une efficacité d'utilisation du spectre optimale. Toutefois, dans certains cas, les largeurs de bande des récepteurs doivent dépasser sensiblement les exigences apparentes d'une modulation donnée. Par exemple, si un récepteur doit disposer d'excellentes caractéristiques de phase, il ne faut pas qu'un filtrage poussé en mur de briques soit utilisé, et la largeur de bande du récepteur doit dépasser celle du signal reçu. Il convient d'analyser, de mentionner et d'utiliser ces caractéristiques et exigences dans le cadre de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.2.3 Sensibilité du récepteur**

La sensibilité du récepteur est la proximité du bruit du récepteur par rapport aux limites théoriques imposées par les lois de la thermodynamique. Bien qu'une sensibilité forte (approche rapprochée par rapport à une limite thermodynamique) soit généralement considérée comme une bonne chose dans la conception des systèmes radioélectriques, elle peut également être à l'origine de signaux non désirés et de bruit qui nuisent à la conception du récepteur à des niveaux de puissance reçus relativement faibles. (Cependant, il convient de noter que, parfois, la sensibilité du récepteur ne suscite pas autant de préoccupations que le rapport entre la puissance du signal utile et le niveau de bruit interne propre au récepteur.) La sensibilité du récepteur est un facteur d'une importance cruciale pour connaître les niveaux auxquels se produiront les brouillages préjudiciables causés par des signaux et des bruits non désirés. Dans de nombreux cas, il peut être nécessaire de mesurer la sensibilité, car elle n'est pas toujours connue pour tous les systèmes de réception. Quoi qu'il en soit, ce paramètre doit être

caractérisé pour tous les récepteurs sujets au cours de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.2.4 Agilité en fréquence du récepteur**

L'agilité en fréquence du récepteur doit refléter l'agilité de l'émetteur; une plus grande agilité est associée à une efficacité d'utilisation du spectre plus élevée. Les capacités d'agilité en fréquence devraient être prises en compte pour chaque système radioélectrique lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.2.5 Capacités de rejet des brouillages du récepteur**

Les courbes de réponse de l'étage d'entrée RF et des fréquences intermédiaires du récepteur peuvent avoir une incidence significative sur la résistance aux brouillages et, par conséquent, sur l'efficacité d'utilisation du spectre. Malheureusement, ces courbes de réponse ne sont généralement pas disponibles pour de nombreux récepteurs radioélectriques, peut-être même pour la plupart. Les courbes de réponse existantes devraient être utilisées autant que possible lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre.

#### **3.1.3.2.6 Caractéristiques de filtrage et de rejet dans le canal adjacent du récepteur**

Jusqu'à un certain point, plus les caractéristiques de filtrage et de rejet dans le canal adjacent d'un récepteur sont meilleures (strictes), plus son efficacité d'utilisation du spectre est grande. Toutefois, dans certains cas, la qualité de fonctionnement d'un récepteur à largeur de bande plus étroite (comme des canaux LMR de 12,5 kHz remplacés par des canaux de 6,25 kHz) a procuré des avantages illusoire en matière d'efficacité d'utilisation du spectre, car le rejet dans les canaux adjacents de ces systèmes radioélectriques était si médiocre que la mise en œuvre effective de la disposition des canaux des systèmes radioélectriques a dû être limitée à un espacement des canaux de 12,5 kHz. Ainsi, bien que ce paramètre devrait être pris en compte lors de l'établissement futur d'indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre, on ne devrait pas prendre en compte sa valeur nominale. Il convient de le prendre en compte avec un facteur de dégrèvement de l'unité ou plus (par exemple, un facteur de dégrèvement de 1,8 multiplié par la largeur du canal) pour refléter l'espacement entre canaux effectif qui peut être obtenu.

#### **3.1.3.2.7 Qualité de fonctionnement de l'antenne du récepteur**

Plus le gain (la directivité) des antennes de réception est élevé, meilleure est généralement l'efficacité d'utilisation du spectre d'un système. La formation et l'orientation électroniques des faisceaux pour suivre les signaux émis peuvent offrir une meilleure efficacité d'utilisation du spectre, mais au prix d'une plus grande complexité du système. L'orientation du faisceau et la commande de gain électroniques peuvent améliorer considérablement l'efficacité d'utilisation du spectre des récepteurs en offrant un gain plus élevé sur les signaux utiles tout en rejetant l'énergie provenant des signaux non désirés et du bruit. Les futurs indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre devraient inclure des facteurs tenant compte de la formation et des caractéristiques des faisceaux d'antenne et devraient tenir compte des avantages de la commande électronique des faisceaux d'antenne.

#### **3.1.3.2.8 Commande pilotée par logiciel du récepteur, y compris les facteurs liés à la détection de l'emplacement, à la détection environnementale et aux informations issues de bases de données**

La commande pilotée par logiciel des récepteurs peut permettre d'apporter des modifications de configuration à commande dynamique, ce qui peut améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre des émetteurs. Cette caractéristique de certains récepteurs modernes peut offrir de grandes possibilités d'amélioration de l'efficacité d'utilisation du spectre. Il y a deux environnements fondamentaux de commande pilotée par logiciel à prendre en considération: le partage entre les systèmes de

radiocommunication et les services dans le cadre duquel les deux parties à l'accord de partage utilisent la commande pilotée par logiciel, et le partage dans le cadre duquel une seule partie à l'accord de partage utilise des systèmes de radiocommunication pilotés par logiciel. Le premier cas s'appliquerait aux bandes dans lesquelles il n'y a pas de systèmes existants, et où les travaux d'ingénierie du partage sont réalisés à partir de zéro. Le second cas, qui a plus de chances de se produire en général, est celui dans lequel les systèmes existants qui ne sont pas dotés de fonctionnalités de commande pilotée par logiciel doivent être partagés avec des systèmes plus récents dotés de ces fonctionnalités. Dans cette situation plus courante, les fonctionnalités de commande pilotée par logiciel des systèmes radioélectriques les plus récents peuvent être utilisées pour permettre à ceux-ci de travailler avec les systèmes existants dans la même bande. Dans les deux cas, la commande pilotée par logiciel peut englober des facteurs liés à la détection de l'emplacement, à la détection environnementale et aux informations issues de bases de données. Les futurs indicateurs de l'efficacité d'utilisation du spectre devraient évidemment tenir compte de l'utilisation de la commande pilotée par logiciel en tant que facteur, en particulier pour les scénarios de partage.

### **3.2 Étude de cas N° 2**

Comme recommandé dans la Recommandation UIT-R SM.1046-3, le paramètre tridimensionnel largeur de bande-espace-temps doit servir à mesurer l'utilisation du spectre («facteur d'utilisation du spectre»); il y est également recommandé de calculer l'efficacité d'utilisation du spectre (SUE), ou l'efficacité du spectre, en déterminant l'effet utile obtenu avec les systèmes de radiocommunication grâce à l'utilisation du spectre, d'une part, et le facteur d'utilisation du spectre, d'autre part. De toute évidence, l'efficacité (d'utilisation) du spectre est liée aux effets utiles. Certaines administrations ont mené des études sur les facteurs essentiels pour l'évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre. On trouvera plus de détails dans l'Annexe 4 du présent Rapport.

## **4 Évaluation de la valeur économique du spectre**

Le présent paragraphe contient des analyses brèves d'exemples de facteurs susceptibles d'influer sur la valeur du spectre. Certaines études de cas ont été présentées à titre d'information uniquement et figurent dans l'Annexe 2 du présent Rapport.

Les ressources du spectre radioélectrique constituent un facteur de production important qui favorise le développement social. L'approfondissement des réformes économiques menées dans un certain nombre de pays et le développement rapide du secteur des radiocommunications ont conduit le public à reconnaître progressivement que les fréquences radioélectriques constituent une ressource qui a de la valeur. La gestion de la ressource spectrale par des interventions de l'administration se traduit notamment par une efficacité d'utilisation du spectre instable et une répartition déraisonnable entre les entreprises. La contradiction est devenue de plus en plus forte, ce qui a grandement nui au développement des secteurs connexes. Certains pays ont commencé à étudier la théorie de la commercialisation et les méthodes de commercialisation des ressources spectrales dès les années 1970 et ont maintenant mis en place un mécanisme d'enchères des ressources spectrales efficace.

Il est très difficile d'évaluer la valeur économique du spectre. Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation de la valeur économique du spectre, mais aucune norme n'est applicable à tous les pays. De nombreux facteurs influent sur la valeur du spectre. Le présent paragraphe porte sur les deux éléments que sont les facteurs d'influence fondés sur le marché et les facteurs d'influence non fondés sur le marché. Les facteurs d'influence fondés sur le marché tiennent principalement compte des utilisateurs existants, des coûts de libération, de la durée de la licence, de l'emplacement, de la bande de fréquences radioélectriques et de l'utilisation. Les facteurs d'influence non fondés sur le marché tiennent principalement compte du facteur politique, du facteur de la caractéristique de fréquence, du facteur de maturité du secteur, du type de secteur et de la taille des utilisateurs, ainsi que des avantages

sociaux et indirects. Dans le même temps, plusieurs modèles de valeur économique du spectre proposés par les autorités compétentes sont énumérés.

## **4.1 Exemples de facteurs influant sur la valeur du spectre**

### **4.1.1 Facteurs d'influence fondés sur le marché**

Le prix d'une ressource sur le marché ouvert est déterminé par la demande pour cette ressource et l'offre disponible.

Pour déterminer s'il faut réattribuer du spectre, il faut tenir compte de facteurs tels que les utilisations existantes, les coûts de libération, la bande de fréquences et les nouvelles utilisations potentielles. Ces facteurs sont décrits ci-après.

#### **4.1.1.1 Utilisations existantes**

Par utilisations existantes, on entend des systèmes qui fonctionnent déjà dans la bande de fréquences en question. Pour déterminer s'il faut réattribuer du spectre, il faut évaluer la valeur d'une bande dans son utilisation actuelle par rapport à d'autres utilisations possibles.

#### **4.1.1.2 Coûts de libération**

Pour déterminer s'il faut réattribuer une bande, il faut tenir compte du coût de libération, que ce soit en déplaçant les systèmes existants ou en payant les opérateurs pour mettre un terme à l'exploitation des systèmes.

#### **4.1.1.3 Durée des licences**

Le facteur temps comprend la durée de validité d'une licence d'utilisation du spectre. La durée optimale de validité d'une licence varie selon les technologies de radiocommunication. Plus la durée de validité d'une licence sera longue, plus l'utilisation du spectre sera suffisante compte tenu de la stabilité relative de la technologie. Dans cette situation, le spectre aura une plus grande valeur.

#### **4.1.1.4 Emplacement**

Le nombre d'utilisateurs potentiels d'un service de radiocommunication dans une zone de licence constitue l'un des principaux facteurs déterminant la demande de spectre dans cette zone. Les caractéristiques démographiques de la population et le niveau de développement économique comptent également. Du côté de l'offre, le coût du déploiement du système dépend de la topographie, de la disponibilité des intrants tels que la fibre et l'électricité, et du coût d'acquisition des sites des pylônes.

#### **4.1.1.5 Bande de fréquences radioélectriques**

Les caractéristiques de couverture, de pénétration par les murs et d'adaptation à différentes utilisations varient selon les différentes bandes de fréquences.

De plus, chaque bande de fréquences a ses propres caractéristiques de propagation des ondes radioélectriques. Les bandes de fréquences inférieures permettent d'élargir les zones de service des systèmes radioélectriques et, par conséquent, l'opérateur aurait besoin de moins de sites de pylônes pour couvrir le territoire que si des bandes de fréquences supérieures étaient utilisées. Plus la largeur de bande de fréquences est grande, plus on peut transmettre d'informations à un certain coût. Ainsi, la valeur peut augmenter.

Le facteur fréquence peut être mesuré en fonction de la fréquence, de la largeur de bande et des brouillages dans le canal adjacent.

#### 4.1.1.6 Utilisation

Les utilisations potentielles d'une bande dépendent de questions réglementaires et commerciales, en plus de la fréquence et de la largeur de bande. Aux termes de la réglementation sur le spectre, des fréquences peuvent être attribuées en vue d'une utilisation souple (permettant d'utiliser à la fois les services fixe et mobile), ou de façon limitée en vue d'une seule utilisation, comme la radiodiffusion télévisuelle. Les utilisations plus vastes acceptables font augmenter la valeur du spectre, toutes choses égales par ailleurs. La disponibilité et le coût des dispositifs qui peuvent fonctionner dans une bande ont également une incidence sur sa valeur. Par exemple, la valeur d'une bande serait plus grande si elle était utilisée à l'échelle internationale pour le service mobile et si les dispositifs mobiles étaient largement disponibles à faible coût. Les nouvelles technologies radioélectriques peuvent contribuer à améliorer l'utilisation du spectre, à accroître l'efficacité du spectre ou à créer de nouveaux services innovants susceptibles d'apporter une grande valeur économique. Le facteur technologique joue un rôle dans l'évaluation de l'efficacité d'utilisation du spectre et de la valeur économique du spectre.

#### 4.1.1.7 Possibilité de cession de spectre

Dans différents pays, les paiements échelonnés ont été adoptés dans le cadre d'enchères de spectre, ce qui donne la possibilité à l'opérateur d'accroître ses dépenses d'investissement. Compte tenu de l'évolution rapide des technologies, il est devenu difficile de prévoir l'utilité d'une bande à long terme. Il est ainsi devenu nécessaire que les opérateurs puissent céder le spectre acquis et faire des économies sur de futurs paiements échelonnés. Ces dispositions peuvent avoir une incidence sur la valeur économique du spectre.

#### 4.1.1.8 Possibilité de location de spectre

L'avènement de la technologie 5G a entraîné une hausse de la demande de spectre de l'industrie pour des usages privés. En louant du spectre à des utilisateurs industriels privés, les fournisseurs de services de télécommunication (opérateurs de réseaux mobiles) bénéficieront de recettes supplémentaires. Cette possibilité de location permettra également à l'utilisateur industriel privé de satisfaire ses besoins de spectre pour l'automatisation, par exemple. Une telle possibilité peut avoir une incidence sur l'efficacité d'utilisation et la valeur économique du spectre.

#### 4.1.2 Facteurs d'influence non fondés sur le marché/«Concours de beauté» ou audiences d'évaluation comparatives

Dans le cadre d'un processus comparatif, on compare formellement les qualifications de chacun des demandeurs de spectre en concurrence sur la base de critères nationaux dûment établis et publiés. (Parmi les critères de ce type figurent normalement la population desservie, la qualité de service et la rapidité de mise en œuvre du service). L'autorité responsable de la gestion du spectre détermine quel est le postulant le plus qualifié pour utiliser le spectre et octroie la concession.

Dans le cadre de l'octroi de spectre, la tâche la plus importante pour une administration nationale est de déterminer le montant des droits de licence. Il existe plusieurs facteurs d'influence.

##### 4.1.2.1 Politiques

Le montant des droits de licence d'utilisation du spectre dépendra du facteur politique. Plus les conditions de la licence sont *souples*, plus la valeur du spectre est élevée. Plus la souplesse accordée aux titulaires de licence pour appliquer de nouvelles techniques et lancer de nouvelles applications est grande, plus la valeur de la licence (et du spectre) est élevée.

##### 4.1.2.2 Caractéristique de fréquence

Des caractéristiques telles que la propagation et l'affaiblissement sur le trajet varient selon les bandes de fréquences. Pour différents services, il existe différentes caractéristiques qui influent sur le calcul des droits.

#### 4.1.2.3 Maturité du secteur

Lors de l'octroi d'une licence d'utilisation de spectre, il convient de tenir compte du facteur de maturité du secteur pour déterminer un montant des droits de licence approprié.

La maturité d'un secteur désigne le processus complet de développement d'un secteur et peut être divisée en quatre étapes, à savoir l'étape embryonnaire, l'étape d'incubation, l'étape de développement et l'étape de maturité. L'étape embryonnaire est l'étape dominée par la recherche et le développement technologiques. La principale activité consiste à mener des activités de recherche et développement de base dans le domaine de la technologie; l'étape de l'incubation correspond à l'étape de croissance du secteur fondée sur la technologie, lors de laquelle on sait si le produit ou le service du secteur peut être commercialisé. En testant différentes applications commerciales, les avantages des produits ou services en matière de qualité de fonctionnement et de coût ont pu être confirmés; l'étape de développement est une étape de développement rapide du secteur sous l'impulsion du marché. Une fois que les avantages du produit ou du service ont été promus et démontrés à grande échelle avec succès sur le marché, et lorsqu'un grand nombre de concurrents arrivent sur le marché, le volume des ventes de produits ou de services peut maintenir un taux de croissance relativement élevé pendant un certain temps; l'étape de maturité est l'étape de développement du secteur où la chaîne industrielle occupe une place importante, puisque cette étape est marquée par la formation de base de la chaîne industrielle, l'application des normes industrielles et l'amélioration de la chaîne industrielle.

Le stade embryonnaire du secteur se caractérise principalement par la réalisation de travaux de recherche technique; en outre, on peut y envisager de favoriser le développement de la technologie par l'utilisation de fréquences d'essai. Durant l'étape d'incubation du secteur, la taille du secteur est relativement faible. Afin de favoriser l'essor du secteur, les droits de licence d'utilisation du spectre peuvent être réduits de manière appropriée. Lors de l'étape du développement du secteur, le développement rapide du secteur débouche sur une augmentation de la valeur économique du spectre, et les droits de licence d'utilisation du spectre peuvent augmenter de manière appropriée pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre. Durant l'étape de maturité du secteur, les normes industrielles sont appliquées, le spectre est étroitement lié à l'offre et à la demande de produits ou de services, et la valeur économique du spectre est déterminée en tenant compte de la valeur du secteur.

#### 4.1.2.4 Type de secteur et taille des utilisateurs

Les besoins et les applications concernant les ressources spectrales varient selon les secteurs. Certains secteurs dépendent fortement des ressources spectrales, comme les communications mobiles publiques, l'aviation civile et les navires de transport. Une caractéristique distinctive de ces secteurs est le degré d'association élevé avec les fréquences radioélectriques. D'autres secteurs utilisent moins de ressources spectrales et disposent de moyens de communication filaires autres que les systèmes de radiocommunication, et ne présentent pas de degré d'association élevé avec les fréquences radioélectriques. Dans le domaine des applications radioélectriques, les différents soumissionnaires peuvent provenir de différents secteurs.

Par conséquent, la taille des utilisateurs est également différente. Certains soumissionnaires ont seulement moins d'utilisateurs, mais ont besoin de davantage de ressources spectrales. Dans ce cas, il faut tenir compte de la taille de l'utilisateur pour déterminer son avantage concurrentiel.

#### 4.1.2.5 Avantages sociaux et indirects

Les avantages sociaux et indirects sont des facteurs importants pour évaluer l'importance de l'autorisation d'utilisation du spectre radioélectrique. Ces facteurs se reflètent dans le développement socio-économique et les sentiments de bonheur et de confort de la population. Mais ces avantages sont difficiles à calculer et à présenter en utilisant des indicateurs quantitatifs. On sait que les avantages sociaux et indirects sont des facteurs de référence importants pour que l'administration chargée des radiocommunications autorise l'utilisation de spectre. En particulier dans le cadre d'une

procédure de soumission comparative ou d'un appel d'offres, les services de gestion doivent évaluer les avantages sociaux et indirects des ressources spectrales attribuées.

#### **4.2 Modèles utilisables pour évaluer la valeur du spectre (pour information uniquement)**

Au cours de l'étude, plusieurs modèles (voir les Annexes du présent Rapport pour en savoir plus) ont été proposés par les administrations. Ils sont susceptibles d'être utilisés pour évaluer la valeur du spectre.

Toutefois, les modèles utilisés pour évaluer la valeur économique du spectre dépendent de nombreux facteurs différents (tels que les services radioélectriques, la largeur de bande, les zones de service, la bande de fréquences, l'emplacement de la bande de fréquences, ou encore la situation économique du pays dans lequel l'évaluation va être menée), ainsi que de critères qu'il serait difficile d'appliquer de manière générale à tous les pays. Ainsi, ces éléments et informations reflètent simplement les points de vue du membre contributeur et ne sont pas forcément nécessaires pour étudier la situation des pays tiers.

Par conséquent, les Annexes du présent Rapport ne sont examinées qu'à titre d'information.

### **5 Résumé**

Dans le cadre du présent Rapport, des études de cas pertinentes sur l'évaluation de l'efficacité d'utilisation et de la valeur économique du spectre ont été menées, afin de fournir des informations à différentes autorités compétentes en vue d'améliorer leur utilisation des ressources rares que sont les ressources spectrales, de mesurer l'effet stimulant du spectre sur l'économie nationale, et d'établir un plan de gestion du spectre au niveau national. Il est évidemment nécessaire de tenir compte du fait que les pays peuvent avoir des mécanismes d'évaluation de l'efficacité d'utilisation et de la valeur économique du spectre différents.

## **Annexe 1**

### **Étude de cas sur l'évaluation de la valeur du spectre en tenant compte du PIB**

#### **1 Analyse de la contribution économique directe au PIB**

Étant donné que les activités liées aux services de communication et de radiodiffusion permettent de réaliser un chiffre d'affaires, la contribution économique directe au PIB renvoie principalement à ces deux services.

Pour ce qui est du service de communication, les revenus des entreprises comprennent les revenus issus du service de communication locale fixe, du service de communication mobile et du service de communication par satellite. Parmi eux, le service de communication mobile et le service par satellite reposent sur le spectre radioélectrique. La contribution économique directe au PIB du service de communication est définie comme suit:

$CI = (\text{revenus du service de communication mobile} + \text{revenus du service de communication par satellite}) / \text{PIB de la même année} \times 100\%$  (A1-1)

où:

$CI$ : Contribution directe au PIB du service de communication.

Pour ce qui est du service de radiodiffusion, la contribution économique directe au PIB peut être définie comme suit:

$$C2: \text{revenus issus de la radiodiffusion/PIB de la même année} \times 100\% \quad (A1-2)$$

où:

C2: Contribution directe au PIB du service de radiodiffusion.

## 2 Analyse de la contribution extra-économique au PIB

Pour ce qui concerne les services de communication et de radiodiffusion, on suppose que la fonction relative à l'influence de la contribution du secteur au PIB est  $Y = f(X, \text{Con})$ . Dans la fonction,  $Y$  désigne le PIB,  $\text{Con}$  désigne le facteur d'influence pour le PIB excluant les services de communication et de radiodiffusion, et  $X$  désigne la contribution du service de communication et du service de radiodiffusion au PIB. Les équations mathématiques présentées ci-après peuvent être utilisées:

$$\ln Y = \text{Con} + \beta \ln X + \varepsilon \quad (A1-3)$$

Il est possible d'obtenir les coefficients  $\beta$  et  $\varepsilon$  en utilisant l'analyse par régression linéaire unitaire et les données annuelles sur les revenus des services de communication et de radiodiffusion et le PIB de la même année. L'analyse unitaire par régression linéaire permet de mettre en évidence la relation entre les services de communication et de radiodiffusion et le PIB.

Afin de calculer les avantages économiques résultant de la mise en œuvre de nouvelles technologies hertziennes dans les secteurs traditionnels, il est possible d'évaluer la hausse du volume de production de ces secteurs traditionnels dans lesquelles les nouvelles technologies hertziennes ont été mises en œuvre. On trouvera ci-dessous la méthode présentée en détail.

On utilise souvent une équation universelle<sup>2</sup> en économie pour calculer le volume de production. Le volume de production pendant la période  $t$  peut s'exprimer comme suit:

$$OTP_t = HA_t \times f(CAP_t^{WTA}, CAP_t^{NWT A}, LAB_t, MID_t) \quad (A1-4)$$

où:

$OTP_t$ : production pendant la période  $t$

$WTA$ : application technologique hertzienne

$HA_t$ : facteur de progrès technique pendant la période  $t$

$CAP_t^{WTA}$ : capital lié à l'élément  $WTA$  investi dans les secteurs traditionnels au cours de la période  $t$  (montant détaillé en yuans chinois, dollars des États-Unis, francs suisses, etc.)

$CAP_t^{NWT A}$ : capital lié à des éléments autres que l'élément  $WTA$  investi dans les secteurs traditionnels pendant la période  $t$

$LAB_t$ : capital-travail investi dans les secteurs traditionnels

$MID_t$ : capital des produits intermédiaires investi dans les secteurs traditionnels.

Après transformation de l'équation mathématique pertinente<sup>3</sup>, l'équation (A1-4) devient:

$$d(OTP_t) = d(HA_t) + \alpha_{CAP_t^{WTA}} \times d(CAP_t^{WTA}) + \alpha_{CAP_t^{NWT A}} \times d(CAP_t^{NWT A}) + \alpha_{MID_t} \times d(MID_t) + \alpha_{LAB_t} \times d(LAB_t) \quad (A1-5)$$

<sup>2</sup> Référence: Sun Linlin, Inte Haitao, Ren Ruoen. *The Contribution of Informatization to China's Economic Growth: Empirical Evidence from Industry Panel Data* [J]. *World Economics*, 2012, 000(002): 3-25.

<sup>3</sup> Référence: voir également la référence ci-dessus.

où:

$d(OTP_t)$ : différentiel de l'ampleur de la production économique de l'ensemble de la société pendant la période  $t$

$\alpha_{xx}$ : facteur de contribution, qui indique la variation de la quantité de production totale résultant des changements au niveau des intrants pour chaque unité de capital de l'élément  $xx$  des facteurs de production.

Par exemple,  $\alpha_{CAP_t^{WTA}}$  indique la variation de la quantité de production totale résultant des changements au niveau des intrants pour chaque unité de capital de l'élément WTA.

$\alpha_{xx}$ : peut être obtenu par la transformation de la matrice inverse de Leontief<sup>4</sup> dans le tableau entrée-sortie<sup>5</sup>.

Après avoir rendu indéfinie l'intégrale de l'équation (A1-5), on peut calculer la modification correspondante de la production totale résultant de la mise en œuvre de l'élément WTA dans les secteurs traditionnels, qui peut s'exprimer comme suit:

$$OTP_t^{WTA} = \sum_t^T CAP_t^{WTA} \times \alpha_{CAP_t^{WTA}} \times PPI \quad (A1-6)$$

Ici, dans l'équation (A1-6), l'indice des prix à la production (IPP)<sup>6</sup> a été pris en considération pour refléter la situation réelle des facteurs d'inflation.

$OTP_t^{WTA}$ : changement correspondant de la production totale résultant de la mise en œuvre de l'application WTA dans les secteurs traditionnels

$T$ : durée de vie maximale de l'équipement ayant fait l'objet de l'investissement en capital.

Afin d'utiliser l'équation (A1-6) dans la pratique, il convient de calculer la valeur spécifique  $CAP_t^{WTA}$ .

Ici, sur la base de la théorie de la «méthode d'inventaire permanent» en économie, on peut atteindre la valeur  $CAP_t^{WTA}$  en ajoutant une fonction hyperbolique d'efficacité temporelle, qui peut s'exprimer finalement comme suit:

$$CAP_t^{WTA} = \sum_{x=0}^T I_{t-x} h_x F(x) \quad (A1-7)$$

où:

$I_{t-x}$ : investissement en capital pour l'application WTA pendant la période  $t-x$  dans les secteurs traditionnels

$h_x$ : fonction hyperbolique d'efficacité temporelle, qui peut refléter la baisse de la capacité de production de l'investissement en capital de l'application WTA en fonction du temps:

$$h_x = (T - x)/(T - 0,8x) \quad (A1-8)$$

$x$ : durée d'utilisation des équipements ayant fait l'objet du capital investi dans l'élément WTA dans les secteurs traditionnels

$F(x)$ : fonction de distribution de probabilité de la distribution normale:

$$F_i(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 0,5}} e^{-\frac{(x-u_i)^2}{0,5}} dx \quad (A1-9)$$

<sup>4</sup> Voir: [https://en.eustat.eus/documentos/elem\\_15552/definicion.html](https://en.eustat.eus/documentos/elem_15552/definicion.html).

<sup>5</sup> Voir: [https://en.wikipedia.org/wiki/Input-output\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/Input-output_model).

<sup>6</sup>  $PPI$ : indice des prix à la production, généralement annoncé par les gouvernements de divers pays.

- $\mu$ : durée de vie prévue de l'équipement, la durée de vie maximale étant égale à 1,5 fois, et la variance de cette distribution étant de  $0,25u_i$
- $i$ : représente divers types d'équipements, qui peuvent être 1, 2, 3 ou plus, et qui correspondent à du matériel informatique, à des logiciels et à des équipements de communication.

## Annexe 2

### Étude de cas sur l'évaluation de la valeur du spectre en tenant compte des paramètres de systèmes

Les redevances pour le service mobile terrestre public, par exemple, peuvent être représentées par les formes fonctionnelles générales suivantes:

$$F = f(B, C, S, E, FR, FP, FI) \quad (A2-1)$$

où:

- $F$ : redevance imposée au titulaire d'une licence du service mobile terrestre
- $B$ : largeur de bande
- $C$ : zone de couverture
- $S$ : emplacement du site
- $E$ : exclusivité d'utilisation
- $FR$ : fréquence
- $FP$ : coefficient de politique de l'administration
- $FI$ : coefficient de maturité de l'entreprise.

## Annexe 3

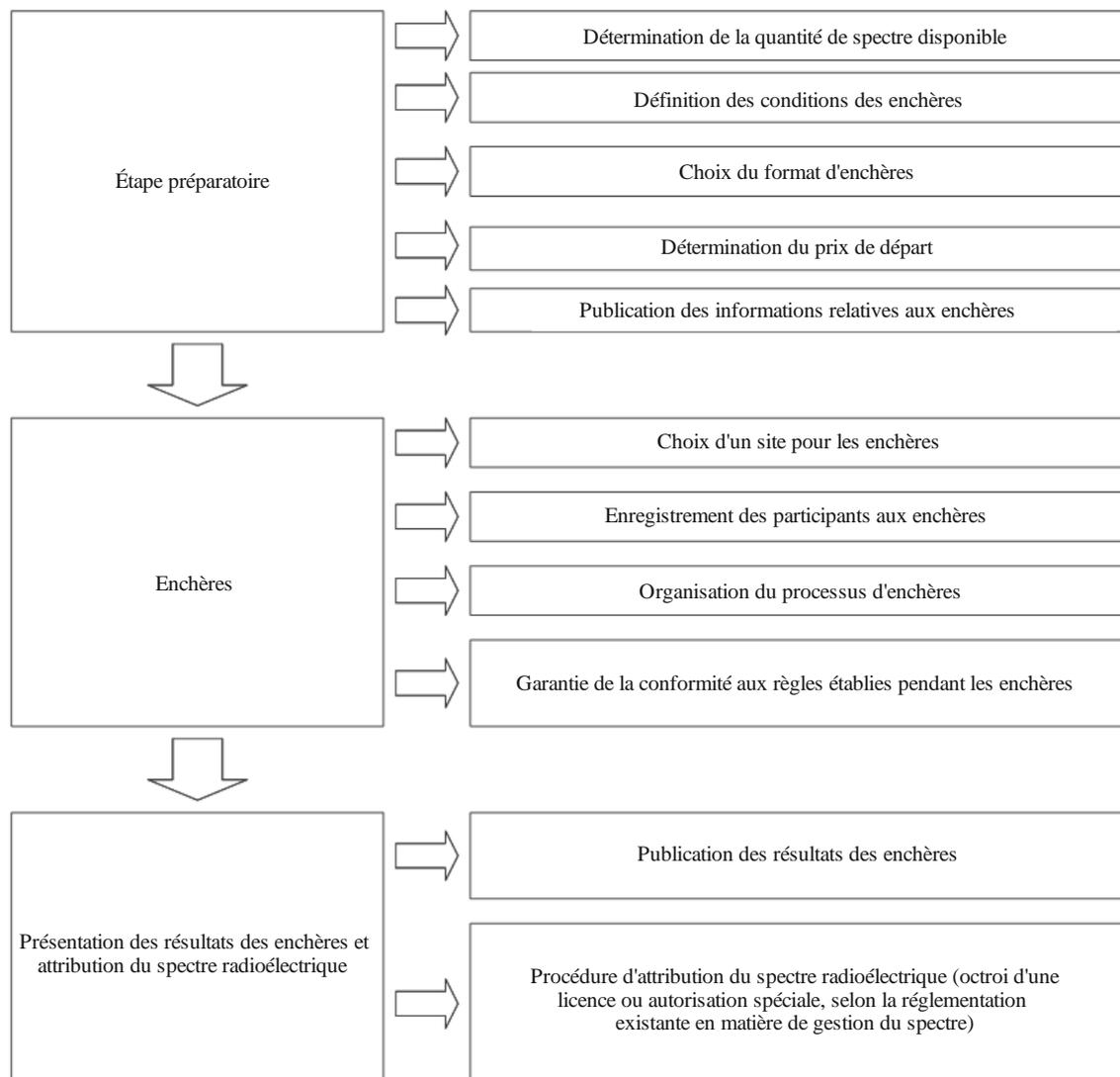
### Étude de cas sur l'évaluation de la valeur du spectre fondée sur les résultats d'enchères de spectre

Les enchères permettent d'attribuer le spectre aux acteurs du marché pour qui il est particulièrement précieux.

La procédure détaillée des enchères de spectre est décrite dans la Pièce jointe à l'Annexe.

La Figure A3-1 illustre la procédure générale d'organisation des enchères.

FIGURE A3-1

**Procédure générale d'organisation des enchères de spectre**

Rapport SM.2523-A3-01

La procédure d'enchères comprend trois étapes.

La première étape est préparatoire. À ce stade, l'organisateur des enchères détermine la quantité de spectre radioélectrique disponible qui pourrait être mise aux enchères. La quantité de spectre radioélectrique disponible est déterminée en tenant compte du Règlement des radiocommunications, du Tableau national d'attribution des bandes de fréquences et des plans pour l'utilisation future (le cas échéant).

De plus, l'organisateur des enchères fixe les conditions des enchères, à savoir la composition des lots, la détermination du prix de départ et l'ampleur des enchères. On trouvera plus de détails sur les conditions possibles au § 1 de la Pièce jointe 1 à la présente Annexe.

C'est également à ce stade qu'est déterminé le format des enchères. Les formats d'enchères sont décrits au § 2 de la Pièce jointe 1 à la présente Annexe.

Les conditions établies des enchères sont rendues publiques par l'organisateur des enchères.

La deuxième étape correspond à celle des enchères proprement dites.

Ensuite, il faut choisir la place de marché électronique pour les enchères. (Les frais de location de la place de marché seront couverts par les recettes des enchères.)

L'organisateur des enchères enregistre les participants, vérifie leur solvabilité, recueille les dépôts (s'ils sont prévus par les règles des enchères), organise le processus d'enchères et veille au respect de ses règles pendant le processus.

Au cours de la troisième étape, l'organisateur présente et publie les résultats des enchères, annonce le gagnant et la valeur du lot gagné, restitue les dépôts (si les règles des enchères le prévoient) et délivre les documents d'autorisation d'utilisation du spectre.

## **Pièce jointe 1 à l'Annexe 3**

### **Procédure détaillée des enchères de spectre**

#### **1 Facteurs influant sur les enchères**

Les conditions des enchères pourraient avoir une forte incidence sur les résultats des enchères.

Dans le cadre de la préparation à des enchères, il est raisonnable de tenir compte des particularités et des conditions d'un type d'enchères précis.

Il est possible de mettre en évidence les facteurs suivants qui déterminent le choix d'un type précis d'enchères de spectre, dont il convient de tenir compte [P. Crampton, *Auctioning the Digital Dividend*, 2009; P. Crampton, *Spectrum Auctions*, University of Maryland, 2001; R. Preston McAfee, *The Greatest Auction in History*, 2009; P. Crampton, *Spectrum Auction Design*, 2012]:

- la disponibilité des informations sur les offres des uns et des autres pour les participants aux enchères;
- la nécessité de déterminer la séquence de présentation des lots pour les offres;
- la possibilité de faire des offres pour un ensemble de lots;
- le caractère distinct des tours;
- la détermination du nombre de lots;
- la détermination de la quantité maximale de spectre qui pourrait être achetée par un participant;
- la détermination du prix de départ, du montant du dépôt, du pas de l'enchère et du nombre de tours;
- les règles de paiement;
- les conditions particulières pour les participants individuels;
- les conditions d'annulation d'une offre;
- les règles de participation à des enchères;
- les règles de clôture d'une vente aux enchères.

Les enchères pourraient être organisées sous forme d'enchères ouvertes ou sous pli cacheté selon *la disponibilité des informations sur les offres des autres participants*.

Des enchères sous pli cacheté supposent que chaque entreprise ne fait qu'une seule offre et que les autres participants ne disposent pas d'informations sur l'offre. Cela permet d'éviter les collusions entre les participants. Ce type d'enchères peut permettre de dégager des recettes importantes, lorsque les participants supposés ne sont *a priori* pas égaux. Une grande entreprise peut gagner beaucoup seulement en soumettant une offre très élevée.

Des enchères ouvertes supposent que les participants connaissent les offres des uns et des autres. En conséquence, ils pourraient analyser le comportement des concurrents pendant les enchères. Cela permet d'attribuer des licences plus efficacement, puisque les participants disposent de nombreuses informations pour prendre une décision. Toutefois, le risque de collusion entre entreprises pour faire baisser le prix est plus élevé.

Du point de vue de la *séquence de mise aux enchères de licences*, des enchères pourraient être organisées dans un format consécutif ou simultané.

Dans un format consécutif, les licences sont présentées et vendues l'une après l'autre au cours d'une série d'enchères. Ce format présente plusieurs inconvénients.

Premièrement, la principale difficulté rencontrée dans l'organisation d'enchères consécutives est la détermination de l'ordre de vente des licences. Disposer des lots selon un critère précis peut avantager certains participants, rendant ainsi l'attribution des licences moins objective.

Deuxièmement, dans une vente de licences consécutive, les informations à disposition des participants et les possibilités d'exploiter ces informations sont limitées. Lorsqu'une entreprise soumet une offre pour un lot, il est important de prévoir les prix pour les lots qui seront mis aux enchères ultérieurement. Cela complique grandement les stratégies des participants et réduit l'efficacité des enchères. À cet égard, des enchères consécutives peuvent se révéler inefficaces lorsque des lots identiques ou complémentaires sont mis aux enchères.

Troisièmement, les opérateurs reçoivent une quantité d'informations limitée pendant les enchères proprement dites. Cela s'explique par le fait que, lors de l'achat de licences d'utilisation du spectre radioélectrique, il arrive que les entreprises prennent des décisions et changent d'avis concernant leurs offres de plusieurs centaines de millions de dollars. La direction a généralement besoin de plusieurs jours, voire de plusieurs semaines, pour examiner ces décisions. Étant donné que l'organisation d'enchères consécutives suppose de vendre plusieurs licences au cours d'une même journée, les participants n'ont pas la possibilité d'exploiter rapidement les informations reçues. En conséquence, les entreprises doivent utiliser un ensemble de stratégies prédéterminées, ce qui pourrait avoir une incidence négative sur les résultats des enchères.

Des enchères simultanées supposent de vendre simultanément plusieurs lots.

Ce type d'enchères a pour principal avantage de permettre aux participants de recevoir et d'exploiter rapidement des informations, et de passer d'un lot à l'autre. Lorsque le prix d'une licence devient trop élevé pour un acheteur, il peut se concentrer sur une autre licence, en se voyant infliger une petite pénalité dans le cas le plus défavorable.

Une autre condition importante d'une vente aux enchères est la *possibilité de faire une offre pour un ensemble (forfait) de lots*. Les enchères lors desquelles un participant peut faire une offre pour un ensemble de licences plutôt que pour une seule licence sont considérées comme combinatoires. Il a été proposé initialement:

- 1) de donner la possibilité de soumettre des offres pour un nombre quelconque de licences et de modifier l'offre par le biais d'enchères simultanées à plusieurs tours jusqu'à la fin des enchères; ou
- 2) de donner la possibilité de soumettre des offres pour plusieurs licences régionales et une licence nationale.

Ce type d'enchères permet aux soumissionnaires d'exprimer directement leurs souhaits – une entreprise fait une offre pour un certain nombre de licences dont elle a besoin en un seul lot. Dans le même temps, les enchères combinatoires sont plus complexes en raison d'un grand nombre de combinaisons possibles.

Un argument de poids en faveur de ce format d'enchères est le fait que le prix qu'un participant est prêt à payer pour la licence pourrait dépendre d'autres licences éventuellement gagnées. Par exemple, si une entreprise obtient une licence dans une zone, les licences dans une autre zone seront plus chères. Ainsi, la possibilité de faire des offres pour un ensemble de licences plutôt que pour des licences individuelles est plus importante pour les entreprises. Dans ce cas, elles obtiennent tout ou rien, et il serait improbable que l'entreprise participante quitte les enchères après avoir remporté seulement une partie de ce qu'elle désire. Lorsque des licences individuelles sont mises aux enchères, il peut arriver qu'une entreprise ne puisse pas acheter de lots primaires, mais qu'elle achète des lots secondaires. Par ailleurs, pour acheter les lots demandés, elle devra payer plus qu'elle n'était prête à payer.

L'impossibilité de soumettre une offre pour un ensemble de lots peut réduire l'efficacité des enchères.

La difficulté d'organiser ce type d'enchères réside dans le fait que, lorsque les lots et les soumissionnaires sont nombreux et que toutes les combinaisons sont acceptables, il devient pratiquement impossible d'identifier des attributions qui optimiseraient les avantages. Restreindre des options acceptables pour disposer des lots dans un seul et même ensemble pourrait permettre de remédier à ce problème, mais de nombreuses combinaisons souhaitées pourraient être involontairement mises de côté.

L'expression *distinction des tours* s'entend comme une durée limitée pendant laquelle un participant peut présenter son offre. Selon ce paramètre, on pourrait diviser les enchères en enchères avec des tours distincts et avec des tours continus.

Dans le premier cas, le temps alloué aux participants pour soumettre des offres est fixe. Dans le second cas, le temps n'est pas compté et les entreprises prennent le temps qu'elles souhaitent. Dans un cas, elles pourraient faire des offres rapidement, mais dans une situation complexe – dans un intervalle de temps plus long. Les tours distincts sont organisés de manière plus simple, et les participants ont un échéancier à suivre. Les entreprises savent donc exactement quand les nouvelles informations apparaîtront et le délai dans lequel elles doivent répondre.

Dans les enchères de spectre, le *nombre de lots mis aux enchères* constitue un élément important. La quantité de spectre et de bandes de fréquences qui sera mise aux enchères définit le nombre d'entreprises qui participeront aux enchères, c'est-à-dire la compétitivité et l'efficacité des enchères.

La limitation de la quantité de spectre qu'un participant pourrait gagner permet d'éviter une situation de monopole sur le marché des services de communication. Il est possible de limiter le spectre actuellement mis aux enchères ou la quantité globale de spectre appartenant à un opérateur en tenant compte du spectre déjà attribué auparavant. Dans ce dernier cas, les nouvelles entreprises sur le marché ont la possibilité d'acheter une plus grande quantité de spectre que les entreprises déjà présentes.

*Le prix de départ, le montant du dépôt, les pas de l'enchère et le nombre de tours* ont un effet notable sur le processus d'enchères. Ainsi, le prix de départ et le montant du dépôt limitent le nombre d'entreprises qui pourraient participer à une enchère. Un pas de l'enchère correspond à une augmentation du prix d'un lot par rapport au tour précédent. Il détermine la durée du processus d'enchères. Moins il y a de pas, plus les enchères sont longues. Le nombre de tours influe également sur la durée du processus d'enchères. Une vente aux enchères peut comporter un ou plusieurs tours. En général, les enchères sous pli cacheté comportent un seul tour. Il convient de privilégier les enchères ouvertes pour l'organisation de plusieurs tours.

Les *règles de paiement* sont extrêmement importantes pour les enchères sous pli cacheté. Il existe trois possibilités:

- Le gagnant paie la somme qu'il avait offerte lors des enchères (premier prix).
- Le gagnant verse le montant de la deuxième offre la plus élevée pour un lot (enchère au second prix de Vickrey ou autre prix).
- Les gagnants paient le montant le plus faible des offres remportées (l'option n'est applicable que pour trois lots similaires et plus – prix universel).

Le choix d'une règle de paiement pourrait avoir une incidence importante sur la motivation des entreprises et éventuellement inciter de nouveaux acteurs du marché à participer aux enchères. En cas d'utilisation de la règle du premier prix, les participants estiment la différence entre leur offre et le prix qu'ils sont prêts à payer et, en conséquence, estiment le risque de perte. Plus la différence est faible, plus le risque de perdre une enchère est faible. Cette situation peut donner un avantage aux nouveaux acteurs qui souhaitent entrer sur le marché et remplacer les entreprises historiques. Au contraire, la règle du second prix le plus élevé permet aux participants de faire des offres concrètes, en sachant qu'ils ne paieraient pas plus que le premier perdant. Cette approche profite aux acteurs puissants. La règle du prix universel présente des avantages (et des inconvénients) des deux approches.

*Conditions particulières pour les participants.* L'organisateur des enchères peut fixer des conditions particulières applicables à différents groupes de participants. En général, il s'agit d'un rabais compris entre 10% et 40%, c'est-à-dire que le gagnant versera une somme 10% à 40% moins élevée que son offre. La réservation de spectre pour un groupe précis de participants peut constituer une autre possibilité de conditions particulières.

*Conditions d'annulation d'une offre.* Si un participant annule son offre, il paie généralement des frais et quitte les enchères. Il est remplacé par un participant ayant soumis l'offre la plus élevée qui suit.

*Règles de participation active.* Les règles de participation active permettent de contrôler le rythme des enchères en définissant un nombre minimal de lots pour lesquels un participant peut faire des offres à chaque tour spécifique.

De nombreux formats d'enchères offrent de larges possibilités de gestion des règles de participation active permettant d'influencer le comportement des participants. On pourrait utiliser des règles différenciées pour limiter les possibilités pour les acteurs du marché existants de faire des offres et encourager de nouvelles entreprises à participer au marché. En outre, les règles de participation ont un effet important sur le processus d'enchères à plusieurs tours.

*La règle de clôture d'une vente aux enchères* permet aux utilisateurs de gagner le maximum de spectre nécessaire. Cette règle peut s'expliquer avec l'exemple suivant: les enchères sont terminées lorsqu'il n'y a pas de nouvelle offre pour un lot pendant un tour.

## **2 Modèles d'enchères de spectre**

Selon la combinaison des conditions décrites précédemment, il est possible de distinguer les types (formats) d'enchères suivants:

- enchères sous pli cacheté à un tour;
- enchères ascendantes à plusieurs tours;
- enchères descendantes à plusieurs tours;
- enchères au cadran;

- enchères combinatoires;
- enchères combinées;
- enchères incitatives.

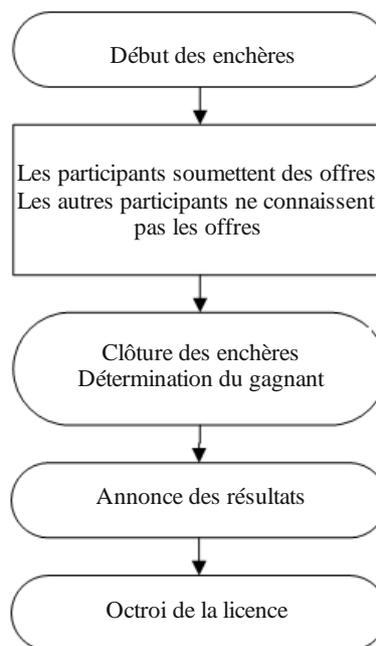
Le choix du format d'enchères dans chaque cas particulier dépend des éléments suivants:

- *Nombre prévu de participants et de lots aux enchères.* Le rapport entre le nombre de participants et le nombre de lots détermine le niveau de concurrence dans des enchères. Les enchères ouvertes sont un format à privilégier en cas de concurrence forte, et les enchères sous pli cacheté sont à privilégier en cas de concurrence faible. En pareils cas, les enchères seraient plus efficaces.
- *Objectif fixé par le régulateur lors de l'organisation des enchères.* Selon l'objectif fixé par l'organisateur d'enchères, celui-ci peut en modifier les règles. Par exemple, il peut établir des conditions préférentielles pour certains participants (nouveaux acteurs du marché ou petits opérateurs) afin de renforcer l'environnement concurrentiel.
- *Type de licence mise aux enchères.* Dans certains cas, la licence pourrait préciser la technologie qui doit être exploitée par l'opérateur dans la bande de fréquences concernée. Dans d'autres cas, des licences neutres du point de vue technologique sont mises aux enchères. Le type de licence définit le nombre d'entreprises susceptibles d'être intéressées par les enchères.

### Enchères sous pli cacheté à un tour

On trouvera dans la Figure A3-2 une présentation de la procédure de ce type d'enchères et de ses particularités: les participants n'ont pas connaissance d'une offre (ou de certaines offres) faite(s) par les autres participants; les résultats ne sont annoncés qu'après la clôture des enchères; et la licence est accordée au plus offrant.

FIGURE A3-2  
Procédure des enchères sous pli cacheté



**Avantages:**

- Format simple, rapide et facile à gérer.
- Possibilité de vendre une seule licence ou plusieurs en une fois.
- Il n'est pas nécessaire de réunir les participants en un seul endroit et d'utiliser des procédures d'enchères papier ou électroniques complexes.
- Les résultats des enchères sont interprétés simplement.
- Les collusions entre participants sont évitées.

**Inconvénients:**

- En général, les participants n'ont pas la possibilité d'analyser les actions des uns et des autres. Cela complique le choix du lot pour lequel faire une offre lorsque plusieurs licences équivalentes sont mises aux enchères.
- Manque de certitude après l'obtention de l'un ou l'autre lot si plusieurs lots se complétant les uns les autres sont mis aux enchères.
- Moindre efficacité de l'attribution.

Sur le plan de l'attribution de spectre, ce type d'enchères pourrait être raisonnable lorsque:

- La partie du spectre mise aux enchères a une faible valeur (autrement dit, le coût d'organisation d'un autre type d'enchères est supérieur à la valeur du spectre en question).
- Les portions de spectre sont nombreuses et il est nécessaire de les attribuer rapidement.
- L'efficacité de l'attribution de spectre est d'une importance mineure.
- Le risque de collusion est élevé.

Ce format d'enchères a été choisi au Danemark pour attribuer des licences pour les services 3G.

**Enchères ascendantes simultanées à plusieurs tours (enchères anglaises)**

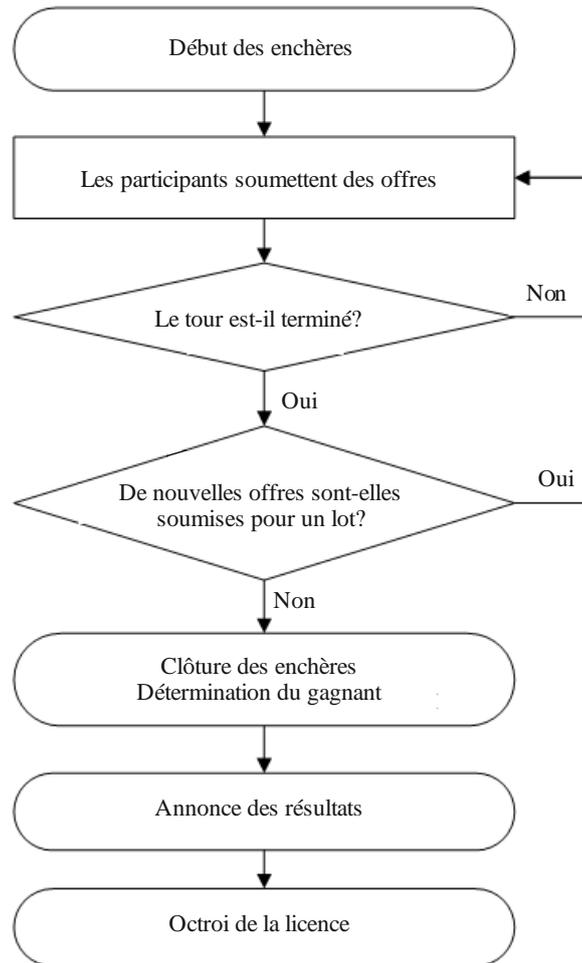
Ce type d'enchères est largement utilisé pour vendre des licences. Il présente les particularités suivantes: plusieurs licences sont mises aux enchères simultanément dans un processus à plusieurs tours; les participants font monter leur offre à chaque tour et les enchères se terminent lorsqu'il n'y a pas de nouvelles offres; le plus offrant remporte un lot (Fig. A3-3).

Lors de l'organisation d'enchères ascendantes simultanées à plusieurs tours, différentes règles pourraient s'appliquer. L'option classique de ce format d'enchères consiste à vendre plusieurs lots, le prix de chacun de ces lots n'augmentant que lorsqu'un participant fait une offre. Ainsi, pendant les enchères, le prix de chaque lot est susceptible de changer. En outre, les participants peuvent modifier leurs offres, c'est-à-dire faire des offres pour les lots à des prix inférieurs.

Les enchères ascendantes simultanées sont efficaces lorsque plusieurs licences sont mises aux enchères et que l'estimation de leur prix est incertaine.

FIGURE A3-3

## Procédure des enchères ascendantes simultanées à plusieurs tours



Rapport SM.2523-A3-03

## Avantages:

- Les participants ont la possibilité d'analyser le comportement des concurrents et de corriger leurs offres compte tenu de la modification du prix de la licence.
- Réduction du risque de surpaiement pour le gagnant.
- Risque plus faible pour le participant de ne pas obtenir la licence souhaitée.
- Risque plus faible pour le participant de ne pas obtenir la licence souhaitée parmi l'ensemble de licences mis aux enchères.

## Inconvénients:

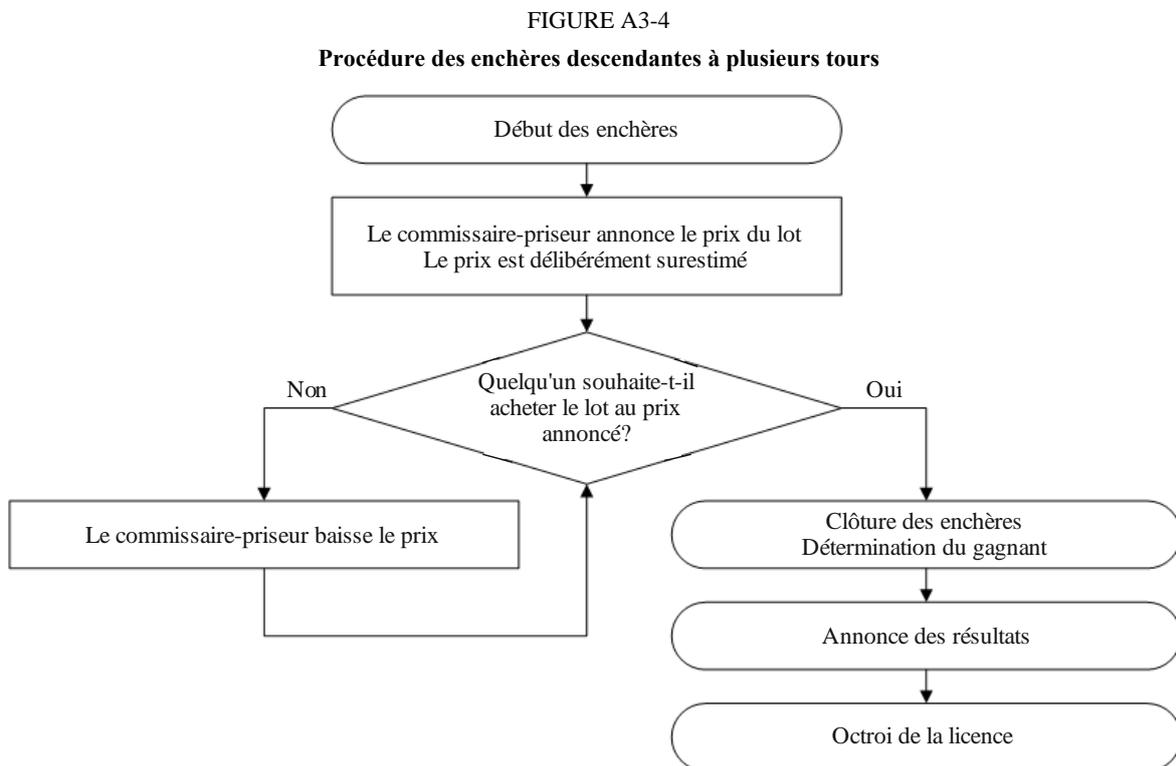
- Risque de collusion entre les participants. Le nombre de participants pourrait être fixé avant le début des enchères. De plus, les entreprises historiques pourraient entraver la participation de nouveaux acteurs aux enchères.
- Complexité. Les règles et procédures de ces enchères sont plus complexes que celles d'enchères sous pli cacheté simples, bien que la création de systèmes d'enchères électroniques ait rendu les enchères simultanées moins coûteuses et plus simples.

- Conditions inégales pour les participants. Dans ce format d'enchères, les participants ne souhaitant obtenir qu'un seul lot ont un certain avantage. Les participants qui ont besoin de plusieurs lots pour exploiter efficacement leurs réseaux risquent davantage de ne pas les gagner.
- Les enchères pourraient être longues.

Les enchères ascendantes à plusieurs tours et les attributions successives de lots ont été largement adoptées en Europe, en particulier en Allemagne, en Grande-Bretagne et en Suisse pour l'octroi de licences pour la fourniture de services 3G, ainsi qu'en Norvège pour les attributions de fréquences dans la bande des 3,5 GHz et pour l'octroi de licences de spectre pour l'accès hertzien large bande fixe ou encore les radiocommunications locales, par exemple.

### Enchères descendantes à plusieurs tours (enchères hollandaises)

Ce type d'enchères à plusieurs tours présente les particularités suivantes: avant le début des enchères, le commissaire-priseur annonce le prix de départ d'un lot délibérément surestimé; si aucun participant n'est prêt à acheter le lot au prix indiqué, le commissaire-priseur réduit le prix; les enchères cessent lorsqu'un participant est prêt à acheter le lot (Fig. A3-4).



Rapport SM.2523-A3-04

#### Avantages:

- Simplicité de la mise en œuvre et transparence de la procédure d'enchères.
- Contrairement aux enchères sous pli cacheté, les participants ont la possibilité d'analyser le comportement des concurrents, leur permettant ainsi de prendre des décisions plus efficaces.
- Les enchères pourraient être efficaces lorsqu'elles ont pour objet de vendre les lots au prix le plus bas.

## Inconvénients:

- L'organisateur des enchères peut perdre une certaine somme si le prix maximal que les participants sont prêts à payer n'est pas connu, et si l'objet des enchères est de vendre les lots au prix le plus élevé possible.

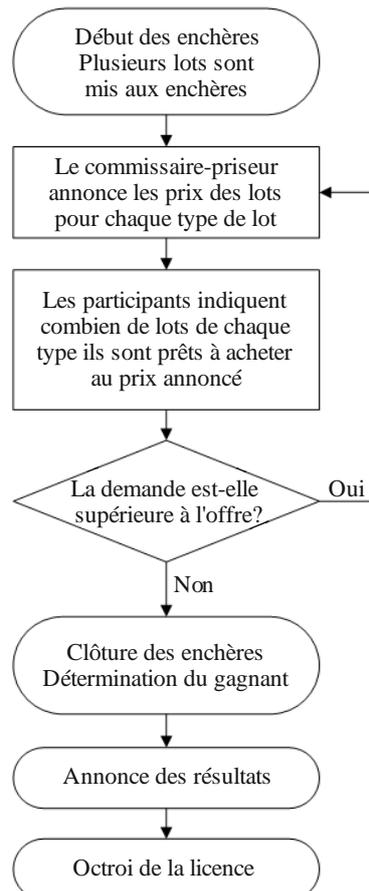
**Enchères au cadran**

Les enchères au cadran sont des enchères ascendantes simultanées à plusieurs tours. Elles ont pour objet de vendre des lots à prix égaux lorsque les participants ne peuvent pas privilégier un lot à un autre. Dans ce format d'enchères, tous les lots ont un prix unique qui est revu à la hausse à chaque tour jusqu'à ce que le nombre de participants soit réduit au nombre de lots.

Dans une autre version de ce type d'enchères, les lots sont réunis en groupes de sorte que les lots d'un même groupe soient équivalents pour les participants. Dans ce cas, le prix est fixé pour un lot dans chaque groupe.

Les enchères au cadran constituent une procédure cyclique lors de laquelle le commissaire-priseur, au début du tour, annonce le prix d'un lot dans chaque groupe de lots (voir la Fig. A3-5). Les participants annoncent ensuite le nombre de lots de chaque groupe qu'ils sont prêts à acheter au prix annoncé. Si, pour un groupe de lots, la demande est supérieure à l'offre, alors le prix du lot augmente. Les participants annoncent une nouvelle fois le nombre de lots qu'ils sont prêts à acheter aux prix annoncés. Le processus se répète jusqu'à ce que la demande soit égale à l'offre pour tous les groupes de lots.

FIGURE A3-5

**Procédure des enchères au cadran**

**Avantages:**

- Simple pour les participants. À chaque tour, le participant annonce la quantité de spectre qu'il est prêt à acheter au prix annoncé.
- Remédie aux éventuelles collusions entre participants. La limitation des informations disponibles pour les participants sur la différence entre l'offre et la demande empêche d'établir une stratégie de collusion. Les signes manifestant l'intention d'enchérir n'ont plus lieu d'être, car les participants ne disposent pas d'informations sur les offres des différents participants.
- Grande efficacité des enchères. À chaque tour, les participants disposent de plus en plus d'informations sur le prix de telle ou telle portion de spectre et s'en servent pour prendre des décisions. En conséquence, le coût de participation aux enchères diminue, et les enchères sont plus efficaces.

**Inconvénients:**

- Tarification linéaire jusqu'à la fin des enchères. La tarification linéaire entraîne une baisse des demandes des participants, et donc une baisse de l'efficacité des enchères.

Ce format a été appliqué en Hongrie pour l'attribution de licences pour les radiocommunications locales, au Nigéria pour l'attribution de licences pour les réseaux 2G, en Grande-Bretagne pour l'attribution de fréquences dans les bandes des 800 MHz et des 2,6 GHz, et en Irlande pour l'attribution de licences d'exploitation dans les bandes des 800 MHz, 900 MHz et 1 800 MHz.

**Enchères combinatoires ouvertes à plusieurs tours**

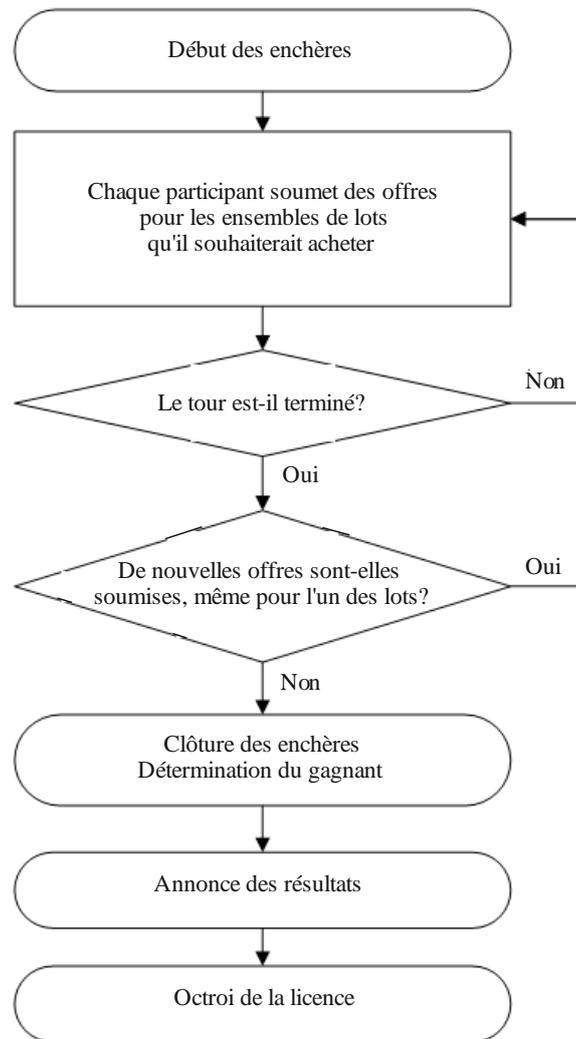
Ce type d'enchères est utilisé lorsque les lots mis aux enchères sont complémentaires. Contrairement aux enchères classiques, les participants peuvent faire plusieurs offres, une pour chaque combinaison de lots. En d'autres termes, des offres peuvent être faites à la fois pour un lot donné et pour une combinaison arbitraire de lots (voir la Fig. A3-6).

Les gagnants sont déterminés comme suit: pour tous les participants et pour tous les lots, on choisit la combinaison d'offres qui affiche la somme des offres la plus élevée. Les participants sont reconnus gagnants lorsque leurs offres font partie de cette combinaison.

Les enchères pourraient être organisées aussi bien en un tour qu'en plusieurs tours. Une telle approche pourrait servir de complément à tout autre format d'enchères.

Suite au passage à la libéralisation de l'utilisation du spectre, la probabilité que des entreprises ayant des besoins différents en matière de ressources spectrales participent aux mêmes enchères va augmenter. À cet égard, le risque de ne pas obtenir l'ensemble de licences souhaité augmentera également. En conséquence, l'intérêt pour le format des enchères combinatoires sera plus marqué.

FIGURE A3-6  
Procédure des enchères combinatoires



Rapport SM.2523-A3-06

#### Avantages:

- Il est possible de réduire les risques pour les participants. La possibilité de faire des offres pour un certain nombre de licences permet d'éviter une situation dans laquelle les participants n'obtiennent pas la portion de spectre nécessaire. Ce format sert les intérêts à la fois des participants qui souhaitent obtenir plusieurs licences et de ceux qui souhaitent en obtenir une seule.

#### Inconvénients:

- Coûts élevés et complexité de l'algorithme de détermination du gagnant. Les enchères combinatoires peuvent être beaucoup plus complexes tant pour les organisateurs que pour les participants. Lorsque plus de quatre lots sont mis aux enchères et que de nombreux participants sont présents, un algorithme informatique peut être nécessaire pour déterminer un gagnant en raison du grand nombre de combinaisons possibles de gagnants et de lots considérés. Même avec un petit nombre de lots, il n'est pas aisé de déterminer le gagnant.
- Peu de transparence. Les résultats de ce type d'enchères ne sont pas toujours transparents pour les participants et les observateurs, en particulier lorsqu'un algorithme informatique est utilisé pour déterminer le gagnant.

- Complexité de la prise de décisions. Ce format d'enchères peut engendrer un nouveau risque pour les participants qui souhaitent obtenir une licence précise ou un petit ensemble de licences. Pour ces participants, il est difficile de prendre de bonnes décisions en concurrence avec ceux qui font des offres pour un large ensemble de licences et peuvent faire des offres qui limitent les possibilités des petits acteurs.

Ce format a été utilisé en Norvège en 2001 lors des enchères pour les licences GSM-1800 et GSM-900. Des combinaisons de portions de spectre abstraites ont été mises aux enchères dans un format d'enchères sous pli cacheté à un tour.

En 2002, au Nigéria, lors de l'attribution de licences pour l'accès hertzien fixe, cinq enchères combinatoires sous pli cacheté ont été organisées, lors desquelles les participants ont pu faire plusieurs offres uniques pour obtenir des licences dans 4 à 5 régions. Le processus a été divisé en cinq enchères pour chacune des régions.

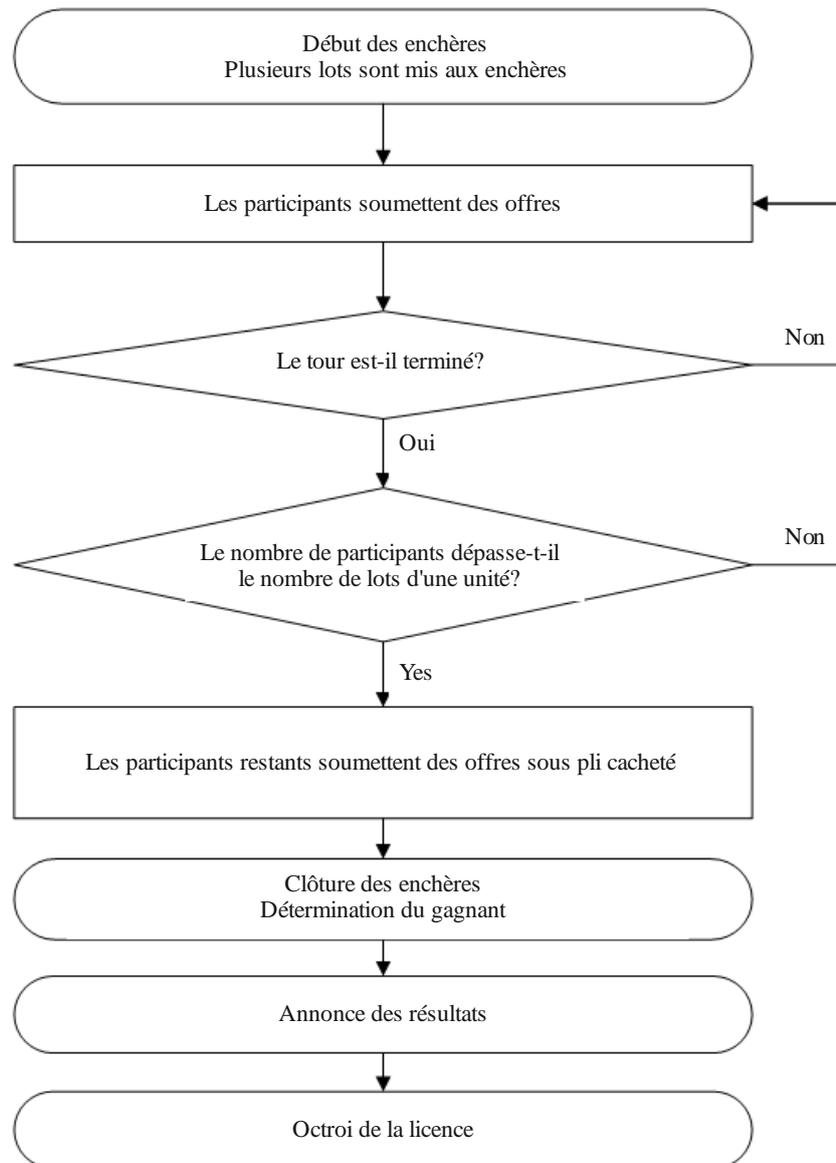
Des enchères *combinatoires* sous pli cacheté à un tour ont été appliquées en Grande-Bretagne lors de l'attribution de quatre portions de spectre de 500 kHz dans les bandes 412-414/422-424 MHz pour les radiocommunications professionnelles.

### **Enchères combinées**

Les enchères intégrant des paramètres de plusieurs types d'enchères sont appelées enchères combinées, comme les enchères anglo-hollandaises, ou les enchères à cadran avec la possibilité de faire des offres pour un ensemble de lots.

Le format anglo-hollandais intègre des enchères simultanées à plusieurs tours et des enchères fermées (voir la Fig. A3-7). Ce format pourrait être utile lorsque le nombre de grands acteurs et le nombre de licences sont identiques.

FIGURE A3-7  
Procédure des enchères anglo-hollandaises

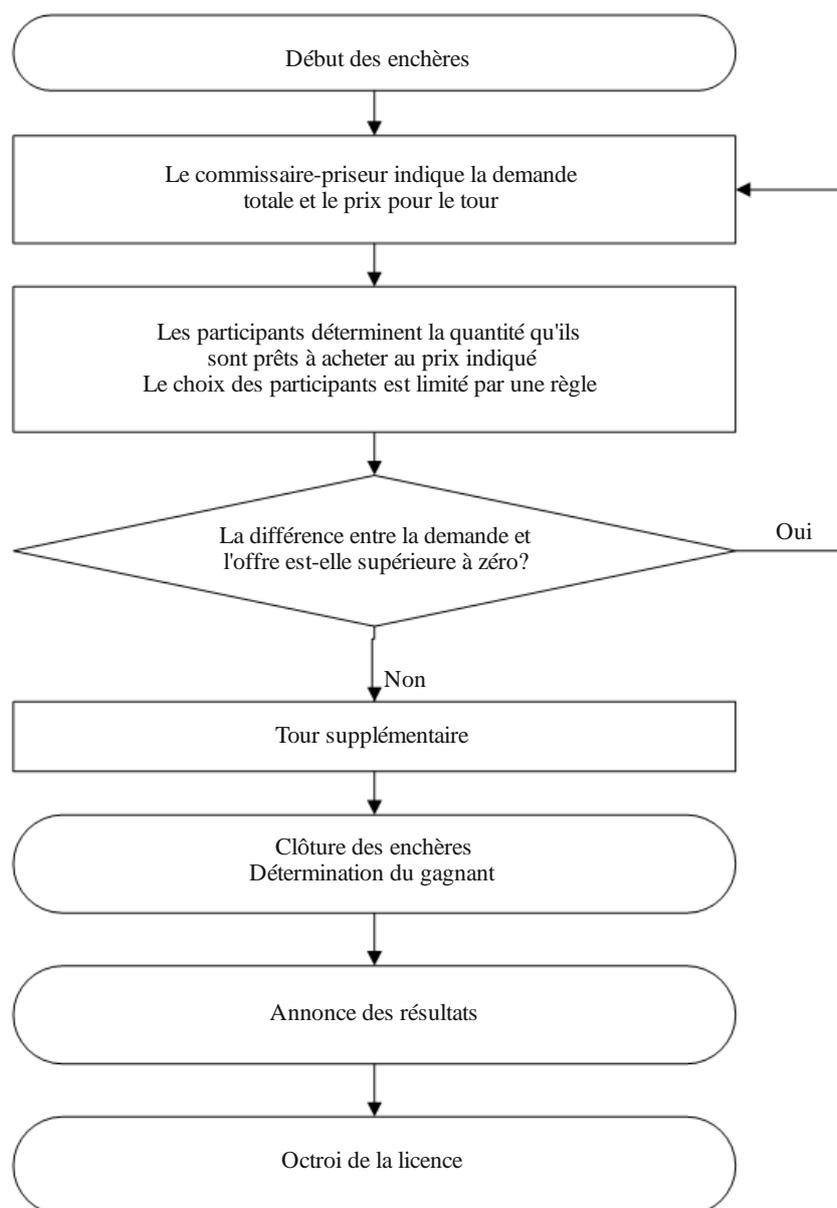


Rapport SM.2523-A3-07

***Enchères au cadran avec possibilité de faire une offre pour un ensemble de lots.*** Ce type d'enchères combine les enchères au cadran classiques et les enchères combinatoires avec des offres ascendantes (voir la Fig. A3-8). Dans ce format, on ajoute un tour supplémentaire aux enchères au cadran, durant lequel les participants font des offres supplémentaires.

FIGURE A3-8

## Procédures des enchères au cadran avec possibilité de faire une offre pour un ensemble de lots



Rapport SM.2523-A3-08

On trouvera dans le Tableau A3-1 les avantages et inconvénients des différents types d'enchères et des informations sur leur utilisation possible en Fédération de Russie.

### Enchères incitatives<sup>7</sup>

Les enchères bilatérales ou «incitatives» intègrent l'offre et la demande de spectre pour déterminer la quantité de spectre vendue, qui l'utilise, les prix que reçoivent les acheteurs et que les vendeurs paient

<sup>7</sup> Le présent paragraphe est fondé sur les ressources «Economics at the FCC, 2016–2017: Auction Designs for Spectrum Repurposing and Universal Service Subsidies», Evan Kwerel, Paroma Sanyal, Katja Seim, Martha Stancill and Patrick Sun. *Review of Industrial Organization*. (2017) 51:451-486; et «Economics at the FCC, 2011-2012: Spectrum Incentive Auctions, Universal Service & Intercarrier Compensation Reform, and Mergers», Evan Kwerel, Paul La and Marius Schwartz. *Review of Industrial Organization* (2012).

et, comme dans le cas des enchères incitatives en matière de radiodiffusion de la Commission fédérale des communications (FCC), comment le spectre est utilisé.

Les enchères incitatives en matière de radiodiffusion de la FCC ont été les premières enchères bilatérales au monde ayant pour objet de réaffecter du spectre. Elles se sont achevées en 2017, après la réattribution de 84 MHz de spectre de radiodiffusion télévisuelle à l'échelle nationale pour répondre à la demande croissante de services mobiles large bande. Lors de réattributions antérieures, la FCC a déterminé la quantité de spectre réattribuée administrativement. Dans le cadre des enchères incitatives en matière de radiodiffusion, la quantité de spectre réaffectée a été déterminée par l'offre des télédiffuseurs et par la demande des opérateurs hertziens.

Ce format d'enchères se présentait sous la forme d'une série d'étapes, chaque étape consistant en des enchères inversées suivie d'enchères à terme. Les enchères inversées à cadran descendantes ont offert aux télédiffuseurs la possibilité de céder des droits d'utilisation du spectre. Bien que les radiodiffuseurs exploitent trois bandes, à savoir la bande d'ondes décimétriques, la partie supérieure de la bande d'ondes métriques et la partie inférieure de la bande d'ondes métriques, seule la bande d'ondes décimétriques intéresse les fournisseurs de services mobiles large bande. Les enchères inversées ont permis de libérer la bande d'ondes décimétriques en payant les radiodiffuseurs pour interrompre la radiodiffusion ou pour exploiter une bande inférieure. Les radiodiffuseurs utilisant les bandes d'ondes métriques qui ont interrompu l'exploitation ont également libéré la bande d'ondes décimétriques si certains radiodiffuseurs utilisant les ondes décimétriques étaient disposés et en mesure de passer à un canal en ondes métriques libéré.

Même si la participation d'un radiodiffuseur aux enchères incitatives en matière de radiodiffusion était une démarche volontaire, la Commission a été habilitée à demander aux radiodiffuseurs qui continuent d'exploiter le spectre de passer à un canal équivalent dans la bande en cours d'utilisation (bande d'ondes décimétriques, partie supérieure de la bande d'ondes métriques ou partie inférieure de la bande d'ondes métriques). Cette autorité était indispensable à la mise en place d'enchères inversées concurrentielles. Sans cela, chaque radiodiffuseur exploitant une partie de la bande d'ondes décimétriques visée en vue d'être libérée pouvait exiger un prix non concurrentiel pour renoncer à ses droits d'utilisation du spectre.

Les opérateurs hertziens participant aux enchères à terme à cadran ascendantes faisaient des offres pour des blocs de fréquences génériques dans 416 zones géographiques sous licence. La première étape des enchères a débuté avec l'objectif de libérer le plus de spectre possible, en sachant que les radiodiffuseurs n'étaient pas disposés à libérer le spectre aux prix d'ouverture et devaient se voir attribuer un canal.

Si les enchères ne pouvaient être clôturées en atteignant l'objectif de libération, une autre étape était lancée pour atteindre l'objectif immédiatement inférieur, jusqu'à ce que les conditions de la «règle de l'étape finale» soient remplies. La règle de l'étape finale visant à déterminer l'étape à laquelle les enchères se clôtureraient a fait l'objet d'un test pour connaître aussi bien les recettes brutes que les recettes nettes qui seraient obtenues. Après la clôture de l'étape finale des enchères à terme, une phase d'attribution relevant des enchères a été lancée pour attribuer des blocs de fréquences spécifiques aux gagnants des blocs génériques dans chaque zone géographique.

TABLEAU A3-1

## Analyse comparative des différents types d'enchères

Type d'enchères	Avantages	Inconvénients	Cas d'utilisation
Enchères sous pli cacheté à un tour	Format simple, rapide et facile à gérer. Utilisable pour n'importe quel nombre de licences. Remédie aux éventuelles collusions entre participants.	Moindre efficacité de l'octroi des licences. Le gagnant surpaye dans la plupart des cas.	Prix du spectre faible. Nombre élevé de portions de spectre et nécessité de les attribuer rapidement. L'efficacité d'attribution du spectre n'est pas importante. Risque élevé de collusion entre les participants.
Enchères ascendantes simultanées à plusieurs tours	Grande efficacité des enchères. Réduction du risque de surpaiement pour le gagnant. Risque plus faible pour le participant de ne pas obtenir la licence souhaitée.	Possibilité de collusion entre participants. Complexité. Conditions inégales pour les participants. Les enchères pourraient être longues.	Plusieurs licences sont mises aux enchères. Détermination complexe du prix de la licence. Pour les licences dans les bandes de fréquences les plus précieuses (exemple: dividende numérique).
Enchères descendantes à plusieurs tours	Mise en œuvre simple. Procédure d'enchères transparente.	Détermination complexe du prix de départ. Réduction du risque de surpaiement pour le gagnant. Faible efficacité. Utilisable uniquement de manière séquentielle dans la réalité.	Les portions de spectre mises aux enchères ont la même valeur pour les participants; ainsi, la portion remportée n'a pas d'importance pour l'opérateur. Le prix du spectre est connu ou pourrait être fondé sur l'expérience des enchères précédentes. Prix du spectre faible. L'attribution rapide des licences est importante.

TABLEAU A3-1 (*fin*)

Type d'enchères	Avantages	Inconvénients	Cas d'utilisation
Enchères au cadran	Simple pour les participants. Remédie aux éventuelles collusions entre participants. Forte efficacité.	Tarification linéaire à la fin des enchères.	Les portions de spectre mises aux enchères sont égales.
Enchères combinatoires ouvertes à plusieurs tours	Mêmes avantages que pour les enchères ouvertes simultanées ascendantes à plusieurs tours, auxquels s'ajoute une efficacité maximale pour les bandes de fréquences complémentaires.	Mise en œuvre complexe. Frais d'organisation les plus élevés.	Plusieurs licences sont mises aux enchères. Détermination complexe du prix de la licence. Pour les licences dans les bandes de fréquences les plus précieuses (exemple: dividende numérique).

L'analyse des conditions et des formats des enchères amène à conclure que le choix du type d'enchères dans chaque cas particulier est principalement défini par:

- Le nombre supposé de participants et le nombre de lots aux enchères. Le rapport entre le nombre de participants et le nombre de lots détermine le niveau de concurrence dans des enchères. Lorsque la concurrence est forte, il est raisonnable de privilégier des enchères ouvertes; en revanche, lorsque la concurrence est faible, il est raisonnable de privilégier des enchères sous pli cacheté. C'est ainsi que les enchères seront les plus efficaces.
- L'objectif fixé par le régulateur lors de l'organisation des enchères. Selon l'objectif fixé par l'organisateur des enchères, les règles des enchères peuvent être modifiées. Par exemple, afin d'améliorer l'environnement concurrentiel, l'organisateur peut faire bénéficier certains participants de conditions préférentielles (nouveaux acteurs du marché ou petits opérateurs).
- Type de licence mise aux enchères. Dans un premier cas, la licence peut préciser la technologie que l'opérateur doit exploiter dans la bande de fréquences concernée. Dans un deuxième cas, des licences neutres du point de vue technologique sont mises aux enchères. Le type de licence détermine le nombre d'entreprises susceptibles d'être intéressées par les enchères.

Ces critères, pris en compte lors du choix du format des enchères et de l'élaboration des conditions des enchères pour les portions de spectre dans des bandes de fréquences spécifiques, ont également une incidence sur le niveau du prix de départ des enchères.

### **3 Méthode de détermination du prix de départ pour les lots de spectre mis aux enchères**

Le prix de départ est le prix minimum que le participant doit payer pour un lot. Le prix de départ détermine l'efficacité de tous les formats d'enchères. Plus le prix de départ est élevé, plus le nombre de participants possible est faible. En conséquence, le risque que la licence ne trouve pas preneur augmente. Dans le même temps, un prix de départ très bas peut mener à une collusion entre les participants, et ainsi réduire les recettes des enchères. Dans ce cas, les recettes des enchères pourraient même ne pas suffire à couvrir les frais du régulateur pour la tenue des enchères.

Plusieurs approches envisageables pour déterminer le prix de départ d'une licence d'utilisation du spectre radioélectrique peuvent être distinguées dans la pratique internationale:

- La modélisation économique et mathématique. Il s'agit d'établir des modèles économico-mathématiques pour les indicateurs d'activité des participants potentiels. Pour ce qui est de l'augmentation des recettes de l'opérateur provenant de l'utilisation de spectre supplémentaire, on détermine, sur la base des résultats de la modélisation des revenus et des coûts de l'opérateur, le prix potentiel que l'opérateur est prêt à payer pour une portion de spectre. Cette valeur pourrait également servir à déterminer le niveau supérieur du prix de départ possible.
- La méthode de compensation des coûts. Le prix de départ du lot mis aux enchères est fixé au niveau des coûts de gestion du spectre radioélectrique pour l'administration.
- La méthode comparative. Des études et des analyses des pratiques internationales existantes sont effectuées; elles se présentent sous la forme de collectes de données sur les prix de départ et les résultats des enchères concernant les fréquences d'une même bande dans d'autres pays, qui seront ajustées ultérieurement pour un pays où des enchères sont prévues.

### Modélisation économique et mathématique

Les avantages de cette méthode permettent:

- De déterminer le prix maximal que l'entreprise est prête à payer pour le spectre. L'augmentation des revenus et des bénéfices de l'entreprise provenant du spectre supplémentaire, calculée sur la base de la modélisation mathématique, permet de déterminer le prix maximal que l'entreprise pourrait payer pour le spectre.
- D'identifier l'incidence du prix de départ sur le nombre de participants aux enchères, c'est-à-dire identifier les participants qui refuseront de prendre part aux enchères si le prix de départ est inadéquat. En outre, la méthode permet de déterminer le prix auquel le spectre ne sera jamais vendu.

Il convient de souligner les inconvénients suivants:

- Différence fondamentale entre les modèles économiques des différents utilisateurs. Cette différence devient particulièrement importante dans les enchères de licences neutres sur le plan technologique. Dans ce cas, la valeur du spectre dépendra des services qu'un participant envisage de fournir et de la technologie qu'il pense utiliser. L'élaboration de modèles économiques peut être plus compliquée lorsque de nouveaux acteurs du marché prévoient de participer aux enchères.
- Les efforts importants que doivent déployer les organisateurs dans le cadre de l'élaboration de modèles économiques et mathématiques pour les indicateurs d'activité des participants potentiels.
- L'ambiguïté des résultats obtenus.
- La difficulté de garantir la transparence des calculs, étant donné que la plupart des informations nécessaires à l'élaboration de modèles économiques sont privées.

### Méthode de compensation des coûts

Les avantages de la méthode de *compensation* des coûts administratifs pour la détermination du prix de départ sont les suivants:

- La valeur minimale du prix de départ. L'augmentation des coûts de gestion du spectre, précisés dans la licence, détermine le prix de départ le plus bas.
- La compensation des coûts pour le régulateur de la gestion du spectre.

Les inconvénients de cette méthode sont les suivants:

- Revenus faibles en cas de demande faible pour des lots mis aux enchères.
- Possibilité de collusion entre participants.
- Complexité de la collecte des données initiales. L'extraction de données relatives aux coûts pour une certaine bande de fréquences à partir de l'ensemble complet de données sur les coûts de gestion des fréquences est compliquée.
- Il est probable que le prix réel du spectre sera beaucoup plus élevé.

### Méthode comparative

La *méthode* repose sur des études et une analyse comparative des pratiques internationales existantes en matière de tarification des enchères.

Les avantages de cette méthode sont les suivants:

- La souplesse de la méthode. Différents échantillons de données et différentes méthodes de traitement des données sont utilisables.
- Il n'est pas nécessaire d'obtenir des informations privées.

- La transparence.
- Prise en compte de différents scénarios concernant la demande.
- Disponibilité des données initiales. L'accès gratuit contient un grand nombre de données empiriques, ce qui permet d'évaluer le prix du spectre pour les utilisateurs et d'en tenir compte dans le prix de départ.

L'analyse des pratiques en vigueur présente les inconvénients suivants:

- Dépendance du résultat à l'égard des données initiales et de la méthode de traitement des données. Le résultat dépend des données initiales recueillies au cours d'une période, d'un pays et d'une bande de fréquences donnés.
- Grand nombre de facteurs influant sur le prix du spectre dans différents pays, notamment la taille et la densité de la population, le revenu par habitant, la concurrence sur le marché des télécommunications, la concurrence dans le cadre d'enchères particulières, le type de spectre mis aux enchères, ou encore les conditions/limites techniques des licences.
- Un grand volume de données initiales est nécessaire.

Les informations susmentionnées sont récapitulées dans le Tableau A3-2.

TABLEAU A3-2

#### Analyse des méthodes existantes de détermination du prix de départ

Méthode	Avantages	Inconvénients
Modélisation économique et mathématique	Permet de déterminer le prix du spectre pour chaque utilisateur spécifique. Informativité importante.	Différence fondamentale entre les modèles économiques des différents utilisateurs. Les efforts nécessaires pour élaborer des modèles économiques sont importants. Ambiguïté des résultats. Caractère privé des données initiales.
Méthode de compensation des coûts	Prix de départ minimal. Compensation des coûts de gestion du spectre et des enchères pour le régulateur.	Revenus faibles en cas de demande faible. Possibilité de collusion entre participants. Complexité de la collecte des données initiales. Le prix réel du spectre peut être beaucoup plus élevé.
Méthode comparative	Méthode souple. Pas nécessaire de disposer d'informations privées. Transparence. Prise en compte de différents scénarios concernant la demande. Disponibilité de données initiales.	Dépendance du résultat à l'égard des données initiales (période de temps, bande de fréquences) et de la méthode de traitement des données. Grand nombre de facteurs influant sur le prix du spectre dans différents pays. Nécessite un volume important de données initiales.

À la suite des résultats des enchères, le prix du spectre doit compenser les coûts des enchères et les coûts de gestion du spectre, conformément à la législation du pays en question.

## Pièce jointe 2 à l'Annexe 3

### Expériences nationales d'enchères de spectre

#### 1 États-Unis d'Amérique

##### 1.1 Enchères sous pli cacheté à un tour

1.1.1 Enchères fermées pour l'octroi de licences pour les zones de service cellulaire non desservies (<https://www.fcc.gov/auction/77>), Phase I du Fonds de mobilité (<https://www.fcc.gov/auction/901>)

##### 1.2 Enchères ascendantes à plusieurs tours

1.2.1 Bande des 700 MHz (<https://www.fcc.gov/auction/73>)

##### 1.3 Enchères au cadran

1.3.1 Enchères au cadran ascendantes, enchères à terme incitatives en matière de radiodiffusion (<https://www.fcc.gov/auction/1002>)

1.3.2 Enchères au cadran descendantes, comme l'Enchère 1001, enchères inversées incitatives en matière de radiodiffusion (<https://www.fcc.gov/auction/1001>)

##### 1.4 Enchères incitatives

###### 1.4.1

Les enchères incitatives sont un nouvel outil<sup>8</sup> autorisé par le Congrès pour aider la Commission à répondre à la hausse croissante des besoins de spectre du pays pour des services à forte valeur tels que le large bande mobile. Les enchères bilatérales ou «incitatives» font la synthèse de l'offre et de la demande de spectre pour déterminer la quantité vendue, qui l'utilise, les prix que reçoivent les acheteurs et que les vendeurs paient et, comme dans le cas des enchères incitatives en matière de radiodiffusion de la Commission fédérale des communications (FCC), comment le spectre est utilisé.

En 2012, le Congrès a donné à la Commission le pouvoir général d'organiser des enchères incitatives, ainsi que des directives précises en ce qui concerne les enchères incitatives en matière de radiodiffusion<sup>9</sup>. En 2014, la FCC a adopté un rapport et un ordre relatifs aux enchères incitatives en matière de radiodiffusion<sup>10</sup>. Les enchères ont débuté le 29 mars 2016, avec des engagements de

---

<sup>8</sup> <https://www.fcc.gov/about-fcc/fcc-initiatives/incentive-auctions/how-it-works>

<sup>9</sup> Code des États-Unis (U.S.C.). (2012). Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012, Pub. L. N° 112-96, 117 Stat 2066 («Spectrum Act»).

<sup>10</sup> <https://www.fcc.gov/document/fcc-adopts-rules-first-ever-incentive-auction>

radiodiffuseurs aux prix d'ouverture<sup>11</sup>. Elles se sont conclues avec succès en 2017<sup>12</sup>, avec 84 MHz de spectre de radiodiffusion télévisuelle réaffectés à l'échelle nationale.

Les radiodiffuseurs ont eu la possibilité, lors de la phase d'«enchères inversées» des enchères incitatives, de restituer tout ou partie de leurs droits d'utilisation du spectre de radiodiffusion en échange d'incitations financières. En facilitant la restitution volontaire des droits d'utilisation du spectre et en réorganisant les bandes de radiodiffusion télévisuelle, la FCC pourrait récupérer une partie des fréquences de la bande d'ondes décimétriques (UHF) en vue d'«enchères à terme» de nouvelles licences à usage flexible adaptées à la fourniture de services mobiles large bande. En augmentant la quantité de spectre disponible pour l'utilisation du large bande mobile, les enchères incitatives profiteront aux consommateurs en réduisant l'encombrement des ondes du pays, en accélérant le développement de nouveaux services et applications hertziens plus robustes et en stimulant la création d'emplois et la croissance économique.

Les enchères incitatives en matière de radiodiffusion comprenaient deux ventes aux enchères distinctes mais interdépendantes, à savoir des enchères inversées, qui ont permis de déterminer le prix auquel les radiodiffuseurs cédaient volontairement leurs droits d'utilisation du spectre; et des enchères à terme, qui ont permis de déterminer le prix que les entreprises étaient prêtes à payer pour des licences pour des services sans fil à usage flexible. L'union des enchères inversées et des enchères à terme était appelée processus de «réaménagement». Le réaménagement a consisté à réorganiser des canaux et à les attribuer aux stations de radiodiffusion télévisuelle restantes, afin de créer des blocs contigus de fréquences libérées pouvant être utilisés de manière flexible. Toutes les composantes ont fonctionné de concert. Lors des enchères inversées, il était nécessaire de disposer d'informations sur le montant que les soumissionnaires étaient prêts à payer pour obtenir des licences d'utilisation du spectre dans le cadre des enchères à terme; les enchères à terme, quant à elles, nécessitaient de disposer d'informations sur le fait de savoir quels droits d'utilisation du spectre étaient mis aux enchères dans le cadre des enchères inversées, et à quel prix; et chacune d'elles dépendait de l'efficacité du réaménagement des radiodiffuseurs restants.

Les enchères incitatives en matière de radiodiffusion ont été organisées en plusieurs étapes. Chaque étape comprenait des enchères inversées et des enchères à terme. Avant la première étape, l'objectif initial de libération du spectre a été fixé. Les radiodiffuseurs ont indiqué, dans le cadre du processus de demande de participation aux pré-enchères, qu'ils étaient disposés à céder des droits d'utilisation du spectre aux prix d'ouverture. Compte tenu de la volonté collective des radiodiffuseurs, l'objectif initial de libération du spectre a été fixé au niveau le plus élevé possible (126 mégahertz de spectre) sans dépasser un plafond cumulé national prédéterminé pour les brouillages entre les fournisseurs de services hertziens et les stations de télévision («dégradations») qui se créent lorsque des stations de télévision doivent être attribuées à la bande hertziennne. Le processus d'enchères inversées a ensuite été lancé pour déterminer le montant total des paiements incitatifs destinés aux radiodiffuseurs qui sont nécessaires pour libérer cette quantité de spectre.

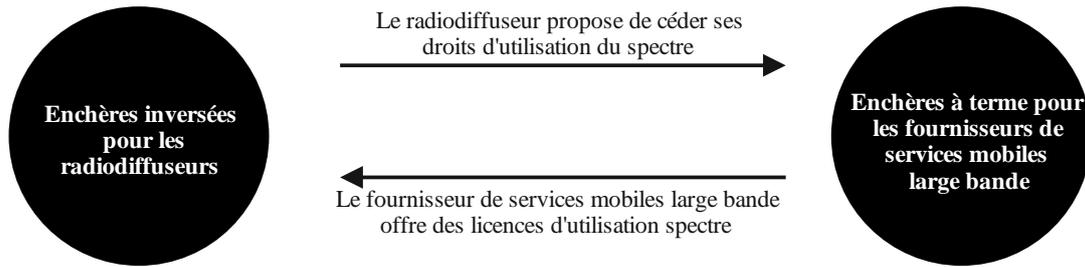
Les enchères à terme suivaient les enchères inversées à chaque étape jusqu'à ce que la «règle de l'étape finale» soit satisfaite. La règle de l'étape finale est un ensemble de conditions qui doivent être remplies pour clôturer les enchères en ayant atteint l'objectif de libération en vigueur; en cas de non-respect de cette règle, une nouvelle phase serait lancée à l'objectif de libération immédiatement inférieur. Lorsque la «règle de l'étape finale» est satisfaite, les offres continuent d'être faites au cours des

---

<sup>11</sup> Les radiodiffuseurs devaient s'engager en faveur d'une option de cession privilégiée et pouvaient prendre un engagement en faveur d'autres options de «repli» pour chacune de leurs stations concernées par les enchères inversées. Procédures PN, FCC 15-78, 11 août 2015, § IV.A.1.

<sup>12</sup> Appel d'offres conclu le 30 mars 2017. La clôture officielle des enchères a été marquée par la publication du document *Closing and Channel Reassignment Public Notice*, DA 17-314, 13 avril 2017.

enchères à terme jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de demande excédentaire, avant la clôture des enchères incitatives. Les enchères incitatives en matière de radiodiffusion se sont clôturées à la quatrième étape.



Rapport SM.2523-A3-A

Un élément clé des enchères incitatives en matière de radiodiffusion a été la décision totalement volontaire d'un radiodiffuseur de participer aux enchères inversées. Dans le format des enchères à cadran descendantes, si, à un moment donné, un radiodiffuseur estimait qu'un prix était trop bas, il pouvait quitter les enchères inversées. Aucune station n'a reçu une compensation en-deçà du prix total qu'elle s'est déclarée prête à accepter.

La FCC a également reconnu l'importance des radiodiffuseurs qui ont choisi de ne pas participer aux enchères inversées et a suivi la directive du Congrès selon laquelle il ne faut ménager aucun effort raisonnable pour préserver la zone de couverture et la population desservies par les titulaires de licences de radiodiffusion restants. La méthode de réorganisation (ou de «réaménagement») adoptée par la FCC permet également d'éviter des perturbations inutiles pour les radiodiffuseurs et les consommateurs.

#### 1.4.2 Plan de bande

Avant les enchères, la FCC a établi un plan de bande concernant les licences pour les radiocommunications hertziennes pour chaque objectif de libération possible. Le «Plan de la bande des 600 MHz» adopté par la FCC comprenait une bande en liaison montante commençant par le canal 51 (698 MHz), suivie d'un intervalle duplex, puis d'une bande en liaison descendante<sup>13</sup>. Chaque licence pour les radiocommunications hertziennes est de 10 MHz et comprend une liaison montante de 5 MHz appariée à une liaison descendante de 5 MHz. La figure ci-dessous montre le plan de bande associé à chaque objectif potentiel de libération du spectre<sup>14</sup>. La quantité potentielle de spectre libéré était comprise entre 126 MHz et 42 MHz. Le nombre de licences pour les radiocommunications hertziennes correspondantes dans une zone géographique était compris entre deux et dix.

<sup>13</sup> L'intervalle duplex de 11 MHz et les bandes de garde séparant les différents services sont présentés en gris avec des bandes diagonales blanches. Le canal 37 en orange est attribué à la radioastronomie et à la télémétrie médicale hertzienne. Les numéros des canaux de télévision en ondes décimétriques sont indiqués pour chaque canal de télévision de 6 MHz dans la partie inférieure de la bande. Incentive Auction R&O, 29 FCC Rcd page 6585, paragraphe 45.

<sup>14</sup> L'ensemble initial de plans de bandes élaboré par la FCC comprenait également un plan pour la bande des 138 MHz et un plan pour la bande des 144 MHz. Ces plans n'ont pas été pris en compte lors de l'établissement de l'objectif initial de libération afin de mieux harmoniser les Plans de la bande des 600 MHz des États-Unis et du Canada. Voir Auction 1000 Bidding Procedures PN, 30 FCC Rcd page 8986, paragraphe 16, note 52; coordination au Canada, paragraphe 2, note 4.

10	126	21	22	23	24	25	26	27	28	29	9	A	B	C	D	E	F	3	37	3	G	H	I	J	11	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
9	114	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	7	A	B	C	D	3	37	3	E	F	G	H	I	11	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
8	108	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	11	A	B	3	37	3	C	D	E	F	G	H	11	A	B	C	D	E	F	G	H	
7	84	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	3	A	B	C	D	E	F	G	11	A	B	C	D	E	F	G	
6	78	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	7	A	B	C	D	E	F	11	A	B	C	D	E	F		
5	72	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	11	A	B	C	D	E	11	A	B	C	D	E			
4	60	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	9	A	B	C	D	11	A	B	C	D			
3	48	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	7	A	B	C	11	A	B	C			
2	42	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	11	A	B	11	A	B				

Rapport SM.2523-A3-B

Le plan de bande prévu dans les enchères incitatives donnait également la possibilité de ne pas libérer la même quantité de spectre dans toutes les zones géographiques. Si, pour un objectif de libération donné, toutes les stations de télévision qui devaient être réaffectées ne pouvaient pas se voir attribuer un canal dans la partie inférieure de la bande, le logiciel d'optimisation de l'aménagement déterminait des attributions de canal dans la partie supérieure de la bande, ce qui a permis de minimiser les dégradations liées aux brouillages causés aux systèmes hertziens exploités. Le plan de la bande des 84 MHz auquel les enchères ont été clôturées ne présentait pas de telles dégradations.

### 1.4.3 Réaffectation pour une utilisation mobile

Les enchères incitatives en matière de radiodiffusion ont permis de réattribuer 84 MHz de spectre pour la radiodiffusion télévisuelle. Sur les 84 MHz réattribués, 70 MHz ont été attribués pour des utilisations souples sous licence, y compris le large bande mobile, et 14 MHz ont été mis à disposition pour une utilisation sans licence et des microphones sans fil. Sur les 19,8 milliards de dollars de recettes brutes des enchères à terme, 10,1 milliards de dollars ont été versés aux stations de radiodiffusion télévisuelle gagnantes et 7,3 milliards de dollars au Trésor fédéral<sup>15</sup>.

Les enchères ont créé un marché, le premier dans son genre, pour la réaffectation de fréquences exploitées à des fins commerciales en vue de nouvelles utilisations. Le modèle est l'un des fondements de l'avenir des réattributions de spectre aux États-Unis. Lors de réattributions antérieures, la FCC a déterminé la quantité de spectre réattribuée administrativement. Dans le cadre des enchères incitatives en matière de radiodiffusion, en revanche, la quantité de spectre réaffectée a été déterminée lors d'enchères bilatérales par l'offre des télédiffuseurs et par la demande des exploitants hertziens.

Après la conclusion des enchères incitatives, le passage à la bande d'ondes décimétriques réorganisée se fera aussi rapidement que possible sans provoquer de perturbations inutiles. Les stations de radiodiffusion qui ont cédé leurs licences dans le cadre des enchères incitatives ont été tenues de restituer leurs licences et de cesser leurs exploitations. Ces stations ont été autorisées à poursuivre l'exploitation de la radiodiffusion en concluant un accord de partage d'un canal avec une station qui n'a pas cédé sa licence.

Les stations réaffectées à un nouveau canal doivent passer de leurs canaux pré-enchères à de nouveaux canaux dans les bandes de la radiodiffusion télévisuelle réorganisées (canaux 2 à 36), conformément à un calendrier de changement de phase qui prévoit d'affecter les stations réaménagées à l'une des dix phases de transition. Chaque phase de transition comporte une date limite à laquelle les stations sont autorisées à commencer les essais et à fonctionner sur leur canal post-enchères (période d'essai) et une date à laquelle chaque station doit cesser de fonctionner sur ses canaux

<sup>15</sup> Le produit des enchères à terme net de crédits de soumission s'élevait à 19,3 milliards de dollars. Le produit servira également à rembourser les radiodiffuseurs non gagnants et les frais d'organisation des enchères.

pré-enchères (date d'achèvement de la phase). Aucune station ne sera autorisée à continuer à fonctionner sur son canal pré-enchères après le 13 juillet 2020.

## Annexe 4

### Étude de cas en Chine sur l'évaluation de l'efficacité du spectre

Le texte ci-dessous reflète les vues de l'administration contributrice.

Du point de vue des régulateurs du spectre radioélectrique, certaines administrations ont déjà mis en œuvre quatre facteurs pour évaluer l'efficacité d'utilisation du spectre; le régulateur des radiocommunications utilise les quatre facteurs suivants pour évaluer l'efficacité d'utilisation du spectre autorisé et caractériser l'utilisation réelle du spectre sous licence par des mesures et des données concrètes. Ainsi, l'efficacité d'utilisation du spectre peut être représentée sous un autre aspect, à savoir en utilisant les résultats des mesures effectuées sur quatre indicateurs: occupation de la bande de fréquences, occupation annuelle du temps, taux de couverture de la zone et taux d'acheminement vers les utilisateurs.

*L'occupation de la bande de fréquences* correspond au rapport entre la gamme de fréquences effectivement utilisable et la gamme de fréquences approuvée par l'administration.

*L'occupation annuelle du temps* désigne le rapport entre le nombre de jours (ou d'heures) réellement utilisés dans une année et le nombre de jours (ou d'heures) d'une année. En fonction de l'utilisation réelle, l'occupation journalière et mensuelle du temps doit être utilisée pour l'évaluation, ou combinée avec l'utilisation réelle des utilisateurs et des services radioélectriques.

Le *taux de couverture de la zone* correspond au rapport entre la zone d'utilisation effective (en km<sup>2</sup>) de la fréquence sous licence et la zone d'utilisation des fréquences approuvée par l'administration.

Le *taux d'acheminement vers les utilisateurs* désigne le rapport entre le nombre d'utilisateurs effectivement desservis en utilisant la fréquence sous licence et le nombre d'utilisateurs desservis qui a été évalué et attesté par des spécialistes.

Les quatre indicateurs susmentionnés peuvent donc être étudiés plus avant, car il est plus facile de les atteindre et de les mesurer, et ils peuvent être plus intuitifs pour évaluer l'efficacité (d'utilisation) du spectre.

---