



**DOCTORAT EN CO-ASSOCIATION ENTRE  
TELECOM ECOLE DE MANAGEMENT ET L'UNIVERSITE EVRY VAL D'ESSONNE**

Spécialité : Sciences économiques

Ecole doctorale : Sciences de la Société

Présenté par

**Alison BUNEL**

Pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE TELECOM ECOLE DE MANAGEMENT**

**L'analyse économique de l'utilisation partagée du spectre  
hertzien**

Soutenu le 03 juillet 2015

devant le jury composé de :

**Directeur de thèse :** **M. Denis LESCOP**, Maître de conférences à Télécom Ecole de Management, Habilité à diriger des recherches

**Rapporteurs :** **Mme. Joëlle TOLEDANO**, Professeure des universités à Centrale-Supélec  
**M. Gérard POGOREL**, Professeur à Télécom ParisTech

**Examineurs :** **M. Eric BROUSSEAU**, Professeur des universités à l'Université Paris-Dauphine  
**M. Thomas PEZ**, Professeur des universités à l'Université Paris-Dauphine  
**M. Gilles BREGANT**, Directeur Général de l'Agence Nationale des Fréquences

Thèse n°



*À ma mère,*



# Remerciements

Cette thèse est l'aboutissement de plus de trois années de travail. Je tiens à remercier les personnes qui m'ont accompagnée du début jusqu'à la fin ou à un moment ou un autre de ce travail de recherche.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, M. Denis LESCOP, pour m'avoir fait confiance puis pour m'avoir ensuite guidée, encouragée et conseillée, pendant plus de trois ans, tout en me laissant une grande liberté et en m'accordant des responsabilités dont j'espère avoir été à la hauteur.

Mes remerciements vont également à Mme Joëlle TOLEDANO. La réalisation de ce document est le résultat de nombreuses discussions, de conseils et d'encouragements qu'elle m'a offerts tout au long de cette recherche. En effet, j'ai eu la chance et le plaisir de participer à la mission ministérielle sur la gestion dynamique du spectre qui lui a été confiée. Je la remercie pour s'être investie jusqu'à la fin en m'ayant fait l'honneur de participer au jury de soutenance et d'être rapporteur de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi à Messieurs les professeurs Gérard POGOREL, Eric BROUSSEAU et Thomas PEZ, ainsi qu'à Monsieur Gilles BREGANT, Directeur général de l'ANFR, qui m'ont fait l'honneur d'accepter de lire et de juger ce travail.

Je remercie les équipes de l'ANFR, et en particulier, Bernard CELLI pour m'avoir accueillie dans son équipe à la Direction de la stratégie durant sept mois dans le cadre de la mission. L'agence a été un environnement de travail stimulant et très enrichissant. Enfin, je suis notamment reconnaissante à ma collaboratrice et collègue, Lison JULLIEN, pour sa relecture et ses conseils toujours très pertinents.

Je tiens à remercier la Fondation Télécom de l'Institut Mines-Télécom pour la formation, la recherche, l'innovation et la prospective, pour avoir financé cette thèse et pour m'avoir permis de réaliser mes recherches dans de bonnes conditions. J'adresse un grand merci à mon directeur de thèse et à Monsieur le professeur Marc BOURREAU qui sont à l'origine de ce sujet.

Je suis également reconnaissante à toutes les personnes qui m'ont consacré du temps en acceptant de relire tout ou partie de mon travail. Je remercie Monsieur le Professeur Yannick PEREZ pour son aide et ses précieux conseils. Merci à ma grande sœur pour son écoute, sa sincérité et ses relectures. Un grand merci également à Chloé et Jean-Louis pour les dernières relectures et derniers conseils.

De nombreuses autres personnes m'ont apporté leur soutien durant ce travail de thèse, parmi lesquelles Altay et Zarah avec qui j'ai pu partager les joies et les difficultés de la recherche, ainsi que Thomas qui a toujours partagé les papiers académiques et informations utiles à la compréhension de ce sujet. Merci à mes meilleures amies Claire, Sarah, Cécile et Amira pour leur appui, et merci à Robert pour m'avoir encouragée à faire cette thèse.

Enfin, je tiens à remercier Hamza pour avoir toujours su m'encourager et me soutenir avec tant de tendresse et de patience.

Mes derniers remerciements iront à ma famille et tout particulièrement à ma mère qui m'a toujours soutenue et encouragée dans ce que j'ai voulu entreprendre.



## Résumé

L'objectif de cette thèse est d'analyser l'impact d'un partage dynamique du spectre sur les modalités d'attribution de la ressource hertzienne et sur sa valorisation. Les caractéristiques physiques, techniques et économiques des fréquences radioélectriques rendent nécessaires une coordination et une planification nationale et internationale du spectre. En aval de cette coordination internationale sur la gestion du spectre, il existe à un niveau plus micro-analytique, trois méthodes de gestion et d'attribution du spectre radioélectrique : l'approche administrative, l'approche basée sur le marché et l'approche du spectre commun. Toutefois, ces dernières années ont été marquées par des problématiques de rareté et de sous utilisation des fréquences, lesquelles sont venues remettre en cause l'efficacité du système de gestion actuel. Mais l'apparition de nombreux changements technologiques, en particulier l'émergence de technologies intelligentes permettant une utilisation partagée du spectre, semble constituer une solution face à ces problèmes. En outre, ces technologies laissent entrevoir la possibilité d'une commercialisation et d'un transfert de droits du spectre sous diverses formes (échanges de spectre, courtage, transferts en temps réel). Sous ces considérations, la question s'est posée de savoir si cette ressource aux caractéristiques physiques bien particulières, jusqu'alors soumise à une gestion hyperspécialisée, pourrait un jour devenir un objet de commerce entre acteurs économiques. Cette problématique nous a conduits à recourir aux concepts de la théorie des coûts de transaction et à adopter une approche contractuelle du partage du spectre. Notre analyse pointe la diversité des transactions de droits de propriété dans le cadre d'une utilisation partagée. Partant d'une analyse des différentes structures de gouvernances, la thèse défendue est celle de la complémentarité des modes d'organisation des transactions de droits de propriété sur le spectre dans un monde de partage. Enfin, nous montrons la nécessité de recourir à des approches hybrides de valorisation de la ressource pour une gestion plus efficace dans un monde de partage.

**Mots-clés :** Spectre des fréquences radioélectriques, gestion du spectre, coûts de transaction, communications électroniques, institutionnalisme.



# Abstract

This thesis aims at analyzing the impact of dynamic spectrum sharing on the ways in which spectrum resources are assigned and valued. The physical, technical and economic characteristics of radioelectric frequencies make national and international coordination and planning of spectrum necessary. Below this level of international coordination of spectrum management, at a micro-analytic level, there are three methods for the management and assignment of radiofrequencies: the administrative approach (the command and control approach), the market-based approach, the spectrum commons approach. However, these past few years have been marked by problems of both scarcity and underuse of frequencies, bringing into question the efficiency of today's management system. The dawn of numerous technological innovations, in particular the emerging cognitive technologies allowing a shared use of spectrum, seems to constitute a solution to these issues. Furthermore, these technologies make it possible to imagine selling and transferring spectrum usage rights through several forms (spectrum exchange, brokering, real time trading). Hence, the emerging question of whether this resource with very particular physical characteristics, governed until now by hyper specialized management, could one day become an object of trade between economic actors. This issue leads us to use the concepts of transaction cost theory and to adopt a contractual approach of spectrum sharing. Our analysis shows the diversity of property rights trading in the framework of a shared use. Based on an analysis of several governance structures, we defend the thesis of complementarity between the different ways of organizing the spectrum property rights transactions in a world of sharing. Finally, we show, in a world of sharing, the need to apply hybrid resource valuing approaches for a more efficient management.

**Keywords:** Radio spectrum, spectrum management, transaction costs, electronic communications, institutionalism.



# Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I</b>	
Les caractéristiques et grandes modalités d’attribution du spectre hertzien	11
Introduction au premier chapitre.....	13
Section 1. L’environnement institutionnel .....	15
Section 2. Les modes de gouvernance pour l’attribution des fréquences .....	43
Conclusion du premier chapitre.....	93
<b>Chapitre II</b>	
<b>L’accès partagé et dynamique aux fréquences : un nouveau cycle dans l’attribution des fréquences .....</b>	
	95
Introduction au deuxième chapitre.....	97
Section 1. L’origine de la réforme.....	99
Section 2. Changement institutionnel : vers une utilisation collective du spectre.....	126
Conclusion du deuxième chapitre .....	144
<b>Chapitre III</b>	
<b>Le choix du mode d’organisation comme gouvernance des transactions : le cas de l’utilisation partagée du spectre. ....</b>	
	145
Introduction au troisième chapitre. ....	147
Section 1. Une approche contractuelle du partage.....	149
Section 2. Décryptage d’un futur arrangement institutionnel : l’accès partagé sous licence (LSA) .....	187
Section 3. Le partage efficace: un problème d’incitation .....	202
Conclusion du troisième chapitre .....	208
<b>Chapitre IV.....</b>	
	211
<b>La valorisation économique des fréquences dans un monde de partage .....</b>	
	211
Introduction au quatrième chapitre .....	213
Section 1. Principes de valorisation du spectre hertzien .....	214
Section 2. Partage et valorisation du spectre : réflexions économiques .....	244
Conclusion du dernier chapitre .....	254
Conclusion générale .....	255
Annexes.....	261
Bibliographie .....	327



# Liste des tableaux

Tableau 1 : Représentation simplifiée de l'allocation du spectre entre différents services.....	16
Tableau 2 : Les quatre types de biens.....	21
Tableau 3 : Classification française et de l'UIT .....	34
Tableau 4 : Liste des commissions consultatives de l'Agence .....	41
Tableau 5 : Les résultats des premières ventes aux enchères des licences PCS.....	51
Tableau 6 : Résultats des enchères 4G en France .....	57
Tableau 7 : Les enchères ECC en Europe .....	58
Tableau 8 : Les résultats des enchères 4G au Royaume-Uni.....	60
Tableau 9 : Les instruments du <i>market design</i> .....	64
Tableau 10 : Pourcentage de spectre loué et échangé en quantité de MHz/POPs aux États-Unis entre 2003-2013 .....	70
Tableau 11 : Les cessions de fréquences au RU (2008-2004).....	72
Tableau 12 : Modèle de marché vs. Modèle ouvert d'accès au spectre.....	84
Tableau 13 : Coûts du réaménagement vs. Partage.....	135
Tableau 14 : Les différentes modalités de réaménagement et de partage.....	137
Tableau 15 : Principales réaffectations de spectre en France 1992-2011.....	138
Tableau 16 : Le coût d'opportunité.....	142
Tableau 17 : Les dimensions de l'espace électromagnétique .....	152
Tableau 18 : Ensemble de faisceaux de droits de propriété dans le cas d'autorisation individuelle, générale et partagée .....	153
Tableau 19 : Les différents coûts de transaction définis par Williamson .....	159
Tableau 20 : Impact du partage dynamique sur les coûts de transaction.....	164
Tableau 21: Synthèse des attributs des transactions .....	172
Tableau 22 : Les mécanismes de coordination .....	172
Tableau 23 : Les caractéristiques de la gouvernance marchande .....	178
Tableau 24 : Les caractéristiques de la forme de gouvernance hybride .....	181
Tableau 25 : Les caractéristiques de la forme hiérarchique.....	183
Tableau 26 : Les principaux usages de la bande 2,3-2,4 GHz dans différents pays européens [Plum, 2013].....	194
Tableau 27 : La valeur économique du spectre au RU (2011) et aux US (2009) .....	215
Tableau 28 : La valeur économique du spectre en Europe (UE 27) en 2013 et 2023 .....	216
Tableau 29 : Répartition du spectre disponible par secteur en % de la quantité totale de spectre pondéré (RU, 2013) .....	220
Tableau 30 : Technologies et applications utilisant les bandes sans licence.....	223
Tableau 31 : Le surplus du consommateur généré par le Wi-Fi résidentiel en 2013 .....	229
Tableau 32: Le surplus du consommateur généré par Wi-Fi résidentiel [Thanki, 2012].....	229
Tableau 33 : Part du trafic internet mobile délesté sur le Wi-Fi.....	233
Tableau 34 : Le surplus des consommateurs généré par le déchargement du trafic de données mobiles sur le Wi-Fi gratuit .....	234
Tableau 36 : Surplus du producteur et du consommateur généré par le Wi-Fi des tablettes .....	238

Tableau 37 : Les ventes d'objets connectés pour la santé et la maison d'ici 2016.....	238
Tableau 38 : Les méthodes d'évaluation la valeur marchande du spectre.....	245
Tableau 39 : Les méthodes d'évaluation de la valeur sociale du spectre.....	246
Tableau 40 : Registre de la valeur du spectre .....	248
Tableau 41 : Les facteurs de valorisation du spectre.....	250

## Liste des figures

Figure 1 : Les bandes de fréquences de couverture et de capacité pour l'Europe pour la téléphonie mobile.....	17
Figure 2 : Ensemble des combinaisons de facteurs possibles (quantité de spectre, capital investi) pour un niveau d'output constant.....	19
Figure 3 : Capital investi vs. Courbe d'indifférence du spectre en 2014.....	20
Figure 4 : Le système de gouvernance mondial pour la gestion du spectre.....	27
Figure 5 : Organigramme de l'UIT .....	28
Figure 6 : Les trois régions définies par l'UIT .....	30
Figure 7 : Extrait du tableau d'attribution des bandes de fréquences.....	32
Figure 8 : Une gestion française du spectre à deux niveaux.....	40
Figure 9 : Économie des institutions.....	45
Figure 10 : Les bandes de fréquences désignées pour les applications industrielles, scientifiques, et médicales (ISM).....	79
Figure 11 : Le cadre réglementaire européen de la régulation .....	85
Figure 12 : Technologies cognitives et nouveaux modèles de partage du spectre.....	117
Figure 13 : Arbitrage microéconomique entre la consommation de spectre et bien d'efficacité spectrale .....	118
Figure 14 : Représentation d'une base de données pour l'utilisation des espaces blancs .....	120
Figure 15 : Nombre de sites/CAPEX en fonction des fréquences .....	169
Figure 16 : Continuum de possibilités de structures de gouvernance .....	174
Figure 17 : Les différentes formes du partage des infrastructures mobiles .....	185
Figure 18 : Le modèle américain de partage du spectre à 3 niveaux.....	191
Figure 19 : Représentation des zones d'exclusion et de protection.....	196
Figure 20 : Evolution de l'indice des prix en France (2010-2012) .....	217
Figure 21 : Les différents modes de connexion à internet à domicile en France (en %).....	225
Figure 22 : Nombre de <i>hotspots</i> Wi-Fi publics et communautaires semi-privés en France (2013-2018).....	232
Figure 23 : Nombre de <i>hotspots</i> Wi-Fi publics par lieu en France (2013-2018).....	233
Figure 24 : Distribution du trafic par type de connexion et de <i>hotspot</i> pour des utilisateurs de <i>smartphones</i> Android, janvier 2013.....	234
Figure 25 : Nombre de sites 2G/3G/4G en France (au 1 <sup>er</sup> octobre 2014)* .....	235
Figure 26 : Coûts annuels économisés dans le réseau grâce au délestage .....	235
Figure 27 : Evolution des ventes et du prix moyen des tablettes en France .....	237

## Liste des encadrés

Encadré 1 : Les brouillages dans le Règlement des Radiocommunications (RR).....	22
Encadré 2 : Exemples de cas de brouillages .....	24
Encadré 3 : Les principaux types d'enchères du spectre hertzien .....	53
Encadré 4 : Le cas des cessions de fréquences Wimax en France.....	74
Encadré 5 : L'origine du Wi-Fi .....	79
Encadré 6 : Efficacité spectrale, efficacité technique et efficacité économique .....	100
Encadré 7 : Les outils techniques pour la mise en œuvre du partage .....	120
Encadré 8 : Les coûts de transaction .....	158
Encadré 9 : Les différents types de délestage du trafic de données sur le Wi-Fi.....	231

## Liste des schémas

Schéma 1 : Conception du marché hybride (avec utilisation des RC).....	124
Schéma 2 : Les textes majeurs encadrant la politique du spectre et la réforme vers un accès partagé au spectre.....	128
Schéma 3: Le partage du spectre <i>overlay</i> et <i>underlay</i> .....	154
Schéma 4 : Deux exemples de partage du spectre sous licence .....	188

# Liste des abréviations et acronymes

<b>ADSL</b>	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
<b>AFP</b>	Appareil de Faible Portée
<b>ANFR</b>	Agence Nationale des Fréquences
<b>ANSI</b>	<i>American National Standards Institute</i>
<b>APT</b>	Télécommunauté de l'Asie Pacifique
<b>ARCEP</b>	Autorité de régulation des communications électroniques et des postes
<b>ARN</b>	Autorités de Régulation Nationales
<b>ASA</b>	<i>Authorised Shared Access</i>
<b>AUF</b>	Autorisation d'Utilisation des Fréquences
<b>BLR</b>	Boucle Locale Radio
<b>C&amp;C</b>	Commandement et Contrôle
<b>CAPEX</b>	<i>Capital Expenditure</i> ou dépenses d'investissement
<b>CCE</b>	Comité des communications électroniques
<b>CE</b>	Commission Européenne
<b>CEPT</b>	Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications
<b>CMR</b>	Conférence Mondiale des Radiocommunications
<b>CPCE</b>	Code des postes et des communications électroniques
<b>CPF</b>	Commission de planification des fréquences
<b>CPL</b>	Courant Porteur en Ligne
<b>RC</b>	Radio Cognitive
<b>SRC</b>	Système de Radio Cognitive
<b>CSA</b>	Conseil Supérieur de l'Audiovisuel
<b>CUS</b>	<i>Collective Use of Spectrum</i>
<b>DAB</b>	Diffusion audio numérique ( <i>Digital Audio Broadcasting</i> )
<b>DECT</b>	<i>Digital Enhanced Cordless Telephone</i>
<b>DFS</b>	<i>Dynamic Frequency Selection</i>
<b>DVB-T</b>	<i>Digital Video Broadcasting</i>
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<b>FCC</b>	<i>Federal Communication Commission</i>
<b>FDD</b>	<i>Frequency Division Duplex</i>
<b>FH</b>	Faisceau Hertzien
<b>GPSR</b>	Groupe pour la Politique du Spectre Radioélectrique
<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i>
<b>GRE</b>	Groupe des régulateurs européens dans le domaine des réseaux et des services de communications électroniques
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>GSMA</b>	GSM Association
<b>GSM-R</b>	<i>Global System for Mobile communications – Railways</i>
<b>HSPDA</b>	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<b>IMT</b>	<i>International Mobile Telecommunications</i>

<b>IoT</b>	<i>Internet of Thing</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>LSA</b>	<i>Licensed Shared Access</i>
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i>
<b>M2M</b>	<i>Machine to Machine</i>
<b>MIMO</b>	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
<b>OCDE</b>	Organisation de Coopération et de Développement économiques
<b>OIV</b>	Opérateur d'Importance Vitale
<b>OPEX</b>	<i>Operational Expenditure</i> ou dépenses de fonctionnement, d'exploitation
<b>PC</b>	<i>Personal Computer</i>
<b>PMR</b>	<i>Private Mobile Radiocommunications</i>
<b>PMSE</b>	<i>Programme making and special events applications</i>
<b>PPDR</b>	<i>Public Protection and Disaster Relief</i>
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>
<b>R&amp;TTE</b>	<i>Radio and Telecommunications Terminal Equipment</i>
<b>R&amp;TTE ADCO</b>	<i>Radio and Telecommunications Terminal Equipment Administrative Cooperation</i>
<b>R&amp;TTE CA</b>	<i>Radio and Telecommunications Terminal Equipment Compliance Association</i>
<b>RFID</b>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<b>RLAN</b>	Réseaux locaux radioélectriques
<b>RR</b>	Règlement des Radiocommunications
<b>RRS</b>	<i>Reconfigurable Radio Systems</i>
<b>RSCom</b>	Comité du spectre radioélectrique
<b>RSPG</b>	<i>Radio Spectrum Policy Group</i>
<b>RSPP</b>	<i>Radio Spectrum Policy Program</i>
<b>SDL</b>	<i>Supplemental Downlink</i>
<b>SDR</b>	<i>Software Defined Radio</i>
<b>TCAM</b>	<i>Telecommunication Conformity Assessment and Market Committee</i>
<b>TCT</b>	Théorie des coûts de Transaction
<b>TDD</b>	<i>Time Division Duplex</i>
<b>TNRBF</b>	Tableau National de Répartition des Fréquences
<b>TNT</b>	Télévision Numérique Terrestre
<b>TV</b>	Télévision
<b>TVWS</b>	<i>TV White Spaces</i>
<b>UHF</b>	Ultra Haute Fréquence
<b>UIT</b>	Union Internationale des Télécommunications
<b>ULB</b>	Ultra Large Bande (ou UWB pour <i>Ultra Wide Band</i> )
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
<b>UP</b>	Utilisateur Primaire
<b>US</b>	Utilisateur Secondaire
<b>WGSE</b>	<i>Working Group Spectrum Engineering</i>
<b>Wi-Fi</b>	<i>Wireless Fidelity</i>



---

# Introduction générale

---

*« In Essence, economics is the study of property rights over scarce resources (...). The allocation of scarce resources in a society is the assignment of rights to uses the resources »*

A. Alchian<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> A. Alchian « Pricing Society » Ocasional paper n°17, Westminster, Institute of Economics Affairs, 1967.

Le spectre des fréquences radioélectriques a un impact considérable sur l'économie. Il est l'input, la matière première, de toutes les communications sans fil. Le spectre hertzien est en effet une ressource clé pour des services sans fil que nous utilisons au quotidien (télévision, téléphonie mobile, portes de garage automatiques, wifi, etc.), mais également une ressource clé pour la fourniture de services plus critiques (services publics de sécurité et de défense, radars météo, transports, etc.). Les modalités de gestion et d'attribution de cette ressource ont donc un impact sur de nombreux domaines comme ceux de l'économie marchande, de la sécurité, de la santé, de la culture, de la science, de la société, de l'environnement et de la technologie<sup>2</sup>.

Le spectre des fréquences radioélectriques est composé de bande de fréquences qui s'étendent de 9 kHz à 3000 GHz. Une bande de fréquences est donc une partie continue du spectre hertzien limitée par deux valeurs exprimées en kilohertz (kHz), mégahertz (MHz) ou gigahertz (GHz). À l'instar de l'énergie, de l'eau ou encore de la terre, le spectre hertzien est une ressource naturelle. Mais le bien spectral n'est pas un bien ordinaire. Contrairement à d'autres ressources naturelles comme l'eau ou les forêts, le spectre ne peut être épuisé et ignore les frontières. Le spectre est donc disponible n'importe où et partout, et dès lors qu'une fréquence radio n'est plus utilisée, elle est instantanément réutilisable pour tout autre dispositif. Néanmoins, c'est une ressource rare, d'une part, parce que les fréquences qui peuvent être exploitées sont limitées (9 kHz à 3000 GHz), et d'autre part, parce que l'utilisation simultanée et non contrôlée d'une même fréquence par deux acteurs au même endroit peut créer des brouillages entre les services. Au surplus, c'est également une ressource hétérogène puisque les bandes de fréquences qui composent le spectre radioélectrique n'ont pas les mêmes caractéristiques physiques.

Toutes ces caractéristiques du spectre en font sa force et sa faiblesse. Sa force, car cette ressource n'a pas de frontières et permet à tout pays et à tout utilisateur, où qu'il soit, d'y accéder. Sa faiblesse, car les risques de brouillage de deux systèmes situés dans une même bande ou dans des bandes adjacentes sont réels et sont une fonction croissante du nombre d'utilisateurs et de services ayant accès au spectre. Ainsi, afin de permettre la répartition du spectre entre les différents utilisateurs et entre les différents pays et services, l'intervention de la puissance publique s'est révélée indispensable. L'intervention de l'État se traduit par une gestion administrative du spectre à trois niveaux : au niveau mondial à l'Union Internationale des Télécommunications (UIT), au niveau régional dans le cadre de la Conférence Européenne des Postes et des Télécommunications (CEPT) pour l'Europe, et au niveau national dans chaque État. Ces trois niveaux représentent le cadre institutionnel de la gestion du spectre, c'est-à-dire, l'environnement institutionnel de la dimension macro-analytique de la gestion du spectre. L'accès et l'attribution du spectre aux utilisateurs finals constituent, quant à eux, la dimension micro-analytique du mode d'organisation pour le transfert de droits d'usage

---

<sup>2</sup> Voir Commission Européenne [2012] : Position (UE) No 4/2012, 2012.

---

sur les fréquences. Ces deux niveaux d'analyse sont indissociables et s'influencent puisque les éléments macro constituant la gestion du spectre encadrent les modes d'accès au spectre et les acteurs économiques, soit les éléments plus micro.

Les caractéristiques et les particularités physiques du spectre hertzien, marquées par de fortes exigences de coordination technique entre les différents acteurs et types de services utilisant le spectre, ont conduit à une gestion technique du spectre essentiellement faite par des ingénieurs. La nécessité d'une coordination technique, combinée au caractère « public » du bien spectral, a été à l'origine de l'approche autoritaire de « commandement et de contrôle<sup>3</sup> » pour la gestion et l'attribution des fréquences. Toutefois, à côté de cette gestion technico-hiérarchique, deux autres modes d'attribution ont émergé : (i) la création des marchés primaires et secondaires du spectre et (ii) la définition de fréquences libres pour un usage collectif et un accès gratuit au spectre. Aujourd'hui, ces deux modes d'accès au spectre doivent également faire face à de nouveaux changements et une nouvelle réforme pour un accès partagé et dynamique au spectre est en train d'éclorre.

L'usage des fréquences peut conduire à la création de brouillages qui viennent perturber la fourniture des services finaux. Ces brouillages sont qualifiés en économie d'externalités négatives. La littérature économique a montré qu'il existe deux façons d'internaliser les externalités : soit en ayant recours à l'intervention publique [Pigou, 1920], soit en ayant recours au marché [Coase, 1960]. L'organisation internationale de la gestion du spectre et sa déclinaison au niveau européen et national, illustrent l'intervention publique par excellence. Bien que l'intervention de la puissance publique à l'échelon mondial n'ait jamais été remise en cause, la gestion administrative du spectre au niveau des États a été l'objet d'un premier mouvement de contestation, aux origines économiques, qui démontra la possibilité de traiter le spectre comme un bien privé.

Le père fondateur de la théorie des coûts de transaction, Ronald Coase, va écrire en 1959 un article dans lequel il sera très critique envers la méthode d'attribution des fréquences employée par la *Federal Communication Commission* (FCC) [Coase, 1959]. Dans cet article, Coase suggère qu'il serait plus efficace d'assimiler les attributions de spectre à des droits de propriété et il propose de fait, la création d'un marché des fréquences. Ce débat donnera lieu dans les années 1990 aux premières ventes aux enchères du spectre. L'introduction des mécanismes du marché et de la théorie économique dans un monde technique, où la gestion et les attributions de bandes de fréquences aux différents services reposent sur des études scientifiques des ondes radioélectriques, va venir complètement bouleverser la façon de gérer les fréquences.

Les années 1990 sont alors à la croisée de deux mondes marquant à la fois la fin du débat qui consistait à s'interroger sur la possibilité d'attribuer le spectre à travers un système des prix, et la naissance d'un nouveau débat sur l'ouverture à tous, sous conditions, de certaines bandes de

---

<sup>3</sup> Sous le régime de « commandement et de contrôle » (*Command & Control*), la puissance publique fixe les modalités d'utilisation, la technologie à utiliser, et les services pouvant être fournis sur une bande de fréquence.

fréquences. Ce nouveau cycle poussé par des ingénieurs va recentrer la réflexion sur les caractéristiques techniques du spectre laissant entrevoir la possibilité d'une gestion plus polyvalente du spectre.

Le succès du Wi-Fi résultant de l'ouverture de bandes de fréquences marque ainsi une nouvelle étape. L'émergence d'innovations technologiques permettant d'accroître les possibilités d'utilisation du spectre et de valoriser des fréquences que l'on croyait inutilisables, va conduire à reconsidérer la façon dont la ressource peut être gérée et utilisée. Alors que ces fréquences ouvertes, prétendument inexploitable, avaient été qualifiées de « bandes oubliées », c'est aujourd'hui tout un écosystème qui repose dessus. La technologie a alors modifié l'utilité de certaines fréquences, considérées comme « inutiles », pour en faire une source d'innovation et de croissance économique.

À côté de la possibilité de détenir des bandes exclusives ou d'utiliser des bandes en commun, la possibilité d'une utilisation partagée et dynamique d'une bande de fréquences, entre un utilisateur primaire (titulaire de droits de propriété exclusifs lui permettant l'occupation du spectre) et un ou des utilisateurs secondaires dépourvus de droits, a émergé. Cette idée de partage du spectre est apparue, d'une part, suite à l'émergence de technologies intelligentes et d'accès dynamique au spectre permettant d'améliorer l'efficacité spectrale, et d'autre part, face à la difficulté des gestionnaires du spectre à trouver de nouvelles bandes de fréquences exclusives disponibles pour de nouveaux services. L'évolution des usages suite au développement du service de radiodiffusion au cours de la dernière décennie a conduit à une augmentation croissante de la demande en bande passante. Avec la pénétration dans les ménages des terminaux de réception (récepteur radio et télévision) et plus récemment avec l'évolution de la téléphonie mobile, le consommateur européen a très largement bénéficié des progrès technologiques du secteur des télécoms : les débits ont augmenté, l'accès au réseau est devenu nomade, les prix des services et des terminaux sont devenus nettement plus abordables, l'usage des technologies s'est largement simplifié et popularisé. Néanmoins, ces évolutions posent la question de la rareté et de la congestion dans le spectre.

Sous la pression de l'augmentation des usages, l'enjeu de la gestion et de l'utilisation efficace du spectre redevient une question centrale. De nombreuses études ont montré l'existence d'espaces blancs, d'espaces inutilisés du spectre, et donc, en corollaire, l'existence potentielle d'inefficacités socio-économiques. Pour les plus optimistes, les avancées technologiques et techniques d'accès dynamique au spectre permettraient, dans un futur proche, de traiter le spectre comme un bien standard. Ainsi, les utilisateurs qui ne disposeraient pas de droits de propriété, pourraient acheter une partie de ces droits *via* un marché en temps réel à des usagers, titulaires de fréquences qu'ils sous-utilisent. **Mais si l'impact du progrès technique sur les ajustements d'offre et de demande en spectre n'est plus à prouver, il est beaucoup moins évident au regard de l'organisation institutionnelle actuelle que la technologie puisse banaliser la ressource spectrale de telle façon que celle-ci soit**

**échangée en temps réel sur des marchés, à l'instar des marchés *spots* de différentes matières premières.**

Le bouleversement que les radios cognitives et les technologies d'accès dynamique au spectre semblent introduire, réside dans l'idée que les usagers du spectre pourront prochainement établir entre eux des contrats privés, spécifiés de manière à gérer les problèmes de brouillages aux niveaux national et international, afin de se transférer des titres de propriété. Face à l'émergence de ces nouvelles technologies, on observe ainsi de nouveaux paradigmes concernant l'utilisation et le partage du spectre. De nombreux acteurs étudient la possibilité de laisser à des utilisateurs secondaires (dépourvus de fréquences) le droit d'exploiter le spectre radioélectrique sous-utilisé par certains utilisateurs primaires (titulaires de fréquences). Les articles académiques et rapports publics sur le sujet se multiplient. Certains proposent la création de marché secondaire hybride du spectre radioélectrique, lequel se décompose d'un marché à terme et un marché au comptant, permettant à des utilisateurs secondaires d'acheter du spectre sous licence, soit au moyen de contrats prédéfinis *via* le marché à terme, soit par des transactions au comptant. L'instauration d'un marché *spot* en temps réel du spectre est même évoquée tout comme la création d'un indice boursier du spectre<sup>4</sup>.

Sans aller jusqu'à la réalisation d'un marché *spot* du spectre, de nouveaux paradigmes ont déjà commencé à être discutés dans différents organismes de réglementation et de normalisation. Par exemple en Europe, la définition de règles et d'un cadre réglementaire pour permettre l'accès partagé sous licence (LSA pour *Licensed Shared Access*) a débuté en bande 2,3-2,4 GHz tandis qu'aux États-Unis, un rapport du Conseil Présidentiel des Conseillers en Science et Technologie<sup>5</sup> a proposé un modèle d'accès au spectre sur trois niveaux qui permettrait à des utilisateurs titulaires de louer une partie de leurs fréquences à des utilisateurs secondaires en échange de compensations monétaires. Face à ces considérations sur l'utilisation efficace du spectre qui prennent de plus en plus d'importance à l'aune d'une réforme sur l'utilisation partagée et dynamique des fréquences, il nous semblait important de reconsidérer l'ensemble du débat économique afin de dégager des éléments de réponse à la question suivante :

**Dans un monde de partage, le spectre peut-il devenir un objet de commerce entre acteurs économiques ?**

Ces considérations précédentes nous ont amenés à mobiliser le cadre théorique de l'économie institutionnelle, et plus particulièrement, l'économie des coûts de transaction. Nous avons souhaité privilégier un cadre théorique qui nous permette d'analyser l'utilisation partagée et dynamique du spectre tout en restant ancré dans l'environnement institutionnel existant. Dès lors, nous avons écarté les cadres théoriques de la théorie des jeux ou de l'organisation

<sup>4</sup> L'indice boursier peut être établi en fonction de données financières provenant d'une pluralité de sociétés cotées en bourse et de données relatives au spectre Voir le brevet "System and method for establishing an index for spectrum used to support wireless communications" US 8290848 B2, <http://www.google.com/patents/US8290848>

<sup>5</sup> PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology

industrielle, lesquels auraient permis de modéliser les échanges de spectre entre les agents à un niveau micro-économique, mais sans tenir compte des deux niveaux d'analyse nécessaires à l'atteinte des objectifs de cette recherche.

En effet, on ne saurait faire l'impasse sur l'analyse de l'environnement institutionnel qui constitue le premier niveau d'analyse. Initié par Douglas North [1990, 1991] pour l'analyse du rôle des institutions, l'environnement institutionnel représente l'ensemble des règles du jeu comme les règles politiques, sociales et légales, les droits de propriété, les contrats, etc. En définissant des droits de propriété, l'environnement institutionnel existant fournit un cadre nécessaire à l'accès et à l'échange de droits d'usage sur le spectre. Pour North, les institutions sont des contraintes qui encadrent et organisent les relations entre les individus. Ces contraintes peuvent être formelles (lois, décisions, règlements, etc.) ou informelles (normes, coutumes, etc.). Dès lors, l'analyse de l'environnement institutionnel est importante car elle permet de comprendre la structure des droits de propriété. Les droits de propriété s'inscrivent dans les contraintes formelles (lois, décrets, directives, etc.). Ainsi, lorsqu'un acteur détient un droit de propriété sur une fréquence il détient aussi un ensemble d'opportunités que d'autres acteurs n'auront pas. Les licences exclusives d'exploitation de fréquences hertziennes représentent sans nul doute l'exemple le plus manifeste.

Dans un environnement institutionnel donné, il existe donc un rapport de force entre les acteurs qui agissent à l'intérieur. Ces acteurs, à la recherche d'une attribution des droits de propriété qui leur serait plus favorable, vont constamment chercher à faire évoluer l'attribution initiale de ces droits en modifiant la structure des règles politiques. Ainsi, dans le cas de notre analyse de l'utilisation partagée des fréquences, l'importance des institutions ne peut être négligée puisque se sont ces institutions qui influencent en grande partie le mode de coordination entre les acteurs. En France par exemple, l'appartenance du spectre au domaine public hertzien conditionne les modes d'attribution des droits d'usage, de même que la réglementation européenne a un impact sur les modes d'organisation de transaction de droits d'usage du spectre. L'enjeu est de garder à l'esprit que différents éléments macro pèsent sur les dispositifs organisationnels et que la mise en place d'un nouveau dispositif organisationnel des transactions ne pourra être efficace que s'il prend forme à l'intérieur d'un environnement institutionnel approprié.

Le deuxième niveau d'analyse est celui des organisations ou structures de gouvernance, lesquelles constituent le niveau micro-analytique des transactions de droits d'usage sur la ressource spectrale. Dans cette perspective, nous nous intéressons aux transactions, lesquelles sont au cœur de l'activité économique. Les transactions sont l'unité de base de l'analyse néo-institutionnelle et plus particulièrement, de l'économie des coûts de transaction. En outre, la Théorie des Coûts de Transaction (TCT) va permettre de caractériser les difficultés transactionnelles particulières à une utilisation partagée du spectre. Nous nous appuyons sur le concept des droits de propriété et sur les outils analytiques de la TCT (spécificité des actifs, structure de gouvernance, opportunisme et rationalité limitée, etc.) pour proposer un cadre

général permettant d'analyser les relations contractuelles entre les titulaires du spectre et les nouveaux utilisateurs, et comparer des modes alternatifs de coordination des transactions dans le cadre d'un modèle de partage du spectre.

Les droits de propriétés, établis et attribués à travers des contrats, définissent les transactions par lesquelles ces droits sont transférés entre les individus sous respect du cadre légal. Au niveau micro, les utilisateurs (privés et publics) négocient les droits au sein d'une structure de gouvernance des transactions ayant vocation à minimiser les coûts de transaction. Au regard de la théorie économique standard, le marché concurrentiel est un système efficace qui conduit à une allocation optimale des ressources entre les agents économiques. Sous cet angle, améliorer l'utilisation du spectre supposerait donc que la coordination des agents se fasse par un système des prix. Mais nous cherchons à analyser si la nature des transactions dans le cadre d'un partage est sensible à la gouvernance de marché ou si elle nécessite une institution de gouvernance adaptée. L'analyse des caractéristiques transactionnelles pour le transfert de droits de propriété entre agents nous permettra d'explorer la zone des arrangements se situant entre le marché et la hiérarchie.

Ainsi, en analysant les modes de coordination entre agents économiques, la théorie institutionnelle analyse trois éléments à la fois : l'environnement institutionnel, les arrangements institutionnels et les acteurs économiques et sociaux, tout en tenant compte de leurs interactions. L'approche transactionnelle apparaît idéale pour étudier les transactions de droits d'usage sur la ressource hertzienne entre différents acteurs dans le cadre d'un partage. Cette approche positiviste nous permet de rester dans la réalité du sujet en tenant compte de l'environnement institutionnel existant, environnement dans lequel les gestionnaires du spectre doivent évoluer et prendre des décisions au quotidien. Ils ne peuvent de ce fait y faire abstraction.

L'objet de cette thèse est donc une analyse économique institutionnelle de la ressource hertzienne face aux considérations techniques actuelles sur l'utilisation partagée du spectre. Plus particulièrement, notre démarche consiste à analyser si l'introduction des radios cognitives et technologies d'accès dynamique au spectre peut conduire les usagers du spectre à établir des contrats privés spécifiés de manière à gérer les problèmes de brouillages aux niveaux national et international afin de se transférer des titres de propriété. Il s'agit d'évaluer la gouvernance adéquate des relations contractuelles qui se noueront entre des utilisateurs primaires et secondaires dans le cas d'un partage de la bande de fréquences et d'analyser si cette structure de gouvernance<sup>6</sup> va dans le sens d'une commercialisation du spectre. Dans cette perspective, différents dispositifs de coordination sont étudiés en fonction du partage dynamique envisagé, puis, selon la nature des transactions (transferts de droits de propriété entre les utilisateurs) nous analysons dans quelle mesure un marché *spot* du spectre est réalisable.

---

<sup>6</sup> Nous nous inscrivons dans le cadre des travaux de Williamson et nous entendons par « structure de gouvernance » la forme organisationnelle dans laquelle se déroule une transaction.

Par ailleurs, l'analyse de l'utilisation partagée du spectre nous amènera au sujet très controversé de la valorisation du spectre. Ce sujet, très débattu, joue un rôle important dans la gestion de la demande en bande de fréquences et l'allocation entre les usages. Par exemple, la méthode d'actualisation des flux de trésorerie, ou celle de parangonnage international, sont des méthodes de valorisation très utilisées lorsque le spectre a vocation à être utilisé pour la fourniture de services commerciaux. Toutefois, ces dernières ne tiennent pas compte de la valeur sociale du spectre. Celle-ci peut être mesurée par d'autres approches à l'instar d'une analyse coûts/bénéfices ou d'une évaluation du bien-être des individus. La difficulté dans un monde de partage est d'arriver à une approche hybride permettant de mesurer la valeur socio-économique d'une fréquence notamment lorsque celle-ci est utilisée à la fois pour la fourniture de services commerciaux et pour la fourniture de services publics. La rareté nous amène à reconsidérer les différentes approches afin d'arriver à une utilisation plus efficace du spectre et satisfaire les besoins de la société.

\*        \*

\*

La thèse est structurée en quatre chapitres. Pour résoudre la problématique ci-dessus mentionnée nous avons dû passer par plusieurs niveaux d'analyse et procéder par étapes en répondant à différentes sous-questions :

1. Qu'est ce que le spectre des fréquences radioélectriques ? Comment est-il géré ? Quels sont les grands débats et réformes qui ont modifié les modalités d'attribution et de gestion de celui-ci ?
2. Qu'est-ce l'utilisation partagée et dynamique du spectre (origines, concepts et modalités de partage) ? Quelle est la justification d'une réforme vers un spectre plus partagé ?
3. Quelles sont les caractéristiques des transactions dans le cas d'un partage et les dispositifs nécessaires à l'organisation de ces transferts de droits ?
4. Comment valoriser le spectre dans un monde de partage ?

Les quatre chapitres tenteront d'apporter des éléments de réponse à chacune des sous-questions précédentes. Notre démarche est donc progressive. Elle permet, d'une part, de rappeler les spécificités de la ressource spectrale au regard de la théorie économique, et d'autre part, de mettre en perspective les différentes procédures d'allocation déjà existantes avec les problèmes auxquels elles sont confrontées. Cette thèse vise à apporter des éléments de réponses face aux grands débats économiques de la gestion du spectre, tout en alimentant les réflexions actuellement menées sur l'utilisation partagée et dynamique.

## **Chapitre I. Les caractéristiques et grandes modalités d'attribution du spectre hertzien**

Pour accomplir cette recherche, il nous semble impératif de revenir sur les modes de gestion et modalités d'attribution de la ressource spectrale. Le premier chapitre revient ainsi sur les débats économiques et les réformes ayant conduit à l'évolution des modes d'attribution de

---

droits d'usage sur le spectre. Il offre une analyse des caractéristiques spécifiques du bien spectral en revenant sur ses aspects physiques, techniques et économiques. A cet effet, il montre que ces caractéristiques justifient la mise en place d'une gestion hyperspécialisée des fréquences radioélectriques, soit une gestion administrative et plutôt rigide du spectre qui se fait à trois niveaux : au niveau mondial, au niveau régional et au niveau national (section 1).

Par ailleurs, ce chapitre analyse les grands débats économiques et les réformes de la gestion du spectre radioélectrique qui ont conduit à deux nouveaux modes d'attribution des fréquences : la création de marchés des fréquences et la mise en commun de certaines bandes de fréquences (section 2). L'analyse de ces modes d'attribution illustre l'impact de l'environnement institutionnel sur la structure de gouvernance. Face au phénomène de brouillages, les instruments de commandement et de contrôle ont été la première réponse des gouvernements pour attribuer le spectre aux usagers. Toutefois, l'inefficacité de ce modèle a conduit à la recherche de solutions alternatives. La conduite d'une réforme de « dérèglementation » à travers la création de droits de propriété sur la ressource a été adoptée et différents mécanismes d'allocation ont été expérimentés (loteries, soumissions comparatives, enchères). Le marché ne s'est pas totalement substitué à l'État et le pouvoir d'arbitrage des autorités réglementaires a conduit à la création de marchés régulés des fréquences. Au surplus, suite à sa décision de mettre à disposition des fréquences pour un usage collectif (bande Wi-Fi notamment), l'État a transféré une partie de ses droits de propriété à un ensemble d'utilisateurs mais à la condition que ces derniers respectent certaines conditions d'utilisation. La mise en perspective de ces deux modèles d'attribution de la ressource illustre la difficulté de créer des titres de propriétés non altérés sur la ressource hertziennes<sup>7</sup>.

Après avoir situé le contexte de notre réflexion, les chapitres suivants se focalisent sur la nouvelle réforme de la gestion du spectre pour un accès dynamique et partagé des fréquences hertziennes.

## **Chapitre II. L'accès partagé et dynamique aux fréquences : un nouveau cycle dans l'attribution des fréquences.**

Le deuxième chapitre fournit l'arrière plan, soit l'ensemble des éléments permettant de comprendre qu'est-ce que l'utilisation partagée et dynamique du spectre et quel est son intérêt dans le système actuel. Il met en évidence les forces et les faiblesses du système actuel de gestion du spectre et les facteurs de changements qui remettent en cause la forme d'organisation traditionnelle des transferts de droits de propriété sur le spectre (section 1). Ce chapitre aborde de ce fait la question de la sous-utilisation du spectre et des espaces blancs. Face à une utilisation inefficace de la ressource spectrale et face à l'augmentation des besoins en capacité, les différents acteurs du secteur ont commencé à envisager un partage plus

---

<sup>7</sup> Un droit de propriété est non altéré s'il permet à un agent d'utiliser, d'allouer, et de jouir du bien qu'il possède sans contraintes sur l'usage et sur les gains liés à celui-ci.

---

intensif du spectre. Grâce aux analyses de retour d'expériences de certains industriels du secteur (avec interviews d'experts et d'industriels<sup>8</sup>), un état des lieux sur les besoins en fréquences a pu être dressé, intégrant tous les utilisateurs du spectre de façon à rompre avec une vision trop souvent limitée aux usages commerciaux des communications électroniques. Cette mise en perspective montre que le partage des fréquences entre les différents utilisateurs, rendu possible par les technologies de cinquième génération (5G) et d'accès dynamique au spectre, constitue une solution de premier rang face au problème de rareté des fréquences.

Ce chapitre revient également sur les actions de la Commission Européenne en faveur d'un partage du spectre et de l'introduction des technologies intelligentes sur le marché (section 2). Il montre que l'utilisation partagée du spectre est une option intéressante, d'une part, parce que le réaménagement d'une fréquence est un exercice difficile, long, et coûteux, et d'autre part, parce que le partage du spectre permet de diminuer les coûts de coordination et de transaction et d'améliorer l'efficacité spectrale.

### **Chapitre III. Les dispositifs de coordination réalisables des transactions dans le cadre d'une utilisation partagée**

Le troisième chapitre porte sur l'unité d'analyse de la thèse, soit les transactions de spectre dans le cadre d'une utilisation partagée du spectre. Ce chapitre aborde l'utilisation partagée du spectre comme une transaction de droits de propriété choisis parmi un ensemble de faisceaux de droits (*bundle of rights*). Le partage du spectre est alors vu comme un contrat et l'arrangement contractuel retenu devra être celui qui minimise les coûts de transaction. Ce chapitre s'inscrit ainsi dans la lignée des travaux contemporains de la théorie des coûts de transaction et de l'approche contractuelle de l'allocation des ressources. Il mobilise les concepts de la théorie des coûts de transaction pour étudier les attributs des transactions pour l'accès aux fréquences et les met en correspondance avec les modes d'organisation des transactions connus, ce qui permet d'expliquer pourquoi plusieurs structures de gouvernance coexistent (section 1).

À travers une étude de cas, celle du partage de la bande 2,3-3,4 GHz entre des utilisateurs gouvernementaux et commerciaux en France, ce chapitre montre que le partage du spectre peut dans certains cas augmenter la spécificité des actifs et rendre les transactions spécifiques (section 2). Dès lors, il confirme que l'idéal d'un marché *spot* en temps réel du spectre semble restreint à un ensemble de transactions particulières.

---

<sup>8</sup> Ma participation à la Mission Ministérielle confiée à Madame Joëlle Toledano sur la gestion dynamique du spectre m'a permis de participer aux 80 auditions d'organisations publiques et privées en majorité françaises, réalisées dans le cadre de cette mission. Comme l'indique le rapport, divers acteurs ont été auditionnés tels que les principaux affectataires, les autorités de régulation ou administrations, des PME, des grandes entreprises et industriels des communications électroniques, de l'audiovisuel ou de l'informatique, et les principaux organismes publics internationaux (UIT, Ofcom, Commission Européenne, OCDE). Pour plus d'information voir le rapport « Une gestion dynamique du spectre pour l'innovation et la croissance » à <http://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/rapport-gestion-dynamique-spectre-2014-06-30.pdf>.

Enfin, suite à l'analyse des premières expérimentations de partage des fréquences, ce chapitre étudie quels sont les freins à un partage efficace du spectre (section 3). Il montre comment la rareté du spectre influe sur le comportement des acteurs et propose un ensemble d'instruments économiques incitatifs pour un partage plus efficace des fréquences radioélectriques.

#### **Chapitre IV. La valeur et la valorisation économique des fréquences dans un monde de partage**

L'analyse de l'utilisation partagée du spectre nous amène au quatrième chapitre qui étudie l'impact du partage sur la valorisation économique du spectre. Il montre que l'utilisation partagée du spectre entre différents acteurs économiques nécessite de revoir la façon dont le spectre doit être valorisé (section 1). En effet, dans un contexte de rareté, la question de la valorisation du spectre est cruciale. Or, jusqu'alors peu d'attention a été portée sur la valorisation des fréquences partagées. L'analyse des valeurs générées par les différents services montre qu'il y a certain biais à ne tenir compte que de l'aspect marchand du spectre. La « monétisation » du spectre ne peut pas être systématique, puisqu'à côté de l'aspect marchand il y a d'autres critères qui nécessitent d'être pris en compte pour estimer la valeur d'une fréquence. Les fréquences libres (gratuites et sans attributaires exclusifs) en sont un exemple probant : à l'origine qualifiées de « bandes poubelles », c'est aujourd'hui tout un écosystème qui repose dessus. Elles contribuent de ce fait à favoriser la croissance et l'innovation. Ainsi, bien qu'elles soient gratuites, elles ne sont pas pour autant dépourvues de valeur économique. Ce chapitre fait ainsi une estimation de leur valeur économique en France en 2013 afin d'illustrer leur importance.

Ce dernier chapitre montre également que pour valoriser le spectre dans un monde de partage il est nécessaire de tenir compte d'un ensemble de considérations qui ne se résument pas toujours à l'aspect financier induit par la transaction. Il soutient l'idée que le spectre ne peut pas devenir un pur objet de commerce entre les usagers pour la simple raison que la monétisation des fréquences, même si elle incite à une utilisation plus efficace de la ressource, ne doit pas être le seul objectif (section 2). Pour délivrer la meilleure valeur du spectre, les gouvernements doivent prendre en considération la valeur économique et sociale du spectre, mais également la valeur d'option lorsque l'incertitude et l'irréversibilité d'une décision sont trop importantes, notamment face à une rareté croissante de la ressource.

Finalement, la conclusion générale clôt ce travail de recherche par plusieurs éléments de réflexion et de discussion provenant des enseignements personnels tirés de cette recherche et des pistes futures de recherche que celle-ci a pu offrir.

# Chapitre I

## Les caractéristiques et grandes modalités d'attribution du spectre hertzien

<b>Section 1. L'environnement institutionnel .....</b>	<b>15</b>
1.1. Les caractéristiques physiques, techniques et économiques du spectre .....	15
1.2. La gouvernance multi-niveaux de la gestion du spectre .....	26
1.3. Conclusion de la première section. <i>Le spectre une ressource publique, rare et réglementée</i> .....	42
<b>Section 2. Les modes de gouvernance pour l'attribution des fréquences .....</b>	<b>43</b>
2.1. L'encastrement des transactions dans leur environnement institutionnel .....	43
2.2. La création de marchés régulés des fréquences .....	46
2.3. L'ouverture des fréquences .....	78
2.4. Conclusion de la deuxième section. <i>Sortir de la vision télécom stricto sensu</i> .....	92
<b>Conclusion du chapitre 1.....</b>	<b>92</b>



## Introduction au premier chapitre

Il existe trois méthodes d'attribution des fréquences. La première, de « commandement et contrôle » (*Command and Control*), permet aux pouvoirs publics de décider unilatéralement de l'utilisation du spectre. Il s'agit d'un modèle purement administratif qui s'appuie essentiellement sur l'autorité centrale. L'attribution se fait au fil de l'eau selon la règle du premier arrivé, premier servi. Pour accéder aux fréquences, les demandeurs de spectre sont soumis à certaines normes et conditions, lesquelles sont souvent stipulées dans un cahier des charges. Les autorités centrales assignent les fréquences en accordant des licences à des utilisateurs spécifiques et pour des usages spécifiques, laissant peu de marge de manœuvre pour s'adapter aux innovations technologiques. Dès les années 1930, cette approche traditionnelle représentait la méthode conventionnelle dans le monde pour gérer le spectre. Néanmoins, dès les années 1960, les critiques et contestations à l'égard de ce mode d'attribution ont conduit à l'ouverture d'un cycle de réflexion sur la gestion efficace des fréquences. Cette réflexion, qui durera près de trente années, se soldera par la mise en œuvre d'un nouveau mode d'attribution des fréquences, celui des droits de propriétés (*property rights*).

L'attribution de droits de propriété sur les fréquences par des procédures concurrentielles a pour objectifs : (i) d'attribuer le spectre aux acteurs qui le valorisent le mieux au moyen de procédures claires, équitables, transparentes, objectives et rapides, (ii) de garantir un accès exclusif au spectre, et (iii) de protéger l'utilisateur des brouillages. Cette méthode concurrentielle est fréquemment utilisée. En France, l'attribution des dernières licences de téléphonie mobile pour les réseaux de quatrième génération (bande 2,6 GHz et bande 800 MHz) a suivi ce type de procédure. Ainsi, les années 1990 marquent, avec les premières enchères dans le spectre, l'aboutissement d'un cycle de réflexion poussé par des économistes, mais également le début d'un nouveau cycle, conduit cette fois-ci par des ingénieurs, lequel conduira à la troisième forme d'attribution des fréquences : l'ouverture de fréquences à tous les utilisateurs (*Commons*).

Cette nouvelle méthode ne nécessite pas l'assignation ou l'octroi de licences à des utilisateurs individuels, et permet un accès immédiat au spectre sans avoir besoin de demander une autorisation individuelle. Afin d'éviter tout risque de brouillage, l'utilisation de ces fréquences libres est soumise à des règles techniques et des normes strictes. Ce modèle de coexistence a fait ses preuves et a donné naissance à de nombreux succès, notamment celui du Wi-Fi.

L'existence mais surtout la cohabitation de différents modes de gestion et d'attribution des fréquences (attribution centralisée, axée sur les mécanismes de marché, ou en commun), transcrit la diversité des usagers du spectre et des services que celui-ci permet de fournir. Cette évolution des modes d'attribution de la ressource spectrale a amené les économistes de différents courants (économie publique, droit économique, économie institutionnelle) à s'aventurer dans le domaine de la gestion du spectre que le spécialiste (bureaucrate et

ingénieur) considérait comme relevant de son domaine de compétences. C'est dans la continuité de ce mouvement qu'a récemment émergé le modèle de l'utilisation partagée et dynamique du spectre. La gestion des fréquences a évolué au gré des différentes méthodes d'attribution et d'accès au spectre. Ce premier chapitre revient ainsi sur les deux premiers cycles de réflexion qui ont conduit à deux modèles de gestion des fréquences : le modèle axé sur les mécanismes de marché et le modèle du spectre ouvert, gratuit et sans attributaire exclusif.

Avant d'étudier les différents modes d'attribution du spectre, nous exposons dans la première section les caractéristiques multidimensionnelles de cette ressource afin d'en expliquer la gestion. La description des caractéristiques physiques, techniques et économiques de la ressource hertzienne va permettre de mieux comprendre les spécificités de la gestion internationale du spectre et son environnement institutionnel. Plutôt que de présenter le spectre comme un bien juridique<sup>9</sup>, nous faisons une présentation économique du bien spectral, ce qui permet d'appréhender l'intégralité des enjeux économiques liés à son utilisation.

Dans la seconde section, nous abordons les différents modes d'attribution du spectre hertzien. Nous revenons sur l'article fondateur de Coase [1959]. Cet article, en plus de faire entrer le spectre dans le cercle des économistes institutionnalistes, a apporté un nouveau regard sur les caractéristiques techniques du spectre radioélectrique. De nouvelles hypothèses sur la définition du bien spectral ont conduit à le traiter comme un bien privé à caractère public (public dans le sens où il est réglementé, et non pas public au sens de la classification économique). Suite à l'émergence des technologies numériques, des droits de propriété sur le spectre ont été attribués à des entreprises privées pour des durées déterminées, voire indéterminées<sup>10</sup>. La gestion privée du spectre apparaît alors comme un nouveau mode de gouvernance plus efficace que la gestion centralisée d'attribution de licences<sup>11</sup>. L'analyse de ce premier changement de mode de gouvernance permet de faire le lien entre l'environnement institutionnel et la création d'un marché régulé des fréquences. Dans un second temps, nous abordons l'ouverture des bandes de fréquences et le succès du Wi-Fi. La décision d'ouvrir des bandes de fréquences a fait apparaître le spectre sous un nouveau jour : celui d'un bien commun. Alors associées à la fameuse tragédie des communs par les opposants à l'ouverture du spectre, les bandes sans licence, soumises à une régulation technique, connaissent néanmoins un franc succès et viennent redéfinir les frontières de la rareté dans le spectre.

---

<sup>9</sup> En droit, le spectre appartient au domaine public et les ondes restent la propriété de l'État. Néanmoins des droits d'usage sont accordés à divers exploitants. L'État a la possibilité de transférer une partie de ces droits. En économie, plutôt que de parler de droit d'usage, on parle de droits de propriété. Un droit de propriété est défini juridiquement par un droit d'occupation du spectre (« usus »), un droit d'utiliser le spectre à sa convenance (« abusus »), et un droit de tirer des revenus de son exploitation (« fructus »).

<sup>10</sup> Par exemple, les États Membres peuvent accorder des droits d'utilisation de durée indéterminée.

<sup>11</sup> Nous parlons de mode, de structure de gouvernance au sens de Williamson [1985, 1991, 1996]. Pour Olivier Williamson, économiste américain et prix Nobel d'économie en 2009, les transactions sont effectuées au sein de structures de gouvernance. Les différents choix de structures organisationnelles dépendent des coûts de transaction associés à l'échange.

## Section 1. L'environnement institutionnel

Contrairement à la gestion d'autres ressources naturelles étudiées très tôt à travers le prisme économique, la gestion du spectre est longtemps restée cantonnée au milieu très fermé des ingénieurs. Cette gestion technique de la ressource spectrale se justifie en raison de ses propriétés physiques, techniques et même économiques (1.1). La découverte par l'Homme, dans les années 1890, de l'existence des ondes radioélectriques et de leur capacité à transmettre des informations, conduira rapidement au développement de nombreux services, nécessitant l'instauration d'une gestion collective de cette ressource commune à l'Humanité. Le caractère mondial de la ressource a conduit dans un premier temps à l'établissement de consensus au sein d'une assemblée de représentants des États. Dans un second temps, l'organisation de la gestion du spectre se fait à trois niveaux : au niveau mondial, régional et national (1.2.).

### 1.1. Les caractéristiques physiques, techniques et économiques du spectre

Le spectre est un bien multidimensionnel complexe. Ces caractéristiques physiques (1.1.1.), techniques (1.1.2.) et économiques (1.1.3.) en font un bien hautement spécifique.

#### 1.1.1. Les caractéristiques physiques du spectre

Les caractéristiques physiques des ondes radioélectriques font du spectre un bien hétérogène. En fonction de la fréquence utilisée, la propagation du signal et la vitesse de transmission varient. Par exemple, les fréquences les plus basses ont une portée plus étendue et sont donc propices à des communications longues distances. Elles sont ainsi utilisées pour des liaisons par satellite et pour de la radiodiffusion vers les pays éloignés. En revanche, les fréquences élevées sont idéales pour des émissions de courtes portées à l'intérieur d'un bâtiment par exemple. L'unité de fréquence est le hertz (Hz) (cf. **Annexe I.1.** Bandes de fréquences et longueurs d'onde). Les fréquences ayant les capacités de propagation et les débits les plus intéressants pour les services en mobilité sont celles inférieures à 1 GHz. Ces dernières années, l'émergence et le développement de ces applications ont donc conduit à une forte appétence des industriels pour ces fréquences, dites « fréquences en or ».

Bien que le spectre soit un bien hétérogène, il peut être découpé, d'un point de vue technique, en plusieurs tranches de bandes de fréquences ayant chacune des caractéristiques relativement homogènes (cf. Tableau 1). Ensuite, au fur et à mesure des innovations technologiques et de l'émergence de nouveaux services, ces bandes sont attribuées à différents services.

Le découpage tel qu’il est représenté dans le tableau 1 est donc le résultat d’un processus pour moitié historique et pour moitié technique. Les deux grandes catégories de services de radiocommunication sont les services de terre et les services spatiaux (cf. **Annexe I.2.** Les grandes catégories de services de radiocommunication).

**Tableau 1 : Représentation simplifiée de l’allocation du spectre entre différents services**

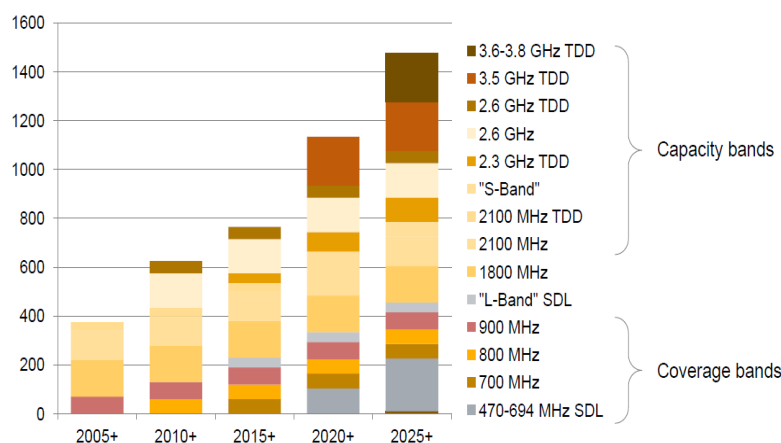
Gamme de fréquences	Exemples d’usage
30 à 300 kHz	Radiodiffusion (grandes ondes) Radionavigation et mobile maritime
300 à 3 000 kHz	Radiodiffusion (ondes moyennes) Radionavigation et mobile maritime (détresse)
3 à 30 MHz	Radiodiffusion (ondes courtes) Mobile maritime et aéronautique
30 à 300 MHz	Radios FM et télévision hertzienne Mobile terrestre et aéronautique
300 à 3 000 MHz	Télévision hertzienne Mobile terrestre (GSM, UMTS) Mobile par satellite Radionavigation (GPS, Galileo), radars
3 à 30 GHz et 30 à 300 GHz	Faisceaux hertziens Télécom et télévision par satellite Radioastronomie, recherche spatiale, radars

Les caractéristiques d’une bande de fréquences jouent même à l’intérieur d’une gamme de fréquences. Par exemple, dans la gamme de fréquences utilisée pour la téléphonie mobile, certaines seront utilisées pour faire de la couverture<sup>12</sup> tandis que d’autres seront utiles en matière de capacité de propagation et de débit<sup>13</sup> (cf. Figure 1). Ces considérations sont importantes car certaines fréquences, en l’occurrence les fréquences basses, permettent de couvrir le territoire à un coût plus faible. Étant donné que la couverture est plutôt bien avancée dans certains services, les prochaines années pourraient voir une préférence pour les fréquences plus hautes, préférables pour faire de la capacité.

<sup>12</sup> Les fréquences les plus basses ont une portée plus grande que les ondes radio de fréquences plus élevées. Dans ce cas la zone de couverture est plus importante.

<sup>13</sup> Les fréquences plus hautes ont une capacité plus élevée mais une zone de couverture moins bonne.

**Figure 1 : Les bandes de fréquences de couverture et de capacité pour l'Europe pour la téléphonie mobile**



Source : Nokia Solutions & Networks, 2014<sup>14</sup>

### 1.1.2. Les caractéristiques techniques

Le spectre ne peut pas être stocké. Il n'y a donc pas de coût de stockage même lorsque la bande de fréquence est thésaurisée puisque cette ressource est immatérielle. De plus, c'est un bien qui n'a pas besoin d'être produit. Cependant, son utilisation nécessite d'investir dans des technologies, ce qui nous conduit à le considérer comme une **ressource dépendante de la technologie**. En effet, les fréquences en elles-mêmes ne permettent pas la production de services. Ce sont les ondes qui sont à l'origine de la création des services sans fil qui le permettent. Ces ondes sont créées par le couple fréquence/technologie (émetteur, récepteur). Le spectre est donc un **actif spécifique** puisque « sa productivité dépend de l'articulation harmonieuse de son usage avec celui des technologies constituant un autre facteur de production »<sup>15</sup>.

L'hétérogénéité du spectre a une influence sur la caractéristique de ces technologies que nous qualifions de biens d'usage du spectre<sup>16</sup>. Les principales caractéristiques physiques de la fréquence qui jouent sur la nature du service et sur la configuration des technologies sont les suivantes : (i) sa longueur d'onde ; (ii) sa qualité de propagation (plus exactement

<sup>14</sup> SDL : *Supplemental Downlink* ou capacité additionnelle descendante, désigne une technologie qui permet à un opérateur d'accroître son débit dans le sens descendant et de répondre ainsi à une asymétrie grandissante entre les débits transmis vers les terminaux (*smartphones*, tablettes) et ceux envoyés de ces derniers. TDD : *Time-Division Duplex* est une technique permettant à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission de séparer dans le temps l'émission et la réception.

<sup>15</sup> Selon Brousseau [1989] : « Un actif est spécifique lorsque sa productivité dépend d'une articulation harmonieuse de son usage avec celui d'un autre facteur de production déterminé ». Si cette notion d'actif spécifique est abordée dans les présents développements, c'est un élément sur lequel nous reviendrons dans le chapitre III.

<sup>16</sup> Les biens d'usage du spectre sont les différentes technologies ou équipements qui consomment du spectre (émetteurs/récepteurs) ou qui ont une influence sur la quantité de spectre à utiliser pour fournir un service (technologie analogique, numérique, de partage du spectre, etc.).

l'affaiblissement de propagation) ; et (iii) la directivité, laquelle joue sur le type d'antenne à utiliser pour émettre, capter et recevoir le champ électromagnétique.

Par ailleurs, les technologies utilisées ont un impact sur les brouillages susceptibles de se produire. Ces derniers peuvent être d'origine géographique lorsqu'il n'est pas possible de confiner l'émission d'un signal radioélectrique dans un espace géographique. Ils peuvent aussi provenir des équipements qui laissent généralement passer de l'énergie en dehors de la bande qu'ils utilisent. C'est pourquoi le choix et le fonctionnement des appareils destinés à utiliser une fréquence doivent satisfaire aux dispositions réglementaires internationales. De même, il est nécessaire de choisir les appareils d'émission, de réception et de mesure qui respectent au mieux les progrès les plus récents de la technique.

**Le spectre est surtout un facteur de production complémentaire et substituable au capital investi dans le réseau.** En effet, l'industrie du sans fil repose sur deux ressources distinctes (ou facteurs de production permettant la fourniture de service sans fil). Une première, naturelle, est le spectre des fréquences, l'autre est constituée des infrastructures de réseaux (faisant partie des autres facteurs de production). Les fréquences et les infrastructures (investissements dans les équipements et le réseau) sont donc des facteurs de production complémentaires. Toutefois, le spectre est une ressource limitée et rare. Le réseau, quant à lui, pose la question du déploiement et du coût lié à sa densification afin d'assurer la construction et le maintien d'une certaine capacité. Le spectre et l'infrastructure de réseau sont donc des ressources essentielles, car pour l'une comme pour l'autre, il est indispensable d'y avoir accès pour exercer une concurrence effective vis-à-vis du détenteur.

Par exemple, une entreprise qui souhaite réaliser une production  $Q_f$  aura besoin de détenir une quantité  $S$  de spectre et une quantité  $A$  d'autres facteurs de production (équipement, capital investi). La quantité de spectre et le type d'équipements dépendront de l'utilisateur et du service qu'il souhaite fournir<sup>17</sup>.

La fonction de production représente la relation entre les facteurs de production ( $S$  et  $A$ ) et le produit que l'on peut atteindre avec ces facteurs ( $Q$ ).

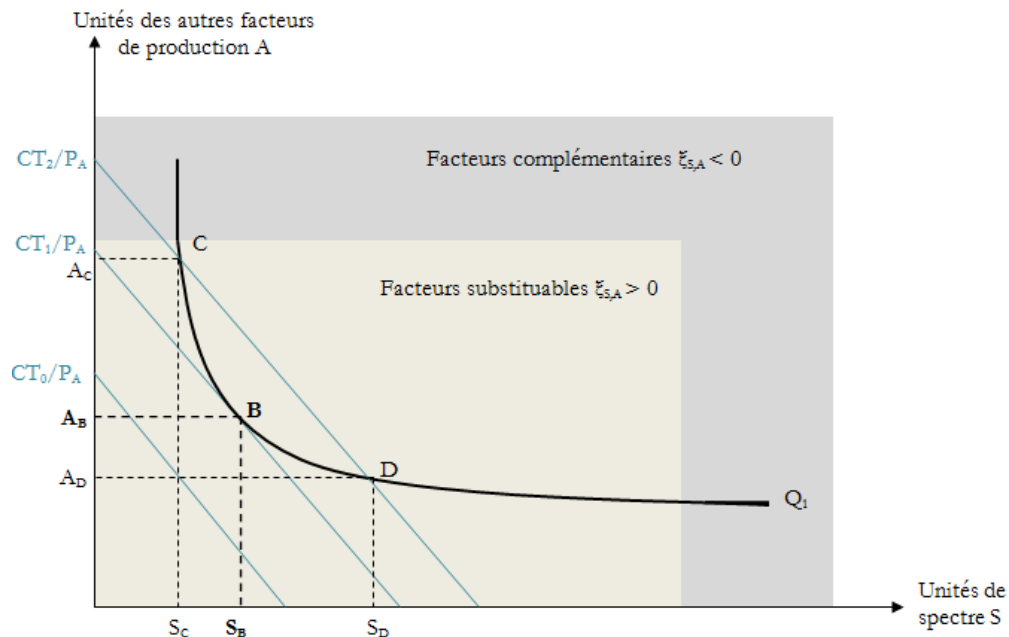
$$Q = q(S, A)$$

On regarde la courbe d'isoproduit (ou isoquante). Sur le graphe ci-dessous la contrainte de production est représentée par l'isoquante relative à la production  $Q_f$ . Les trois droites d'isocoût sont parallèles. Elles correspondent aux trois niveaux de coût total (avec  $CT_0 < CT_1 < CT_2$ )

---

<sup>17</sup> La section 1.2. du chapitre II offre un état des lieux des usagers actuels et des nouveaux acteurs.

**Figure 2 : Ensemble des combinaisons de facteurs possibles (quantité de spectre, capital investi) pour un niveau d'output constant**



### Explications

Le producteur souhaite réaliser le volume de production  $Q_1$  en minimisant ses coûts. Les prix unitaires des facteurs étant fixés, il va chercher à minimiser le coût total  $CT = P_S * S + P_A * A$  sous la contrainte de production  $Q_1 = q(S, A)$

$$\text{On a } A = CT/P_A - S * (P_S/P_A)$$

La droite d'isocoût  $CT_0$  ne peut être atteinte, sauf à remettre en cause l'objectif de production  $Q_1$ .

La droite d'isocoût  $CT_2$  peut être atteinte aux points C et D mais au prix d'une augmentation des coûts de production puisque  $CT_1 < CT_2$  (déplacement de la droite d'isocoût vers la gauche). Avec  $CT_1$  la production  $Q_1$  est atteinte à un coût plus faible. La combinaison des facteurs de production  $(A_B, S_B)$ , définie par le point B, est alors optimale.

Néanmoins, du point de vue de l'efficacité spectrale<sup>18</sup> la combinaison optimale est  $(S_C, A_C)$  car le producteur utilise moins d'unité de spectre ( $S_C < S_B < S_D$ ) pour produire également  $Q_1$ . Cependant en sacrifiant des unités de spectre par une augmentation des unités des autres facteurs de production, le producteur augmente ces coûts de production ( $CT_2 > CT_1$ ). **Cela explique pourquoi certains acteurs économiques préfèrent détenir du spectre ( $S_B > S_C$ ) plutôt que d'investir dans le réseau.** La combinaison  $(A_D, S_D)$  est sous optimale du point de vue de l'efficacité spectrale (car  $S_D > S_B$ ), et également sous optimale pour le producteur (car  $CT_2 > CT_1$ ).

L'efficacité technique dépend du rapport des prix entre les facteurs de production S et A. Si le prix du spectre diminue, comme les facteurs sont substituables, le producteur préférera détenir plus de spectre que de l'autre facteur de production. A l'inverse, si le prix du spectre augmente, les producteurs vont utiliser une technique de production plus intensive en facteur de production A qu'en spectre S. L'instrument économique qui consiste à tarifier le spectre apparaît être un outil efficace pour atteindre l'efficacité technique et spectrale.

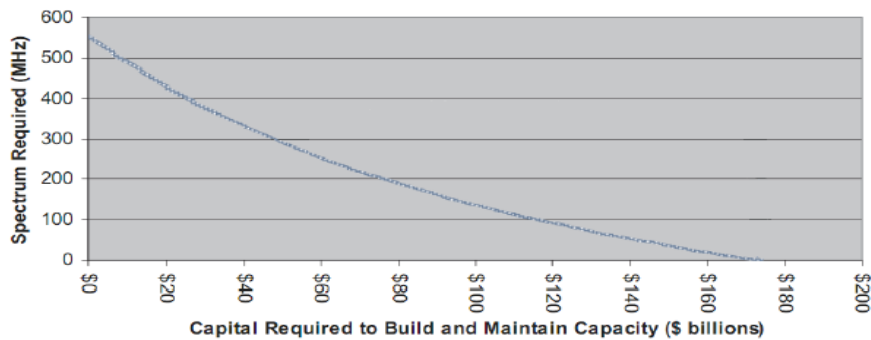
<sup>18</sup> L'efficacité spectrale consiste à maximiser le nombre de bits transmis par seconde et par hertz. Elle se mesure par le débit de la source en bits/s sur la bande passante du canal en Hz (soit bits/s/Hz). Voir Encadré 5.

Il existe trois moyens pour augmenter la capacité d’un réseau : (i) détenir plus de spectre, (ii) augmenter le capital investi dans le réseau, et (iii) investir dans des technologies plus performantes. Ainsi, le spectre  $S$  et les autres facteurs de productions  $A$  sont dans une certaine mesure des facteurs substituables. Toutefois, il est impossible de produire un service sans fil sans fréquences, ce qui fait du spectre un facteur de production complémentaire aux autres facteurs de production. La difficulté est d’avoir à la fois des facteurs de production complémentaires ( $\xi_{S,A} < 0$ ) mais également substituables ( $\xi_{S,A} > 0$ ).

$$\xi_{S,A} = \frac{\frac{\Delta qs}{qs}}{\frac{\Delta pa}{pa}} = \frac{\Delta qs}{\Delta pa} * \frac{\Delta qs}{qs}$$

Hatfield et Ax [1988] ont utilisé un modèle mathématique illustrant le compromis qui existe entre « détenir plus de fréquences » et « augmenter le capital investi » dans le réseau cellulaire. La *Federal Communication Commission* (FCC) a également montré que la capacité cellulaire permettant de soutenir les services de haut débit mobile en 2014 aurait pu être atteinte avec différentes combinaisons de spectre et de capital investi dans le réseau [FCC, 2010a]. La figure 3 indique qu’avec un investissement de 175 milliards de dollars supplémentaires dans les réseaux cellulaires aux États-Unis les opérateurs n’auraient pas eu besoin de fréquences supplémentaires en 2014 pour satisfaire la demande. Ce graphique illustre pourquoi la rareté du spectre est parfois qualifiée d’artificielle : la technologie pour rendre le spectre plus disponible existe, mais elle a un coût.

**Figure 3 : Capital investi vs. Courbe d’indifférence du spectre en 2014**



Source: [FCC, 2010a]

Ce point est d’autant plus crucial dans un contexte de rareté où la disponibilité en fréquences s’amenuise. Si l’objectif des pouvoirs publics est l’utilisation efficace du spectre, il convient d’inciter les utilisateurs finals à utiliser la quantité minimale de spectre pour leur production.

### 1.1.3. Les caractéristiques économiques

#### 1.1.3.1. Une ressource publique et rare

Le spectre est une ressource à caractère public. Le caractère public du bien spectral ne s'entend pas au sens de la classification des biens économiques, laquelle se fait en fonction des critères de rivalité et d'exclusion dans l'usage. Le spectre est une ressource à caractère public car son utilisation nécessite d'être réglementée. En effet, si le spectre était un bien public au sens de la classification économique cela signifierait que ce dernier est non exclusif et non rival dans l'usage (cf. Tableau 2). Or techniquement, le bien spectral est non-exclusif et rival (bien commun), tandis que juridiquement il peut être rival et exclusif dans l'usage (bien privé).

**Tableau 2 : La classification économique des biens**

	<b>Non-exclusion</b> (difficile et coûteuse)	<b>Exclusion</b> (facile et peu coûteuse)
<b>Non-rivalité</b>	Bien public, ou bien collectif pur (ex : défense nationale)	Bien de club (ex : club de sport)
<b>Rivalité</b>	Bien en commun, ou bien collectif impur (ex : forêt)	Bien privé (ex : un ordinateur)

*Source* : d'après Lévêque [2004]

Un bien est non-exclusif dans l'usage lorsqu'il n'est pas possible d'écarter un agent de sa consommation, y compris ceux qui ne participent pas à son financement. Et un bien est non rival dans l'usage, s'il peut être consommé simultanément par plusieurs agents sans que la quantité consommée par l'un diminue les quantités encore disponibles pour les autres. De ce fait, en dehors de la classification économique apportée par le tableau 2, nous considérons le spectre comme un bien public dans le sens où celui-ci est réglementé et où de nombreux services publics dépendent de son accès.

Les propriétés de rivalité et de non-exclusion peuvent toutefois être utiles pour caractériser certaines bandes de fréquences. Par exemple, les bandes de fréquences exclusives accordées à un individu sont équivalentes à un bien privé, elles sont rivales et exclusives à l'usage. Par contre, les bandes de fréquences ouvertes, gratuites, et sans attributaires exclusifs, sont un bien en commun car il n'y a pas d'exclusion par les prix. Néanmoins, l'accès doit se faire sous le respect de certaines règles car il y a rivalité dans l'usage : l'utilisation simultanée d'une fréquence par de nombreux individus sans restriction d'usage est source de brouillages.

#### 1.1.3.2. Un bien rival dans l'usage : l'existence de brouillages

Le spectre est utilisé pour fournir des services de radiocommunications. Nous venons de voir également que c'est un bien dépendant de la technologie. La fourniture d'un service de radiocommunication implique l'émission ou la réception d'ondes radioélectriques à des fins spécifiques de télécommunication. Mais la fourniture de ce service peut être perturbée ou interrompue dans le cas où il y a présence de brouillages. En général, on distingue deux

sources de brouillages : les **interférences co-canal** et les **interférences en canal adjacent**. Les interférences co-canal proviennent de la réutilisation d'une même fréquence par deux émetteurs. Si deux émetteurs A et B utilisent la même fréquence, des interférences mutuelles peuvent se créer si la séparation géographique entre ces deux émetteurs n'est pas suffisante. Les interférences en canal adjacent sont dues à l'utilisation de fréquences voisines, c'est-à-dire lorsque les émetteurs A et B utilisent des canaux proches. Lorsque le récepteur est loin de l'émetteur utile et très proche de l'émetteur en canal adjacent, un signal interférent peut être reçu en plus du signal utile. Les interférences sont susceptibles de provoquer un brouillage, c'est-à-dire une perturbation du service qui peut être plus ou moins grave. Les causes de brouillages dans le spectre sont multiples, elles peuvent être naturelles et indépendantes de l'activité humaine ou peuvent résulter de défauts techniques ou d'ingénierie [Chaduc, 2005]. Les États ont défini trois types de brouillages en fonction de leur intensité : le brouillage admissible, le brouillage accepté ou le brouillage préjudiciable (cf. Encadré 1).

#### **Encadré 1 : Les brouillages dans le Règlement des Radiocommunications (RR)**

**Brouillage** : « Effet, sur la réception dans un système de radiocommunication, d'une énergie non désirée due à une émission, à un rayonnement ou à une induction (ou à une combinaison de ces émissions, rayonnements ou inductions), se manifestant par une dégradation de la qualité de transmission, une déformation ou une perte de l'information que l'on aurait pu extraire en l'absence de cette énergie non désirée » [Disposition 1.166 du RR].

**Brouillage admissible** : « Brouillage observé ou prévu, qui satisfait aux niveaux de brouillage et aux critères quantitatifs de partage fixés dans le présent Règlement ou dans des Recommandations de l'UIT-R ou encore dans des accords particuliers dont la possibilité est prévue dans le présent Règlement » [Disposition 1.167 du RR].

**Brouillage accepté** : « Brouillage supérieur à celui défini comme admissible, qui a fait l'objet d'un accord entre deux ou plusieurs administrations sans porter préjudice aux autres administrations » [Disposition 1.168 du RR].

**Brouillage préjudiciable** : « Brouillage qui compromet le fonctionnement d'un service de radionavigation ou d'autres services de sécurité ou qui dégrade sérieusement, interrompt de façon répétée ou empêche le fonctionnement d'un service de radiocommunication utilisé conformément au Règlement des radiocommunications (CS) » [Disposition 1.169 du RR].

Coase [1959] a défini les notions de bruits, d'interférences ou encore de brouillages dans le spectre, comme des externalités négatives. La notion d'effet externe ou externalité a été préalablement caractérisé par Pigou [1920] comme suit :

« Here the essence of the matter is that one person A, in the course of rendering some service, for which payment is made, to a second person B, incidentally also renders services or disservices to other persons (not producers of like services), of such a sort that payment cannot be exacted from the benefited parties or compensation enforced on behalf of the injured parties » [Pigou, 1920, p.183, §10].

Pigou [1920] considère qu'en présence d'externalités négatives, l'État doit intervenir en imposant un système de taxes permettant de réduire l'écart entre coût social et coût privé. Pour l'auteur, l'internalisation des externalités se fait par le recours à des instruments réglementaires et administratifs (procédure administrative de commandement et contrôle dans le cas du spectre). L'externalité « pigouviennne » peut alors s'interpréter en tant qu' « externalité parétienne »<sup>19</sup> dans le sens où la présence d'une externalité empêche les mécanismes du marché de réaliser un équilibre optimal. Cet équilibre optimal est l'équilibre obtenu dans une situation Pareto optimale, c'est-à-dire dans une situation où il n'est pas possible d'améliorer le bien-être d'un individu sans détériorer celui d'un autre.

Plus tard, dans son article « *The Problem of Social Cost* », Coase [1960] introduit la notion de coûts de transaction. Sachant que les coûts de transaction ne peuvent pas être négligés dans la vie réelle, Coase [1960] propose de créer des institutions qui minimisent les coûts de transaction. L'auteur considère que c'est l'inexistence de marchés et non pas leur défaillance qui entraîne une allocation non optimale des ressources. Il analyse le problème sous un autre angle et argumente que :

« The traditional approach has tended to obscure the nature of the choice that has to be made. The question is commonly thought of as one in which A inflicts harm on B and what has to be decided is: how should we restrain A? But this is wrong. We are dealing with a problem of a reciprocal nature. To avoid the harm to B would inflict harm on A. The real question that has to be decided is: should A be allowed to harm B or should B be allowed to harm A? The problem is to avoid the more serious harm» [Coase 1960, p.2].

Ainsi, pour Coase, c'est l'absence de droits de propriété correctement définis qui est source d'externalité. S'agissant du spectre hertzien, un an avant son article « *The problem of social cost* », il avançait l'idée d'internaliser les externalités négatives dans le spectre en définissant des droits de propriété sur la ressource [Coase, 1959].

Les visions de Pigou [1920] et de Coase [1960] permettent de comprendre les choix des modes de réglementation du spectre. Les institutions publiques sont chez Pigou sensées intervenir pour corriger les défaillances de marché (externalités négatives), tandis qu'elles sont pour Coase responsables des défaillances du marché puisque la réglementation publique qu'elles appliquent ne cherche pas à créer le système de droits de propriété nécessaire au marché. C'est dans ce sillage que Demsetz [1968] proposera de supprimer les agences de réglementation des industries de réseaux et de les remplacer par un marché concurrentiel d'attribution des licences d'exploitation de réseaux.

Ces considérations restent au cœur des débats actuels puisque l'émergence de nouveaux services et utilisateurs dans le spectre intensifie un peu plus chaque jour les demandes nationales et internationales d'instruction de brouillages. En France, ces demandes sont

---

<sup>19</sup> Voir Buchanan et Stubblebine [1962].

traitées par l'Agence Nationale des fréquences. Elles sont depuis six ans en constante augmentation. L'encadré 2 fournit quelques exemples variés de brouillages.

### Encadré 2 : Exemples de cas de brouillages

#### **Exemple 1 : Cas de brouillages LTE (4G) à 800 MHz avec la Télévision numérique terrestre (TNT)**

Le service de la TNT a été brouillé lors du déploiement des réseaux mobiles de 4<sup>ème</sup> génération en bande 790-862 MHz en raison de la proximité des bandes de fréquences utilisées par chacun de deux services.

#### **Exemple 2 : Cas de brouillages entre le service de téléphonie mobile GSM et le système de communication GSM-R**

Le GSM-R (*Global System for Mobile communications - Railways*) est une norme de communication sans fil basé sur le GSM (*Global System for Mobile communications*), spécifiquement développée pour les applications et les communications ferroviaires<sup>20</sup>. Entre 2006 et 2011 par exemple, 17 cas de brouillages ont été rapportés en France et plus de 250 cas en Allemagne entre 2009 et 2012.

#### **Exemple 3 : Cas de brouillages entre les équipements Wi-Fi (RLAN) et les radars météorologiques**

La bande 5600-5650 MHz est en partage entre les radars météorologiques (météo, défense, navigation) et les équipements WAS/RLAN (Wi-Fi). Ces équipements sont de nature à causer des brouillages préjudiciables sur les radars, si bien qu'en 2011, la France a dû faire face à une dizaine de plaintes. Ce sont plus de 200 cas de brouillage qui ont été répertoriés sur la période 2010/2011 dans 17 pays de la CEPT.

#### **Exemple 4 : Les brouillages intentionnels sur les satellites**

En 2012 l'agence nationale des fréquences (ANFR) a constaté une augmentation des brouillages délibérés<sup>21</sup> à l'encontre des opérateurs de satellites. L'agence, après avoir déterminé la zone géographique d'où provenait le brouillage, a envoyé 13 plaintes aux administrations étrangères.

**Autres exemples :** Cas « *LightSquared* » aux États-Unis (protection GPS), Cas « *Nextel* » à 800 MHz aux États-Unis, Cas de la radio numérique et des réseaux de sécurité en Allemagne (en bande 174 à 230 MHz), Cas des radars à 2,7 GHz vis-à-vis de la 4G à 2,6 GHz, etc.

Source : ANFR

Comme nous pouvons le voir, les sources de brouillages identifiées peuvent être différentes et n'épargnent pas un type d'acteur ou service particulier. Les brouillages peuvent être dus à un problème de compatibilité électromagnétique, à un défaut d'émetteur, à une émission non autorisée ou peuvent également provenir d'une source étrangère, d'un partage de fréquences, ou d'un défaut d'installation de l'utilisateur. Pour Coase, la présence d'externalités négatives n'empêche pas une allocation de la ressource par le marché. Pour cela, il suffit que les droits de propriété sur le spectre soient clairement définis et que les coûts de transaction soient nuls afin de permettre aux agents de renégocier entre eux l'attribution initiale de leurs droits. Toutefois, nous verrons que la principale difficulté concernant l'usage du spectre est justement

<sup>20</sup> Il permet aux trains de communiquer avec les postes de régulation du trafic ferroviaire, et aux agents de conduite, de circulation et de maintenance de communiquer entre eux en mode conférence (appels de groupe).

<sup>21</sup> Selon l'ANFR [2012] les brouillages délibérés ou intentionnels présentent quatre caractéristiques : (i) la porteuse brouilleuse ne provient pas d'une station qu'il est prévu d'exploiter avec le satellite affecté, (ii) elle vise sans ambiguïté le satellite affecté et certains récepteurs, (iii) elle n'est modulée par aucun signal d'information, (iv) elle modifie ses paramètres en temps réel.

d'arriver à définir clairement des droits de propriété. Par ailleurs, nous verrons que les coûts de transaction ne sont pas nuls.

### 1.1.3.3. *Maximisation des économies d'échelles et de l'interopérabilité des terminaux*

Le spectre est un bien dépendant de la technologie. Les technologies qui utilisent le spectre sont produites par des équipementiers qui visent généralement un marché de masse afin de bénéficier d'économies d'échelle. La notion d'harmonisation est fondamentale dans la gestion et l'utilisation du spectre car elle conduit à rechercher la mondialisation du marché pour maximiser les économies d'échelle. L'harmonisation est liée aux caractéristiques physiques du spectre. Le besoin de disposer de bandes harmonisées a cependant émergé dès les années 1980 suite aux évolutions des services de radiocommunications. Chaque pays a pris des décisions afin de s'assurer que les systèmes en place pourraient toujours être utilisés après le passage d'un système non harmonisé à un système harmonisé.

L'harmonisation est fondamentale et lorsqu'elle n'est pas possible à l'échelle mondiale, elle se fait à l'échelle régionale. En Europe, elle se fait dans un premier temps à la Conférence européenne des postes et télécommunications (CEPT) entre représentants des administrations et leur monopole des télécommunications, puis, dans un second temps, entre toutes les parties prenantes. C'est elle qui a permis d'organiser le développement des systèmes de radiocommunications européens.

Dès les années 1990, les différentes parties prenantes, administrations, opérateurs et industriels se sont organisés pour mettre en place l'organisme de normalisation : l'*European Telecommunications Standards Institute* (ETSI). La coopération entre ces différentes parties au sein de la CEPT a permis l'harmonisation de plusieurs bandes de fréquences telles que les bandes utilisées pour l'exploitation des systèmes de communications électroniques et audiovisuelles (GSM<sup>22</sup>, DECT<sup>23</sup>, TETRA<sup>24</sup>, ERMES<sup>25</sup>, DAB<sup>26</sup> et DVB-T2<sup>27</sup>). Cet aspect est fondamental dans la compréhension du cadre institutionnel : il montre le poids des lobbies industriels sur la gestion du spectre. Les plans de fréquences par exemple ne sont pas choisis exclusivement par le gouvernement et par le Parlement mais dépendent en grande partie des choix technologiques fait par les lobbies industriels. L'association GSMA, laquelle regroupe près de 800 opérateurs et 200 industriels, joue par exemple un rôle déterminant dans le choix des plans de fréquences. **Les lobbyistes poussent pour une approche harmonisée des bandes de fréquences au niveau mondial afin d'envisager des économies d'échelles sur les équipements de réseaux et les terminaux et de bénéficier de l'itinérance.** Ils se mobilisent au niveau mondial et régional et ils participent la stratégie européenne sur le

---

<sup>22</sup> GSM : *Global System for Mobile communications*, Réseau de téléphonie mobile de deuxième génération.

<sup>23</sup> *Digital European Cordless Telephone*. Standard européen pour les DCT Digital Cordless Telephone.

<sup>24</sup> TETRA : *Terrestrial Trunked Radio*, système de radio numérique mobile professionnel bidirectionnel.

<sup>25</sup> ERMES: *European Radio Message System*.

<sup>26</sup> DAB: Digital Audio Broadcasting.

<sup>27</sup> DVB-T/T2: *Digital Video Broadcast Terrestrial*. Désigne la norme de diffusion de la TNT. Le DVB-T2 correspond à une évolution du DVB-T.

découpage et l’allocation du spectre. Cette volonté de détenir des bandes de fréquences harmonisées conditionne fortement l’attribution initiale des droits de propriétés sur le spectre.

L’harmonisation du spectre au niveau régional ou mondial se fait en plusieurs étapes [OCDE, 2014] qui nécessitent : (i) d’obtenir des accords sur le bord supérieur et inférieur de la bande couverte; (ii) de définir une bande de garde et de segmenter la bande; (iii) de choisir des technologies et techniques à utiliser dans chacun des segments ou blocs de fréquences (par exemple FDD<sup>28</sup>, TDD<sup>29</sup>); (iv) de mettre en place des dispositions pour éviter les brouillages, (v) de réaffecter et replanifier des utilisateurs et des services existants, (vi) de statuer sur le choix des canaux, et (vii) de remplir toutes autres conditions techniques jugées nécessaires pour permettre un fonctionnement d’un service dans une bande donnée. Il convient toutefois de souligner que la volonté d’harmonisation pour un déploiement de système à grande échelle rigidifie la gestion des fréquences à un niveau plus national.

Les grandes instances de l’organisation internationale de la gestion du spectre décrites ci-dessous jouent un rôle important dans l’harmonisation mondiale des bandes de fréquences et des technologies.

## 1.2. La gouvernance multi-niveaux de la gestion du spectre

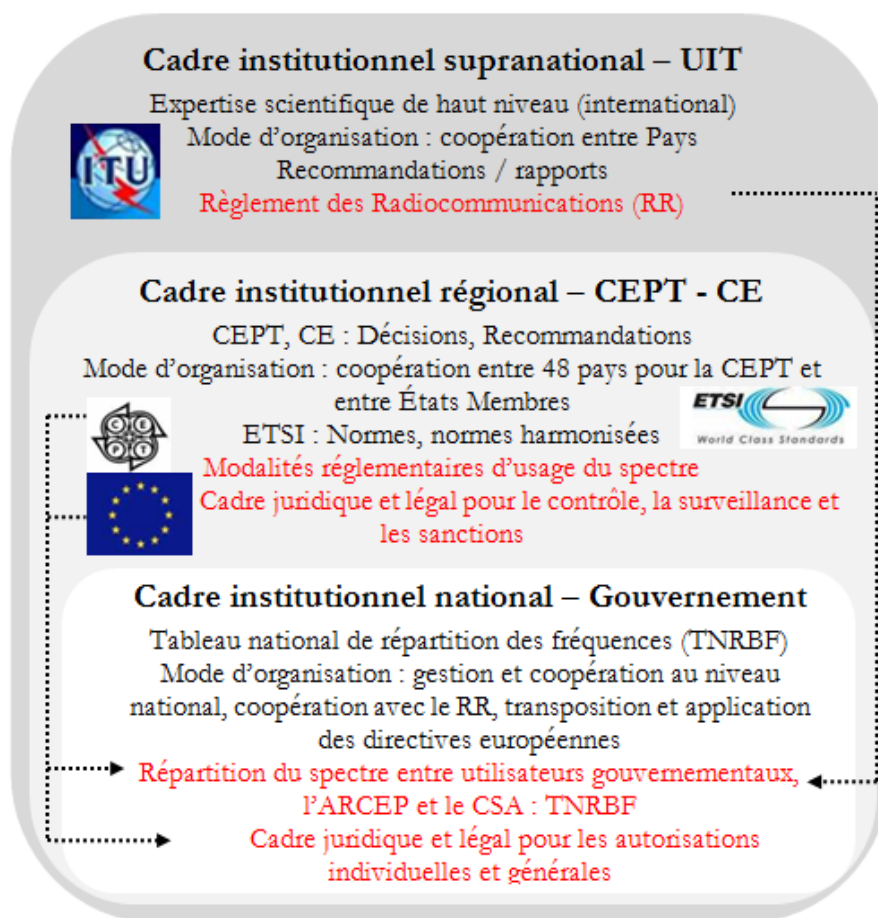
La gouvernance multi-niveaux de la gestion du spectre traduit la coordination des principaux acteurs, provenant de différents niveaux et secteurs, pour une gestion efficace du spectre. La coordination des acteurs est essentielle. Elle comporte deux angles d’analyse : le premier est l’angle vertical qui concerne les instances gouvernementales d’où se prennent les décisions (UIT, CEPT, autres organisations régionales, et les gouvernements), et le deuxième, est l’angle transversal qui comprend les secteurs publics et privés (industriels, opérateurs, agence nationale de régulation, etc.). La gouvernance du spectre est donc l’ensemble des interactions négociées entre une pluralité d’acteurs, tous concernés par la régulation de l’accès au spectre. Du fait de ces caractéristiques physiques, la gouvernance du spectre est *top down* et très centralisée. Il existe trois niveaux décisionnels pour la gestion des fréquences radioélectriques qui regroupent les différents centres de décisions et/ou autorités qui coopèrent ensemble afin de gérer le spectre de la manière la plus efficace. La gestion nationale du spectre est alors imbriquée dans un cadre européen (pour la France) et international (cf. Figure 4).

---

<sup>28</sup> FDD : *Frequency-Division Duplex*.

<sup>29</sup> TDD : *Time-Division Duplex* est une technique permettant à un canal de télécommunication utilisant une même ressource de transmission de séparer dans le temps l’émission et la réception.

Figure 4 : Le système de gouvernance mondial pour la gestion du spectre



### 1.2.1. Le cadre institutionnel supranational

L'Union Internationale des Télécommunications représente le premier niveau de réglementation du spectre et de compétence en gestion des fréquences. L'Union Internationale des Télécommunications (UIT) est une agence des Nations Unies qui compte 193 États Membres et plus de 700 entités du secteur privé et établissements universitaires membres.

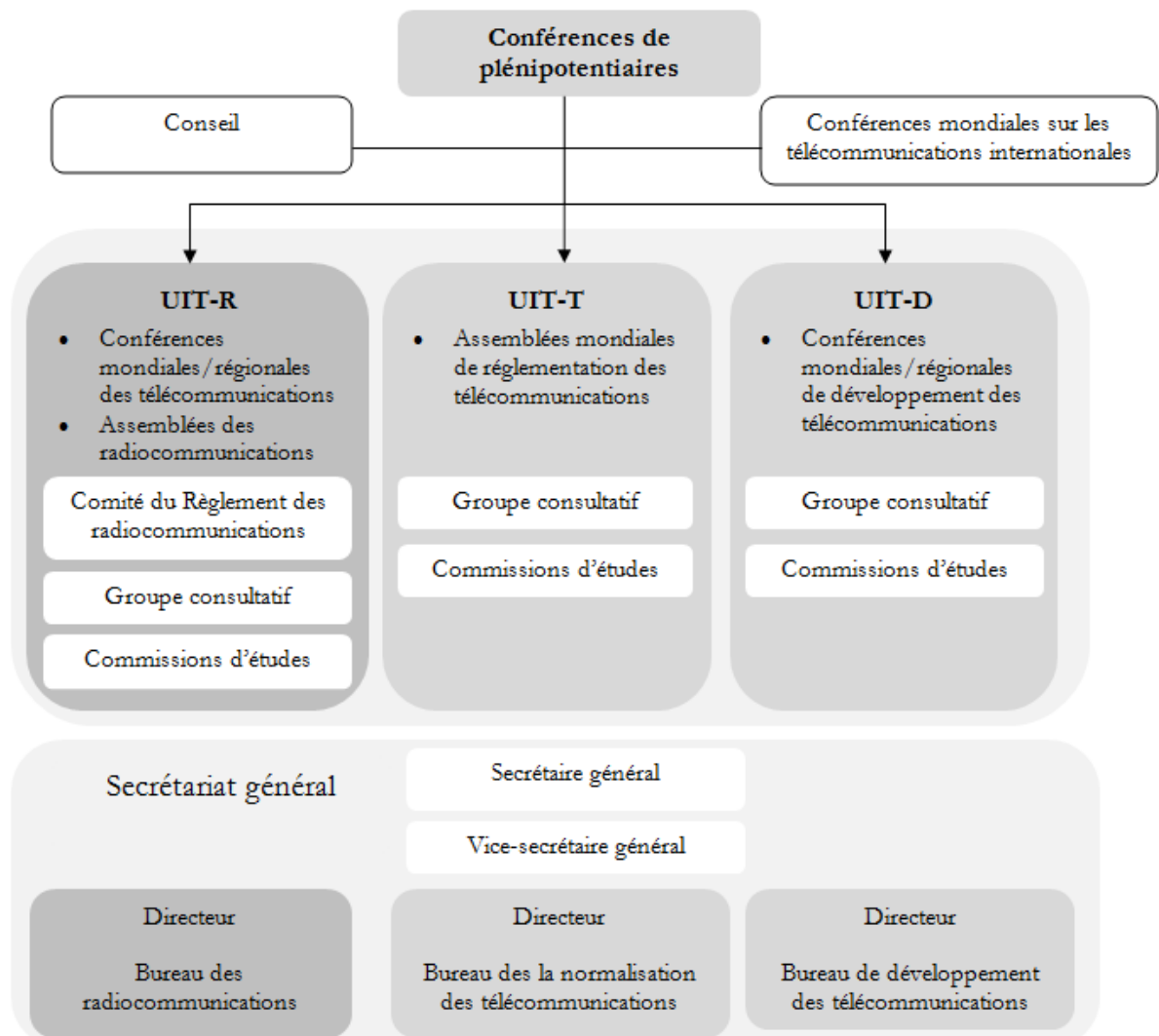
#### 1.2.1.1. L'organisation interne de l'UIT

Les instruments de l'Union sont : (i) la Constitution qui fixe les objectifs de l'Union et les droits et les obligations des États Membres, (ii) la Convention qui organise son fonctionnement et complète les dispositions de la Constitution et (iii) les Règlements administratifs, à savoir le Règlement des télécommunications internationales et le Règlement des radiocommunications (RR), qui complètent les dispositions de la Constitution et de la Convention. Ces textes fondamentaux établissent le cadre mondial contraignant pour les télécommunications internationales et définissent la structure de l'Union et ses diverses activités.

La structure de l’Union (cf. Figure 5) comprend la **conférence de plénipotentiaires** (organe suprême de l’Union) où sont adoptés les amendements à la Constitution et à la Convention, le **Conseil de l’Union** composé de 46 États Membres élus par la Conférence de plénipotentiaires qui agit en tant que mandataire de la Conférence et qui se réunit annuellement, les **conférences mondiales des télécommunications internationales**, le **secrétariat général**, ainsi que les trois secteurs qui se partagent le travail :

- le **secteur des radiocommunications** (UIT-R) en charge de la gestion mondiale du spectre des fréquences radioélectriques et des orbites de satellite,
- le **secteur de la normalisation des télécommunications** (UIT-T) qui élabore des normes internationales appelées « Recommandations »,
- et le **secteur du développement des télécommunications** (UIT-D) qui contribue à promouvoir le développement des communications notamment dans les pays sous-développés.

Figure 5 : Organigramme de l’UIT



Source : Union internationale des télécommunications

Le secteur de l'UIT-R est celui qui concerne le plus la gestion des fréquences. Il est lui-même organisé en plusieurs entités qui assurent son fonctionnement:

- les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications qui procèdent à des révisions du Règlement des radiocommunications (RR) et traitent d'autres questions de caractère mondial relevant de sa compétence,
- les Assemblées des radiocommunications qui établissent les bases techniques nécessaires aux travaux des Conférences mondiales des radiocommunications (CMR) et donnent suite à toutes les demandes énoncées lors de ces conférences,
- le Comité du règlement des radiocommunications composé de douze membres qui approuvent et adoptent les règles de procédure, lesquelles viennent compléter le Règlement des radiocommunications et les décisions des conférences des radiocommunications,
- le Groupe consultatif des radiocommunications,
- les Commissions d'études des radiocommunications supervisées par les assemblées des radiocommunications qui étudient les questions soulevées par celles-ci et rédigent des projets de recommandation,
- le Bureau des Radiocommunications dirigé par un directeur élu qui organise et coordonne les travaux du Secteur des radiocommunications.

Le but stratégique du Secteur des radiocommunications de l'UIT-R est :

- 1- de garantir une exploitation exempte de brouillages des systèmes de radiocommunication en respectant le Règlement des radiocommunications (RR) et les accords régionaux,
- 2- d'élaborer des Recommandations pour garantir le niveau de fonctionnement et la qualité nécessaires lors de l'exploitation des systèmes de radiocommunication,
- 3- de rechercher des solutions pour assurer une utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre hertzien et des orbites de satellites.

Pour assurer ces différentes missions le Secteur des radiocommunications est composé de sept groupes de travail. L'organigramme du Secteur est donné à l'Annexe I.3 (cf. **Annexe I.3.** Structure de l'UIT-R).

#### **1.2.1.2. La gestion du spectre par l'UIT**

Pour faciliter la gestion du spectre, l'UIT a divisé la planète en trois zones géographiques ou « Régions » (cf. Figure 6):

- la Région 1 couvre l'Europe, l'Afrique, le Moyen Orient, et les territoires russes d'Asie ainsi que leurs républiques frontalières<sup>30</sup>,
- La Région 2 couvre les Amériques<sup>31</sup>,

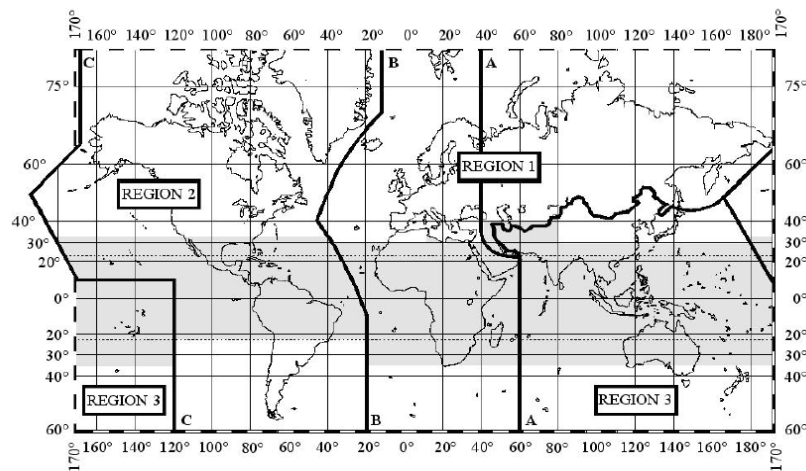
---

<sup>30</sup> D'après le RR, la Région 1 (Europe) comprend la zone limitée à l'est par la ligne A et à l'ouest par la ligne B, à l'exception du territoire de la République islamique d'Iran situé entre ces limites. La France fait donc partie de la région 1.

- La Région 3 couvre l'Asie et l'Océanie, excepté la partie de l'Asie incluse en Région 1<sup>32</sup>.

L'UIT répartit les bandes de fréquences entre ces trois zones géographiques. Une fois cette répartition effectuée, l'Union répartit ensuite les bandes des fréquences entre les différents services de radiocommunications à travers le Règlement des radiocommunications puis elle élabore les règles relatives à leur utilisation.

**Figure 6 : Les trois régions définies par l'UIT**



Source : Règlement des Radiocommunications

### **Le Règlement des Radiocommunications (RR)**

Le Règlement des radiocommunications (RR) qui tient lieu de Traité international a pour objectif de gérer l'utilisation des ressources spectrales et orbitales de manière rationnelle, efficace et économique afin d'établir un accès équitable entre les pays membres de l'UIT auxquels il s'applique. Ces autres objectifs visent à faciliter l'accès équitable aux ressources (orbite et spectre), à permettre l'utilisation rationnelle de ces ressources (exploitation efficace de tous les services de radiocommunication) et à prévenir et à résoudre les cas de brouillages préjudiciables entre les utilisations des différentes administrations et à prendre en compte et réglementer, si besoin, les nouvelles applications.

189 pays sur les 193 États-membres de l'UIT ont adhéré au RR qui est révisé tous les trois-quatre ans lors des Conférences mondiales des radiocommunications. Le RR est ensuite transposé au tableau national des fréquences. Ainsi, contrairement aux autres biens communs pour lesquels les individus ne sont pas incités à agir de façon collectivement rationnelle, les

<sup>31</sup> La Région 2 (Amérique) comprend la zone limitée à l'est par la ligne B et à l'ouest par la ligne C.

<sup>32</sup> La Région 3 (Asie) comprend la zone limitée à l'est par la ligne C et à l'ouest par la ligne A, à l'exception du territoire des pays suivants: Arménie, Azerbaïdjan, Fédération de Russie, Géorgie, Kazakhstan, Mongolie, Ouzbékistan, Kirghizistan, Tadjikistan, Turkménistan, Turquie et Ukraine et de la zone au nord de la Fédération de Russie.

caractéristiques du spectre (bien mondial qui ignore les frontières) ont conduit les Membres de chaque pays à agir collectivement pour la gestion de cette ressource.

Le RR répartit les bandes de fréquences entre un ou plusieurs services réglementaires. Il existe différentes classes de services réglementaires<sup>33</sup>. Les principaux types de services<sup>34</sup> sont : (i) les services mobiles qui sont définis par le couple station de base/couverture (information dans les deux sens), (ii) les services de radiodiffusion définis par la couple station de base/récepteur (information dans un sens), et (iii) les services fixes.

Une bande de fréquence peut être exclusive ou partagée entre plusieurs services par une décision de la Conférence Mondiale des Radiocommunications (CMR) (Article 5 du RR). À cet effet, il existe deux niveaux de services : les **services primaires et secondaires**. Les stations d'un service secondaire sont soumises au respect de certaines conditions : elles ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable aux stations d'un service primaire, et elles ne peuvent pas prétendre à la protection contre les brouillages préjudiciables causés par les stations d'un service primaire<sup>35</sup>. Toutefois, elles ont droit d'être protégées contre les brouillages préjudiciables causés par les stations de ce service secondaire ou des autres services secondaires.

Au niveau du RR, il existe trois types d'attribution d'une bande de fréquences : les **attributions du tableau**, les **attributions additionnelles** (c'est-à-dire les attributions qui s'ajoutent, dans un ou plusieurs pays, aux services indiqués dans le tableau), et les **attributions de remplacement** (c'est-à-dire une attribution qui remplace, dans un ou plusieurs pays, l'attribution indiquée dans le tableau). La Figure 7 est un extrait du tableau d'attribution des bandes 18,4-18,6 GHz et 18,6-18,8 GHz aux services entre les trois Régions.

---

<sup>33</sup> Cf. **Annexe I.1**. Les grandes catégories de services de radiocommunications.

<sup>34</sup> Les premières définitions des services sont dans le RR de 1907. Le RR de 1968 comprend les nouveaux services découverts durant la seconde guerre mondiale (comme les radars) et toutes les définitions spatiales.

<sup>35</sup> Une station est définie par le RR comme « un ou plusieurs émetteurs ou récepteurs, ou un ensemble d'émetteurs et de récepteurs, y compris les appareils accessoires, nécessaires pour assurer un service de radiocommunication ou pour le service de radioastronomie, en un emplacement donné. Chaque station est classée d'après le service auquel elle participe d'une façon permanente ou temporaire. »

Figure 7 : Extrait du tableau d'attribution des bandes de fréquences

Attribution aux services		
Région 1	Région 2	Région 3
18,4-18,6	FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) 5.484A 5.516B MOBILE	
18,6-18,8 EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) 5.522B MOBILE sauf mobile aéronautique Recherche spatiale (passive)  5.522A 5.522C	18,6-18,8 EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) 5.516B 5.522B MOBILE sauf mobile aéronautique RECHERCHE SPATIALE (passive) 5.522A	18,6-18,8 EXPLORATION DE LA TERRE PAR SATELLITE (passive) FIXE FIXE PAR SATELLITE (espace vers Terre) 5.522B MOBILE sauf mobile aéronautique Recherche spatiale (passive)  5.522A

5.522A Les émissions du service fixe et du service fixe par satellite dans la bande 18,6-18,8 GHz sont limitées aux valeurs indiquées, respectivement, dans les numéros 21.5A et 21.16.2. (CMR-2000)

5.522B L'utilisation de la bande 18,6-18,8 GHz par le service fixe par satellite est limitée aux systèmes à satellites géostationnaires et aux systèmes dont l'orbite a un apogée supérieur à 20 000 km. (CMR-2000)

5.522C Dans la bande 18,6-18,8 GHz, dans les pays suivants: Algérie, Arabie saoudite, Bahreïn, Egypte, Emirats arabes unis, Jordanie, Liban, Libye, Maroc, Oman, Qatar, République arabe syrienne, Tunisie et Yémen, les systèmes du service fixe en exploitation à la date d'entrée en vigueur des Actes finals de la CMR-2000 ne sont pas assujettis aux limites du numéro 21.5A. (CMR-2000)

Source : Règlement des Radiocommunications, UIT

Il est important de spécifier la terminologie qui sera utilisée dans cette thèse. Elle se fonde sur la classification de l'UIT et sur les définitions françaises.

Le RR établit l'attribution des bandes de fréquence, c'est-à-dire la répartition des bandes de fréquences entre services de radiocommunications<sup>36</sup>. L'allotissement, défini par le RR comme le découpage d'une bande de fréquence en canaux et répartition géographique, est une décision qui relève pour la France de la Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications (CEPT), tandis que l'assignation, défini comme l'utilisation d'une fréquence par une station radioélectrique (un système de radiocommunication), est une décision relevant des États.

Les notions d'attribution, d'allotissement et d'assignation n'ont pas la même signification dès lors qu'elles sont employées au niveau du RR ou à un niveau national de gestion du spectre. En France par exemple, on parle d'attribution d'autorisation d'utilisation des fréquences. Des autorisations individuelles peuvent être délivrées à des utilisateurs selon deux modes : par assignation ou par allotissement. Il est préférable dans cette optique de faire la différence entre l'attribution des bandes faites par le RR qui constitue à attribuer une bande de fréquence à un type de service (généralement évoqué comme l'allocation des fréquences entre les usages pour garder le terme anglais) et l'attribution de droits de propriété aux usagers du spectre qui se fait au niveau national (plus généralement évoqué comme l'assignation des fréquences entre les

<sup>36</sup> Service impliquant la transmission, l'émission ou la réception d'ondes radioélectriques à des fins spécifiques de télécommunication. Liste des différents services de radiocommunications : service fixe / fixe par satellite, mobile / mobile par satellite (terrestre, maritime, aéronautique), radiodiffusion, radiodiffusion par satellite, inter-satellites, exploitation spatiale, exploration de la terre par satellite, météorologie par satellite, radiopérage, radiopérage par satellite (radionavigation / radionavigation par satellite, radiolocalisation / radiolocalisation par satellite), radioastronomie, recherche spatiale, fréquences étalon et signaux horaires, amateur / amateur par satellite.

stations ou entre les usagers du spectre). Le tableau 3 reprend la distinction qui est faite entre ces différents termes au niveau international (à l'UIT) et au niveau national français.

**Tableau 3 : Classification française et de l'UIT**

	<b>Terminologie en français</b> <i>(en anglais)</i>	<b>Définition</b>	<b>Type de répartition</b>
Au niveau de l'Union Internationale des Télécommunications	Attribution d'une bande de fréquence <i>(Allocation)</i>	« Inscription dans le Tableau d'attribution des bandes de fréquences, d'une bande de fréquences déterminée, aux fins de son utilisation par un ou plusieurs services de radiocommunication de Terre ou spatiale, ou par le service de radioastronomie, dans des conditions spécifiées. Ce terme s'applique également à la bande de fréquences considérée »	Répartition du spectre entre les services
	Allotissement d'une fréquence ou d'un canal radioélectrique <i>(Allotment)</i>	« Inscription d'un canal donné dans un plan adopté par une conférence compétente, aux fins de son utilisation par une ou plusieurs administrations pour un service de radiocommunication de Terre ou spatiale, dans un ou plusieurs pays ou zones géographiques déterminés et selon des conditions spécifiées »	Répartition du spectre entre les zones ou pays
	Assignation d'une fréquence ou d'un canal radioélectrique <i>(Assignment)</i>	« Autorisation donnée par une administration pour l'utilisation par une station radioélectrique d'une fréquence ou d'un canal radioélectrique déterminé selon des conditions spécifiées »	Répartition du spectre entre les stations
Au niveau français	Affectation de fréquences	Allocation des bandes de fréquences entre les affectataires	Répartition du spectre entre les affectataires
	Attribution d'autorisation d'utilisation : - Par assignation - Par allotissement	<u>Attribution par assignation</u> : Autorisation accordée par un affectataire pour l'utilisation par une station radioélectrique d'une fréquence ou d'un canal sur un emplacement donné et dans des conditions identifiées. La mise en œuvre d'une coordination au préalable des fréquences site par site est possible grâce aux informations stipulées dans l'autorisation telles que la précision de l'emplacement géographique des stations et les conditions techniques (ex : Faisceaux Hertzien (FH), ou <i>Public Mobile Radio</i> (PMR))  <u>Attribution par allotissement</u> : Autorisation accordée par un affectataire pour l'utilisation d'un bloc de fréquences sur une zone géographique donnée. Contrairement à l'assignation, l'autorisation est dans ce cas accordée pour l'utilisation d'un bloc de fréquences sur une zone géographique, sans localisation spécifique des stations utilisatrices (ex : Boucle Locale Radio (BLR), <i>Global System for Mobile Communications</i> (GSM), <i>Universal Mobile Telecommunications System</i> (UMTS))	Répartition des bandes de fréquences entre les exploitants

Dans un souci de simplification, le terme d'attribution de fréquences sera utilisé dans cette thèse de façon générique pour faire référence à l'attribution de fréquences à des exploitants et non pas à une attribution entre les services comme l'entend le RR. Dans ce cas, les modes d'attribution de la ressource hertzienne sont les procédures retenues pour l'attribution des autorisations, indépendamment du fait que celle-ci soit par assignation ou par allotissement.

La répartition du spectre entre les services au niveau de l'Union est faite de façon à permettre à chaque pays d'utiliser le spectre pour ses propres besoins sans causer de brouillages préjudiciables aux autres pays. L'UIT règle les problèmes de brouillages entre pays lorsque ceux-ci concernent des liaisons susceptibles de se propager d'un bout à l'autre de la Terre. Dans le cas de brouillages préjudiciables locaux ce sont les pays concernés qui règlent le problème. Le niveau de gestion des fréquences dépend donc de l'usage qui en est fait. De ce fait, les usages pour lesquels est imposée une coordination internationale forte, sont gérés par l'UIT (cas des systèmes satellitaires). En revanche, en dehors de cette hypothèse, les États restent les gestionnaires de droit de la ressource. Par exemple, la gestion des fréquences utilisées pour les services mobiles est plutôt décentralisée puisque leurs allocations incombent aux États membres. Ainsi, l'utilisation des fréquences est un droit souverain des États, mais comme le spectre n'a pas de frontières pour la propagation, un consensus au niveau mondial est nécessaire pour éviter les externalités négatives. De plus, la globalisation des communications (satellites) et la mondialisation des marchés (harmonisation) viennent renforcer ce besoin de coopération internationale.

### **Les Conférences Mondiales des radiocommunications(CMR)**

Les Conférences mondiales des radiocommunications peuvent procéder à une révision partielle, ou exceptionnellement totale, du Règlement des radiocommunications. Elles traitent également de toute autre question de caractère mondial relevant de leurs compétences ou se rapportant à leur ordre du jour.

Les Conférences mondiales des radiocommunications (CMR) ont lieu tous les trois-quatre ans. Au gré de ces conférences, les attributions de bandes de fréquences évoluent en fonction des évolutions de la société. Ces évolutions concernent tant les services (service mobile maritime, transport aéronautique, radiodiffusion) que les nouvelles techniques et technologies. Durant ces conférences, les différents travaux techniques sont comparés et intégrés au Traité. Les discussions portent également sur les sujets des prochaines conférences et il est demandé aux comités de commencer à travailler sur les objectifs de l'ordre du jour suivant. Depuis le développement à grande échelle des télécommunications par radio dès les années 1980, les conférences s'enchaînent.

Face aux progrès dans le monde des radiocommunications, l'évolution du RR est nécessaire. Les travaux des CMR sont préparés par le Secteur des radiocommunications de l'UIT (UIT-R) au sein des commissions d'études et durent deux à trois ans. Les réunions de préparation de la

conférence réunissent une centaine d'administrations. C'est à ce niveau qu'il peut y avoir une première tentative de compromis.

Les modifications et projets de modification résultent de coopérations volontaires et de consensus entre États Membres qui peuvent tout de même recourir au vote en cas de conflit. Dans ce cas, les projets de modification ne sont définitivement adoptés qu'avec l'accord de la majorité des États Membres. Lors des votes, chaque pays a le droit à une voix mais cela n'empêche pas certaines tensions<sup>37</sup>. Dans le cas d'importantes pressions diplomatiques, un projet de modification sur une bande (par exemple l'harmonisation d'une bande) peut être relégué au niveau régional.

#### **La Conférence mondiale des radiocommunications de 2015**

La prochaine Conférence mondiale des radiocommunications se tiendra du 2 au 27 novembre 2015 à Genève. A chaque nouvelle CMR sont examinées des questions de radiocommunication particulières. Une CMR traite des points inscrits à l'ordre du jour. Ces points peuvent concerner :

- « la révision partielle ou, exceptionnellement, totale du Règlement des radiocommunications mentionné à l'article 4 de la Constitution »;
- « toute autre question de caractère mondial relevant de la compétence de la conférence »;
- « un point concernant des instructions à donner au Comité du Règlement des radiocommunications et au Bureau des radiocommunications touchant à leurs activités et l'examen de celles-ci » ;
- « la détermination des thèmes que l'assemblée des radiocommunications et les commissions d'études des radiocommunications doivent étudier, ainsi que les questions que cette assemblée devra examiner concernant les futures conférences des radiocommunications ».

Les principaux points à l'ordre du jour de la CMR 2015 concernent entre autres:

- les attributions de fréquences additionnelles au service mobile et l'identification des bandes de fréquences additionnelles pour les Télécommunications mobiles internationales (IMT) ainsi que les dispositions réglementaires correspondantes ;
- l'analyse des résultats des études de l'UIT-R sur l'utilisation de la bande de fréquences 700 MHz par le service mobile dans la Région 1 afin de prendre des mesures appropriées;
- l'analyse et la révision de la Résolution 646 de la CMR 2012 concernant les applications large bande pour la protection du public et les secours en cas de catastrophe ;
- envisager une nouvelle attribution possible au service d'amateur à titre secondaire dans la bande 5 250-5 450 kHz conformément à la Résolution 649 de la CMR 2012;
- examiner l'utilisation des bandes de fréquences attribuées au service fixe par satellite.

Les particularités du spectre hertzien et les enjeux industriels et financiers conduisent tout de même à une bonne coordination des instances gouvernementales à tous les niveaux. La gouvernance du spectre est donc **polycentrique mais tout de même verticale** puisque chaque décision prise à l'UIT lors des Conférences mondiales des radiocommunications par les États Membres influe la gouvernance européenne, puis locale. Il convient toutefois de

---

<sup>37</sup> Chaque État Membre a le droit à une voix lors des Conférences de plénipotentiaires, des conférences mondiales et des assemblées des Secteurs ainsi que lors des réunions des commissions d'études. S'il fait partie du Conseil, l'État Membre a également le droit à une voix à toutes les sessions du Conseil. Néanmoins, aux conférences régionales, seuls les États Membres de la région concernée ont le droit de vote.

noter que se sont les États membres qui prennent les décisions à l'UIT et qui réalisent les travaux préparatoires. Ainsi, la structure décisionnaire est constituée des mêmes personnes physiques aux trois niveaux de gouvernance : en pratique les décisions se prennent donc de manières assez « horizontales » et quelques administrations, comme la France, ont vraisemblablement une forte influence.

### 1.2.2. La gouvernance régionale européenne

La mondialisation économique, le développement des services mobiles et de la mobilité des personnes ont contribué à renforcer le rôle des instances régionales dans la gestion du spectre afin de coordonner leurs actions sur un ensemble de zones stratégiques. La Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications (CEPT) est l'instance européenne. Elle est pilotée par 48 pays incluant les pays de l'Union Européenne. Cette instance résulte d'un accord entre différents États qui cherchent à promouvoir une coopération entre eux en vue de créer un marché dynamique dans le domaine des communications électroniques et des postes.

La gestion régionale du spectre est indispensable notamment dans un souci d'harmonisation. La séparation du monde par le RR en trois régions facilite ce travail d'harmonisation. À côté de la CEPT, il existe au niveau régional six autres organisations:

- l'APPT (*Asia Pacific Telecommunity*) qui représente la région Asie-Pacifique<sup>38</sup>,
- l'ASGM (*Arab Spectrum Management Group*) qui est le groupe chargé de la gestion du spectre dans les États arabes<sup>39</sup>,
- l'ATU (*African Telecommunication Union*) qui est l'union africaine des télécommunications<sup>40</sup>,
- la CITEEL (*Inter-american Telecommunication Commission*) qui est la commission interaméricaine des télécommunications et une entité de l'Organisation des États Américains<sup>41</sup>,
- la CTU (*Caribbean Telecommunications Union*) qui est l'union des télécommunications des Caraïbes<sup>42</sup>,
- et la RCC (*Regional Commonwealth in the Field of Communication*) qui est la communauté régionale des communications<sup>43</sup>.

Au niveau Européen, les choix en matière de gestion des fréquences sont le résultat d'une interaction constante entre trois catégories d'acteurs : les **structures politiques** (Commission

---

<sup>38</sup> <http://www.apt.int/>

<sup>39</sup> <http://www.asmg.ae/LoginMember.aspx>

<sup>40</sup> <http://www.atu-uat.org/>

<sup>41</sup> <https://www.citel.oas.org/en/Pages/default.aspx>

<sup>42</sup> <http://www.ctu.int/>

<sup>43</sup> <http://www.en.rcc.org.ru/>

Européenne (CE), comité du spectre radioélectrique (RSCom)<sup>44</sup>, Comité des Communications Électroniques (CCE)<sup>45</sup>, les **acteurs industriels** (représentés par l'*European Telecommunications Standards Institute* (ETSI)) et les **gestionnaires du spectre au niveau national** (administrations). La gouvernance européenne est donc transversale. L'interaction entre le secteur privé et le secteur public est indispensable dans la gestion du spectre car l'autorité publique n'a pas les informations sur les éventuels services qui peuvent être fournis en fonction de l'état de la ressource. L'État n'a pas d'information parfaite et a nécessairement besoin des compétences techniques et de la capacité à investir des industriels. Il se coordonne avec les industriels qui développent des stratégies non neutres et avec les opérateurs qui utilisent le spectre, pour gérer la ressource. Ces différentes interactions peuvent conduire à des réussites (cas du GSM) ou à des succès plus modérés (cas du Wimax).

L'interaction entre la CEPT et l'UIT est forte et l'environnement institutionnel européen occupe une place de plus en plus importante dans la gestion du spectre. L'Union européenne, notamment la Commission européenne, bâtit depuis quelques années une compétence dans la gestion du spectre dans l'objectif de développer un marché unique européen et de promouvoir l'harmonisation des services sur son territoire. Entre autres, la Commission européenne confie des mandats à la CEPT et à l'ETSI. Elle propose également des mandats aux États Membres qui doivent les étudier, puis lui renvoyer les conditions techniques qu'ils jugent adéquates à la fréquence et à l'usage qui en sera fait. Cette coopération permet d'établir les conditions techniques d'utilisation du spectre (produites par la CEPT), d'harmoniser les conditions d'utilisation des fréquences (décisions du comité des communications électroniques) et de fixer les conditions d'harmonisation technique (ETSI).

Le Comité des Communications Électroniques (CCE ou ECC pour *European Communications Committee*) a pour objectif : (i) de développer une politique commune dans le domaine des communications électroniques dans une approche européenne et prenant en compte le cadre réglementaire européen (UE) et international, (ii) de développer des positions européennes communes et les proposer, si appropriées, pour l'utilisation dans un cadre international et dans les autres organismes régionaux, et (iii) de planifier et harmoniser l'utilisation efficace du spectre en répondant aux exigences des utilisateurs du spectre et de l'industrie. L'ETSI est un des trois organismes de normalisation reconnu. Il se compose de 700 membres qui regroupent des acteurs industriels européens, américains, japonais ainsi que les acteurs de la CEPT qui sont en charge de développer les normes harmonisées que devront respecter les terminaux.

### 1.2.3. La gestion du spectre en France

En raison du principe de subsidiarité, la gestion du spectre hertzien est définie au niveau des États-membres. Il incombe à chaque État d'attribuer ses fréquences entre les différents

---

<sup>44</sup> Le RSCom a été mis en place en application de la directive cadre du « paquet télécom ».

<sup>45</sup> Le CCE, Comité des Communications Électroniques (ou ECC pour *Electronic Communications Committee*) de la CEPT dispose d'un bureau permanent à Copenhague : l'ECO (*European Communication Office*).

usagers gouvernementaux et commerciaux. En France, le résultat de cette répartition est le tableau national de répartition des bandes de fréquences (TNRBF). La gestion nationale du spectre hertzien diffère selon les pays. Dans l'annexe I.4 nous présentons les modes de gestion du spectre dans quatre autres pays : aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Finlande et en Inde (cf. **Annexe I.4.** La gestion du spectre aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Finlande et en Inde).

En France, en plus d'assigner les fréquences, l'État est également chargé de coordonner l'implantation des stations radioélectriques et d'assurer la protection des services (traitement des brouillages) et du public (contrôle des niveaux d'exposition aux ondes). L'utilisation de fréquences radioélectriques disponibles sur le territoire de la République constitue un mode d'occupation privatif du domaine public de l'État<sup>46</sup>. Néanmoins, les dispositions nationales doivent refléter et respecter les divers engagements internationaux (Constitution, Convention, Règlement des radiocommunications (UIT)), les accords multilatéraux de normalisation, et les décisions régionales d'harmonisation (décisions CCE, cadre communautaire).

En France, l'organisation institutionnelle de la gestion des fréquences est originale en raison de l'existence d'affectataires. Cette singularité nécessite de découper la phase d'attribution en deux étapes bien distinctes : la première étape, très administrative, est la phase d'affectation qui permet de répartir le spectre entre onze affectataires. Un affectataire est défini comme « un département ministériel, un établissement qui le représente, ou une autorité administrative indépendante ayant accès à une ou plusieurs bandes de fréquences, soit pour son usage propre dans le cas d'un département ministériel, soit pour l'attribuer à des tiers dans le cas d'une autorité administrative indépendante »<sup>47</sup>. Une fois la phase d'affectation passée, les affectataires utilisent les fréquences pour leurs propres besoins ou les assignent aux utilisateurs finaux : c'est la phase d'attribution du spectre, c'est-à-dire d'attribution de droits de propriété<sup>48</sup>. La distinction affectation/assignation étant purement française on ne parlera plus par la suite d'assignation de spectre aux utilisateurs, mais d'attribution, de façon à être en accord et dans la continuité de la littérature étrangère et particulièrement nord-américaine.

Les onze affectataires sont les suivants : Ministère de la défense, Ministère de l'Intérieur, Ministère de la recherche, CNES, Administration de la météorologie, Administration de l'aviation civile, Administration des ports et de la navigation maritime, Télécommunications dans les territoires d'Outre-Mer (TOM), Haut-commissaire de la république ou administrateur dans les TOM qui représentent les ministères ou administrations ; et les deux autorités indépendantes, l'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes (ARCEP) et le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel (CSA).

---

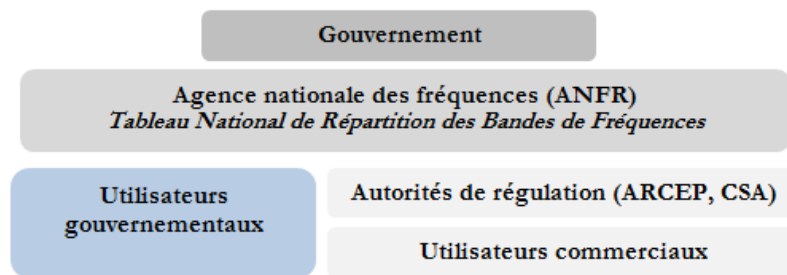
<sup>46</sup> Voir art. 22 de la loi n°86-1067 du 30 septembre 1986 modifiée relative à la liberté de communication, article 14 de la loi n°96-659 du 26 juillet 1996 de réglementation des télécommunications et article L41-1 du Code des Postes et Communications Electroniques (CPE).

<sup>47</sup> Au sens du TNRBF.

<sup>48</sup> Comme indiqué dans le Tableau 3, p. 32.

La Figure 8 illustre cette gestion du spectre à deux niveaux.

**Figure 8 : Une gestion française du spectre à deux niveaux**



Le Premier Ministre attribue le spectre à ces onze affectataires en fonction de leurs besoins et à travers le Tableau National de Répartition des Fréquences (TNRBF). Le TNRBF est géré en France par l’Agence nationale des fréquences (ANFR). Ce tableau est une déclinaison nationale du tableau de l’UIT, il est notamment mis à jour après chaque CMR et reproduit la répartition des bandes entre affectataires. L’ANFR est un établissement public à caractère administratif (EPA). Elle a été créée le 1er janvier 1997 par le décret n°96-1178 du 27 décembre 1996 pris pour l’application de l’article 14 de la loi de réglementation des télécommunications n° 96-659 du 26 juillet 1996. Ses principales missions sont dictées par l’article L.43 du Code des Communications Electroniques et des Postes (CPCE) (cf. **Annexe I.5**. Les missions de l’Agence nationale des fréquences (Article L43 du CPCE)). C’est elle qui gère les fréquences pour le compte des affectataires ainsi que le contrôle du spectre et des équipements. Elle coordonne de nombreuses commissions dont la Commission de Planification des Fréquences (CPF) qui propose au Premier Ministre les évolutions du TNRBF validées par le conseil d’administration de l’ANFR. Lors des négociations internationales, l’agence représente et défend les intérêts français.

La gestion nationale est donc très administrative. Les commissions que coordonne l’ANFR couvrent l’ensemble de ces activités et sont regroupées en quatre catégories (cf. Tableau 4):

- les commissions stratégiques (CAE, CAR et CCR),
- les commissions techniques (CCE, CRVS, CFRS, CFAN),
- les commissions opérationnelles (CAF, COMSIS, CCF, CCDS et CSAT)
- et la CPF qui propose des mises à jour du TNRBF.

La portée des activités au sein de ces commissions peut être plutôt nationale, européenne ou mondiale. La liste des commissions consultatives de l’Agence étant actuellement en révision, elle devrait très prochainement évoluer : huit de ces commissions auraient vocation à devenir des groupes de travail.

**Tableau 4 : Liste des commissions consultatives de l'Agence**

Négociations internationales	Commission de l'Assemblée des radiocommunications (CAR) Commission des Conférences des radiocommunications (CCR) Commission des affaires européennes (CAE)
Synthèse et prospective	Commission des Revues et valorisation du spectre (CRVS) Commission de Compatibilité électromagnétique (CCE) Commission du fond de réaménagement du spectre (CFRS) Commission de fond d'accompagnement du numérique (CFAN)
Commission de planification des fréquences (CPF)	
Opérationnel	Commission d'assignation des fréquences (CAF) Sites et servitudes (COMSIS) Commission de coordination aux frontières (CCF) Commission de contrôle du spectre (CCDS) Commission d'autorisation des systèmes satellitaires (C-SAT)

National / Européen / International

Source : ANFR

Le Conseil Supérieur de l'Audiovisuel (CSA) gère la planification des bandes destinées aux stations de radio, délivre des autorisations d'usage de ces fréquences aux services audiovisuels, recherche des fréquences disponibles pour des services de radio numérique et analogique, et répond aux diverses préoccupations dans le déploiement de nouveaux services tels que la télévision numérique haute définition ou les services innovants interactifs. L'Autorité de Régulation des Communications et des Postes (ARCEP), autorité administrative indépendante affectataire du spectre, établit les règles techniques et les conditions d'utilisation des fréquences qu'elle attribue aux opérateurs et aux utilisateurs. L'Annexe I.6 détaille l'assignation des fréquences radioélectriques aux utilisateurs par le CSA et l'ARCEP (cf. **Annexe I.6**. L'assignation des fréquences radioélectriques aux utilisateurs).

Les prérogatives en matière de gestion du spectre entre le CSA et l'ARCEP sont assez proches. Le CSA attribue des canaux pour la diffusion des services de radio et pour la diffusion des services de télévision. L'ARCEP délivre des autorisations d'utilisation de fréquences pour les services de réseaux mobiles ouverts au public<sup>49</sup>, les faisceaux hertziens<sup>50</sup>, les réseaux mobiles professionnels<sup>51</sup>, les services fixes par satellite<sup>52</sup>, le service mobile par

<sup>49</sup> Les bandes de fréquences spécifiques utilisées pour les réseaux mobiles ouverts au public dont l'ARCEP est affectataire, sont les suivantes : Bande 800 MHz (791-821 et 832-862 MHz), Bande 900 MHz (880-915 et 925-960 MHz), Bande 1800 MHz (1710-1785 et 1805-1880 MHz), Bande 2,1 GHz (1900-1980 et 2110-2170 MHz), Bande 2,6 GHz (2500-2570 et 2620-2690 MHz).

<sup>50</sup> Les bandes de fréquences spécifiques aux faisceaux hertziens dont l'ARCEP est affectataire, sont les suivantes : Bande 1,4 GHz (1375-1400 MHz et 1427-1452 MHz), Bande 6 GHz (5925-6425 MHz et 6425-7125 MHz), Bande 8 GHz (8025-8500 MHz) Bande 11 GHz (10,70-11,70 GHz) Bande 13 GHz (12,75-13,25 GHz), Bande 18 GHz (17,70-19,70 GHz), Bande 23 GHz (22-23,60 GHz), Bande 26 GHz (25-26,50 GHz), Bande 32 GHz (31,80-33,40 GHz), Bande 38 GHz (37,25-39,5 GHz), Bande 70/80 GHz (71-76 GHz et 81-86 GHz).

<sup>51</sup> Les bandes de fréquences spécifiques utilisées pour les réseaux mobiles professionnels dont l'ARCEP est affectataire, sont les suivantes : Bande 50 MHz (29,7-54 MHz), Bande 60 MHz (54-68 MHz), Bande 80 MHz (68-74,8 MHz et 75,2-87,5 MHz), Bande 160 MHz (146-174 MHz), Bande 200 MHz (174-230 MHz), Bande 400 MHz (380-399,9 MHz, 406,1-430 MHz et 440-470 MHz), Bande 900 MHz (862-876 MHz et 915-925 MHz), Bande GSM-R (876-880 MHz et 921-925 MHz).

satellite<sup>53</sup>, la boucle locale radio<sup>54</sup>, les équipements audio sans fil<sup>55</sup>, les liaisons vidéos mobiles, les radioamateurs.

Toutefois, les modalités d'attribution entre ces deux autorités diffèrent. Tandis que le CSA attribue des droits de propriété à titre gracieux à des éditeurs pour des raisons d'intérêt général, l'ARCEP facture quant à elle une redevance en contrepartie des droits de propriété à durée limitée qu'elle attribue sur la ressource.

### **1.3. Conclusion de la première section. *Le spectre une ressource publique, rare et réglementée***

Cette première section montre que le bien spectral est un bien spécifique, justifiant l'intervention de la puissance publique et une gestion hyperspécialisée. Il est caractérisé par une rivalité dans l'usage en raison des externalités négatives qui se manifestent sous la forme de brouillages préjudiciables. Par ailleurs, c'est un bien qui peut être privé, dès lors que son accès est payant. De ce fait, ces caractéristiques physiques, techniques et économiques ont conduit à la mise en œuvre d'une gouvernance multi-niveaux. Au niveau supranational, la gouvernance du spectre concerne essentiellement la répartition des fréquences en fonction des territoires et des services. Une fois cette répartition effectuée, les différents États peuvent procéder à l'allocation des droits de propriété entre les usagers tout en respectant les règles internationales. Sur le plan méthodologique, la description des modes d'organisation des transactions pour le transfert de droit de propriété sur le spectre est importante. Elle permet de comprendre que ces modes sont contraints par cet environnement institutionnel mais qu'ils interagissent également avec lui.

---

<sup>52</sup> Les bandes de fréquences spécifiques utilisées pour les services fixes par satellite dont l'ARCEP est affectataire, sont les suivantes : Bande 3800-4200 MHz, 10,7-11,7 GHz et 17,3-20,2 GHz dans le sens de réception ; et 5850-7075 MHz, 12,5-12,75 GHz, 13,75-14,5 GHz et 27,5-30,0 GHz dans le sens d'émission.

<sup>53</sup> Les bandes de fréquences spécifiques utilisées les services mobiles par satellite dont l'ARCEP est affectataire, sont les suivantes : 137-138 MHz, 400,150-401 MHz, 1518-1559 MHz, 2170-2200 MHz dans le sens de la réception et les bandes 148-150,05 MHz, 399,90-400,50 MHz, 1626,50-1660,50 MHz et 1980-2010 MHz dans le sens de l'émission.

<sup>54</sup> La bande de fréquences utilisée pour la boucle locale radio dont l'ARCEP est affectataire : 3,4-3,5 GHz.

<sup>55</sup> Les bandes de fréquences utilisées pour les équipements sans fils dont l'ARCEP est affectataire : 174 – 223 MHz, 470-789 MHz, 823-832 MHz et 1785 – 1800 MHz.

## Section 2. Les modes de gouvernance pour l'attribution des fréquences

La section précédente a décrit l'environnement institutionnel de la gestion du spectre, en particulier les institutions et différentes instances gouvernementales qui construisent les règles du jeu et les normes, définissant ainsi la gestion collective du spectre. C'est à ce niveau que sont adoptés le règlement des radiocommunications, les directives, la réglementation européenne, ou encore, le régime juridique des droits de propriétés. Dans cette section, nous nous intéressons aux structures de gouvernances qui constituent la partie plus micro-analytique. Toutefois, l'environnement institutionnel décrit en première section contraint les modes d'organisation développés au niveau national pour l'attribution et l'échange des fréquences entre les acteurs économiques (2.1). L'attribution du spectre hertzien aux utilisateurs finals par des procédures administratives (commandement et contrôle) a longtemps été justifiée par la présence d'externalités négatives et par le fait que le spectre soit une ressource finie. Toutefois, deux nouveaux modes d'organisation des transactions ont apporté un nouveau regard sur le bien spectral et sur la notion de rareté. Le premier est la création de marchés régulés des fréquences qui s'est accompagnée le plus souvent d'une politique de concurrence (2.2). Le deuxième est l'ouverture de bande de fréquences qui s'est accompagnée d'une gestion technique du spectre (2.3).

### 2.1. L'encastrement des transactions dans leur environnement institutionnel

L'**environnement institutionnel** représente les règles du jeu, les règles politiques, sociales, légales, qui encadrent et soutiennent l'activité transactionnelle des acteurs<sup>56</sup>. En décidant de créer des droits de propriété sur le spectre, l'autorité publique a déclenché un changement dans l'environnement institutionnel existant. Il s'est traduit par l'émergence d'une gestion plus marchande du spectre (ou par les droits de propriété) à côté de la gestion étatique hiérarchique existante. De même, l'établissement de nouvelles règles au niveau institutionnel, visant à la création de bandes de fréquences ouvertes, gratuites et sans attributaire exclusif, a conduit à l'établissement d'un régime ouvert d'accès au spectre comme nouveau mode d'organisation. Ces modes de gestion dépendent des règles définies dans l'environnement institutionnel et de la façon dont ces règles sont utilisées par les acteurs. Nous considérons que chaque modèle d'attribution des fréquences constitue un mode particulier d'organisation des transactions de fréquences entre les acteurs.

---

<sup>56</sup> L'environnement institutionnel est « l'ensemble de règles, stables, abstraites et impersonnelles, inscrites dans la longue durée, encadrées dans des lois, des traditions ou des coutumes, et associées à des mécanismes destinés à asseoir et mettre en œuvre des schémas de comportement gouvernant les relations entre les agents ou groupe d'agents » [Ménard, 2004, p.10].

La théorie des coûts des transactions utilise le terme de **structure de gouvernance** pour désigner les **structures organisationnelles qui encadrent les transactions entre les acteurs**. Pour Williamson [1996] la transaction est l'unité de base de l'analyse. Elle concerne tout transfert de droit d'usage, de propriété, d'information ou de marchandise ayant une valeur économique pour les deux partenaires qui procèdent à l'échange. La théorie identifie deux formes polaires de structure de gouvernance qui sont les marchés et les entreprises (hiérarchie) pour organiser la production. Entre ces deux formes, plusieurs formes intermédiaires existent. C'est le cas des structures de gouvernance intermédiaires qui sont classées comme des formes hybrides. A partir de ces modalités d'organisation de la production, il est possible de déduire les **modes de gouvernance** pour la gestion du spectre (marché, hiérarchie (ou l'État) par exemple).

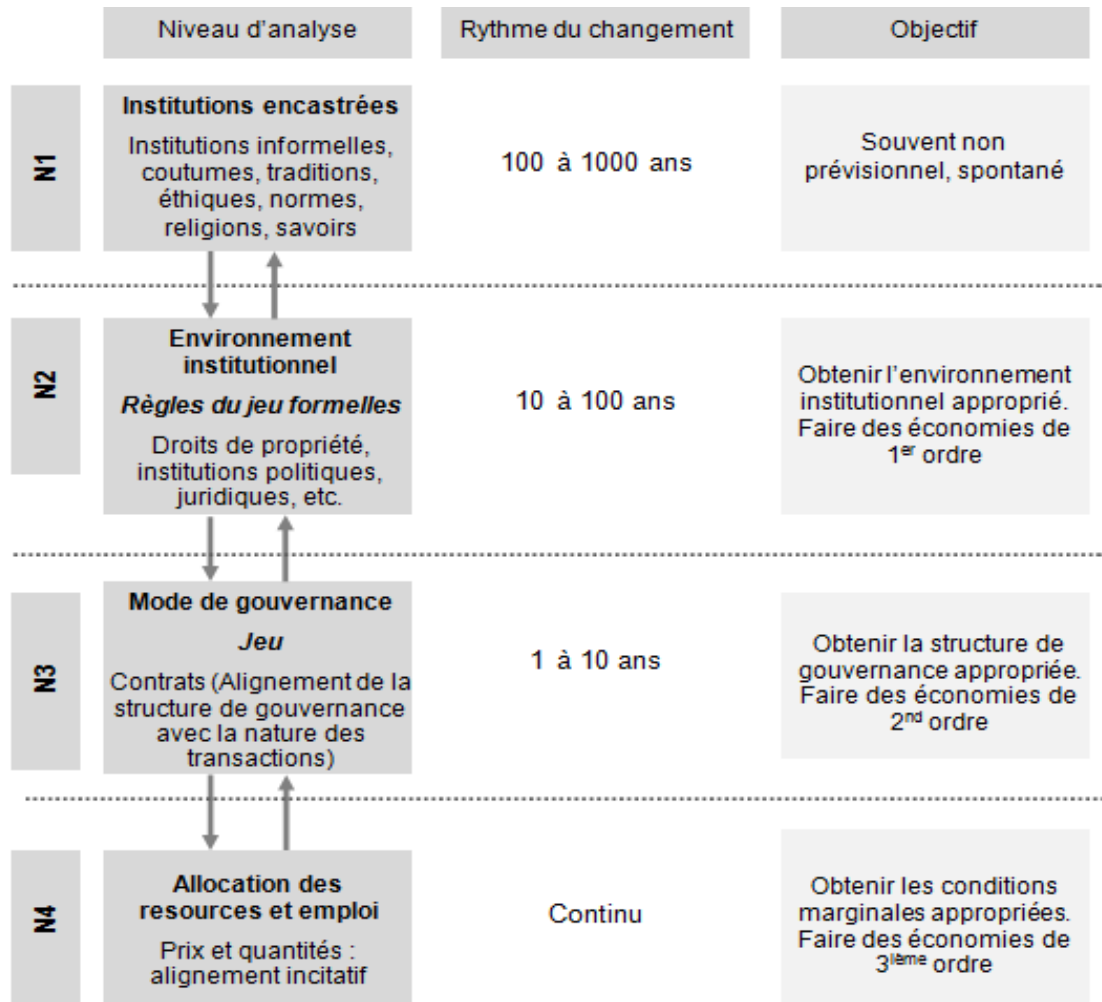
Williamson n'introduira que tardivement dans ces travaux, l'interdépendance des institutions et des structures de gouvernances encadrant les transactions. Même s'il en appelle à une certaine prudence quant à l'impact des institutions sur l'analyse des **modes d'organisation des transactions**, il admet que les institutions, en modifiant les règles du jeu, influencent les structures de gouvernance.

La Figure 9 illustre l'encastrement des modes d'organisation des transactions dans leur environnement institutionnel. L'approche très micro-analytique de Williamson va le conduire à concentrer la majeure partie de ces travaux sur les modes de gouvernance des transactions (cf. le niveau 3 de la Figure 9) [Williamson, 1975, 1985, 1996], à l'opposé de Douglas North qui étudiera en profondeur sous une approche macro-analytique l'environnement institutionnel (cf. le niveau 2 de la Figure 9) [North, 1981, 1990, 1991].

Sous une vision micro-analytique, les changements de modes d'attribution et de gestion des fréquences sont le résultat de choix faits par le gouvernement pour attribuer de façon plus efficace le spectre en économisant sur les **coûts de transaction**. Dans une vision macro-analytique, ces modes de gouvernance sont contraints par les règles du jeu (institutions de l'environnement) mondiales (définies par les Conférences Mondiales des Radiocommunications et inscrites dans le Règlement des Radiocommunications), européennes (directives, règlements, décisions, etc.) et nationales (lois, décrets, etc.).

En proposant que les fréquences hertziennes soient vendues aux enchères, Ronald Coase plaida pour la supériorité du marché sur les décisions administratives du régulateur afin d'organiser les transactions de fréquences hertziennes entre les agents économiques. Toutefois, la mise en place d'une gouvernance marchande ne pouvait s'envisager qu'après un changement, instaurant au niveau de l'environnement institutionnel, la création de droits de propriété sur les fréquences. Dans un souci d'efficacité, il est ainsi justifiable d'agir sur l'environnement institutionnel pour permettre une utilisation plus efficace de la ressource.

Figure 9 : Économie des institutions



Niveau 1 (N1): Théorie sociale

Niveau 2 (N2): Économie des droits de propriété

Niveau 3 (N3): Économie des coûts de transaction

Niveau 4 (N4): Économie néo-classique/Théorie de l'agence

Source : Williamson [1998]

## 2.2. La création de marchés régulés des fréquences

Les caractéristiques physiques particulières des fréquences et la rareté de la ressource ont longtemps justifié la gestion très administrée du spectre. Mais cet argument ne suffira pas à l'économiste Ronald Coase qui s'interrogera sur la véracité de cette considération. En faisant une analogie entre le spectre et d'autres facteurs de production tels que la terre, le travail et le capital, Coase démontre que ces facteurs, également rares, n'en appellent pas pour autant à une réglementation étatique. L'article pionnier de Coase en 1959, « *The FCC* », va être le point de départ d'une réflexion et de débats qui dureront une trentaine d'année avant de voir émerger la première vente aux enchères de spectre.

### 2.2.1. Un mouvement aux origines économiques : retour sur le plaidoyer de Ronald Coase

Herzel [1951] fut le premier à avancer l'idée qu'une concurrence avec des droits de propriété sur le spectre était plus à même de favoriser une meilleure attribution de la ressource spectrale qu'un système d'attribution centralisé. Dans son article pionnier, « *The FCC* », Coase [1959] prolonge cette idée, en expliquant qu'il n'y a aucune justification à la réglementation étatique du spectre des fréquences. Selon lui, le réglementeur a tout intérêt à attribuer des droits de propriété sur le spectre et à les vendre aux plus offrants, plutôt que d'attribuer des fréquences au premier arrivé. Pour Coase, l'intervention publique reste néanmoins indispensable pour définir et procéder à l'allocation initiale des droits de propriété. L'idée est qu'une fois l'allocation initiale des droits de propriété faite par l'État, les acteurs, soumis au libre jeu de la négociation, pourront toujours renégocier leurs droits jusqu'à épuiser toutes les possibilités d'échanges mutuellement bénéfiques.

Toutefois, en réponse à l'article de Herzel [1951], Smythe [1952] considérait déjà que le coût de fonctionnement d'un système de droits de propriété risquait d'être élevé et de conduire, soit à une mauvaise répartition des fréquences, soit à des tendances monopolistiques. L'article de Coase ne fit pas plus l'unanimité et laissa penser à de nombreux régulateurs, hommes politiques et industriels, que Ronald Coase ignorait les caractéristiques techniques du spectre radio pour émettre une telle proposition à la FCC. Melody [1980], un des détracteurs de Coase, considérait que seul le gouvernement était en mesure de détenir le spectre hertzien, et que les droits d'usage du spectre ne pouvaient pas être des droits de propriété :

« Rights to use the spectrum are not susceptible to legal enforcement as are private property rights » [Melody, 1980, p.392].

Coase et Herzel fondent leur analyse sur un secteur particulier, celui de la radio et de la télévision. Cette limite dans leur analyse sera reprise par les opposants à un système de prix pour l'attribution des fréquences qui considèrent que le spectre ne peut faire l'objet de droits

de propriété car il est utilisé par plusieurs acteurs (autres que les diffuseurs radio et audiovisuels). Ils rappellent que les premiers utilisateurs furent les militaires, les services de police, les services de lutte contre les incendies, la météo, et les radioamateurs. Ce n'est que plus tard que sont arrivés les radios, les télévisions et de nombreux autres usagers commerciaux tels que les exploitants publics de radiotélégraphie ou de radiotéléphone, les sociétés de transport, les bâtiments de haute mer, les compagnies ferroviaires, les chemins de fer urbains, les professions portuaires et les taxis [Smythe, 1952] [Coase et Sommer, 1994].

Le recours à un système de prix pour l'attribution des fréquences trouve alors ses limites lorsqu'il s'agit de l'appliquer à des services gouvernementaux. L'argumentation de Coase fut la suivante :

« Une application méticuleuse des principes du marché mettrait les différents services gouvernementaux, grands consommateurs de fréquences, dans l'obligation de payer également pour les utiliser. Cela peut paraître inutile puisque les paiements devraient être faits auprès d'une autre administration, chargée d'assurer la garde des fréquences. L'argent qui sortirait d'une des poches de l'État, rentrerait simplement par une autre. On peut aussi ne pas juger approprié de soumettre à un « test monétaire » les attributions de ressources destinées à des usages tels que la défense nationale ou la préservation de vies humaines. En effet, il serait tout à fait envisageable de retirer de la vente aux enchères l'ensemble des fréquences que l'État estimerait nécessaires à ses propres besoins. » [Coase & Sommer, 1994, p.146].

Dès lors, une première différence de traitement apparaît entre les utilisateurs commerciaux et les utilisateurs gouvernementaux. Dans la mesure où le spectre est un bien public (fourniture de services relatifs à la défense nationale ou à la sécurité), il ne peut pas être attribué selon les mécanismes du marché. Pour Hazlett, Porter and Smith [2011], la proposition de Coase fut d'une clarté disruptive. D'une part, elle reposait sur une analyse symétrique tenant compte des bénéfices nets du marché et de la réglementation administrative. D'autre part, elle conduisait à la déconstruction de la logique gouvernementale qui consistait à assigner les droits de propriété par décret.

La principale critique de Coase [1959] quant à la gestion centralisée du spectre fut celle de la capture du régulateur<sup>57</sup>. La théorie de la capture des pouvoirs publics soutient la thèse que le gouvernement et les administrations sont soumis à l'influence de groupes d'intérêts [Stigler et Friedland, 1966 ; Stigler, 1971]. Pour Coase, les pressions politiques organisées sur l'organisme de réglementation entraînent une mauvaise allocation de la ressource spectrale. Il considère que cela n'a rien de surprenant dès lors que des droits d'une valeur de plusieurs millions de dollars sont attribués à un homme d'affaire et refusés aux autres. Selon lui, certains candidats anxieux tentent d'utiliser toute leur influence (politique ou autre) pour modifier l'attribution de

---

<sup>57</sup> La notion de « capture de régulateur » est apparue en 1971, avec le fameux article de Georges Stigler, *The Theory of Economic Regulation*, dans lequel il explique que généralement la régulation économique est capturée par le secteur privé puis élaborée et mise en œuvre à son seul profit.

ces droits<sup>58</sup> [Coase, 1959]. Dans le cas de la gestion étatique d'une ressource utilisée par des entreprises privées, la capture du régulateur est un risque non nul. Les fréquences étant une ressource essentielle pour les entreprises, celles-ci peuvent être tentées de faire pression sur l'autorité publique.

L'analyse faite par Lessig [2001] souligne le problème mis en lumière par Stigler selon lequel les dirigeants d'entreprise vont être tentés d'obtenir le maximum d'avantages personnels à travers l'exercice du pouvoir, en échange de leur soutien et de leur voix au niveau électoral.

« The manner in which this allocation of rights to use spectrum is made has changed, and it changes still (...), spectrum was allocated on a first come, first served basis (...) and after 1912 it was the government that chose who got what spectrum. This invited predictable bias: existing owners bought the favor of regulators, and regulators in turn protected them. The examples are many, and extraordinary : Hazlett has cataloged the cases where favored interests have succeeded in using their power over regulators to resist new technologies; as Noam writes, "In the early 1950s, only newspaper companies that had editorially endorsed Eisenhower for President had a chance at getting a TV license »<sup>59</sup> [Lessig, 2001, p.219].

La vision de Stigler et de l'École du choix public (« *public choice* ») en général, appliquée à la gestion du spectre, a appuyé l'idée avancée par Coase, de créer des droits de propriété privée sur le spectre et de les attribuer par un système de prix. Ainsi, tandis que les partisans d'un système bureaucratique évoquent les échecs du marché pour justifier l'attribution administrative du spectre, la théorie des choix publics démontre les problèmes et les échecs des gouvernements à prendre des décisions politiques qui ne sont pas dominées par les groupes d'intérêt.

Les premières ventes aux enchères du spectre sont la preuve que Coase n'ignorait pas les caractéristiques techniques du spectre radio et que les caractéristiques de la ressource n'étaient pas aussi spécifiques que les gestionnaires techniques du spectre le laissent entendre. La création et la vente de droits de propriété représentent alors un nouvel arrangement institutionnel à côté du précédent, c'est-à-dire celui de commandement et de contrôle. Ce passage d'un modèle administré à un modèle de marché peut être analysé au regard de l'économie des coûts de transaction. La transaction de fréquences qui s'opère sur un marché des fréquences, ou entre une administration et l'autorité régulatrice dans le cas du modèle de gestion centralisé, représentent deux modes de gouvernance au sens de Williamson. A l'heure où se pose la question de savoir si le spectre peut devenir un objet de commerce entre acteurs économiques, on doit analyser dans quelle mesure les marchés des fréquences représentent ou

---

<sup>58</sup> Coase [1959, p.36]: «*When rights, worth millions of dollars, are awarded to one businessman and denied to others, it is no wonder if some applicants become overanxious and attempt to use whatever influence they have (political and otherwise), particularly as they can never be sure what pressure the other applicants may be exerting.*»

<sup>59</sup> Lessig [2001] pour justifier son analyse cite les références suivantes: Hazlett, [2001], Noam, [1997].

non une procédure marchande. Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, nous étudions la conception des marchés du spectre et leur fonctionnement.

### **2.2.2. L'utilisation de mécanismes axés sur le marché : le cas des attributions concurrentielles**

Trente années après l'article de Coase, la Nouvelle Zélande (1989)<sup>60</sup> et les États-Unis (1994) ont organisé les premières enchères du spectre. Le recours à des procédures concurrentielles pour l'attribution des fréquences marque la première phase du mouvement de libéralisation du spectre qui sera renforcée par la création des marchés secondaires du spectre.

#### **2.2.2.1. Les États-Unis pionniers de la libéralisation**

Aux États-Unis, le *Communications Act* de 1934 édicte les grands principes de la gestion du spectre. Il autorise la FCC (*Federal Communications Commission*) à attribuer le spectre aux usagers autres que les administrations fédérales, tandis que l'attribution des fréquences aux usagers fédéraux est faite par la NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*). Ces deux institutions établissent conjointement le Tableau national d'allocation des fréquences. L'Annexe I.4 détaille la gestion du spectre aux États-Unis (cf. **Annexe I.4. A.** La gestion du spectre aux États-Unis).

Dans le cadre la loi budgétaire de 1993 (*Omnibus Budget Reconciliation Act of 1993* (OBRA)), le congrès américain a appliqué un amendement au *Communications Act* de 1934, autorisant la FCC à attribuer les droits d'utilisation du spectre hertzien par des services de communication personnelle (*Personal Communication Services* (PCS)) en utilisant une procédure d'enchères. La Section 309(j) fut ainsi ajoutée au *Communications Act* de 1934 (cf. **Annexe I.7.** Extrait de l'*Omnibus Budget Reconciliation Act* de 1993) et les objectifs suivants furent assignés à la FCC :

- encourager le développement rapide des nouvelles technologies et des services bénéficiant à l'ensemble des citoyens, dont ceux en zones rurales, sans délais administratifs ou judiciaires,
- promouvoir les opportunités économiques et la concurrence,
- s'assurer que les nouvelles technologies soient rapidement diffusées à la population en évitant une concentration excessive des licences ou la dissémination de celles-ci entre les nombreux participants,

---

<sup>60</sup> Une enchère fermée au second prix a été utilisée pour attribuer trois licences dans la bande de fréquence des 900 MHz : la licence « AMPS A » qui correspondait aux deux blocs appariés 825-835 MHz et 870-880MHz (2\*10 MHz) ; la licence « TACS A » qui correspondait aux deux blocs appariés 890-897,5 MHz et 935-942,5 MHz (2\*7,5 MHz) ; et la licence « TACS B » correspondait aux deux blocs appariés 897,5-905MHz et 942,5-950 MHz. (2\*7,5 MHz). Ces licences n'étaient pas destinées à un service spécifique, toutefois une restriction sur la puissance d'émission était imposée.

- lever des fonds permettant de réduire le déficit public mais éviter les enrichissements injustes qui pourraient découler des méthodes utilisées pour attribuer la ressource,
- promouvoir une utilisation efficace de la ressource.

Dans le cadre du *Balanced Budget Act* de 1997, le Congrès a étendu cette autorisation en exigeant de la FCC qu'elle recoure à une procédure d'attribution concurrentielle pour toutes demandes de licences mutuellement exclusives, à l'exception de certains cas tels que les demandes de licences pour des services radio de sécurité publique ou de radiodiffusion non commerciales.

### **2.2.2.1.1. La question de l'allocation efficace du spectre**

Une fois l'autorisation d'établir une procédure d'allocation des fréquences hertziennes donnée, le problème à résoudre était celui de l'allocation efficace de ces licences hertziennes entre les différents opérateurs. Afin d'établir la procédure d'allocation optimale du spectre hertzien, la FCC a fait appel à de nombreux théoriciens<sup>61</sup>. Le marché du spectre hertzien fut ainsi l'un des premiers marchés étudié à travers la théorie du *market design* [Cramton, 1995, 1997 ; McAfee et McMillan, 1996].

La « construction de marché » ou *market design* vise à résoudre des problèmes d'allocation des ressources et s'intéresse pour cela aux procédures d'allocation des ressources rares. Le prix Nobel, Alvin Roth, définit cette discipline comme « *the part of economics intended to further the design and maintenance of markets and other economic institutions* » [Roth, 2002, p.1341]. Pour Cramton [2008], le *market design* « *determines the rules under which market participants interact* ». Dès lors, la conception des enchères pour l'allocation des ressources rares telles que les licences hertziennes fait partie de ces règles. L'objectif du *design* de marché est alors de concevoir des institutions d'échange qui améliorent l'efficacité du marché selon différents critères. Ces critères peuvent être le revenu du vendeur ou de l'acheteur, l'efficacité allocative, la baisse des coûts de transaction, etc. [Robin et Staropoli, 2013].

Le choix du mécanisme d'enchère est un problème de *design* de marché. L'enchère doit être appropriée aux circonstances telles que les spécificités de l'objet, les objectifs du gestionnaire du spectre lesquels peuvent être contradictoires (maximisation des recettes, concurrence effective sur le marché)<sup>62</sup>, ou encore le contexte de l'enchère (nature de la demande, facteurs administratifs). De ce fait, pour Kemplerer [2002] le *design* d'une enchère n'est pas « *one size fits all* » ce qui nécessite de faire du cas par cas.

---

<sup>61</sup> McMillan (FCC), Milgrom, Wilson, Plott (Pacific Bell), Bulow, Nalebuff (Bell Atlantic), McAfee (Airtouch Communications), Weber (Telephone and Data System), Cramton (MCI), Isaac (CTIA), Harris, Katz (Nyrex), Vincent (APC), Ledyard, Porter (National Telecommunications Administration).

<sup>62</sup> Dans le *design* d'une enchère du spectre le réglementeur va tenir compte de ses différents objectifs qui sont l'efficacité (attribution des licences à ceux qui les valorisent le mieux), le revenu de l'enchère (qui doit être maximisé pour abonder les caisses de l'État), et la concurrence sur le marché (l'attribution doit être objective, transparente et non discriminatoire).

Suite à l'amendement de 1993 au *Communication Act* de 1934, la FCC a retenu **une enchère ascendante simultanée** (mécanisme d'enchère ouverte à tours multiples et sans offre combinatoire) pour l'attribution des premières licences PCS (*Personal Communications Service*). Les licences PCS concernaient sept blocs de fréquences (blocs A, B, D, C, D, E et F). Les 120 MHz de spectre à attribuer, situés dans la bande des 2 GHz, ont été découpés en plusieurs licences. Le territoire américain étant découpé en 51 *Major Trading Areas* (MTAs), elles-mêmes découpées en 493 *Basic Trading Areas* (BTAs), les licences assignées portaient sur les MTA pour les blocs A et B (2\*30 MHz) et sur les BTA pour les autres blocs (30 MHz pour le bloc C, et 3\*10 MHz pour les blocs D, E et F)<sup>63</sup>. L'objectif de la FCC était de vendre simultanément ces différentes licences hertziennes. A ce moment-là, aucun exemple de vente de plusieurs objets simultanément n'existait.

Les enchères ont débuté en 1994 et se sont achevées en 1997 (cf. **Annexe I.9.B.** Détail et calendrier des enchères PCS aux États-Unis). Elles ont été un succès et ont rapportées près de 20 milliards de dollars au Trésor américain (cf. Tableau 5).

**Tableau 5 : Les résultats des premières ventes aux enchères des licences PCS**

Enchère	Largeur de la bande	Nombre de licences	Revenu ( <i>en millions de dollars</i> )
Blocs A et B	2 * 30 MHz	99	7019
Bloc C	30 MHz	493	10 071
Blocs D, E et F	3 * 10 MHz	1479	2517

Source : FCC

#### 2.2.2.1.2. Le choix du mécanisme d'enchères

Le choix de la procédure d'enchère dépend, d'une part, des caractéristiques du bien offert, et d'autre part, des attributs des agents. L'enchère simultanée à tours multiples retenue par la FCC correspondait à la fois aux caractéristiques du bien vendu et aux attributs des agents, tout en répondant aux attentes du régulateur.

S'agissant du bien, c'est-à-dire les licences hertziennes, la FCC souhaitait vendre plusieurs licences de façon à permettre aux participants de faire des agrégations efficaces. Parce qu'il existait des synergies entre les licences, la mise en vente simultanée de toutes les licences a alors permis aux offreurs de bénéficier des économies d'échelles qui existaient entre elles.

Concernant les agents, ces derniers détenaient des informations privées. L'objectif de la FCC était de faire révéler aux participants ces informations, en particulier le prix qu'ils accordaient aux licences, afin de maximiser la partie de la rente économique qu'elle pouvait s'approprier.

<sup>63</sup> Les *Trading Areas* respectent le découpage des comtés américains (3142 comtés). Avant de vendre les blocs de bande large au niveau des zones MTA (*Major Trading Area Broadband PCS Auction*) et des zones BTA (*Basic Trading Area Broadband PCS Auction*), la FCC mis premièrement en la vente les licences à bande de taille nationale (*Nationwide Narrowband PCS Auction*) et de taille régionale (*Regional Narrowband PCS Auction*).

Pour cela l'enchère simultanée était efficace car elle permettait aux offreurs de revenir en arrière et de reconsidérer leurs offres et stratégies après avoir tiré parti de l'information dévoilée lors des tours précédents.

Dans un marché les participants ont donc des préférences, des objectifs personnels, ou diverses croyances qui les conduisent à avoir des comportements différents, voir conflictuels. Les principaux attributs qui ont un impact sur le format de l'enchère sont: le degré d'aversion au risque des agents, leurs anticipations du phénomène de malédiction du vainqueur, l'hétérogénéité entre les candidats, la valeur « presque » commune, et la vulnérabilité des candidats aux comportements anticoncurrentiels. En fonction de ces attributs, l'équivalence des revenus n'est plus vérifiée et un type d'enchère peut être préférable à un autre [Mougeot, 2001] (pour une explication de ces concepts de la théorie des enchères: cf. **Annexe I.8.** Les principaux résultats de la théorie des enchères).

Par exemple, les procédures d'enchères des licences PCS ont été le théâtre de comportements anticoncurrentiels en raison de la vulnérabilité des participants aux comportements de collusion et prédation. La FCC a opté pour une enchère ouverte. Pourtant, lorsque les participants sont vulnérables aux comportements de collusion ou de prédation, une enchère sous pli scellé au premier prix est plus efficace qu'une enchère ascendante avec un processus de découverte des prix [Mougeot, 2001]. En effet, ce processus est favorable aux ententes puisqu'il permet aux agents de s'entendre et de vérifier si leurs adversaires respectent bien les conditions d'entente préalablement définies [McMillan, 1994 ; Cramton, 1997]. Dans le cas des enchères PCS, les offres ouvertes ont conduit les acteurs à mettre en place une stratégie de *code bidding*, c'est-à-dire que les enchérisseurs ont coordonné leurs actions en utilisant les deux ou trois derniers chiffres de la proposition faite pour signaler les codes géographiques des régions convoitées [Cramton et Scharwtz, 2000].

Dès lors, le régulateur en tant que *designer* de l'enchère doit alors modifier et adapter la procédure d'enchère en fonction des comportements des agents et des caractéristiques du bien spectral ce qui peut l'amener à ré-intervenir pour améliorer les règles d'enchères.

Depuis leur première enchère en 1994, les États-Unis ont organisé plusieurs ventes. L'Annexe I-9 en fournit l'historique sur la période 1994-2014 (cf. **Annexe I.9.** Historique des enchères du spectre aux États-Unis). Les principales procédures d'enchères qui ont été utilisées dans les différents pays pour l'attribution des licences hertziennes sont les suivantes : les enchères à un seul tour sous pli scellé au premier ou au second prix, les enchères ascendantes, les enchères simultanée à plusieurs tours ascendantes, les enchères combinatoires (cf. Encadré 3). Dans le cas des licences hertziennes, la forme de l'enchère est déterminée par les caractéristiques suivantes [UIT, 2014]:

- l'ouverture : l'enchère peut être ouverte ou fermée,
- le nombre de tour : l'enchère peut être à un seul tour ou à plusieurs tours,

- la vente aux enchères du spectre peut concerner un ou plusieurs objets, c'est-à-dire une ou plusieurs licences/lots (on parle dans ce cas d'enchère mono-objet ou multi-objets), et si l'enchère est multi-objets alors elle peut être séquentielle (une enchère pour une licence) ou simultanée (une enchère pour plusieurs licences),
- le type d'offres : offres combinatoires ou non combinatoires,
- la direction : l'enchère peut être ascendante (au premier ou second prix) ou descendante.

### Encadré 3 : Les principaux types d'enchères du spectre hertzien

**Les procédures d'enchères sont réparties en deux catégories selon qu'elles soient orales (enchères anglaises et hollandaises) ou écrites (enchères scellées au premier ou au second prix).**

- **Enchères à un seul tour sous pli scellé (au premier prix/au second prix (enchère de Vickrey))** : Si l'enchère est au premier prix, le gagnant est celui qui a fait l'offre la plus élevée et il paie le prix qu'il a offert. L'avantage de cette enchère est sa simplicité : elle est simple à concevoir, facilement compréhensible par les candidats, et elle se déroule très vite. Elle est idéale pour des petits lots de fréquences, par exemple pour de petites zones géographiques. De plus, elle favorise la concurrence en encourageant les nouveaux entrants à entrer. Cependant, les candidats peuvent sous-évaluer leur offre pour éviter la « malédiction du vainqueur<sup>64</sup> » et ce d'autant plus que l'environnement est incertain. Ils peuvent gagner des biens très similaires à des montants très différents, et il n'y a pas de processus de découverte du prix de marché. Les « prix de réserve<sup>65</sup> » doivent être définis avec précaution.

Si l'enchère est au second prix (enchère de Vickrey), le gagnant est celui qui a fait l'offre la plus élevée et il paie un montant égal à la deuxième offre la plus élevée. Les avantages de cette enchère sont les mêmes que pour l'enchère fermée au premier prix sauf que celle-ci encourage les candidats à révéler leur vraie valorisation du spectre en fournissant un garde-fou contre la malédiction du vainqueur. Il n'y a pas de processus de découverte du prix de marché.

En cas d'enchère multiples, les propriétés de substituabilités/complémentarités entre les biens peuvent conduire à des « problèmes d'exposition » (un candidat remporte trop ou pas assez de licences), en particulier si l'enchère est organisée en plusieurs sous-enchères indépendantes (enchères séquentielles).

- **Enchères anglaises (ascendantes)/hollandaises (descendantes)** : Ces procédures orales attribuent le bien à celui qui propose le prix le plus élevé. Dans le cas d'une enchère anglaise (ascendante) les offres sont annoncées librement et en public, et le bien revient à celui qui propose le prix le plus élevé, tandis que dans une enchère hollandaise (descendante) le commissaire priseur part d'un prix élevé qu'il diminue progressivement jusqu'à ce qu'un acheteur se manifeste.

**Les deux procédures les plus utilisées pour l'attribution des licences hertziennes sont les enchères simultanées à plusieurs tours ascendantes, et depuis 2008, les enchères combinatoires au cadran.**

- **Enchères ascendantes à tours multiples simultanées (EARMS) ou *Simultaneous Multi-Round Ascending Auctions* (SMRA auctions)**: Dans une enchère simultanée à plusieurs tours les candidats

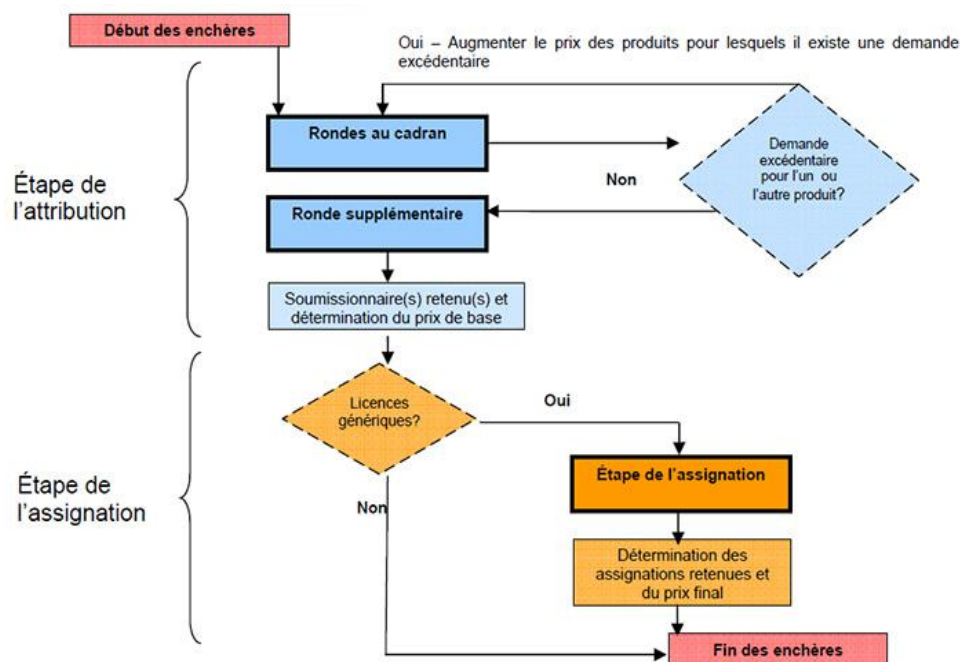
<sup>64</sup> cf. **Annexe I.8.** Les principaux résultats de la théorie des enchères

<sup>65</sup> cf. **Annexe I.8.** Les principaux résultats de la théorie des enchères

enchérissent tour après tour pour plusieurs lots offerts simultanément jusqu'à l'occurrence d'un tour où aucune offre n'est proposée. L'appel d'offre reste donc ouvert tant que les offres continuent d'augmenter. Les tours se succèdent jusqu'à ce que le plus offrant soit sélectionné. L'organisateur de l'enchère peut définir un « incrément minimum<sup>66</sup> » et imposer aux enchérisseurs une « règle d'activité<sup>67</sup> » afin d'éviter les comportements stratégiques. L'identité des enchérisseurs peut être cachée de façon à éviter les comportements de collusion ou de « *signalling* ». Cette procédure est avantageuse parce que sa conception permet la vente de plusieurs lots de fréquences, qui peuvent être des substituts ou des compléments. Les différents prix d'adjudication reflètent ainsi les différences entre les lots et entre les valorisations. Contrairement aux enchères précédentes celle-ci a un processus de découverte du prix qui se révèle particulièrement important lorsque les acheteurs cherchent à gagner plusieurs lots. Cependant elle peut être longue à mettre en œuvre et coûteuse.

- **Enchères combinatoires au cadran** ou *Combinatorial Clock Auction (CCA)*: Cette enchère est utilisée lorsque plusieurs lots comportant de fortes propriétés de complémentarité sont mis en jeu et que les évaluations des différents candidats sont significativement différentes. Elle permet aux candidats de faire des offres sur des combinaisons de lots et au gestionnaire du spectre de déterminer les soumissionnaires retenus et le nombre de blocs de licences qui leurs seront attribués. Le risque d'obtenir seulement une partie des fréquences désirées est ainsi réduit<sup>68</sup>. Cette attribution se fait lors d'une première étape, l'étape de l'attribution, qui comprend un tour au cadran (avec découverte des prix) et un tour supplémentaire (cf. Figure ci-dessous pour le fonctionnement des ECC).

#### Fonctionnement des enchères combinatoires au cadran (ECC)



Source : Industrie Canada

<sup>66</sup> cf. **Annexe I.8.** Les principaux résultats de la théorie des enchères

<sup>67</sup> cf. **Annexe I.8.** Les principaux résultats de la théorie des enchères

<sup>68</sup> Il existe un problème d'exposition (« *problem exposure* ») lorsque les offreurs risquent d'obtenir seulement quelques licences parmi un ensemble de licences désirées. Ce problème survient lorsque les licences sont évaluées séparément.

Lors du tour au cadran les participants font des offres sur les ensembles de licences qu'ils souhaitent obtenir. Le processus de découverte des prix leur permet d'adapter leur stratégie. A chaque tour, le commissaire-priseur annonce les prix de tous les lots et les soumissionnaires annoncent les quantités souhaitées à ces prix. Si la demande globale dépasse l'offre disponible pour tous les lots, le commissaire-priseur lance une seconde ronde en augmentant les prix. Le processus d'appel d'offres se poursuit jusqu'à ce que les prix atteignent un niveau où il n'y a plus de demande excédentaire. Le tour supplémentaire permet aux candidats de faire une offre sur d'autres ensembles de licences étant donné que le tour au cadran autorise les candidats à soumettre une offre seulement sur un ensemble de lots seulement. À la fin de l'étape de l'attribution, les participants ont connaissance du nombre de licences qu'ils ont gagné et du prix qu'ils doivent payer.

L'étape de l'assignation a vocation à simplifier les deux premiers tours. En effet, l'étape de l'attribution ne traite alors que les licences identiques, encore appelées licences « génériques ». Les licences spécifiques sont traitées lors de la troisième étape, celle de l'assignation, afin de ne pas complexifier les deux premières rondes.

Les enchères combinatoires au cadran peuvent être assorties de différentes règles en fonction des objectifs du régulateur et de l'environnement (par exemple, un prix de réserve, une règle d'activité, ou encore un prix incrémental peuvent être mis en œuvre pour une plus grande efficacité de la vente).

Le mécanisme d'enchères ascendantes simultanées mis en place par la FCC a été repris et utilisé lors de plusieurs ventes aux enchères de licences hertziennes dans plusieurs pays.

#### **2.2.2.2. Le cas de l'Europe**

En Europe, l'agenda serré, imposé par la décision du Conseil européen et du Parlement du 14 décembre 1998 (Décision 128/1999/CE), prescrivait une introduction coordonnée et progressive des services UMTS sur le territoire européen au 1er janvier 2002 et la mise en œuvre de mécanismes d'attribution des autorisations UMTS au 1er janvier 2000, au plus tard. Cette même décision rejetait la recommandation de la Commission européenne d'organiser des mécanismes d'attribution harmonisés en Europe et promouvait un **principe de subsidiarité** au bénéfice des États Membres. Ces derniers étaient par conséquent responsables individuellement du *design* des mécanismes d'attribution et de leurs conditions sur leur territoire. Des règles législatives communautaires communes ont été établies (mécanismes ouverts, transparents et non discriminatoires) mais la responsabilité attribuée à chaque État quant au choix du *design* a conduit à une organisation non coordonnée et séquentielle des attributions de spectre entre les États Membres. Concernant les licences UMTS, huit pays ont décidé de recourir à un système d'enchères (Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Grèce, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni) tandis que sept États membres (Espagne, Finlande, France, Irlande, Luxembourg, Portugal, et Suède) ont préféré maintenir une procédure de soumission comparative ou « concours de beauté ». Parmi les huit pays ayant opté pour une procédure d'enchères, certains ont choisi des enchères fermées (comme le Danemark (3G)), alors que

d'autres ont opté pour des enchères simultanées ascendantes (comme l'Allemagne (3G) et le Royaume-Uni (3G)).

Morand et Naegelen [2002] expliquent que le processus d'ouverture à la concurrence des télécommunications a conduit les autorités à départager les éventuels concurrents pour l'accès au spectre sur d'autres critères que celui du « premier arrivé premier servi ». En Europe, les principaux instruments de la libéralisation furent les directives de libéralisation et d'harmonisation et les règles du droit commun de la concurrence. La Directive du 16 janvier 1996 relative à la libéralisation de la téléphonie mobile avait pour objectif de favoriser l'arrivée sur le marché de nouveaux acteurs et de faciliter l'interconnexion des réseaux. Pour Cartelier et Crocq [2002], la promotion et le développement de la concurrence sont passés par l'octroi des licences aux opérateurs. Morand et Naegelen [2002] considèrent que l'intérêt d'une procédure de mise en concurrence directe des opérateurs a été renforcé par le mouvement de libéralisation du secteur des télécommunications un peu partout dans le monde<sup>69</sup>. Ce raisonnement pourrait expliquer pourquoi le mode d'attribution concurrentiel des licences hertziennes s'applique en majeure partie aux marchés des télécommunications mobiles.

À ce jour, les enchères sont le principal mode d'attribution des licences de téléphonie mobile en Europe. Lors des dernières ventes aux enchères des licences 4G, les régulateurs ont opté pour différents *design* en fonction de leurs objectifs.

En France, la création d'un marché régulé de fréquences a également constitué un des arrangements institutionnels les plus importants. Conformément à la loi, le choix du mécanisme d'attribution et des conditions d'utilisation du spectre sur le territoire a été le fruit d'une **codécision entre l'État et le régulateur sectoriel**. La procédure retenue devait permettre de répondre aux objectifs du régulateur à savoir l'aménagement numérique du territoire, la concurrence sur le marché mobile, et la valorisation du domaine public de l'État.

En 2011, le régulateur a opté pour des enchères séquentielles (enchère 2,6 GHz au 15 septembre 2011 et enchère 800 MHz au 15 décembre 2011), multicritères (obligation de couverture, montant financier, engagement d'accueil d'opérateurs virtuels (MVNO pour *Mobile Virtual Network Operator*)), sous pli scellé (un seul tour), et au premier prix pour attribuer les licences 4G en France. En raison de la vulnérabilité des participants aux comportements de collusion ou aux stratégies de prédation, le régulateur a choisi une enchère fermée. Par ailleurs, afin de tenir compte de l'objectif d'aménagement du territoire, il a décidé d'utiliser une enchère combinatoire en donnant la possibilité aux offreurs d'acquérir des quantités variables de spectre en fonction de leur stratégie. Quatre blocs de fréquences de 5 ou 10 MHz duplex

---

<sup>69</sup> Aux États-Unis par exemple, la promotion de la concurrence locale était l'un des principaux objectifs dès le démantèlement d'AT&T en 1984. En Nouvelle-Zélande, le passage d'un système de licence radio administrative à un système de droits d'usage de spectre a constitué une étape de processus de libéralisation. Des droits de gestion du spectre et des licences d'exploitation ont été créés, permettant l'exploitation d'une bande de fréquence pour une durée de 20 ans, sans un usage spécifique imposé.

étaient disponibles dans la bande 800 MHz, et 14 blocs de 5 MHz duplex chacun dans la bande 2,6 GHz.

Sous cette procédure d’enchère, les opérateurs ont dû formuler des offres sur différents lots de fréquences. L’autorité régulatrice a ensuite classé toutes les combinaisons d’offres des candidats en attribuant à chacun une note globale égale à la somme des notes des offres individuelles. Afin d’encourager les candidats à offrir des conditions d’accueil favorables aux opérateurs virtuels « MVNO » (*Mobile Virtual Network Operator*) de façon à promouvoir la concurrence sur le marché mobile, cette note était basée sur différents critères tels que le montant financier (MFIN), les engagements d’accueil des MVNO, ou encore les engagements sur l’aménagement du territoire<sup>70</sup>. C’est la combinaison la mieux notée parmi l’ensemble des combinaisons examinées qui a été retenue. Cette procédure d’enchères a permis d’atteindre les trois objectifs que le régulateur s’était fixé : les quatre opérateurs ont obtenu des fréquences, ils ont tous pris des engagements volontaires d’accueil des « *full MVNO* »<sup>71</sup>, et les enchères ont également généré 3,6 milliards d’euros (cf. Tableau 6).

**Tableau 6 : Résultats des enchères 4G en France**

	Quantité	Prix	Ct/MHz/pop
Enchère à 2,6 GHz	2*70 MHz	936,1 M€	10,59 ct
Enchère à 800 MHz	3*30 MHz	2 639 M€	69,67 ct

Source : Arcep

Au Royaume-Uni, le régulateur britannique a décidé d’utiliser en 2013 une procédure d’enchère combinatoire au cadran pour attribuer les licences 4G. Pour Ausubel et Baranov [2014a]: « *the combinatorial clock auction (CCA) is an important recent innovation in market design* ». Depuis 2008, cette procédure d’enchères a été utilisée dans plusieurs pays européens pour l’attribution de licences hertziennes (cf. Tableau 7) et a évolué de façon à mieux correspondre au bien spectral et aux différents soumissionnaires<sup>72</sup>. Elle a largement rattrapé le succès des enchères simultanées à tours multiples. A cet effet, Cramton [2013] montre comment les enchères combinatoires au cadran répondent aux défauts des enchères ascendantes à tours multiples simultanées pour l’attribution des licences hertziennes. En outre, il apparaît que cette procédure d’enchères est particulièrement adaptée à l’attribution de licences complémentaires.

<sup>70</sup> Note = MFIN x CMVNO [x CAAdT], avec CMVNO le facteur multiplicateur concernant l’engagement d’accueil « full MVNO » et CAAdT le facteur multiplicateur concernant l’aménagement du territoire (à 800 MHz). Les facteurs multiplicateurs sont décroissants pour les lots croissants : CMVNO = 1+2/n (à 2,6 GHz) et CMVNO = CAAdT = 1+1/n (à 800 MHz), avec n = nombre de blocs 5 MHz duplex.

<sup>71</sup> Un full MVNO dispose de toutes les fonctionnalités d’un opérateur mobile en dehors de la couverture réseau radio (GSM, UMTS ou LTE).

<sup>72</sup> Le mécanisme d’enchères combinatoires au cadre a également été utilisé dans d’autres pays à l’extérieur de l’Europe, comme par exemple en Australie en 2010 (Enchères de la bande 2.6 GHz / 39.5 millions d’euros de revenus) et en 2013 (Enchères du dividende numérique / 1.96 milliards de dollars de revenus (\$AU)) ainsi qu’au Canada en 2014 (Enchères de la bande 700 MHz / 5.27 milliards de dollars de revenus (\$CA)).

Les diverses expériences de ventes aux enchères du spectre utilisant le format des enchères combinatoires au cadran ont montré un écart important entre la théorie et la pratique : les régulateurs en charge de l’établissement des règles ont dû personnaliser le format de ces enchères en fonction de leurs objectifs spécifiques et de l’environnement de la vente [Ausubel et Baranov, 2014b].

**Tableau 7 : Les enchères combinatoires au cadran en Europe**

<b>Pays et enchères</b>	<b>Années</b>	<b>Revenus</b>
Royaume-Uni <i>10 – 40 GHz Auction</i>	2008	1.43 millions de £
Royaume-Uni <i>L-Band Auction</i>	2010	8.33 millions de £
Pays-Bas <i>2.6 GHz Spectrum Auction</i>	2010	2.63 millions d’€
Danemark <i>2.6 GHz Spectrum Auction</i>	2010	1.01 milliards de DKK
Suisse <i>Spectrum Auction</i>	2012	996 millions de CHF
Danemark <i>800 MHz Spectrum Auction</i>	2012	739 millions de DKK
Irlande <i>Multi-Band Spectrum Auction</i>	2012	482 millions d’€
Pays-Bas <i>Multi-Band Spectrum Auction</i>	2012	3.80 milliards d’€
Royaume-Uni <i>4G Spectrum Auction</i>	2013	2.34 milliards de £
Australie <i>Multi-Band Spectrum Auction</i>	2013	2.01 milliards d’€
Slovaquie <i>800, 1800 and 2600 MHz Spectrum Auction</i>	2013	164 millions d’€
Slovénie <i>Multi-Band Spectrum Auction</i>	2014	149 millions d’€

Source : Ausubel et Baranov [2014b]

Pour l’attribution des licences 4G au Royaume-Uni, les quatre objectifs de l’Ofcom étaient les suivants:

- les licences hertziennes mises en vente devaient être technologiquement neutres,
- les droits d’usage du spectre devaient être flexibles afin de laisser aux utilisateurs la liberté d’utiliser leurs fréquences comme ils le souhaitaient sous contrainte de minimisation des interférences avec leurs voisins en bandes adjacentes,
- le mécanisme d’enchères devait promouvoir une attribution efficace du spectre de telle sorte que celui-ci soit utilisé pour le meilleur usage,
- les enchères devaient promouvoir la concurrence sur le marché national aval.

Un total de 250 MHz de spectre a été vendu et concernait deux bandes distinctes: la bande 800 MHz résultant du premier dividende numérique et la bande 2,6 GHz intéressante pour augmenter la capacité des réseaux. Les lots mis en vente ont été classés en quatre catégories:

- Catégorie A : 4 lots de 2 x 5 MHz et 1 lot de 2 x 10 MHz (avec obligation de couverture de 98% de la population en intérieur) sur la bande 800 MHz.
- Catégorie C : 14 lots of 2 x 5 MHz sur la bande appariée de 2.6 GHz.
- Catégorie D : au maximum dix utilisateurs étaient autorisés à soumissionner pour 2 x 10 MHz (catégorie D1) ou 2 x 20 MHz (D2) dans la bande appariée de 2.6 GHz pour

une utilisation partagée de faible puissance en vue d'assurer la construction de réseaux locaux.

- Catégorie E : 9 lots of 5 MHz dans la bande de 2.6 GHz non appariée.

Afin de réaliser les différents objectifs fixés, l'Ofcom a choisi une procédure d'enchère combinatoire au cadran avec la mise en place de plafonds du spectre. Un plafond de 2 x 105 MHz a été imposé sur l'ensemble du spectre et un autre de 2 x 27,5 MHz a été imposé seulement sur les bandes sous 1 GHz. Par ailleurs, le régulateur a également tenu compte de l'objectif d'une utilisation efficace du spectre en permettant aux soumissionnaires intéressés par une utilisation partagée du spectre, à faible puissance en bande 2,6 GHz, de participer à la vente aux enchères.

**Les règles du plafond de spectre lors des enchères 4G au Royaume-Uni : extrait de «*The Wireless Telegraphy (Licence Award) Regulations 2012*»**

« The spectrum cap rule consists of the two requirements on spectrum holdings. The first requirement is that a bidder's post-award spectrum holdings may not amount to total rights of use of more than:

(a) two hundred and ten megahertz of frequencies in the frequency bands set out in List A, if the bidder's post-award spectrum holdings do not include rights of use of frequencies in the frequency band 2570 MHz to 2615 MHz; or

(b) two hundred and fifteen megahertz of frequencies in the frequency bands set out in List A, if the bidder's post-award spectrum holdings do include rights of use of frequencies in the frequency band 2570 MHz to 2615 MHz.

The second requirement is that a bidder's post-award spectrum holdings may not amount to total rights of use of more than fifty five megahertz of frequencies in the frequency bands set out in List B. "Post-award spectrum holdings", in relation to a bidder, means: (a) the bidder's recorded spectrum holdings; and (b) rights of use of frequencies that the bidder acquires under this award process. »

Les bandes des fréquences faisant parties des listes A et B :

- Pour la liste A: 791 à 821 MHz / 832 à 862 MHz / 880.1 à 914.9 MHz / 925.1 à 959.9 MHz / 1710.1 à 1781.7 MHz / 1805.1 à 1876.7 MHz / 1920.0 à 1979.7 MHz / 2110.3 à 2169.7 MHz / 2500 à 2570 MHz / 2570 à 2615 MHz / 2620 à 2690 MHz
- Pour la liste B : 791 à 821 MHz / 832 à 862 MHz / 880.1 à 914.9 MHz / 925.1 à 959.9 MHz

A l'issue de sa consultation de 2012 sur l'avenir de la concurrence mobile au Royaume-Uni<sup>73</sup>, l'Ofcom avait conclu qu'au moins quatre opérateurs crédibles devaient être présents sur le marché national afin que les consommateurs puissent bénéficier de prix et de services concurrentiels. Sur cette base, le découpage du spectre réalisé par l'Ofcom, le choix de réserver un bloc de fréquences pour un nouvel entrant et les plafonds du spectre que le régulateur a imposé, ont permis de passer d'une structure de marché à trois opérateurs à une structure constituée de quatre opérateurs crédibles (le spectre réservé à un quatrième opérateur a été remporté par Hutchison 3G UK Ltd). Les règles définies ont par ailleurs favorisé l'entrée

<sup>73</sup> Voir « Second consultation on assessment of future mobile competition and proposals for the award of 800 MHz and 2.6 GHz spectrum and related issues ». <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/award-800mhz-2.6ghz/summary>

d’un nouvel opérateur (Niche). Ces enchères ont rapporté plus de 2 milliards de livre (cf. Tableau 8).

**Tableau 8 : Les résultats des enchères 4G au Royaume-Uni**

<b>Gagnants</b>	<b>Blocs de fréquences assignées</b>	<b>Prix payé (en millions de £)</b>
Everything Everywhere Ltd	2 x 5 MHz dans la bande 800 MHz 2 x 35 MHz dans la bande 2,6 GHz	589
Hutchison 3G UK Ltd	2 x 5 MHz dans la bande 800 MHz	225
Niche Spectrum Ventures Ltd (BT)	2 x 15 MHz et 1 x 20 MHz (non apparié) dans la bande 2,6 GHz	202
Telefónica UK Ltd (02)	2 x 10 MHz dans la bande 800 MHz (obligation de couverture <sup>74</sup> )	550
Vodafone Ltd	2 x 10 MHz dans la bande 800 MHz, 2 x 20 MHz et 1 x 25 MHz (non apparié) dans la bande 2,6 GHz	803
<b>Total : 2,4 milliards de £</b>		

Source: Ofcom

Dès les années 1990, l'utilisation de mécanismes fondés sur le marché pour la gestion du spectre est ainsi devenue une alternative au mode d’attribution traditionnelle de commandement et de contrôle. Ce mode d’attribution, notamment utilisé pour l’attribution de licences hertziennes à des services commerciaux comme les services de communication mobile, s’est accompagné d’une politique de concurrence.

### **2.2.2.3. « Market Design » et politique de concurrence**

La politique de concurrence a été renforcée dans le cadre des ventes aux enchères des licences hertziennes. Celle-ci n’a pas vocation à introduire la concurrence dans les enchères elles-mêmes, mais plutôt sur le marché aval des communications électroniques, dans la mesure où une concentration trop forte sur le marché primaire du spectre se répercuterait sur le marché des services mobiles. En facilitant l’entrée de nouveaux acteurs et en réduisant le risque de concentration dans les acquisitions de licences hertziennes, les enchères du spectre contribuent à améliorer la compétitivité et la performance du marché aval.

La régulation sectorielle cherche ainsi à réduire les barrières à l’entrée pour de nouveaux entrants, à promouvoir l’accès au spectre, et à lutter contre le pouvoir de marché détenu par les opérateurs en place. Pour promouvoir l’innovation et la concurrence sur le marché aval des télécommunications mobiles, la conception des marchés primaires du spectre joue un rôle essentiel. Cramton [2008] montre le rôle central du *market design* à travers l’étude de quatre marchés : le marché des quotas d’émission carbone, le marché des créneaux horaires dans les aéroports, le marché d’attribution des licences hertziennes, et le marché de l’électricité.

<sup>74</sup> Telefónica UK Ltd est tenu de couvrir 98% de la population minimum avec un service de haut débit mobile en intérieur (et 99% minimum en extérieur), et au moins 95% de la population de chacune des nations du Royaume-Uni (Angleterre, Irlande du Nord, Ecosse et Pays de Galles) à au plus tard fin 2017.

S'agissant des ventes aux enchères du spectre aux États-Unis, l'auteur affirme que les enchères ont intensifié la concurrence et permis aux consommateurs de bénéficier de prix plus faibles et d'une meilleure qualité de services. Il considère que le *market design*, en permettant par exemple une meilleure information sur les prix ou une concurrence plus intense, est une source d'innovation.

Toutefois, les enchères n'induisent pas forcément des marchés concurrentiels sur le long terme. La situation concurrentielle du marché de la téléphonie mobile aux États Unis en est l'exemple : le marché est très concentré, les prix sont élevés et les acteurs puissants. Les deux opérateurs les plus importants (Verizon et AT&T) captent les deux tiers du marché [Toledano, 2014]. Pour parvenir à un marché concurrentiel et promouvoir une utilisation efficace du spectre, d'autres instruments additionnels peuvent être utilisés en fonction des objectifs. Il s'agit des plafonds du spectre (« *spectrum cap* »), de la réservation de spectre (« *set aside* »), des crédits d'appels d'offres (« *bidding credits* »), ou du découpage des bandes de fréquences.

Les **plafonds de spectre** (ou « *spectrum cap* »), ont été introduits aux États-Unis dans les années 1990. L'objectif de cette mesure consiste à favoriser la concurrence sur les marchés des télécommunications mobiles en limitant la quantité de spectre qu'un opérateur peut détenir sur une aire géographique donnée. Ils ont surtout été imposés dans les pays où les licences sont régionales (Australie, Canada, États-Unis, Inde, etc.). Combiné à une procédure d'enchères, un plafond du spectre permet d'éviter une monopolisation de la ressource par un acteur qui se retrouverait, auquel cas, en monopole sur le marché aval. Les plafonds imposés par une autorité peuvent concerner soit l'ensemble des fréquences destinées à un service, soit une bande particulière. Dans ce cas, on parle alors de « *band-specific caps* ».

#### **Exemples de plafond du spectre aux États-Unis (enchères PCS), au Canada (Bande 700 MHz), en France (enchères 4G) et au Royaume-Uni (Enchères 4G)**

Aux États-Unis, dans le cadre de la vente aux enchères des licences PCS en 1994, la FCC limita à **45 MHz** la quantité totale de spectre que les opérateurs cellulaires pouvaient accumuler. Ainsi, ceux qui détenaient déjà des licences de 25 MHz de spectre n'ont pas eu la possibilité de participer à la vente aux enchères des blocs A et B (30 MHz de largeur)<sup>75</sup>. En revanche, ils pouvaient toujours enchérir sur deux des trois blocs de 10 MHz (blocs D, E, F) (cf. Tableau 5).

Au Canada, les 68 MHz de spectre disponible lors de la vente aux enchères de la bande 700 MHz (14 janvier 2014 – 13 février 2014) ont été répartis en sept blocs (blocs A, B, C, C1, C2, D, E,) dans 14 zones de service<sup>76</sup>, pour un total de 98 licences. Certaines de ces licences étaient assujetties à des plafonds de spectre. Entre autre, un plafond a été imposé à tous les titulaires de licence sur deux blocs

---

<sup>75</sup> En 1994, la FCC a lancé les enchères des licences PCS régionales (*Regional Narrowband PCS*) avant de mettre en vente les licences PCS sur les zones MTA (*Major Trading Areas*). Les opérateurs détenaient des licences cellulaires de 25 MHz n'ont pas pu enchérir sur les licences des blocs A et B en 1995 (*Broadband PCS a and B block*). En 1996, les licences du bloc C ont été mises en vente, puis celles des blocs D, E et F en 1997.

<sup>76</sup> Les 14 zones de services sont les suivantes : Terre-Neuve-et-Labrador, Nouvelle-Écosse et Île-du-Prince-Édouard, Nouveau-Brunswick, Est du Québec, Sud du Québec, Est de l'Ontario et Outaouais, Nord du Québec, Sud de l'Ontario, Nord de l'Ontario, Manitoba, Saskatchewan, Alberta, Colombie-Britannique, Yukon et Territoires du Nord-Ouest et Nunavut.

de fréquences appariées, et un autre a été imposé aux grands opérateurs<sup>77</sup> sur les blocs B, C, C1 et C2. Les plafonds du spectre imposés par Industrie Canada ont permis l'entrée d'un quatrième opérateur dans chaque région du pays [Industrie Canada, 2013].

En France, lors des enchères combinatoires 4G en 2012, afin d'éviter des disparités trop importantes entre les quantités de spectre obtenues, des plafonds de fréquences ont été imposés afin de limiter la quantité qu'un même opérateur pouvait obtenir. Un maximum 15 MHz duplex dans la bande 800 MHz et de 30 MHz duplex dans la bande 2,6 GHz ont été imposés.

Au Royaume-Uni, lors des enchères 4G en 2013 deux types de plafonds du spectre ont été imposés : un plafond de 2 x 105 MHz sur l'ensemble des licences, c'est-à-dire sur les nouvelles licences et celles déjà existantes (plafond qui s'est révélé contraignant pour l'opérateur Everything Everywhere), et un plafond de 2 x 27,5 MHz sur le spectre sous 1 GHz (qui s'est révélé contraignant pour les opérateurs Vodafone et Telefonica).

Après avoir augmenté les plafonds en 1998 (passage d'un plafond de 45 MHz en 1994 à un plafond de 55 MHz en 1998), la FCC décida en 2000 de les supprimer, considérant que le marché mobile était suffisamment concurrentiel. Toutefois, d'autres pays y ont encore recours.

La **réserve du spectre** (ou « *set-asides* ») consiste à réserver une partie des licences à des utilisateurs particuliers (généralement des petits opérateurs ou des nouveaux entrants) de façon à favoriser la diversité des acteurs sur le marché et à intensifier la concurrence sur le marché des télécommunications mobiles.

#### **Exemple de réserve du spectre aux États-Unis (enchère PCS), au Royaume Uni (enchère 3G), et au Canada (enchère AWS)**

Dans le cadre de l'amendement du *Communications Act* de 1934 en 1993 qui autorisa la FCC à utiliser un système d'enchères pour attribuer le spectre, le Congrès fixa également à la FCC un objectif de diversité visant à favoriser l'entrée de nouveaux opérateurs sur le marché des télécommunications mobiles. Lors de la vente aux enchères des licences PCS, l'autorité décida de mettre de côté le bloc C et le bloc F afin de les réserver à des petites entreprises (ou « *designated entities* » (DE), c'est-à-dire les entreprises qui possédaient moins de 500 millions de dollars d'actifs et un revenu annuel inférieur à 125 millions de dollars).

Au Royaume-Uni, lors des enchères 3G en 2000, le Gouvernement britannique a pris la décision pour promouvoir la concurrence de proposer cinq licences (soit une de plus que les quatre licences GSM détenues par les opérateurs en place) et de réserver la licence ayant la bande de fréquence la plus large (15 MHz) à un nouvel entrant. Afin que cette règle fonctionne, les enchérisseurs n'avaient pas la possibilité d'acquiescer plus d'une licence.

En 2008, Industrie Canada, l'organisation responsable de la gestion du spectre au Canada, a mis aux enchères 105 MHz de spectre radioélectrique destiné aux fournisseurs de services mobiles (enchères AWS). Sur ces 105 MHz, 40 MHz ont été mis de côté pour les nouveaux entrants. Les 65 MHz restant étaient ouverts à tous les soumissionnaires. Les nouveaux entrants représentaient les entités détenant moins de 10% du marché national (sur la base des recettes).

---

<sup>77</sup> Un grand opérateur est une entreprise qui détient au moins 10 % de part de marché du marché national des abonnés au service concerné, ou au moins 20 % de part de marché dans la province de la zone concernée par la licence.

Les **crédits d'appel d'offres** (ou « *bidding credits* ») sur les soumissions gagnantes sont un autre moyen de favoriser l'entrée de nouveaux opérateurs en jouant cette fois-ci sur l'aspect financier. En accordant aux nouveaux entrants un crédit sur le prix à payer en cas de victoire, l'autorité offre à une catégorie d'acteurs préalablement définie la possibilité de soumissionner face à des adversaires plus puissants financièrement.

**Exemple de crédits d'appel d'offres aux États-Unis (licences PCS et de la bande 700 Mhz)**

Lors des premières ventes aux enchères des licences PCS (« *Auctions 5, 10 et 11* », cf. **Annexe I.9.B.** Détail et calendrier des enchères PCS), la FCC a utilisé des crédits d'appel d'offres pour des offreurs désignés. Les crédits concernaient les blocs C et F : les soumissionnaires qualifiés de « petites entreprises » pouvaient bénéficier d'une remise de 25%. La FCC a maintenu le recours à ces crédits (et aux plafonds de spectre) lors de la remise aux enchères des blocs en 2009 (« *Auction 58* »).

Un autre exemple est celui de la vente aux enchères de la bande 700 MHz en 2008. Dans le cadre de cette enchère aucun plafond de spectre n'était imposé mais la FCC a fait le choix de mettre en place des crédits d'appel d'offres pour favoriser la concurrence et l'entrée de nouveaux opérateurs sur le marché. Les crédits d'appel d'offres (non cumulables) ont été définis par l'autorité dans le cadre de cette procédure de la façon suivante :

« **(a)** A bidder with attributed average annual gross revenues that exceed \$15 million and do not exceed \$40 million for the preceding three years ("small business") will receive a 15 percent discount on its winning bid, and

**(b)** A bidder with attributed average annual gross revenues that do not exceed \$15 million for the preceding three years ("very small business") will receive a 25 percent discount on its winning bid »<sup>78</sup>.

En Europe, le **découpage du spectre** (ou « *band plan* ») est beaucoup utilisé par les autorités en charge de la gestion du spectre pour promouvoir la concurrence. La structure du marché peut être conditionnée par le nombre de licences mises en vente, en particulier lorsque l'autorité décide qu'un opérateur ne peut pas obtenir plus d'une licence. Le régulateur peut attribuer par enchères ou soumissions comparatives un nombre de licence supérieur au nombre d'opérateurs en place (on parle alors de « *excess licenses* »). Pour l'attribution des licences 3G sur la période 1999-2005, de nombreux pays européens ont proposé une, voire deux licences excédentaires [Madden, Bolhin et Morey, 2014]<sup>79</sup>.

<sup>78</sup> Voir Public Notice, auction of 700 MHz band licenses scheduled for January 24, 2008, [https://apps.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/DA-07-4171A1.pdf](https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DA-07-4171A1.pdf)

<sup>79</sup> Les pays qui ont proposé une licence de plus que le nombre d'opérateurs déjà en place sur le marché sont l'Autriche (2000), l'Allemagne (2000), la Pologne (2000), Lichtenstein (2002), Luxembourg (2002). Ceux qui ont proposé deux licences de plus que le nombre d'opérateurs sur le marché sont les suivants: Norvège (2000), Portugal (2000), Espagne (2000), Suède (2000), Suisse (2000), France (2001, 2002), République Tchèque (2001), Estonie (2003), Hongrie (2004), Pologne (2005). Voir Madden, Bolhin et Morey [2014].

Les avantages et les inconvénients de ces instruments sont regroupés dans le tableau 9.

**Tableau 9 : Les instruments du *market design***

<b>Instruments</b>	<b>Fonctionnement et objectifs</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Réservation de spectre</b> ( <i>Set-asides</i> )	Une ou plusieurs bandes de spectre sont réservées pour un type d'enchérisseur particulier <u>Objectif</u> : Limiter la concentration excessive de spectre	Incite les nouveaux entrants à participer aux enchères	Risque d'attribuer une partie du spectre à des titulaires moins efficaces Augmente les coûts d'acquisition des firmes en place
<b>Plafond du spectre</b> ( <i>Spectrum cap</i> )	Limiter la quantité de spectre qui peut être détenue par un opérateur <u>Objectif</u> : Limiter la concentration excessive de spectre	Permet aux nouveaux entrants, plutôt qu'aux opérateurs en place, d'enchérir sur une quantité de spectre plus importante	Risque d'empêcher une agrégation efficace du spectre
<b>Crédits sur les soumissions gagnantes</b> ( <i>Bidding credits</i> )	Rabais sur les soumissions gagnantes <u>Objectif</u> : Accorder un crédit aux nouveaux entrants pour favoriser la concurrence	Favorise et encourage les nouveaux entrants à participer aux enchères	Risque de ne pas retenir l'opérateur le plus efficace
<b>Découpage du spectre</b> ( <i>Band plan</i> )	Découpage du spectre en lots de différentes tailles et sur différentes zones géographiques <u>Objectif</u> : Améliorer la concurrence et la gamme de service offerte	Interopérabilité et économies d'échelles (dans les services et équipements)	Découpage du spectre et attribution statique et individuelle
<b>Conception des enchères</b> ( <i>Auction design</i> )	Concevoir le format de soumission, le prix de réserve et la politique d'information qui maximise le concurrence entre les enchérisseurs <u>Objectif</u> : Favoriser la concurrence	Agrégation efficace du spectre	Risque de collusion, d'entente entre les enchérisseurs dans le cas d'une mauvaise conception

Les réservations, plafonds, crédits et découpage du spectre constituent les instruments du *market design* qui se sont greffés aux procédures d'enchères. Les effets de ces instruments sur la concurrence dans le marché aval ont beaucoup été discutés dans la littérature économique qui a constaté que ces derniers pouvaient être improductifs et encourager l'entrée d'acteurs inefficaces. Dans cette section, nous avons seulement montré que le mode d'attribution du spectre, fondé sur les mécanismes du marché et les droits de propriété, s'est accompagné de la mise en œuvre de plusieurs outils afin de répondre à une politique de concurrence<sup>80</sup>.

Il convient néanmoins de souligner que si ces instruments sont bien définis, ils peuvent améliorer la concurrence sur le marché aval des télécommunications mobiles. En revanche, l'existence d'un mécanisme concurrentiel en amont d'une transaction ne produit pas toujours une efficacité *ex post* de la concurrence. Williamson [1994] a démontré l'importance d'une gouvernance *ex post* notamment en fonction de la nature du bien ou du service considéré<sup>81</sup>. Si la transaction est spécifique et complexe, le marché seul ne suffit pas et une structure de gouvernance *ex post* est alors nécessaire. Les communications électroniques sont caractérisées par d'importantes économies d'échelle, et l'accès à une bande de fréquences nécessite des investissements spécifiques et irrécouvrables sans coûts, qui peuvent créer des problèmes contractuels et empêcher dans certains cas les mécanismes classiques du marché de fonctionner.

<sup>80</sup> Certains auteurs ont étudié les impacts de ces différents instruments sur la concurrence dans les marchés en aval. Ces instruments n'ont pas toujours eu les effets escomptés et l'efficacité de certains d'entre eux, comme les *set-asides* par exemple, a beaucoup été discutée dans la littérature économique. Pour une analyse des effets des divers instruments de politique de concurrence, voir la littérature suivante : Ayres et Cramton [1996], Hazlett et Boliek [1999], Cramton [2001], Crandall et Ingraham [2007], Cramton, Ingraham, and Singer [2008], Dippon [2009] et Madden, Bolhin et Morey [2014]. Par exemple Ayres et Cramton [1996] montrent comment les mises en réserve (*set-asides*) et les crédits d'appel d'offres (*bidding credits*) impactent la concurrence et les prix des ventes aux enchères. Entre autres, ils montrent que lors des enchères des licences PCS les prix des licences pour le bloc C ont pratiquement atteint le double du prix des licences des blocs A et B sur lesquelles il n'y avait pas de *bidding credits*. Le prix final de l'enchère moyenne était 15,54 \$ par habitant pour les blocs A et B alors qu'il était de 27,70 \$ par habitant pour le bloc C pour une licence de 30MHz identiques. Selon Hazlett et Boliek [1999], le choix de la FCC de réserver du spectre à des soumissionnaires désignés lors des enchères des licences PCS du bloc C, a été à l'origine des trois années de retard dans le déploiement des infrastructures. Ils estiment que ce retard a coûté 5,376 milliards de dollars de perte pour les consommateurs. Concernant la licence réservée à un nouvel entrant lors des enchères 3G au Royaume-Uni, Cramton [2001] affirme que le mécanisme d'enchère simultanée ascendante et la vente ont été efficaces. Selon lui, la seule source d'inefficacité fut de réserver la licence de 15 MHz à un nouvel entrant. Crandall et Ingraham [2007] montrent que les *set-asides* peuvent encourager l'entrée d'acteurs non viables et subventionner l'achat d'une licence très valorisée à l'acteur qui la valorise le moins. Les auteurs livrent plusieurs exemples de ventes aux enchères aux États-Unis et en Europe qui illustrent l'inefficacité des *set-asides* pour encourager les entrées efficaces dans le marché sans fil. L'analyse empirique faite par Madden, Bolhin et Morey [2014] évalue l'efficacité de ces instruments de politique de concurrence sur leur encouragement à l'entrée de nouveaux opérateurs sur le marché. Leurs résultats économétriques montrent que la probabilité d'entrée s'améliore avec le nombre de licences (c'est-à-dire lorsque celui-ci excède le nombre d'opérateurs en place) et lorsqu'un mécanisme d'enchères plutôt qu'une soumission comparative est utilisé. En outre, ils montrent que la quantité de spectre encourage l'entrée des acteurs sur le marché mais pas forcément le prix.

<sup>81</sup> En fonction de l'importance des investissements durables en actifs humains et physiques spécifiques à la transaction, l'efficacité *ex post* de la concurrence ne sera pas la même. Si les investissements sont lourds, comme dans le cas du spectre destiné aux réseaux de télécommunications mobiles, le vainqueur de l'enchère aura un avantage sur le vaincu : l'investissement dans des actifs spécifiques introduit une dépendance considérable qui se traduit dans ce cas par la création de MVNO (*Mobile Virtual Network Operator*).

Nous constatons que le *Market Design* des marchés du spectre s'est fait par une intervention du pouvoir législatif et réglementaire. Ainsi, on comprend mieux pourquoi les marchés primaires du spectre ne sont pas des marchés libres: il ne s'agissait pas pour l'autorité publique de laisser faire totalement les forces du marché, mais d'introduire la concurrence sur le marché aval des services sans fil. En effet, de nombreuses activités d'intérêt public reposent sur l'accès au spectre et ne passent pas pour autant par les marchés de fréquences.

L'intervention du régulateur sectoriel et son rôle d'arbitre dans le fonctionnement des marchés primaires du spectre montrent que la procédure pour l'attribution des droits de propriété n'est pas purement marchande. La création de marchés primaires des fréquences ne signifie pas qu'il est possible de créer des titres de propriété non altérés sur le spectre. Ce mode d'attribution apparaît surtout comme le résultat d'une politique de concurrence pour la restructuration d'une industrie de réseau où de nouveaux mécanismes de marché et de nouveaux mécanismes de régulation leur correspondant ont été créés. Sous cette procédure d'allocation, l'Autorité de Régulation des Télécommunications (actuellement ARCEP), créée suite à la loi du 26 juillet 1996 et mise en place le 5 janvier 1997, s'est vue accorder un pouvoir d'arbitrage. Une grande autonomie lui a été donnée pour assurer, d'une part, l'application des règles du jeu, et pour veiller, d'autre part, au respect de celles-ci en assurant les fonctions d'arbitrage et de sanction.

### **2.2.3. L'assouplissement des contraintes liées à l'utilisation du spectre : le cas des marchés secondaires**

Alors que la conception des marchés primaires a pour objectif d'introduire la concurrence sur le marché aval des services mobiles, l'objectif des marchés secondaires du spectre est de permettre la réallocation des fréquences pour plus d'efficacité. Les marchés primaires de fréquences ont fonctionné dans un premier temps sans marché secondaire. À ce titre, De Vany soulignait :

« The spectrum auctions are really more like an initial public offering of licenses, rather than a market. There is no after-market to connect prices and reallocate the resource after the licenses are auctioned off. An efficient capital market requires both a market for new issues and an active after-market where issues can be priced and reallocated. In spectrum we have initial offering but we lack an after-market » [De Vany, 1998, p.628].

Sur le plan théorique, l'introduction de mécanismes de marché doit permettre une réallocation de la ressource spectrale au profit des acteurs les plus à même de l'exploiter efficacement. Comme l'évoque Cramton [2000], la cession partielle ou totale des autorisations d'utilisation de fréquences représente une solution pour les pouvoirs publics pour améliorer l'efficacité de l'utilisation du spectre :

« Secondary markets are essential for the efficient and intensive use of spectrum. Secondary markets identify gains from trade that are unrealized by the primary market » [Cramton, 2000, p.16].

Grâce à la création de marché secondaire des fréquences, les gestionnaires du spectre seraient alors en mesure de remédier au manque de liberté qui prévaut sur le marché primaire. Après quelques années de recul, que nous dit l'analyse des marchés secondaires ? Finalement, peut-on envisager de faire des transactions de fréquences librement en ayant recours aux seules forces du marché ?

### **2.2.3.1. Les différentes expériences du marché secondaire**

Les négociations bilatérales ayant lieu sur le marché secondaire des fréquences représentent un nouveau mode d'organisation des transactions de spectre basé sur une logique beaucoup plus marchande que ne l'est le marché primaire. Ce mode de transaction a été impulsé par un changement au niveau de l'environnement institutionnel dont les États-Unis ont de nouveau été les précurseurs. En Europe, en raison de l'application du principe de subsidiarité, l'introduction des marchés secondaires n'a pas été uniforme entre les États-Membres.

#### **2.2.3.1.1. Le marché secondaire aux États-Unis**

Aux États-Unis, l'idée d'un marché secondaire du spectre a été introduite dans les années 2000 par la prise de position de la FCC, intitulée "*Principles for Promoting the Efficient Use of Spectrum by Encouraging the Development of Secondary Markets*" [FCC, 2000]. À travers l'établissement d'un marché secondaire, la FCC souhaitait promouvoir une utilisation plus efficace du spectre. Dans cette optique, elle entendait appliquer quatre principes de base :

1. les droits d'usages du spectre devaient être clairement définis et la probabilité de renouvellement des droits devait être raisonnable de façon à encourager les investissements ;
2. les licences et droits d'usage devaient être facilement transférables (vente ou location de tout ou partie des droits) ;
3. les droits d'usage devaient être flexibles afin de laisser aux titulaires la possibilité de choisir le service et les technologies qu'ils souhaitent fournir et utiliser dans le respect des règles prévues par la FCC ;
4. les usagers devaient obligatoirement protéger et être protégés des brouillages dans la mesure des règles prévues par la FCC.

Ce faisant, pour permettre l'émergence du marché secondaire la FCC décida de concentrer ses efforts sur trois points clés. Premièrement, il convenait d'éliminer tout obstacle au fonctionnement du marché secondaire et promouvoir une utilisation plus flexible du spectre. Il s'agissait ensuite de favoriser l'usage et l'introduction sur le marché d'équipements permettant une utilisation plus efficace de la ressource. Enfin, le troisième point consistait à

encourager la mise en œuvre de mécanismes pour des transactions efficaces (bases de données d'informations, courtiers du spectre, etc.).

Sur cette base, la FCC a créé en 2002 un groupe de travail, le « *spectrum policy task force* », chargé de mener un examen approfondi de la politique en matière de spectre et de traiter la question de la création d'un marché secondaire des fréquences [FCC, 2002d]. Le premier rapport du groupe en 2002, critiquait le modèle classique de gestion du spectre et recommandait au gouvernement de prendre des mesures pour : (i) promouvoir une utilisation plus souple du spectre, (ii) favoriser le développement et le déploiement de technologies de pointe, et (iii) développer les mécanismes de marché dans la gestion des fréquences et plus particulièrement de créer un marché secondaire du spectre.

La construction des marchés secondaires s'est faite à travers trois *Report and Order*.

D'abord, en 2003, dans son *First Report and Order*, la FCC va faciliter le développement des marchés secondaires en créant, d'une part, différents types de contrats de location du spectre et en rationalisant, d'autre part, les procédures d'approbation d'attribution des licences [FCC, 2003]. Deux types de transferts pour l'échange et la location de droits d'usage du spectre vont être créés :

- le transfert « **spectrum manager** » : dans ce cas le titulaire de la licence conserve le contrôle *de jure* de sa licence ainsi que le contrôle *de facto* sur la partie du spectre échangé. Les parties peuvent s'engager dans des négociations bilatérales sans avoir à obtenir préalablement l'accord de la Commission ;
- le transfert « **de facto** » : dans ce cas le titulaire de la licence conserve le contrôle *de jure* de sa licence tandis que le contrôle *de facto* sur le spectre loué, ainsi que les droits et les responsabilités associés, sont transférés pour une période définie aux locataires du spectre. Si la location est de courte durée (moins de 360 jours), le titulaire doit fournir un préavis au minimum 10 jours avant l'opération. L'accord sera ensuite approuvé ou non par la Commission conformément aux procédures *Special Temporary Authority* (STA)<sup>82</sup>. Si la location est de longue durée le titulaire doit fournir une notification et une certification à la Commission qui rendra un avis dans les 14 jours qui suivent l'accord.

Ensuite, dans le *Second Report and Order*, la FCC va encore plus libéraliser le processus en allégeant les règles du marché secondaire en vue d'améliorer son fonctionnement [FCC, 2004b]. La Commission prendra la décision de :

---

<sup>82</sup> *Special Temporary Authority* (STA): « STA is the authority granted to a permittee or licensee to permit the operation of a communications facility for a limited period at a specified variance from the terms of the station or service authorization or requirements of the FCC rules applicable to a particular class of station or service ». <http://www.fcc.gov/encyclopedia/special-temporary-authority>

- créer des procédures d'approbation immédiate pour certaines catégories de transfert de spectre (transfert « *de facto* ») et certains contrats de location ne soulevant pas de préoccupations particulières (comme des questions de concurrence par exemple) ;
- de rationaliser le système et le traitement des accords de transfert de courte durée (*de facto*) en remplaçant les anciennes procédures *Special Temporary Authority* (STA) par les nouvelles procédures d'approbation immédiates;
- d'appliquer les règles de location du spectre à de nouveaux services sans fil, y compris aux services de sécurité publique ;
- de clarifier l'usage de technologies intelligentes et dynamiques pour l'échange de spectre.

Finalement, la FCC interviendra jusqu'en 2007, où pour le *Third Report and Order*, elle travaillera conjointement avec les opérateurs et autres parties prenantes pour améliorer les règles du marché, en tenant compte des commentaires et suggestions qui lui avaient été proposés lors du *Second Report and Order* [FCC, 2007].

### Les résultats

Aux États-Unis, les échanges de spectre sont fréquents mais beaucoup d'entre eux se font entre les filiales d'un même groupe, ou bien résultent de fusions/acquisitions. Il est alors difficile de distinguer les transferts de spectre à l'origine de rachats d'entreprises des transferts de spectre « purs », c'est-à-dire de ceux qui ne sont pas la conséquence d'un rachat d'entreprise. Précisons ici que c'est dans le cas de transfert « pur » que le spectre peut être considéré comme commercialisable et non pas lorsque la transaction est le résultat d'une fusion-acquisition. Il semble néanmoins que les deux catégories d'opérateurs (nationaux et non nationaux) ont pu consolider leur patrimoine de fréquences *via* l'acquisition de spectre sur les marchés secondaires. Entre le 1<sup>er</sup> Janvier 2003 et le 31 mai 2013, la FCC a accordé pas moins de 5 081 demandes de cessions et locations de spectre<sup>83</sup>. Généralement, lorsqu'il s'agit du spectre à large bande mobile il y a peu de restrictions sur les transferts à l'exception de ceux qui portent sur les blocs de fréquences précédemment réservés à des « *designated entities* » lors des procédures d'enchères<sup>84</sup>. Les résultats montrent que les principales transactions de fréquences aux États-Unis se sont faites entre opérateurs nationaux (43,53 %) (cf. Tableau 10).

---

<sup>83</sup> L'analyse effectuée et financée par Mobile Future se base sur les transferts et locations de spectre relatifs au service à large bande mobiles. <http://mobilefuture.org/wp-content/uploads/2013/11/Paper-Distribution-of-Spectrum-Resources.pdf>

<sup>84</sup> Dans ce cas, soit une limite quant à la quantité de spectre que l'opérateur peut transférer est fixée, soit le titulaire de la fréquence doit attendre quelques années avant de pouvoir transférer tout ou partie de ces droits, ou soit, le titulaire est restreint à faire des échanges seulement avec les opérateurs de sa catégorie.

**Tableau 10 : Pourcentage de spectre loué et échangé en quantité de MHz/POPs<sup>85</sup> aux États-Unis entre 2003-2013**

Sens de la transaction	% du spectre échangé	% spectre loué
Opérateurs nationaux vers opérateurs nationaux	<b>43,53 %</b>	18,94 %
Opérateurs non nationaux vers opérateurs non nationaux	21,41 %	15,71 %
Opérateurs non nationaux vers AT&T/Verizon	18,70 %	2,68 %
Opérateurs non nationaux vers Sprint/T-Mobile	5,35 %	<b>54,09 %</b>
AT&T/Verizon vers opérateurs non nationaux	4,15 %	3,76 %
Sprint/T-Mobile vers opérateurs non nationaux	6,86 %	4,82 %

Source : Mobile Future [2013]

**2.2.3.1.2.** Le marché secondaire en Europe

En Europe, les conditions n'ont pas été les mêmes. Bien que la Commission ait favorisé la création d'un cadre réglementaire pour la création des marchés secondaires, la décision de le rendre effectif ou non, relevait de la compétence des États. La décision Spectre radioélectrique [Décision 676/2002/CE] et la directive Cadre du Parlement et du Conseil du 25 novembre 2009<sup>86</sup> [Directive 2009/140/CE] ont autorisé les États Membres à introduire des marchés secondaires des fréquences permettant aux acteurs de céder à des tiers, tout ou partie, de leurs droits de propriété (droits conférés par leurs autorisations d'utilisation des fréquences). La directive 2009/140/CE considère entre autres que « dans un souci de souplesse et d'efficacité, les autorités réglementaires nationales peuvent autoriser les utilisateurs du spectre à céder ou louer librement leurs droits d'utilisation à des tiers ». Dans le cas où le spectre fait partie du domaine public comme en France, il s'ensuit que la fréquence en elle-même reste toujours la propriété du domaine public : se sont les droits que détient un acteur qui peuvent être cédés totalement ou partiellement, ou bien, mis à disposition de tiers.

<sup>85</sup> Etant donné que les aires géographiques et les quantités de spectre varient en fonction des licences, les auteurs de l'étude ont réduit les chiffres à un facteur commun : MHz/POPs. Le terme "MHz-POPs" est défini comme le produit du nombre de MHz associé à une licence et de la population comprise dans l'aire géographique sur laquelle porte la licence.

<sup>86</sup> Directive modifiant les directives 2002/21/CE relative à un cadre réglementaire commun pour les réseaux de communications électroniques, 2002/19/CE relative à l'accès aux réseaux de communications électroniques et aux ressources associées, ainsi qu'à leur interconnexion, et 2002/20/CE relative à l'autorisation des réseaux et services de communications électroniques.

---

---

**Article 9 ter de la Directive 2009/140/CE**

**Cession ou location des droits individuels d'utilisation de radiofréquences**

« 1. Les États membres veillent à ce que les entreprises puissent céder ou louer à d'autres entreprises conformément aux conditions relatives aux droits d'utilisation des radiofréquences et conformément aux procédures nationales leurs droits individuels d'utilisation de radiofréquences dans les bandes pour lesquelles ce cas de figure est prévu dans les mesures d'applications adoptées conformément au paragraphe 3.

Dans les autres bandes, les États membres peuvent aussi prévoir la possibilité, pour les entreprises, de céder ou de louer leurs droits individuels d'utilisation de radiofréquences à d'autres entreprises conformément aux procédures nationales.

Les conditions dont sont assortis les droits individuels d'utilisation des radiofréquences continuent à s'appliquer après la cession ou la location, sauf si l'autorité nationale compétente en dispose autrement. Les États membres peuvent également décider que les dispositions du présent paragraphe ne sont pas applicables lorsque l'entreprise a initialement obtenu le droit individuel d'utiliser des radiofréquences gratuitement.

« 2. Les États membres veillent à ce que l'intention d'une entreprise de céder des droits d'utilisation de radiofréquences, ainsi que la cession effective desdits droits, soient notifiées, conformément aux procédures nationales, à l'autorité nationale compétente responsable de l'octroi des droits individuels d'utilisation, et soient rendues publiques. Lorsque l'utilisation d'une radiofréquence a été harmonisée par l'application de la décision n°676/2002/CE (décision « spectre radioélectrique ») ou par d'autres mesures communautaires, de telles cessions doivent être conformes à cette utilisation harmonisée. »

« 3. La Commission peut adopter des mesures d'application appropriées pour déterminer les bandes dont les droits d'utilisation de radiofréquences peuvent faire l'objet d'une cession ou d'une location entre entreprises.

Ces mesures ne concernent pas les fréquences utilisées pour la radiodiffusion. Ces mesures d'application à caractère technique, destinées à modifier des éléments non essentiels de la présente directive en la complétant, sont adoptées conformément à la procédure de réglementation avec contrôle visée à l'article 22, paragraphe 3 ».

Par ailleurs, le programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique établi par la décision n°243/2012/UE du parlement européen et du conseil le 14 mars 2012 prévoit que les États membres autorisent la cession ou la location des droits d'utilisation du spectre pour les bandes harmonisées de 790 à 862 MHz, 880 à 915 MHz, 925 à 960 MHz, 1 710 à 1 785 MHz, 1 805 à 1 880 MHz, 1 900 à 1 980 MHz, 2 010 à 2 025 MHz, 2 110 à 2 170 MHz, 2,5 à 2,69 GHz et 3,4 à 3,8 GHz (cf. Article 6(8) de la Décision 243/2012/UE).

Certains pays, comme le Royaume-Uni et la France, ont donc mis en place un marché secondaire des fréquences. Toutefois, de nombreux pays européens n'y ont pas encore recours ou y ont pensé très tardivement. Par exemple, le régulateur irlandais a attendu 2014 pour annoncer son intention d'autoriser l'échange de spectre dans les bandes de fréquences allouées aux services IMT.

**Le cas du Royaume-Uni**

Suite à l'impulsion américaine, le régulateur britannique s'est intéressé très tôt au marché secondaire. En mars 2002, dans son étude intitulée « *Review of Radio Spectrum Management* », menée pour le *Department of Trade and Industry and HM Treasury*, le professeur Martin Cave

recommandait que l’échange de spectre soit progressivement introduit pour toutes les fréquences utilisées à des fins commerciales. Suite à cette étude, une première consultation publique « *Implementing Spectrum Trading* » sera lancée par la *Radiocommunication Agency* (RA) en juillet 2002 et une seconde « *Spectrum Trading Consultation* » par l’Ofcom en novembre 2003. Dans cette dernière, le régulateur propose de mettre en œuvre deux politiques de gestion des fréquences : l’échange de spectre (*spectrum trading*) afin de permettre aux titulaires d’acheter ou vendre tout ou partie de leur droit d’usage, et la libéralisation de l’usage du spectre permettant aux titulaires de modifier l’utilisation de leur licence.

Le Royaume-Uni est donc le premier pays européen à avoir introduit le marché secondaire du spectre en rendant rapidement 900 licences échangeables sur le marché. En 2007, le régulateur britannique annonça son intention d’augmenter le nombre de licences échangeables afin de d’améliorer les échanges de spectre sur le marché. Il fit passer de 900 à 35 000 le nombre de licences pouvant être échangées. Cependant, par rapport au nombre de licences échangeables peu de transactions ont eu lieu. Le tableau 11 donne le nombre de licences qui ont été échangées sur la période 2008-2014 dans différents secteurs ainsi que le nombre de licences échangeables en 2014.

**Tableau 11 : Les cessions de fréquences au RU (2008-2014)**

Secteur	Licences échangées (2008-2014)	Total des licences échangeables (2014)	% de <i>turnover</i> des licences sur la période 2008-2014
Radio	3684	47 168	8%
Liens fixes	7596	31 782	24%
Maritime	14	1994	1%
Satellite	15	418	4%
Blocs mis aux enchères	55	59	93%
TOTAL	11 364	81 421	14%

Source : Ofcom

D’après le tableau 11, nous constatons que les licences circulent peu entre les utilisateurs. Entre 2008 et 2014 la plupart des échanges concernaient les licences sur les blocs mis aux enchères et les licences pour les liens fixes, lesquelles furent les premières licences négociables en 2007.

### Le cas de la France

En juillet 2005, l’ARCEP proposa au Ministre d’introduire un mécanisme économique de marché secondaire des fréquences dans certaines bandes fréquences<sup>87</sup>. Ledit « marché secondaire » des fréquences fut introduit en 2006 par transposition en droit français des directives européennes du « paquet télécoms ». Dans cette optique, le gouvernement a publié

<sup>87</sup> Voir le communiqué de presse du 26 juillet 2005 : « L’Autorité propose au Ministre une liste de bandes dans lesquelles pourrait être introduit un mécanisme économique de marché secondaire des fréquences ».

un décret relatif aux cessions d'autorisations d'utilisation des fréquences<sup>88</sup> et a défini, par un arrêté, les modalités de cession et la liste des bandes de fréquences concernées par le marché secondaire<sup>89</sup>. Au départ, les modalités de cession concernaient seulement une partie des bandes de fréquences mobiles, c'est-à-dire l'ensemble du spectre de fréquences affecté aux communications électroniques à l'exception des bandes du service mobile<sup>90</sup>. En 2011, la cession des autorisations a été étendue à toutes les bandes de fréquences attribuées à l'ARCEP<sup>91</sup> (cf. **Annexe I.10**. Liste des fréquences ou bandes de fréquences dont l'autorisation d'utilisation peut faire l'objet d'une cession en métropole). Il convient de souligner qu'en France les cessions de fréquences peuvent être intégrales ou partielles. La cession d'une autorisation d'utilisation de fréquences (partielle ou intégrale) est prévue par les articles L 42-3 et R 20-44-9-1 du code des postes et des communications électroniques (CPCE) conformément au décret n°2006-1016 du 11 août 2006 relatif aux cessions d'autorisations d'utilisation de fréquences. Les cessions partielles peuvent porter sur trois éléments distincts<sup>92</sup> :

- (1) la cession géographique revient à fractionner la zone géographique sur laquelle porte l'attribution initiale,
- (2) la cession fréquentielle revient à diviser en plusieurs parties la fréquence initiale et à ne céder que certains blocs,
- (3) la cession temporelle revient à céder des droits d'usage pour une certaine période en fonction de la durée initiale de l'allocation.

En France, il existe aussi un mécanisme de mise à disposition des fréquences. Les mécanismes de cession et de mise à disposition des fréquences n'ont pas les mêmes conditions juridiques bien que tous deux fassent partie des mécanismes de marché secondaire des fréquences.

---

<sup>88</sup> Décret n° 2006-1016 du 11 août 2006 relatif aux cessions d'autorisations d'utilisation des fréquences.

<sup>89</sup> Arrêté du 11 août 2006 portant application de l'article L. 42-3 du code des postes et des communications électroniques relatif aux fréquences ou bandes de fréquences dont les autorisations d'utilisation peuvent faire l'objet d'une cession.

<sup>90</sup> Ces bandes de fréquences représentent 7 marchés potentiels : boucle locale radio, téléphonie mobile terrestre (GSM et UMTS FDD, UMTS TDD), service mobile par satellite, réseaux mobiles professionnels, radio messagerie et radiolocalisation civile.

<sup>91</sup> Voir Arrêté du 14 juin 2011 modifiant l'arrêté du 11 août 2006 portant application de l'article L. 42-3 du code des postes et des communications électroniques relatif aux fréquences ou bandes de fréquences dont les autorisations d'utilisation peuvent faire l'objet d'une cession, et Arrêté du 1er décembre 2011 modifiant l'arrêté du 11 août 2006 modifié portant application de l'article L. 42-3 du code des postes et des communications électroniques relatif aux fréquences ou bandes de fréquences dont les autorisations d'utilisation peuvent faire l'objet d'une cession.

<sup>92</sup> Selon l'article R 20-44-9-1, si la cession est partielle elle ne peut porter que « sur une partie de zone géographique sur laquelle porte l'autorisation, ou une partie de fréquence ou des bandes de fréquences objet de l'autorisation, ou une partie de la durée restant à courir de l'autorisation ».

### Différences entre les mécanismes de cession et de mise à disposition des fréquences

Le mécanisme de cession des fréquences est celui de la revente de fréquences (ou « *spectrum trading* » en anglais). Il permet au titulaire d'une fréquence de renoncer à son droit d'exploitation et de le céder à un autre. Les droits et obligations découlant de l'autorisation sont alors répartis entre le titulaire et le futur acquéreur dans un premier temps, puis notifié à l'ARCEP qui prend alors les mesures nécessaires pour sa mise en œuvre.

Le mécanisme de mise à disposition des fréquences est celui dit de « location » des fréquences (ou « *spectrum leasing* » en anglais). Plus précisément, il permet au titulaire d'une fréquence de confier à un tiers l'exploitation de tout ou partie de ses droits sur cette fréquence sans avoir à y renoncer comme dans le cadre d'une cession. Dans ce cas, les obligations attachées à la fréquence demeurent du seul ressort de son titulaire.

Concernant le nombre de transactions ayant eu lieu sur le marché secondaire des fréquences depuis son ouverture, nous pouvons souligner qu'en dehors des cessions des fréquences Wimax, peu de transactions ont été recensées. L'encadré 4 revient sur ce cas particulier des cessions Wimax en France qui ont permis à l'opérateur Bolloré de reconstruire le marché national. Il convient néanmoins de souligner que pour favoriser le marché secondaire des fréquences, il serait nécessaire de rendre les informations disponibles plus transparentes. Force est de constater que les acteurs n'ont pas connaissance de ce qui est à vendre. On pourrait alors imaginer, à l'instar du *Spectrum Dashboard*<sup>93</sup> aux États-Unis, la mise en place une base de données qui répertorie pour chaque bande de fréquences les attributions (les services radioélectriques), les utilisations et également les utilisateurs détaillés.

#### Encadré 4 : Le cas des cessions de fréquences Wimax en France

L'attribution des premières licences de boucle locale radio (BLR) en France dans les années 2000 a permis de délivrer 44 licences régionales. En 2004, l'ARCEP lance une consultation publique afin d'évaluer l'intérêt d'ouvrir d'autres bandes de fréquences (notamment la 3,4 - 3,8 GHz) à la BLR. Dans cette optique, il s'agissait également de mesurer l'intérêt du marché pour la technologie Wimax.

La procédure lancée en août 2005 s'est faite en trois étapes : une première étape dans laquelle 175 acteurs ont déposé des lettres d'intention, une seconde étape où 45 acteurs ont déposé des demandes d'autorisations pour utiliser des fréquences de boucle locale radio dans les régions et enfin une dernière étape où finalement 35 acteurs ont déposé un dossier de candidatures. La procédure s'est terminée en juillet 2006 avec l'attribution des 48 licences régionales d'utilisation de fréquences de BLR-Wimax (44 licences Wimax - 2 par régions - mises en jeu en France métropolitaine, plus cinq licences pour les départements et les territoires d'Outre-mer). Trois grands gagnants se sont démarqués lors de la dernière étape : Maxtel a obtenu 13 licences régionales, Bolloré Télécom 12 licences régionales, et HDRR *Multi Regions*, a obtenu pour sa part 10 licences Wimax régionales.

Suite au décret de 2006 sur le marché secondaire des fréquences, autorisant la revente de fréquences par les opérateurs, Bolloré Telecom et HDRR ont signé en juin 2008 un accord de cession. HDRR a cédé 8 de ses 11 licences Wimax régionales à Bolloré Télécom. De ce fait, en détenant

<sup>93</sup> Le Spectrum Dashboard est la base de données en ligne mis en place par la FCC qui permet aux utilisateurs du spectre et autres agents intéressés de savoir comment le spectre est utilisé, qui détient les licences dans quelles régions, et si le spectre est disponible.

Voir: <http://reboot.fcc.gov/reform/systems/spectrum-dashboard>

20 licences régionales Wimax, Bolloré devint un opérateur quasi-national. Il deviendra le seul opérateur national, avec Free, en 2010 suite à son rachat de deux licences à Altitude Infrastructure.

Il est donc révélateur de constater que dans le cas français, le marché secondaire de fréquences a permis à Bolloré de consolider son marché et d'obtenir une couverture nationale.

### **2.2.3.2. Les marchés secondaires : quel bilan ?**

La création d'un marché secondaire, couplée à de faibles coûts de transaction, a très tôt été reconnue comme indispensable pour assurer une utilisation efficace de la ressource hertzienne. Néanmoins, les résultats escomptés par la mise en œuvre d'un marché secondaire dans certains pays ne se sont pas vraiment produits<sup>94</sup> : ces marchés se sont révélés, à l'expérience, pratiquement inertes [Benzoni, 2005] et ont parfois contribué à renforcer la position des principaux opérateurs dans l'industrie [Thanki, 2012]. Aujourd'hui, même si certaines transactions se font, le succès attendu était autre.

Théoriquement, la présence de coûts de transaction peut empêcher un certain nombre d'échanges de se produire [Coase, 1960]. Dans la pratique, différentes hypothèses ont été formulées pour expliquer cet échec des marchés secondaires. Entre autres, certains auteurs ont estimé cet insuccès comme étant la conséquence : (i) de problèmes d'accès et un manque de transparence; (ii) d'un manque d'information sur les prix et les produits; (iii) d'un manque d'informations plus générales sur les marchés secondaires; (iv) de difficultés liées à l'enregistrement et à la tenue des registres de droits de propriété ; (v) de droits de propriété trop complexes étant donné le découpage géographique, temporel et fréquentiel du spectre; (vi) de coûts de transactions élevés; (vii) de la peur des brouillages; (viii) du manque de mesures incitatives face à la thésaurisation des fréquences ; ou encore (ix) de problèmes de disponibilité des infrastructures nécessaires pour exploiter la bande voulue [Benkler, 2012; Stanforth, 2010].

Néanmoins, ces résultats restent controversés. Mayo et Wallsten [2010] ont par exemple montré qu'aux États-Unis un large montant de spectre est échangé chaque année. Ils justifient tout de même que ces transactions n'impliquent pas forcément que les marchés secondaires fonctionnent efficacement. Par ailleurs, Akalu [2010] indique qu'au Royaume Uni seulement 2% des licences échangeables l'ont été durant la période de libéralisation. D'après Pogorel et Bohlin [2014], la création des enchères et des marchés secondaires a été motivée, d'une part, par le contexte d'exubérance nationale envers les marchés financiers, et d'autre part, par la

<sup>94</sup> L'introduction des marchés secondaires avait pour objectifs d'améliorer les transactions, de rendre le marché du spectre plus fluide, de promouvoir l'innovation, de permettre l'entrée de nouveaux acteurs, etc. Pour certains acteurs, le peu de transferts effectués sur les marchés secondaires n'a pas permis d'atteindre les bénéfices escomptés de sa création.

volonté des gouvernements à trouver des solutions budgétaires innovantes pour faire face aux déficits publics<sup>95</sup>.

Dans notre optique, nous appréhendons les raisons de cet insuccès de trois façons.

Premièrement, il peut provenir de la réglementation. Lorsqu'un titulaire souhaite vendre ou échanger un droit d'usage, l'approbation de l'organisme de réglementation est souvent nécessaire pour rendre l'échange effectif. Le temps d'approbation varie mais il représente un coût de transaction. Toutefois, ce temps a eu tendance à diminuer. Aux États-Unis, alors qu'il représentait en 1998 en moyenne 151 jours, il était entre 2005-2009 de 30-40 jours [Mayo et Wallsten, 2010]. Par ailleurs, le manque de flexibilité (dû à l'imposition de contraintes sur les utilisateurs et sur la technologie ayant le droit d'utiliser une bande spécifique) garantit la suppression de brouillages lors du transfert d'un droit de propriété au prix d'une réduction de l'efficacité économique. Pour Cave et *al.* [2007], si les échanges sur le marché secondaire étaient soumis à une plus grande libéralisation des droits d'usage du spectre, cela permettrait, d'une part, l'entrée de nouveaux concurrents avec de nouvelles technologies, et cela introduirait, d'autre part, plus de concurrence sur le marché pour autant que les comportements anticoncurrentiels et les brouillages soient évités.

Deuxièmement, l'insuccès du marché secondaire peut être appréhendé comme un problème inhérent à la structure du marché. Par exemple, si plusieurs vendeurs et acheteurs rentrent en négociation, les coûts de transaction augmentent et ces derniers ne peuvent diminuer que dans le cas où les acheteurs et les vendeurs savent exactement à combien chacun d'eux valorisent le spectre [Valletti, 2001 ; Crocioni, 2009]. Ainsi, Tonmukayakul et Weiss [2004] définissent les coûts de transaction comme le principal problème affectant l'échange de fréquences. L'inefficacité de l'échange des fréquences peut donc être la conséquence de coûts de transaction trop élevés. Pour Bykowsky [2003], l'efficacité des échanges sur le marché secondaire repose sur la capacité des mécanismes utilisés à minimiser les coûts de transaction. Ainsi, la présence de coûts de transaction joue sur la liquidité du marché secondaire. Mais si certains coûts de transaction pourraient être réduits en supprimant les obstacles qui entravent la négociation, la spécificité des fréquences induit des coûts de transaction inévitables, comme par exemple le coût *ex ante* des études techniques permettant de définir les conditions d'utilisation afin de se prémunir du risque de brouillages *ex post*.

Enfin, l'insuccès du marché secondaire peut s'expliquer en raison d'un problème de compatibilité entre les infrastructures et les bandes détenues. D'une part, certaines licences sont échangeables tandis que d'autres ne le sont pas. Par ailleurs, il existe des

---

<sup>95</sup> «The past twenty years have seen the emergence of a second generation of spectrum policies characterized by a trend towards market mechanisms (auctions and secondary markets). It is to be noted this trend in radio spectrum management took place in the context of “irrational exuberance” on financial markets, on the one hand, runaway government deficits and creative budgetary attempts at coping with it on the other » [Pogorel et Bohlin, 2014, p.2].

complémentarités entre les bandes de fréquences. Ainsi, si un acteur souhaite obtenir deux licences ( $A$  et  $B$ ) et qu'il n'obtient que la licence  $A$ , alors il renoncera à  $A$ , et aucune transaction n'aura lieu. D'autre part, la demande et l'offre peuvent devenir très spécifiques puisque le transfert d'une fréquence peut se faire également sous une dimension fréquentielle, temporelle et géographique. Dans ce cas, les coûts de transaction proviennent principalement d'une ambiguïté de valorisation. L'ambiguïté de valorisation se manifeste sur le marché du spectre lorsque la licence, objet de l'échange, est complexe et difficile à valoriser. Elle provient de l'incapacité des acheteurs à mesurer exactement la valeur de la licence. Cette incapacité à estimer la valeur de la licence s'explique par le problème des externalités négatives qui peuvent intervenir *ex post* mais également par le manque d'information *ex ante*. De fait, la valorisation de la licence devient seulement possible à long terme ce qui freine les acheteurs averses au risque.

Finalement, au regard de ces trois hypothèses, nous constatons que c'est la spécificité du bien spectral qui est surtout à l'origine du dysfonctionnement des marchés secondaires plus libres que les marchés primaires. Les fréquences, du fait de leur hétérogénéité, sont difficiles à valoriser. D'une part, elles sont dépendantes de la technologie. Par exemple, le fait de détenir une licence de téléphonie mobile nécessite d'investir dans des infrastructures adaptées à cette fréquence. Bien que la neutralité technologique et de service soient progressivement en train de répondre à ce problème, les infrastructures de réseaux coûtent encore relativement chères et sont difficiles à déployer. D'autre part, parce que les fréquences ne sont pas homogènes, les coûts de négociation et de transaction entre les vendeurs et acheteurs augmentent. Or, un bien est plus facile à échanger si sa qualité est homogène.

Il convient également de souligner que les transferts de droits ayant lieu sur le marché secondaire doivent généralement être notifiés à l'autorité réglementaire nationale responsable de l'attribution des fréquences qui peut dès lors s'opposer à certaines transactions<sup>96</sup>. La logique marchande du marché secondaire a donc ces limites. À travers celui-ci, la puissance publique cherchait avant tout à bénéficier d'effets directs et indirects. Les effets directs permettent de gagner en efficacité économique car on estime que le titulaire transfèrera une partie de ces droits qu'à partir du moment où il les valorisera moins que son cocontractant. Les effets indirects améliorent quant à eux la transparence du marché en révélant les coûts d'opportunité : ils accélèrent la dynamique de développement économique et facilitent l'entrée sur le marché. Ils permettent d'optimiser l'utilisation du spectre et d'améliorer l'accès aux fréquences tout en introduisant plus de flexibilité dans la gestion des fréquences.

Pour conclure, les marchés primaires et secondaires représentent deux modes différents d'organisation des transactions de droits d'usage sur la ressource spectrale. Le marché

---

<sup>96</sup> En vertu de l'article R 20-44-9-6 du CPCE l'ARCEP peut s'interposer à une transaction entre le cédant et le cessionnaire.

primaire, au sein duquel les autorités réglementaires ont un pouvoir d'arbitrage assez élevé, est un mode d'organisation adapté à des transactions de droits de propriété de long terme pour lesquelles d'importants investissements sont engagés. Les transactions sur le marché secondaire sont de plus court terme et se font directement entre les usagers. Au regard du fonctionnement des marchés primaire et secondaire, on s'aperçoit déjà qu'en fonction du type de transactions, les structures de gouvernance qui encadrent ces transactions ne sont pas les mêmes. Ce constat est renforcé par la création de bandes de fréquences libres qui laisse transparaître un autre mode d'organisation pour le transfert de droits de propriété sur la ressource.

### **2.3. L'ouverture des fréquences**

Là où les économistes ont réussi à faire du spectre un bien privé, les ingénieurs ont réussi à en faire un bien commun. Néanmoins, même si ce mouvement d'ouverture des fréquences trouve son origine dans les techniques existantes, il n'a pas laissé insensibles les économistes et les juristes, donnant lieu à de nombreux débats entre les partisans d'un régime de droits de propriété et ceux d'un régime « en commun ».

#### **2.3.1. Un mouvement permis par la technique existante**

En 1985, la FCC a décidé de déréguler l'utilisation du spectre disponible et de permettre l'utilisation d'une technologie, jusqu'à lors utilisée pour des applications militaires, dans trois bandes de fréquences désignées aux applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM). Cette décision a conduit à une nouvelle méthode de gestion et d'utilisation des fréquences : le modèle en commun du spectre (*spectrum commons*). L'ouverture de ces bandes de fréquences a conduit à abaisser les barrières à l'entrée sur le spectre et permettre à de nouveaux utilisateurs d'utiliser la ressource spectrale. De nombreuses innovations ont pu voir le jour, la plus connue étant le Wi-Fi. Pour les ingénieurs Wolter Lemstra et Vic Hayes, et l'économiste John Groenewegen, éditeurs du livre « *The innovation Journey of Wi-Fi, The road to the global Success* », c'est à la fois l'invention de la technologie d'étalement du spectre en 1942, l'ouverture des bandes de fréquences ISM exemptes de licences en 1949, et la décision d'ouvrir certaines de ces bandes ISM à des appareils de communications utilisant la technologie d'étalement du spectre en 1985, qui ont été à l'origine du Wi-Fi et de son succès [Lemstra, Hayes, et Groenewegen, 2010] (cf. Encadré 5).

**Encadré 5 : L'origine du Wi-Fi**

Les bandes ISM ont été définies au niveau mondial par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) (cf. Figure 10). Leur utilisation est régie par les règles de la FCC (FCC Part 18) aux États-Unis [FCC, 1988] et par la norme EN 55011 en Europe.

Les premières bandes ont été établies lors de la conférence mondiale des radiocommunications de 1947 à Atlantic City. À cette date, les bandes ISM ne pouvaient pas être utilisées par des appareils destinés à fournir des applications de radiocommunications, et étaient réservées à des usages hors communications (microphones sans-fil, micro-ondes, systèmes de télémesures, portes de garage automatiques, équipement médicaux, etc.). Tous ces appareils entrent dans la catégorie des appareils de faibles portées (AFP) (ou *Short Range Devices* (SRD)) qui sont des appareils pouvant émettre sur des bandes exemptes de licences, sous une régulation appropriée permettant de coordonner l'utilisation entre les différents utilisateurs et permettant ainsi d'éviter la création de brouillages préjudiciables.

**Figure 10 : Les bandes de fréquences désignées pour les applications industrielles, scientifiques, et médicales (ISM)**

Sans limitation de rayonnement	Avec limitation de rayonnement
1 3553-1 3567 kHz	6765-6795 kHz
2 6957-2 7283 kHz	433,05-434,79 MHz
40,66-40,70 MHz	61-61,5 GHz
2 400-2 500 MHz	122-123 GHz
5 725-5 875 MHz	244-246 GHz
24-24,25 GHz	

Source : TNRBF [2013]

Il faudra attendre le « *First Report and Order. In the Matter of Authorization of spread spectrum and other wideband emissions not presently provided for in the FCC Rules and Regulations* » de 1985 de la FCC, pour que certaines de ces bandes puissent faire l'objet d'une utilisation par des appareils de radiocommunication. La FCC a autorisé les applications de communications utilisant la technologie d'étalement de spectre à fonctionner dans les bandes de fréquences ISM. Ont été concernées par cette décision les bandes 900 MHz (902-928 MHz), 2,4 GHz (2400-2500 Mhz) et 5 GHz (5725-5875 MHz).

Lemstra et Marcus [2011] donnent une explication détaillée de ce qui a poussé la FCC à prendre cette initiative. Il apparaît que cette décision a notamment été déclenchée par le climat politique de l'époque, plus que par l'industrie elle-même<sup>97</sup>. En prenant cette décision la FCC a permis à une nouvelle génération de services d'émerger favorisant ainsi l'innovation. Cette décision a surtout permis de tirer les pleins bénéfices d'une technologie jusqu'à lors réservée au domaine militaire et d'une régulation réservée à un certain type de services.

Néanmoins, il aura fallu attendre près de 15 années avant de voir émerger les premières innovations et de pouvoir mesurer l'importance de ces fréquences ouvertes. Pendant ce temps, les opposants à ce régime ont longtemps évoqué la tragédie des communs pour critiquer ce nouveau modèle d'attribution du spectre. Toutefois, les partisans d'un spectre plus ouvert ont rapidement démontré l'importance de ces bandes ouvertes, gratuites et sans attributaires exclusifs dans l'économie.

<sup>97</sup> You Tube : "FCC Creates "Wi-Fi Band" 5/85", <http://www.youtube.com/watch?v=Z0xhFrCl1HQ>.

### 2.3.2. Les débats sur la création de bandes ouvertes, gratuites et sans attributaire exclusif

#### Le spectre soumis à la tragédie des biens communs ?

Pour les opposants au spectre commun, ce mode d'attribution des fréquences mène à la tragédie des biens communs. Cette tragédie se traduit par la surexploitation d'une ressource limitée. Elle se produit lorsque la ressource est mise à disposition de plusieurs agents économiques et que chacun l'utilise pour son bénéfice individuel. Pour Hardin [1968], c'est le conflit résultant de la confrontation entre les intérêts individuels des agents économiques et l'intérêt général qui mène à une surexploitation de la ressource. Par exemple, dans le cas des bandes de fréquences ouvertes et gratuites, tous les agents peuvent utiliser ces fréquences libres pour produire un service. Mais au fur et à mesure que leur activité croît, chacun des agents va décider d'utiliser plus d'appareils dans ces fréquences. Ils vont alors faire une utilisation plus intensive de la bande, ce qui semble normal. Mais si le nombre d'appareils utilisant la bande est trop élevé, et qu'il n'y a aucune restriction sur l'usage, des brouillages apparaîtront. C'est à la fois pour éviter cette tragédie, tout en permettant à plusieurs acteurs d'utiliser une même bande de fréquences, que des conditions d'utilisation sont établies *ex ante* (telles que les normes de puissance).

De ce fait, il est erroné de considérer que le spectre commun est en libre accès, au sens économique. Certes, il n'y a pas de droit de propriété sur la fréquence mais des restrictions sur l'usage et sur les équipements s'imposent à son utilisation et permettent d'éviter une surexploitation de la ressource.

Pour Brito [2007], une confusion intervient trop souvent dans le spectre entre un régime en commun et un régime en libre d'accès. Ainsi, il rappelle que sous le modèle en commun, le bien est détenu et contrôlé conjointement par un groupe d'individu, conduisant à une restriction sur qui utilise la ressource, quand et comment. Dans un modèle de libre accès, n'importe qui peut accéder à la ressource et il n'y a pas de restrictions d'usage imposées, autrement dit, personne ne contrôle la ressource. C'est donc un régime en libre accès (ou d'accès ouvert) qui risque d'être confronté à une surexploitation et à une dégradation de la ressource<sup>98</sup>. C'est cette confusion qui amena Hardin [1991] à conclure que son papier aurait dû s'intituler « *The Tragedy of the Unmanaged Commons* ». En effet, sous le régime en commun, tout le monde peut accéder au spectre sous conditions du respect des règles imposées par le réglementeur. Il n'y a donc pas d'autorisation à demander, mais il y a une exigence de conformité, laquelle marque la différence avec un régime de libre accès.

Que se soient les partisans d'un modèle *Commons* [Brito, 2007; Noam, 1998], ou les partisans d'un modèle *Property Rights* [Hazlett, 2001 ; 2005], tous s'accordent sur le fait qu'un modèle de

---

<sup>98</sup> Hardin [1968] illustre cette surexploitation et dégradation de la ressource par la « tragédie des communs ».

libre accès n'est pas viable dans le spectre. Un contrôleur du spectre est indispensable et les technologies utilisant le spectre doivent être normalisées pour que le modèle fonctionne. Mais pour Brito [2007], ce contrôle ne relève pas forcément de la compétence de l'État seul, il peut également se faire par des acteurs privés.

### **Le spectre commun : la règle ou l'exception ?**

Pour le professeur américain de la faculté de droit de Harvard, Yochai Benkler, le choix entre un régime en commun (*Commons*) et un régime de droits de propriété (*Property Rights*) dans le spectre est un choix entre un régime *Best-effort* et un régime *Quality of Service (QoS)*, à l'instar de celui qui existe entre un modèle de marché *Internet* construit sur des appareils intelligents et des services élaborés à partir de leur propre réseau, et un modèle de marché *Telecom* construit sur des droits de propriété exclusifs garantissant une qualité de service [Benkler, 2012].

En assignant des droits exclusifs et en déterminant le nombre de MHz que le titulaire peut utiliser et la réglementation qu'il doit respecter, le réglementeur assure une certaine qualité de service à l'exploitant. Néanmoins, un régime de droits de propriété, *a contrario* d'un régime de droits de propriété communs, crée des barrières à l'entrée au spectre. Benkler [2012] préconise alors que les droits de propriété exclusifs sur le spectre devraient être l'exception et le spectre en commun devrait être la règle. Pour lui :

« The past decade has seen a gradual emergence of what was, fifteen years ago, literally unbelievable: spectrum commons are becoming the basic model for wireless communications, while various exclusive models — both property-like and command-and-control — are becoming a valuable complement for special cases that require high mobility and accept little latency » [Benkler, 2012, p.75].

Pour Noam [1997], les deux modes de gouvernance, hiérarchique (*Command and Control*) et marchand (*Private Property Rights*), ont beaucoup plus en commun que leurs partisans ne voudraient l'admettre. Selon lui, le véritable changement de paradigme est le spectre ouvert, gratuit et sans attributaire exclusif. Les politiques précédentes reposent toutes deux sur l'attribution de tranches exclusives de spectre, et se différencient seulement par le mécanisme d'attribution utilisé. Pour l'auteur, ces deux paradigmes n'en représente qu'un, celui de l'attribution de fréquences à un utilisateur exclusif.

Lessig [2001] considère, quant à elle, que le régime administratif et celui du marché rejettent tous deux un modèle de spectre en commun car ces deux modèles présument que le spectre doit être contrôlé, et leur seule différence, réside dans la nature du contrôleur<sup>99</sup>. Néanmoins pour l'auteur, l'émergence de nouvelles technologies d'accès au spectre permet d'envisager un modèle de partage du spectre, à l'image du modèle *Internet* où les utilisateurs se partagent des

---

<sup>99</sup> Lessig [2001, p.75]: « One regime (the FCC's) relies upon the government; the other (Coase's) relies upon the market. Both presume that spectrum must be controlled. They differ only in the controller. Both thus reject a model of spectrum as a commons ».

ressources par le biais de protocoles coordonnant de multiples utilisations non planifiées. Dans cette optique, les utilisateurs du spectre auraient alors la possibilité de se partager la ressource spectrale au moyen de protocoles. Lessig conclue que le spectre devrait être libre plutôt que contrôlé et qu'il faut faire de cette ressource un bien commun plutôt qu'un bien privé.

### **Faut-il ouvrir plus de bandes ?**

L'analyse de Benkler met en exergue l'importance des bandes libres mais aussi leur sous-évaluation au regard des gains économiques qu'elles génèrent. À ce jour plusieurs bandes de fréquences ont été ouvertes, c'est par exemple le cas des bandes ouvertes aux réseaux locaux radioélectriques (RLAN), comme la bande 5 GHz (5150-5350 MHz et 5470-5725 MHz) et la bande 2,4 GHz (2 400-2 454 MHz et 2 454-2483.5 MHz) ou des bandes réservées aux appareils de faibles portées<sup>100</sup> (AFP).

Benkler [2006, 2012] montre que les bandes de fréquences en commun, gratuites et sans attributaires exclusifs sont le principal lieu d'innovation dans le spectre. La libre utilisation et l'absence d'obligation de négociation avec un propriétaire des fréquences permettent d'abaisser les barrières à l'entrée et favorisent ainsi l'innovation. Pour l'auteur, si les États Unis connaissent un fort développement de communications sans-fil de type *smart grids* comparé à l'Europe, c'est parce que le régulateur américain a ouvert plus de spectre ouvert sous 1GHz<sup>101</sup>. Les États-Unis disposent de 26 MHz contigus supplémentaires dans la bande 902-928 Mhz. Par ailleurs, les contraintes qu'ils imposent sur la bande ouverte des 2,4 GHz (bande Wi-Fi) sont moins restrictives que celles imposées en Europe.

Ainsi, à la question de savoir s'il faut ouvrir ou non plus de bandes, le choix des gestionnaires a été influencé par la récente congestion dans l'usage de la bande Wifi 2,4 GHz résultant de son intense utilisation. La *Federal Communication Commission* (FCC) aux États Unis et la Conférence Européenne de la Poste et des Télécommunications (CEPT) en Europe ont alors récemment considéré qu'il fallait ouvrir de nouvelles bandes pour répondre à cette demande et à cet usage intensif de la ressource en commun. Concernant le Wifi 5 GHz, les États Unis disposent déjà de plus de bandes ouvertes que l'Europe. Ils ont ouvert en tout 555 MHz dont 200 MHz de la bande 5150-5350 MHz, 255 MHz de la bande 5470-5725 MHz et 100 MHz dans la bande 5725-5825 MHz. En Europe, la Commission a ouvert suite aux décisions 2005/513/EC et 2007/90/CE, 455 MHz de spectre, dont 200 MHz dans les bandes 5150-5250 et

---

<sup>100</sup> Les AFP sont des appareils à faibles portée, de faible puissance comme les systèmes d'alarme, de télérelève, télécommande, détection de mouvement, applications audio et voix, etc. Cette définition est imprécise et la liste d'applications non exhaustive mais la terminologie renvoie surtout à une approche réglementaire particulière.

<sup>101</sup> Cette considération ne serait-elle pas la seule raison qui expliquerait un meilleur déploiement des *smart grids* aux États Unis. Entrerait aussi en ligne de compte, d'après des acteurs français, la facilité d'accès et de connexion aux compteurs (les compteurs aux États Unis se trouvent en façade et sont donc plus facile à installer et surtout l'information envoyée passe beaucoup mieux que lorsqu'il se trouve en sous sol). Au surplus, les américains sont moins regardants des problèmes d'exposition aux ondes qui ont fait en France l'objet d'une disposition de la loi Abeille (Loi n° 2015-136 du 9 février 2015 parue au JO n° 34 du 10 février 2015).

5250-5350 MHz, et 255 MHz dans la bande 5470-5725 MHz. Actuellement, les États unis cherchent à ouvrir 195 MHz supplémentaires dans les bandes 5350-5470 MHz (bandes basses) et 5850-5925 MHz (bandes hautes). L'Europe, quant à elle, souhaiterait ouvrir les bandes 5350-5470 MHz, 5725-5825 MHz et 5850-5925 MHz. Ces trois bandes sont ainsi en discussion au niveau européen et dans le cadre de la Conférence Mondiale des Radiocommunications de 2015 (CMR 2015).

Le succès des nouveaux services développés sur ces fréquences ouvertes ont tendance à remettre en question le recours systématique aux droits d'usage exclusifs et individuels sur le spectre. Pour Benkler [2003] les marchés de fréquences rendent seulement compte de la volonté et de la capacité des agents à payer pour une ressource. Il semblerait donc que les droits d'usage exclusifs et de long terme rigidifient l'accès au spectre et constituent une barrière à l'entrée pour de nombreux acteurs qui n'ont pas les moyens de participer à des procédures concurrentielles. A cet égard, il convient de noter que la théorie économique sur la gestion des biens communs, et plus particulièrement les travaux d'Élinor Ostrom sur la gestion collective des biens communs [Ostrom, 1990], ont par ailleurs démontré l'étendue et l'efficacité des divers arrangements institutionnels autres que le marché et l'État pour gouverner des ressources communes (*common-pool resources*).

Enfin, que traduit le succès des fréquences en commun ? Ce mode de gouvernance doit-il devenir la norme pour attribuer la ressource ?

La gestion du spectre en commun attribue des droits d'usage égaux sur une partie de la ressource à tous les utilisateurs qui respectent les conditions d'usage (sur une bande de type Wi-Fi par exemple tous les utilisateurs possèdent les mêmes droits d'usage). Sans remettre en question la valeur et l'importance de disposer de bandes ouvertes, il est révélateur de constater que ce mode de gestion semble, à première vue, adapté à une catégorie d'utilisateurs qui souhaite fournir des services de courte durée et de faible portée. Ainsi, il permet aux utilisateurs d'accéder rapidement au spectre et de pouvoir utiliser la ressource gratuitement dès lors que ces derniers respectent conditions d'utilisation préalablement définies. Toutefois, lorsque les acteurs souhaitent une certaine qualité de service, ce mode de gestion et d'organisation peut s'avérer inadapté.

Le tableau 12 dresse les avantages et les inconvénients de ces deux types de système.

**Tableau 12 : Modèle de marché vs. Modèle ouvert d'accès au spectre**

	Régime axé sur les mécanismes de marché	Régime en commun d'accès au spectre
Avantages	Niveaux de puissance élevés Qualité de services garantie Usage exclusif Favorise les investissements Obligation de couverture du territoire Droit à la protection contre les brouillages	Réduction des barrières à l'entrée Coûts administratifs plus faibles Favorise l'innovation et la demande pour de nouveaux services
Inconvénients	Barrières à l'entrée financières Coûts administratifs	<i>Best effort</i> (qualité de services limitée) Niveaux de puissance plus faibles Risque de congestion plus élevé Pas de droits de protection aux brouillages Modèle irréversible

L'un des principaux inconvénients du régime en commun d'accès au spectre est l'irréversibilité : une fois qu'une bande a été mise en commun elle devient difficilement ré-attribuable étant donné la multitude d'utilisateurs qui l'utilisent. Finalement, bien que ces deux systèmes aient chacun leurs partisans et leurs détracteurs, ils possèdent tous deux certains avantages et inconvénients qui les rendent plus ou moins adaptés à certains types d'usages.

### 2.3.3. La régulation technique du spectre : une approche de co-régulation

Sans une régulation technique adaptée, il est difficile d'imaginer que des services puissent être fournis sans brouillages préjudiciables. L'objectif de la régulation technique est en partie de créer en amont les normes que les équipements devront respecter lorsqu'ils fonctionneront dans les bandes exemptes de licences, et de vérifier en aval si ces normes ont été respectées par les équipementiers. Il convient de souligner que ce système ne s'applique pas seulement aux bandes de fréquences ouvertes. En effet, l'existence de contraintes de rareté, d'externalités et d'activités concurrentielles reposant sur l'accès au spectre, nécessitent la régulation de l'utilisation des fréquences et de l'installation des équipements hertziens. Quel est alors le cadre institutionnel qui assure sa mise en œuvre ?

La régulation technique, c'est à dire la régulation de l'utilisation du spectre et de l'installation des équipements hertziens<sup>102</sup>, est le fruit d'une coopération entre l'État et des organisations publiques et privées. L'implication des parties prenantes dans l'élaboration des normes (industriels, opérateurs, équipementiers, etc.) est importante. Cette régulation technique du spectre est donc originale car elle ne repose pas seulement sur les États et sur les organisations interétatiques. Les caractéristiques physiques du spectre et les enjeux industriels relatifs à son

<sup>102</sup> Pour rappel, le spectre est un bien dépendant de la technologie (cf. Section 1, Chapitre 1) : les équipements qui utilisent le spectre doivent donc également être régulés.

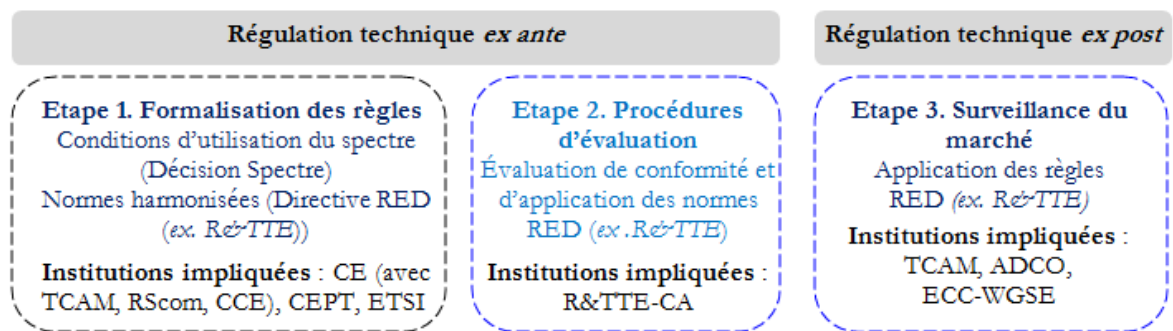
utilisation ont conduit à la mise en place d'une régulation technique prenant la forme d'une co-régulation : les acteurs privés économiques établissent avec l'État des normes techniques.

Les normes sont un ensemble d'exigences qui veillent à garantir un environnement sans brouillage. Elles diffèrent selon les pays puisqu'elles tiennent compte des besoins particuliers de normalisation de la région, du pays et de l'industrie en question. Toutefois, elles sont élaborées conformément aux décisions prises dans le cadre de l'Union internationale des télécommunications (UIT), de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et de la Commission électrotechnique internationale (CEI). Il existe également plusieurs organismes régionaux de normalisation qui contribuent à l'élaboration et à l'adoption de normes pour les produits qui utilisent le spectre radio. C'est le cas de l'*European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), de la *Telecommunications Industry Association* (TIA) ainsi que différents consortiums importants comme la coopération *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) ou l'association *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).

### 2.3.3.1. Le cas européen

En Europe, cette co-régulation technique se fait en deux étapes principales : la définition de normes harmonisées et des procédures d'évaluation de conformité et d'application des normes (régulation technique *ex ante*) et la surveillance du marché (régulation technique *ex post*). La Figure 11 représente ces trois étapes ainsi que les institutions chargées de leur mise en œuvre au niveau européen. Nous détaillons ci-dessous chacune de ces étapes et institutions concernées.

Figure 11 : Le cadre réglementaire européen de la régulation



Source : Adapté des données ANFR

#### Étape 1. Formalisation des règles : définition des normes harmonisées et des conditions d'utilisation du spectre

Lors de la première étape, la régulation technique est assurée par trois institutions essentielles : la Commission européenne (**CE**), la Conférence Européenne des Postes et des Télécommunications (**CEPT**), et l'organisme de normalisation l'**ETSI** (*European*

*Telecommunications Standards Institute*). L'État n'étant pas en mesure de comprendre tous les enjeux techniques industriels, l'implication d'acteurs privés dans l'élaboration des normes est alors incontournable. Le cadre réglementaire européen établit des normes relatives à l'utilisation du spectre afin de garantir une qualité de service, de sécurité et de normalisation des matériaux et des installations utilisant le spectre. Ils existent divers types de normes, les principales étant les normes techniques<sup>103</sup>, les normes d'utilisation du spectre<sup>104</sup>, les normes relatives aux équipements de radiocommunications<sup>105</sup> et les normes de rayonnement<sup>106</sup>. Ces normes ne sont pas exclusives aux bandes exemptes de licence mais s'appliquent à toutes les bandes de fréquences.

La Commission Européenne joue un rôle fondamental dans la régulation technique : d'un côté, en confiant des mandats à la CEPT, elle participe à la régulation des conditions d'utilisation du spectre, et de l'autre côté, en confiant des mandats à l'ETSI, elle participe au programme de normalisation et à la production de normes harmonisées. Les mandats constituent des mécanismes par lesquels la Commission sollicite les organismes européens de normalisation pour mettre au point et adopter des normes européennes.

Entre autre, la Commission Européenne supervise :

- (i) le comité de surveillance du marché et des règles de conformité des télécommunications (ou **TCAM** pour *Telecommunications Conformity Assessment and Market Surveillance*). Composé de représentants des États membres, ce comité a un rôle consultatif et relève de la direction générale « Entreprise et Industrie » de la Commission. Il est chargé de coordonner la mise en application de la directive relative aux équipements hertziens et à la reconnaissance mutuelle de leur conformité (Directive R&TTE) et d'examiner ses possibles modifications.
- (ii) Le comité du spectre radioélectrique (**RScom** pour *Radio Spectrum Committee*). Composé de représentants des 27 pays de l'Union et présidé par la Commission, il assiste celle-ci pour l'application de la décision communautaire relative au spectre des fréquences. Les projets de mandats adressés à la CEPT par la Commission doivent recevoir l'avis conforme du RScom à la majorité qualifiée des États membres.
- (iii) Le comité des communications électroniques (**CCE** ou ECC pour *Electronic Communications Committee*). Chargé des questions relatives aux fréquences, il a pour

---

<sup>103</sup> Une norme est un document contenant des dispositions qui s'appuient sur des documents standards de spécifications radio, des procédures d'approbation, des essais et certificats d'équipements radio tels qu'émetteurs, récepteurs et antennes.

<sup>104</sup> Normes sur les exigences techniques minimales à respecter et sur la configuration des équipements à respecter pour permettre une utilisation efficace du spectre.

<sup>105</sup> Normes sur les équipements et applications à utiliser et sur d'autres critères à respecter concernant la certification, les arrangements de voies, les techniques de modulation utilisées par les équipements, la puissance des émetteurs, et les limites de transmission pour les émissions non désirées.

<sup>106</sup> Normes sur les équipements de radiocommunications ayant pour objectif d'assurer la sécurité publique.

objectif l'harmonisation de l'utilisation des fréquences radioélectriques. En son sein, les administrations, les industriels, et les opérateurs du secteur se coordonnent pour établir la réglementation des conditions d'utilisation du spectre en fonction des demandes du marché et de l'évolution des technologies. Le CCE dispose d'un bureau permanent à Copenhague : l'ECO (*European Communication Office*).

Le troisième dispositif qui assure la régulation technique du spectre à côté de la Commission et de la CEPT est l'ETSI. Les organisations normatives ont pour objectif de définir des normes techniques : c'est le cas de l'ETSI pour les normes européennes sur les équipements radios, ou de l'ANSI (*American National Standards Institute*) pour les normes nord-américaines. Au niveau international se sont l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineering*) et l'UIT qui constituent les deux organismes normatifs. Pour élaborer ces normes, l'ETSI et la CEPT doivent en permanence coopérer. En premier lieu, l'ETSI fournit à la CEPT une description des systèmes souhaités et des bandes de fréquences qui lui sont nécessaires. En réponse à l'ETSI, la CEPT lui transmet les conditions de partage de la bande de fréquences souhaitée et les résultats des différentes études techniques dont elle fait l'objet, afin que celle-ci puisse en dernier ressort, tenir compte de ces éléments pour produire les normes harmonisées.

Les règles et les normes sont donc définies par un ensemble d'acteurs qui agissent collectivement afin d'établir les conditions d'utilisation des fréquences. Bien entendu, l'émergence de conflits ou de nouvelles technologies conduit à faire évoluer ces règles. Les industriels et les différents organismes impliqués dans la définition des normes n'ont pas la capacité de prévoir *ex ante* les effets des normes : ils tentent de définir les règles qui satisferont le mieux leur besoin à l'instant T, mais il est souvent nécessaire de faire évoluer ces règles à l'instant T+1. Une modification des normes et des règles constitue de fait un changement institutionnel.

## **Etape 2 : Procédure d'évaluation de conformité et application des normes**

Une fois que la réglementation, les normes et les spécifications applicables aux équipements déployés et utilisés sur un territoire national ont été édictées par les régulateurs nationaux, les utilisateurs des équipements, ainsi que les fournisseurs de services et les régulateurs nationaux, veulent avoir la preuve que les équipements produits sont conformes aux normes. Pour obtenir cette preuve, il est nécessaire de passer par une **procédure d'évaluation de la conformité**. L'objectif de cette évaluation est de démontrer qu'un produit respecte bien les exigences essentielles qui lui permettent d'être mis sur le marché.

Depuis 1999, la **Directive R&TTE** (*Radio and Telecommunications Terminal Equipment*) [Directive 1999/05/EC] régit la mise sur le marché des équipements hertziens et des équipements

terminaux de télécommunications<sup>107</sup>. Tous les équipements qui utilisent le spectre doivent respecter au niveau européen les exigences essentielles (EE) définies par cette Directive RTT&E (article 3, alinéa 2 pour les équipements hertziens). Il existe trois exigences essentielles qui veillent à (i) s'assurer de la sécurité et de la santé des utilisateurs, (ii) s'assurer de la compatibilité électromagnétique (CEM) et (iii) éviter les brouillages préjudiciables afin de permettre une utilisation efficace du spectre. L'équipement hertzien conforme aux exigences essentielles peut alors être commercialisé et mis sur le marché européen. Toutefois, il n'y a pas de contrôle *ex ante* : les fabricants rédigent seulement une déclaration de conformité aux EE. Cette déclaration stipule que leurs équipements sont conformes aux exigences essentielles énoncées dans la Directive R&TTE, laquelle a récemment été révisée et remplacée par la Directive RED (*Radio Equipment Directive* n°2014/53/UE).

Dès lors, le principal outil de vérification de la conformité est la norme harmonisée. En effet, si un équipement respecte une norme harmonisée, il est alors présumé conforme aux exigences essentielles correspondantes. Les références des normes harmonisées sont publiées au Journal Officiel de l'Union Européenne, toutefois leur application reste volontaire. Parce qu'il est possible de déroger à la norme, un contrôle se fait *a priori* par des autorités de surveillance, appelés également organismes notifiés. Chaque État membre a donc la possibilité d'accorder une certification à des organismes indépendants (laboratoires essentiellement) qui testent les équipements, afin de vérifier et de certifier que ceux-ci (dont les caractéristiques diffèrent de celles imposées par la norme harmonisée) ne créent pas de brouillages. Ainsi, dans le cas où le fabricant applique la norme, il aura seulement à faire une déclaration de conformité. S'il choisit de ne pas l'appliquer, il devra passer par un organisme notifié qui fera un examen de tout le dossier technique mis en œuvre. Pour les fabricants, cette démarche représente des coûts de transactions plus élevés, ce qui les conduit généralement à opter pour le respect de la norme. La réglementation européenne repose sur le bon comportement des acteurs mais ce type de régulation rend l'étape 3, la surveillance du marché, d'autant plus importante.

La **R&TTE-CA** (*Radio and Telecommunications Terminal Equipment Compliance Association*) est l'Association de conformité des équipements radio et terminaux de télécommunications. Elle se réunit deux fois par an avec les membres du TCAM (*Telecommunication Conformity Assessment and Market Committee*) et de l'ECC pour réglementer la mise sur le marché des équipements hertziens et des équipements terminaux de télécommunications.

---

<sup>107</sup> La directive R&TTE sera prochainement remplacée par la nouvelle Directive 2014/53/UE du Parlement européen et du Conseil du 16 avril 2014 relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché d'équipements radioélectriques et abrogeant la directive 1999/5/CE. Cette dernière a été publiée dans le JOUE L 153, 22.5.2014, p. 62–106 et sera applicable à compter du 13 juin 2016.

### Etape 3. La surveillance du marché : une compétence nationale

La troisième étape est la surveillance du marché des équipements de télécommunication. L'intérêt de cette étape est de s'assurer que les produits mis sur le marché ne causent pas de brouillages et ne mettent pas en danger la santé ou la sécurité des individus. Pour cela, la régulation technique *ex ante* n'est pas suffisante. Les comportements opportunistes de certains acteurs tels que des comportements vulnérables à la pratique de la contrefaçon nécessitent une surveillance *ex post*. Les États membres sont responsables de la surveillance du marché sur leur territoire. En France, c'est l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR) qui en a la charge. Toutefois, afin de contrôler si les équipements respectent bien les normes et les exigences essentielles, il arrive que les autorités européennes de surveillance des marchés se regroupent, pour former un comité et faire des campagnes annuelles de vérification. Ainsi, le comité de surveillance du marché et des règles de conformité des télécommunications (TCAM) s'assure que la Directive R&TTE est bien mise en application. Ce comité est à l'origine de la création de la **R&TTE-ADCO** (*Radio and Telecommunications Terminal Equipment Administrative Cooperation*) qui est la coopération administrative pour la surveillance des marchés. Enfin, le groupe de travail européen sur l'ingénierie du spectre **ECC-WGSE** (*Electronic Communications Committee Working Group on Spectrum Engineering*) coopère avec la R&TTE-CA et avec la R&TTE-ADCO sur des questions relatives à la surveillance du marché. Lors de ces campagnes, les autorités s'aperçoivent que beaucoup d'équipements ne respectent pas les exigences essentielles. Sur les 136 contrôles que l'ANFR a réalisés en 2013 sur le territoire français, 37% des équipements étaient non conformes (en dehors des terminaux mobiles) [ANFR, 2013].

Dans la pratique, si un équipement ne respecte pas la norme, une action de police par l'entité responsable va mettre en demeure le fabricant. En cas de brouillage, il faut retirer le plus tôt possible l'équipement du marché. S'il n'y a pas de problème de brouillages, la police du spectre communique avec le fabricant pour qu'il se mette en conformité. Les pratiques de surveillance du marché diffèrent entre les États-Membres. Certains agissent sur plainte tandis que d'autres exercent des activités de surveillance aléatoires et de routine établies à travers des programmes structurés [COM(2004) 288 final]. En France, des agents de l'ANFR sont assermentés et représentent donc la police du spectre. Le budget de l'Agence conditionne l'ampleur de ces activités.

Pour conclure, les normes sont définies en amont et doivent être performantes pour éviter que les équipements créent des brouillages une fois que ces derniers seront mis en service. La surveillance du marché se fait en aval et représente un des coûts de transaction les plus importants au niveau national. Les normes doivent donc être les plus précises et contrôlables possibles de façon à imposer le moins de difficultés aux surveillants du marché. Ces mécanismes, représentés dans le programme néo-institutionnel par les concepts d'*enforceability* (*ex-ante*) et d'*enforcement* (*ex-post*), jouent un rôle clé. Claude Ménard marque la

différence entre les mécanismes situés *ex ante* (*enforceability*) et ceux intervenant *ex post* (*enforcement*) [Ménard, 2003]. Le mode de gouvernance ne doit pas seulement s'attacher à définir les règles qui régissent les interactions entre les acteurs mais doit également tenir compte des dispositifs nécessaires à leur mise en œuvre et à leur application effective. La production de règles et/ou de normes représentent **les mécanismes d'enforceability** destinés à régir les transactions et les relations entre les individus. La surveillance et l'application de sanctions sont les **dispositifs d'enforcement** destinés à la mise en œuvre effective des règles, des droits de propriété, et des normes. L'ensemble de ces dispositifs *ex-ante* et *ex-post* représente des coûts de transactions qui doivent être minimisés afin de garantir l'efficacité de la forme de gouvernance.

Les deux étapes (*ex ante* et *ex post*) forment ensemble la régulation technique du spectre. Cette régulation s'applique à toutes les bandes de fréquences mais elle est d'autant plus essentielle dans des bandes ouvertes et gratuites où il n'y pas de restrictions sur le nombre d'utilisateurs. En effet, les bandes de fréquences ouvertes représentent un bien commun. Lorsque l'on est face à un bien commun, à côté des règles qui régissent les conditions d'accès et d'usage de la ressource, il est primordial de mettre en place des procédures qui permettent de faire face aux dysfonctionnements, conflits ou aux besoins de modification des règles.

### 2.3.3.2. *Le cas des États-Unis*

L'établissement de normes pour l'évaluation de conformité des dispositifs sans fil qui utilisent les bandes de fréquences ouvertes, gratuites et sans attributaires exclusifs sont élaborées aux États-Unis par la FCC, et plus précisément, par le « *Title 47* » du *Code of Federal Regulation* (CFR). Le « *Titre 47* » est organisé en différentes parties. Par exemple, la *FCC Part 18* définit les bandes de fréquences pouvant être utilisées sans autorisation pour des applications industrielles, scientifiques et médicales (ISM) ainsi que les normes à respecter pour pouvoir les utiliser. La *FCC Part 15* définit, quant à elle, les bandes de fréquences qui peuvent être utilisées sans autorisation par les appareils de faible puissance et les normes à respecter pour pouvoir les utiliser.

Les procédures d'évaluation de la conformité sont plus simples en Europe qu'aux États-Unis. En Europe, seule la déclaration du fabricant est nécessaire : si le fabricant déclare respecter les exigences essentielles, il peut mettre les équipements qu'il souhaite sur le marché. De plus, l'équipementier qui applique les normes harmonisées sera conforme aux exigences essentielles définies par la Directive R&TTE. Aux États-Unis, c'est la FCC qui vérifie dans ses laboratoires chaque équipement *ex ante* avant de lui donner une autorisation de mise sur le marché.

Les équipements qui utilisent le spectre doivent donc être testés et autorisés avant de pouvoir être commercialisés. Les deux moyens qui permettent d'obtenir une autorisation sont la certification et la vérification. Dans le cas de la **certification**, des tests sont effectués par le

laboratoire de la Commission pour vérifier que l'équipement est conforme aux normes techniques définies par la FCC. Une fois les tests réalisés, un rapport dans lequel figurent la procédure de test, les résultats et quelques informations supplémentaires sur le dispositif, est élaboré. La Partie 2 des Règles de la FCC (*FCC Part 2*) détaille les informations spécifiques à inclure dans un rapport de certification. Dans le cas de **la vérification**, des tests sont effectués par un organisme certifié afin de vérifier que l'émetteur respecte bien les normes techniques définies par la FCC. Un rapport est livré au fabricant qui pourra être amené à le communiquer à la FCC si elle en fait la demande.

À la fin de l'étape de certification, deux labels peuvent être délivrés pour assurer la conformité de l'équipement: un **label d'identification** de la FCC qui assure que l'équipement a été autorisé par la FCC et un **label de conformité** de la FCC qui indique que l'émetteur a été autorisé à fonctionner dans une bande de fréquences dans le cadre des règles définies par la FCC<sup>108</sup>. Le label de conformité est produit par le fabricant (ou l'importateur) qui l'appose sur chaque émetteur commercialisé ou importé. Dès lors que les équipements sont vérifiés, il n'y a pas besoin de dépôt auprès de la FCC.

La FCC réalise une surveillance en amont en vérifiant chaque équipement qui rentre sur le marché américain. Par conséquent, elle est moins rigide que l'Europe au niveau des autorisations. Aux États-Unis, la surveillance *ex post* est facilitée parce que l'autorité dispose déjà dans les rapports de tous les éléments nécessaires permettant de vérifier si les industriels respectent bien les normes. Du point de vue de l'économie des coûts de transaction, il peut être beaucoup plus coûteux et lourd de réaliser la surveillance du marché *a posteriori* comme dans le cas européen, qu'en amont en vérifiant l'équipement *a priori* comme dans le cas américain. *A contrario*, la surveillance en amont constitue une barrière à l'entrée au marché.

Plus généralement, il est important de noter que les pays n'appliquent pas les mêmes normes et n'ont pas le même cadre réglementaire. Afin de faciliter la coordination entre pays, des accords de reconnaissance mutuelle (MRA pour *Mutual Recognition Agreements or Arrangements*) sont généralement signés entre les pays. Un des plus importants MRA est celui établi entre les États-Unis et l'Europe. Les MRA sont des instruments qui permettent de réduire entre les pays les obstacles techniques de procédure d'évaluation de conformité. Par exemple dans le cadre d'un accord de reconnaissance mutuelle, un produit européen peut être testé dans un laboratoire aux États-Unis. Le laboratoire américain assurera alors la certification de ces produits aux normes européennes (et inversement, un produit américain peut être testé dans un laboratoire européen aux normes américaines). Ainsi, l'harmonisation des exigences techniques ou administratives entre les pays signataires d'une ARM n'est pas nécessaire puisque chacun reconnaît et accepte la compétence de son partenaire.

---

<sup>108</sup> L'identificateur de la FCC et le label de conformité doivent être marqué sur les dispositifs.

Pour conclure, il est important de souligner que **le régime du spectre en commun a largement bénéficié des efforts faits par les instances régionales et structures politiques de gestion du spectre pour promouvoir une harmonisation des services et un contrôle accru de son utilisation**. Sans cette régulation technique, il y a fort à parier que se serait le chaos dans les bandes de fréquences qui ne nécessitent pas d'autorisation individuelle d'utilisation et que le succès du Wifi n'aurait par exemple pas été d'une telle ampleur.

#### **2.4. Conclusion de la deuxième section. Sortir de la vision télécom *stricto sensu***

L'objectif de cette section était de revenir sur les deux modèles d'attribution de fréquences : le modèle axé sur les mécanismes du marché et le modèle d'accès en commun du spectre. L'analyse de la création des marchés régulés de fréquences a montré que ce mode d'attribution a émergé au début des années 1990 dans le sillage de l'ouverture à la concurrence. Ainsi, la conception des marchés primaires a été guidée par une politique de concurrence cherchant à promouvoir la concurrence sur le marché aval, tandis que les marchés secondaires ont été créés afin de promouvoir une utilisation plus efficace de la ressource.

L'analyse du régime de spectre en commun a mis en lumière la valeur et l'importance de détenir des bandes ouvertes. La technologie et les innovations réglementaires ont su transformer et rendre attrayantes des bandes de fréquences qui semblaient à l'origine dépourvues d'intérêts. Pour autant, les phénomènes de congestion et de brouillages dans ces bandes nous rappellent la spécificité du bien spectral et son indispensable régulation technique.

## Conclusion du chapitre 1

Au cours de ce premier chapitre, nous avons montré à travers l'étude des caractéristiques physiques, techniques et économiques des bandes de fréquences que le spectre était un bien particulier et hétérogène. Cette première considération nous a amené à analyser la façon dont cette ressource était gérée. Nous avons montré que les fréquences, en raison de leurs particularités, étaient gérées au plus haut niveau et faisaient l'objet d'un consensus entre tous les pays. Nous avons vu qu'au niveau des États, l'introduction de l'intervention publique a été la première réponse aux problèmes des externalités négatives. L'étude des deux autres modes d'attribution des fréquences en dehors du système de commandement et de contrôle, à savoir, le marché régulé et le modèle en commun, ont conforté notre idée que le spectre n'était pas une commodité. Par commodité, on entend un produit standardisé, aux qualités parfaitement définies et connues des acheteurs, pour lequel la compétition entre utilisateurs passe uniquement par les prix et où il n'y a pas de différenciation du produit possible<sup>109</sup>.

L'analyse des marchés primaires et secondaires a permis de constater que les marchés de spectre se limitaient à un type particulier d'utilisateurs et de bandes de fréquences et que les interactions entre les différents acteurs pour l'usage de cette ressource se faisaient rarement de façon bilatérale. Seul le marché secondaire permettrait de faire prévaloir cette particularité, mais son insuccès relatif montre les limites inhérentes à traiter le spectre comme un bien standard, objet de commerce entre acteurs économiques. Dès lors, nous affirmons que l'instauration d'un marché du Hertz tient plus de la régulation sectorielle qui a été appliquée lors de l'ouverture à la concurrence du marché des communications un peu partout dans le monde, qu'à la nature des fréquences qui permettrait d'abandonner ce bien totalement au marché.

L'analyse du modèle en commun du spectre a montré que la coordination des usagers pour l'accès à la ressource ne passe pas forcément par les prix. Par ailleurs, bien que la gestion des fréquences libres, gratuites et sans attributaires exclusifs pourrait sembler décentralisée, nous avons montré qu'il s'agissait d'un espace où de forts éléments de centralisation existent (normes techniques, gestion des brouillages, etc.).

---

<sup>109</sup> Voir Jean-Pierre Giraud, *Economie industrielle des commodités*  
<http://www.cerna.enscm.fr/Documents/Enseignement/CoursCommodites/PNG-Dauphine.pdf>



# Chapitre II

## L'accès partagé et dynamique aux fréquences : un nouveau cycle dans l'attribution des fréquences

<b>Section 1. L'origine de la reforme.....</b>	<b>99</b>
1.1. L'épineuse question de l'utilisation et de la gestion efficace du spectre.....	99
1.2. L'augmentation des besoins en fréquences .....	108
1.3. L'émergence de technologies de partage et d'accès dynamique au spectre .....	114
1.4. Conclusion de la première section. <i>Le besoin de rationalisation du système actuel.....</i>	125
<b>Section 2. Changement institutionnel : vers une utilisation collective du spectre.....</b>	<b>126</b>
2.1. La réforme européenne pour une utilisation partagée du spectre.....	126
2.2. Le partage : une solution de premier rang .....	134
2.3. Conclusion de la deuxième section. <i>La rareté se pilote, la pénurie se subit .....</i>	143
<b>Conclusion du chapitre II .....</b>	<b>144</b>



## Introduction au deuxième chapitre

La théorie économique a beaucoup été sollicitée s'agissant de la gestion et de l'attribution des fréquences radioélectriques. En outre, les controverses concernant la gestion et l'utilisation du spectre ont permis aux économistes de nourrir leurs analyses sur des sujets tels que la gestion des biens communs, la conception des enchères ou encore la théorie des droits de propriété. Bien que les grands débats de la gestion des fréquences, à savoir la décentralisation du système de gestion, la privatisation et l'attribution d'un prix aux fréquences ou encore l'ouverture de bandes de fréquences soient encore aujourd'hui d'actualité, un nouveau débat a pris le dessus : celui de l'utilisation sous efficace des fréquences et d'un spectre confronté à la tragédie des anti-communs.

Le problème de l'utilisation inefficace du spectre est apparu suite au constat de l'existence d'espaces blancs dans l'usage de la bande spectrale (notamment dans les bandes de fréquences attribuées à la télévision) et donc d'une sous-utilisation du spectre. Le constat est simple : dans certaines zones géographiques ou à certains moments de la journée, certaines bandes de fréquences demeurent inutilisées (espaces blancs) ou sous-utilisées par les détenteurs de licences. Ces espaces blancs constituent autant de preuves d'une gestion inefficace de la ressource spectrale par le système actuel. Suite à ce nouveau débat et face à l'augmentation des besoins en fréquences, il est apparu nécessaire que la gestion du spectre s'assouplisse et permette un usage plus flexible des bandes spectrales, sous contrainte d'absence de brouillages entre utilisateurs primaires et secondaires. Bien que le partage dans le spectre soit déjà présent *via* le marché secondaire ou les bandes ouvertes, l'idée d'une attribution dynamique et plus partagée des fréquences a ainsi émergé.

Nous proposons dans ce chapitre d'étudier le paradigme d'accès partagé et dynamique au spectre. Une première section revient sur les événements à l'origine de la réforme vers un accès partagé et dynamique au spectre. Dès lors, c'est la question de l'utilisation inefficace du spectre qui est étudiée. Celle-ci est apparue à la suite de différentes mesures de taux d'occupation du spectre qui ont conduit les acteurs à assimiler le spectre, non plus à bien commun, mais à un bien anti-commun. Par ailleurs, nous montrons que les gestionnaires du spectre font face à des besoins croissants en bande de fréquences alors que la quantité de spectre disponible est de plus en plus faible. Toutefois, face à ces deux constats, l'émergence de technologies intelligentes d'accès dynamique au spectre permet d'envisager un nouveau mode d'accès à cette ressource : l'accès partagé et dynamique.

Une deuxième section étudie la réforme européenne pour une utilisation partagée et dynamique du spectre, laquelle constitue un changement dans l'environnement institutionnel existant. Il s'agit alors de saisir l'impact de ce changement sur les modes de gouvernance. L'intérêt de ce nouveau mode d'utilisation des fréquences est ainsi justifié. Les difficultés à trouver de nouvelles bandes de fréquences et à réaménager le spectre face à l'augmentation des besoins vont en faveur d'une utilisation partagée. En effet, nous verrons que le réaménagement du spectre est un processus long et coûteux qui fait du partage une solution de premier rang dans un contexte de rareté de la ressource.

---

## Section 1. L'origine de la réforme

La réforme pour une utilisation partagée et collective du spectre a pris forme suite aux problèmes de sous-utilisation du spectre, posant la question de l'efficacité dans l'usage (1.1) et face au constat de l'augmentation des besoins en fréquences (1.2). L'émergence de technologies d'accès dynamique au spectre a fait apparaître la possibilité d'un partage des bandes spectrales entre des utilisateurs primaires et des utilisateurs secondaires permettant ainsi d'améliorer l'efficacité spectrale et l'utilisation des fréquences (1.3).

### 1.1. L'épineuse question de l'utilisation et de la gestion efficace du spectre

Dans cette partie nous esquissons un premier bilan des difficultés rencontrées sous le système actuel d'accès statique et d'usage individuel du spectre. Depuis quelques années, les critiques sur la gestion administrative du spectre n'ont cessé d'alimenter les débats. L'utilisation et la gestion du spectre ont souvent été jugées inefficaces, justifiant le recours à un changement technologique ou de gouvernance. Les principales critiques qui ont été faites au système actuel sont sa rigidité, l'usage trop exclusif et individuel des fréquences ou encore la sous-utilisation de certaines bandes. Avant d'analyser les différents éléments qui poussent certains acteurs du secteur à considérer l'accès et l'utilisation du spectre comme inefficace, nous définissons ce qu'est l'efficacité dans la gestion et l'utilisation du spectre.

#### 1.1.1. Utilisation et gestion efficace du spectre

Comment mesurer l'efficacité de l'utilisation et de la gestion du spectre ? En réalité, les deux sont liées puisqu'une gestion efficace du spectre doit conduire à une utilisation efficace des fréquences. Pour cela, le système de gestion du spectre doit être en mesure de maximiser l'efficacité spectrale, l'efficacité technique et l'efficacité économique (cf. Encadré 6).

L'**efficacité spectrale** consiste à faire passer le maximum d'informations en utilisant le moins de spectre possible. Elle se traduit donc en nombre de bits transmis par seconde par hertz. Améliorer l'efficacité spectrale revient donc à utiliser une quantité moindre de spectre pour un service équivalent ou de qualité supérieure, de façon à ce que la quantité de spectre rendue disponible puisse être utilisée pour fournir de nouveaux services, générateurs de gains économiques. L'**efficacité technique** revient à transmettre un maximum d'informations au moindre coût. Le coût incluant le coût de tous les *inputs*, c'est-à-dire du facteur travail, capital, et des équipements. Elle se traduit donc en nombre de bits transmis par seconde par euro investi. Pour la FCC [2002a], l'efficacité spectrale et l'efficacité technique sont des composantes de l'efficacité économique. L'**efficacité économique** revient à maximiser la valeur du service final fourni au consommateur tout en minimisant le coût de production.

Pour cela, elle tient compte, en plus de l'efficacité technique (ou productive), de l'efficacité allocative et dynamique [Cave et *al.*, 2007].

**Encadré 6 : Efficacité spectrale, efficacité technique et efficacité économique**

« **L'efficacité spectrale** revient à transmettre une quantité maximale d'informations (*output*) à l'intérieur d'une quantité donnée de spectre (*input*), ou de façon équivalente, d'utiliser le minimum de spectre pour transmettre une quantité donnée d'informations » [FCC, 2002a].

$$\text{Efficacité spectrale} = \frac{\text{Output}}{\text{Quantité de spectre utilisée}}$$

« **L'efficacité technique** se produit lorsque tous les facteurs de production (y compris le spectre, mais également les équipements, et les facteurs travail et capital) sont déployés de façon à maximiser la production d'information au coût le plus faible » [FCC, 2002a]

$$\text{Efficacité technique} = \frac{\text{Output}}{\text{Coût de tous les inputs}}$$

« **L'efficacité économique** se produit lorsque tous les *inputs* sont déployés de façon à produire les services les plus valorisés par les consommateurs finals, la valeur du service faisant référence à la valeur de l'information transmise » [FCC, 2002a].

$$\text{Efficacité économique} = \frac{\text{Valeur de l'output}}{\text{Coût de tous les inputs}}$$

Théoriquement, l'efficacité économique est liée au critère de Pareto : elle est atteinte lorsque l'on est dans une situation où il n'est plus possible d'améliorer le bien-être d'un individu sans détériorer celui d'un autre. Sous cette hypothèse, **l'efficacité allocative** revient à produire l'ensemble de services qui maximise le bien être des individus au sens de Pareto<sup>110</sup>. **L'efficacité dynamique** quant à elle consiste à prendre en compte les évolutions technologiques et/ou réglementaires permettant une meilleure utilisation de la ressource. En effet, face aux évolutions technologiques, le système de gestion et d'attribution de fréquences doit être en mesure de s'adapter et de créer des innovations réglementaires de façon à améliorer l'utilisation efficace du spectre.

Dans la pratique, la méthode administrative de gestion du spectre favorise plutôt l'efficacité technique (en optimisant l'emplacement, la puissance et la couverture géographique de l'appareillage spécifié) tandis que les méthodes basées sur le marché favorisent l'efficacité économique.

<sup>110</sup> L'efficacité allocative est Pareto-optimale s'il n'est pas possible d'améliorer le bien être d'une catégorie d'utilisateurs en produisant un autre ensemble de services sans détériorer celui d'une autre catégorie.

### 1.1.2. De la tragédie des communs à celle des anti-communs : le besoin de réformer la gestion du spectre

Le débat le plus récent concernant la gestion du spectre a conduit les partisans d'un régime de droits de propriété exclusifs et les partisans d'un spectre gratuit et sans licence à se mettre d'accord sur le fait que le spectre était mal utilisé. À l'origine de cette position, se trouve le constat que certaines bandes de fréquences sont sous-utilisées. Parmi ces bandes de fréquences, celles de la télévision sont largement au cœur du débat qui anime depuis une dizaine d'années les acteurs du secteur. Ces espaces sous-utilisés, voire inutilisés, sont qualifiés d'espaces blancs du spectre. La mise en évidence de ces espaces blancs est venue corroborer les hypothèses sur l'utilisation inefficace des fréquences.

#### 1.1.2.1. *Espaces blancs et sous-utilisation du spectre*

Diverses études ont montré l'existence d'espaces blancs, c'est à dire de portions du spectre qui demeurent inutilisées à certains moments de la journée et dans certaines zones géographiques [Mc. Henry, 2005; Mc. Henry et al., 2005; Valenta et al., 2010]. D'après celles-ci, les espaces blancs résultent d'une sous-utilisation des bandes de fréquences qui peut s'opérer aussi bien dans les bandes destinées à la production de services commerciaux que dans celles destinées à la production de services publics. De nombreuses mesures ont fait apparaître des taux d'occupation des fréquences relativement faibles. Ainsi, alors que certaines bandes sont surchargées, il semblerait que d'autres soient sous-utilisées. Les figures de l'Annexe II.1 sont des illustrations de mesures faites à Chicago, Paris et Bruxelles dans différentes bandes de fréquences (cf. **Annexe II.1.** L'occupation du spectre). L'approche préconisée et retenue par l'UIT pour mesurer l'occupation du spectre figure également dans cette annexe.

Les graphiques résultants de mesures de taux d'occupation du spectre sont cependant à prendre avec précaution car ils ne reflètent pas l'utilisation exacte du spectre mais plutôt l'occupation de celui-ci à un moment donné et à un endroit donné. Par ailleurs, les mesures de taux d'occupation peuvent fournir différents résultats en fonction des paramètres retenus. Par exemple, une bande peut être considérée inoccupée si les mesures n'ont pas tenu compte des systèmes de faibles puissances (cas des signaux très faibles, service fixe par satellite, GPS, équipements de faible puissance). Ainsi la non détection de l'utilisation du spectre ne veut pas dire que celui-ci n'est pas utilisé<sup>111</sup>. Les résultats obtenus dépendent donc de plusieurs paramètres techniques tels que la puissance, la largeur de canal, le type d'antenne, etc. *A contrario*, une bande de fréquences très occupée ne signifie pas nécessairement une utilisation efficace de celle-ci.

---

<sup>111</sup> Il convient de souligner par ailleurs que certaines bandes sont des bandes dites « d'écoute ». C'est-à-dire que ces bandes sont essentiellement utilisées pour des utilisations passives de type radio astronomie par exemple. Dans ce cas, leur taux d'occupation est nul, pour autant l'utilisation est réelle.

Nous retiendrons donc que ces résultats sont à manipuler avec prudence. En France, des mesures ont été effectuées par l'ANFR sur certaines bandes libres. Elles montrent que certaines bandes de fréquences sont plus utilisées que d'autres, pour autant, il n'est pas possible de conclure à une sous-utilisation de la ressource [Toledano, 2014]. En effet, l'utilisation des bandes de fréquences étant fortement corrélée à l'activité économique, elle est de ce fait plus intense dans les zones denses et peuplées et en heure de pointe que dans les zones rurales.

### Les différents types d'espaces blancs

Il est nécessaire de distinguer deux types d'espace blancs : (i) les espaces blancs liés au fait qu'un titulaire n'utilise pas sa fréquence de façon continue et (ii) les espaces blancs qui sont la conséquence de mesures réglementaires.

Dans le premier cas, plusieurs causes peuvent expliquer la création de ces espaces blancs. Premièrement, ils peuvent résulter d'un déséquilibre entre la demande et la disponibilité en bandes de fréquences. En zone rurale l'offre de fréquences utilisées pour les communications mobiles est généralement supérieure à la demande, tandis qu'en zone urbaine et en heure de pointe la demande peut excéder l'offre. La deuxième possibilité est la thésaurisation du spectre. La thésaurisation du spectre se traduit par une accumulation excessive de droits d'utilisation du spectre par certains acteurs. Certaines entreprises disposent d'une quantité de spectre supérieure à la quantité nécessaire pour satisfaire la fourniture de leur service. Cependant, pour restreindre l'entrée de nouveaux concurrents sur le marché elles laissent inutilisée une partie des fréquences. Ce type de comportement favorise la création d'espaces blancs.

Dans le deuxième cas, celui des espaces blancs de la télévision (*TV White Spaces*, TVWS), la sous-utilisation est le résultat d'une attribution hiérarchique du spectre (commandement et contrôle). Les fréquences actuellement attribuées à la télévision sont les bandes de fréquences allant de 470 MHz à 790 MHz<sup>112</sup>. Dans le cadre des attributions de fréquences aux stations de diffusion de télévision il convient, quand on utilise la technologie classique, de laisser entre chaque chaîne, un canal de spectre, afin d'améliorer la réception et d'éviter que celles-ci interfèrent entre-elles. Ces canaux non utilisés par le service de radiodiffusion dans la planification des réseaux de télévision sont appelés les espaces blancs de la télévision. Aujourd'hui, bien qu'ils soient utilisés par les producteurs de programmes et d'événements spéciaux (PMSE pour *Program Making and Special Events applications*) qui utilisent des

---

<sup>112</sup> En France, le gouvernement a annoncé la mise aux enchères de la bande 700 MHz (694-790 MHz) à la fin de l'année 2015. Cette bande doit être attribuée aux opérateurs mobiles dans le cas du second dividende numérique. En conséquence, les fréquences attribuées à la télévision ne seront plus que les fréquences allant de 470 MHz à 694 MHz.

microphones sans fil, l'évolution technologique permettrait d'en faire une utilisation plus intensive et efficace<sup>113</sup>.

Une condition essentielle pour utiliser ces espaces est de protéger les stations de diffusion de télévision de tout brouillage. Si l'autorité souhaite réattribuer ces espaces à de nouveaux acteurs, de nouveaux droits appropriés devront être créés. Néanmoins, il est difficile de réaliser des adaptations de ce type dès lors qu'elles n'ont pas été anticipées *ex ante*. Le spectre étant une ressource rare, les acteurs économiques vont chercher à empêcher toute évolution indésirable qui viendrait modifier la répartition initiale des droits de propriété. Il devient alors difficile d'attribuer ces espaces même dans un objectif d'efficacité économique générale.

### 1.1.2.2. *La tragédie des anti-communs*

Pour beaucoup, la création de droits d'usage exclusifs du spectre et les conditions d'utilisation trop restrictives qui leurs sont associées, ont soumis le spectre à la tragédie des anti-communs. Cette tragédie se produit lorsque la multiplication de droits de propriété exclusifs sur des éléments distincts d'un même bien entraîne une sous utilisation de ce bien. L'ensemble des droits représente un ensemble de relation (et de non relation) que les agents entretiennent avec d'autres acteurs sur un objet particulier. Cependant, lorsque ces droits sont trop restrictifs ils condamnent la ressource à être sous-utilisée.

La tragédie des anti-communs trouve son origine chez Heller [1998] qui fournit une explication de l'inoccupation des magasins et kiosques à Moscou dans l'après communisme. Heller [1998] confronte le constat de l'inoccupation des magasins et kiosques avec celui d'une demande pourtant élevée pour l'accès à ce type de surfaces. Il conclut que ce sont les droits de propriétés sur ces magasins, détenus par plusieurs administrations et par le secteur privé, qui ne permettent pas une utilisation optimale de ces espaces. Il définit ainsi la tragédie des anti-communs comme le résultat d'une situation dans laquelle plusieurs propriétaires, chacun dotés de droit de propriété sur la ressource, peuvent exclure de cette ressource rare tous les autres acteurs ne possédant pas un droit d'utilisation. Alors, dans une telle situation et dans le cas où les détenteurs de droits sont nombreux, la ressource est sujette à une sous-utilisation :

« Multiple owners are each endowed with the right to exclude others from a scarce resource, and no one has an effective privilege of use. When there are too many owners holding rights of exclusion, the resource is prone to underuse » [Heller, 1998, p.624].

La fragmentation du spectre en plusieurs droits d'usage exclusifs, ou droits de monopole, permet au détenteur d'une licence de pouvoir exclure un autre acteur de son utilisation<sup>114</sup>.

---

<sup>113</sup> A noter que ces « espaces » sont situés dans la bande UHF et disposent donc d'une excellente qualité de propagation permettant une couverture du territoire à moindre coût.

Cependant une distinction est faite entre une propriété privée et une propriété anti-commune. Toute division d'une ressource en droits de propriété privée ne mène pas obligatoirement à la tragédie des anti-communs. La situation finale dépend de la façon dont le bien est divisé. Heller [1998] distingue ainsi la propriété privée de l'anti-commune de la façon suivante : la première divise le bien de manière verticale de façon à ce qu'un ou un ensemble de propriétaires ne contrôle qu'une partie du bien, tandis que la seconde divise le bien de manière verticale mais est également le fait de relations horizontales entre les propriétaires.

Pour Werbach [2011], de la même manière qu'une situation où de multiples détenteurs ont accès à une ressource limitée présente un risque de surconsommation, une situation où de multiples détenteurs possèdent des droits exclusifs pour la même ressource peut présenter un risque de sous-consommation.

Les espaces blancs de la télévision sont avant tout détenus par l'État et ensuite par différents diffuseurs audiovisuels auxquels ont été assignés des droits d'usage. Néanmoins, il est possible de modifier les règles pour arriver à un usage plus efficace de ces canaux vacants. Ainsi, selon Werbach [2011] le spectre inutilisé est qualifié d'anti-commun car il est sous-utilisé et non pas parce que de multiples propriétaires en empêcheraient l'usage. Pour lui, en réalité, il ne tient qu'à la puissance publique de débloquer cette situation. Ainsi, il considère comme discutable le fait de qualifier ces fréquences d'anti-communes car l'État reste propriétaire de celles-ci en dernier ressort. Ces bandes de fréquences ont en effet été attribuées sous le modèle administratif. Pour l'auteur, cela signifie seulement que le gouvernement a mis trop de limites à l'aliénabilité. De nombreux acteurs utilisent ces fréquences (diffuseurs audiovisuels, PMSE, etc.) et détiennent en quelques sortes un droit d'usage dans la même fréquence : ceci rend difficile la mise en place d'un processus de résolution mais pas impossible.

Pour Hazlett [2014], le spectre devient un anti-commun en raison de la complémentarité qui existe entre les bandes de fréquences. Il considère que les services ayant une grande valeur (ex. services fournis par les réseaux de communication sans fil) sont plus efficaces lorsque ces réseaux se déploient sur de larges blocs de spectre contigus du fait des fortes complémentarités qui existent entre canaux voisins. C'est cette particularité du spectre qui incite, selon lui, chaque titulaire d'une fréquence à exiger, en plus de sa juste valeur marchande, la valeur créée par les bandes environnantes. Dans tous les cas, il n'est pas pensable dans une

---

<sup>114</sup> Le spectre est un bien système, il est découpé en plusieurs morceaux qui ont des valeurs différentes et qui peuvent être plus ou moins compatibles entre eux. Ces morceaux sont vendus aux enchères comme des droits d'usage et d'accès au spectre, et sont donc en réalité des droits de monopole procurant à son détenteur un usage exclusif.

situation où l'offre ne répond pas à la demande, que des ressources restent sous-utilisées alors qu'elles pourraient répondre à un besoin<sup>115</sup>.

### 1.1.3. Comportement anticoncurrentiel et thésaurisation du spectre

Nous avons précédemment montré que les bandes de fréquences ont des caractéristiques intrinsèques différentes qui les rendent plus ou moins adaptées à la fourniture d'un service particulier. Ainsi, seulement une partie des fréquences du spectre radioélectrique sera disponible pour proposer à un coût raisonnable au regard du marché, un service particulier, par exemple, un service de téléphonie mobile. Cet aspect intensifie la compétition pour l'accès à cette ressource et peut conduire les utilisateurs du spectre à faire une utilisation anticoncurrentielle de celui-ci afin de conserver un avantage compétitif. Généralement, l'existence de tels comportements est l'explication sous-jacente à une thésaurisation des fréquences qui se traduit *in fine* par des problèmes de concentration et de pouvoir de marché.

Les comportements anticoncurrentiels font partie des inefficacités engendrées par le système de gestion actuel. Les formes de comportements anticoncurrentiels identifiées dans la littérature économique peuvent être classées en fonction des grandes catégories suivantes : les comportements monopolistiques anticoncurrentiels et comportements collusifs (dont l'abus de position dominante), les pratiques restrictives horizontales et verticales et les pratiques commerciales déloyales. Concernant le spectre radioélectrique, le Groupe Politique en matière de Spectre Radio<sup>116</sup> (ou RSPG pour *Radio Spectrum Policy Group*) définit comme anticoncurrentiel « la thésaurisation et / ou le blocage à l'utilisation efficace d'une ressource limitée de manière à nuire à la concurrence dans le marché aval des services pour lesquels cette ressource est utilisée comme input ».

Le RSPG et le Groupe des Régulateurs Européens (GRE) définissent la thésaurisation dans le marché du spectre comme la situation dans laquelle les acteurs acquièrent ou détiennent (conjointement ou individuellement) des quantités de spectre supérieures à leur besoin

---

<sup>115</sup> Les régulateurs semblent avoir pris conscience de l'intérêt de retirer les contraintes artificielles sur l'utilisation du spectre. En Europe, le régulateur britannique (l'Ofcom) est particulièrement proactif sur le sujet. En 2007, il va publier un rapport dans lequel il recommande l'utilisation des espaces blancs du spectre [Ofcom, 2007] et lancera en conséquence plusieurs consultations publiques afin de définir une méthode d'utilisation des espaces blancs [Ofcom, 2009, 2010] et un régime d'autorisation pour les appareils utilisant ces espaces [Ofcom, 2012]. En parallèle, en Juin 2011, un consortium européen de 11 entreprises du secteur des télécommunications a été créée à Cambridge dans le but de tester les faisabilités techniques d'un nombre d'applications utilisant les espaces blancs de la TV et de permettre au régulateur de développer un cadre réglementaire qui faciliterait l'utilisation de ces espaces et la mise en place de certains objectifs politiques partagés par l'Union Européenne. En 2013, l'Ofcom lance sa propre expérimentation afin d'établir les règles sous lesquelles les appareils pourraient fonctionner. Ces règles seront définies dans une quatrième consultation publique [Ofcom, 2013] suite à laquelle l'Ofcom autorisera finalement l'utilisation des espaces blancs dans la bande 470-790 MHz [Ofcom, 2015].

<sup>116</sup> L'acronyme français « GPSR » pour définir le Groupe Politique en matière de Spectre Radio est très peu utilisé. L'acronyme anglais « RSPG » (pour *Radio Spectrum Policy Group*) est largement privilégié. Par souci de cohérence, nous utilisons par la suite seulement l'acronyme anglais qui est plus parlant dans le domaine.

technique prévisible, dans le but de fausser la concurrence [RSPG et GRE, 2009]. L'existence d'espaces blancs et d'une sous-utilisation de la ressource peut constituer un signal sous-jacent de thésaurisation. L'enjeu pour la puissance publique est alors de déterminer si ces espaces blancs résultent d'un comportement anticoncurrentiel (« *boarding* ») ou d'une anticipation sur l'état futur du marché et de la demande (« *speculative boarding* »).

Le RSPG demande donc à ce qu'une distinction soit faite entre : (1) la thésaurisation des bandes de fréquences par les opérateurs ayant pour objectif de restreindre l'accès à la ressource essentielle, et qui dans ce cas, s'interprète comme un comportement anticoncurrentiel et (2) la thésaurisation spéculative dont le motif n'est pas de créer des barrières à l'entrée mais d'anticiper l'évolution des besoins futurs. Néanmoins, la thésaurisation accentue de ce fait d'autres inefficacités, par exemple, elle perturbe la liquidité du marché [Xavier et Ypsilanti, 2006; Chapin et Lehr, 2007]. En effet, trois variables influent sur la liquidité du marché : la disponibilité en spectre, la demande en spectre et le niveau des coûts de transaction [Chapin et Lehr, 2007]. Or, en thésaurisant du spectre les acteurs économiques réduisent la disponibilité de celui-ci.

Nous analysons trois raisons qui inciteraient les acteurs à thésauriser le spectre :

(1) Créer des barrières à l'entrée. L'accumulation de droits d'utilisation du spectre conduirait vraisemblablement à l'établissement d'une position dominante. La jurisprudence, tant interne que communautaire, définit la position dominante comme toute situation dans laquelle une entreprise a la possibilité de s'abstraire des conditions du marché et d'agir sans tenir compte du comportement et de la réaction de ses concurrents. Le RSPG et le GRE considèrent que la rareté du spectre pourrait davantage motiver un petit nombre d'opérateurs existants, à agir seul ou en connivence, pour thésauriser le spectre et s'engager dans l'achat de fréquences inutiles aux enchères de façon à créer une barrière à l'entrée aux nouveaux arrivants et à leurs rivaux<sup>117</sup> [RSPG et GRE, 2009].

(2) Augmenter les prix sur le marché aval. Les droits de propriété sur le spectre posent la question de leur impact sur la concurrence. En effet, ces derniers confèrent à leur titulaire un monopole d'exploitation, lequel peut être utilisé pour augmenter les prix sur le marché aval<sup>118</sup>.

(3) Anticiper l'état futur du marché. Le spectre a souvent été comparé au sol, que ce soit pour ses caractéristiques physiques (qualité hétérogène), ou pour l'explication des comportements de *rent seeking*<sup>119</sup>. Le problème de thésaurisation est également présent sur le sol. Dans de

---

<sup>117</sup> « *Scarcity of spectrum could lead to a situation under which a small number of existing operators would find it to their advantage, acting either unilaterally or collusively, to board spectrum, or to engage in the purchase of unneeded spectrum at auction, as a means of creating a barrier to entry by newcomers or to expansion by rivals* » [RSPG, et GRE, 2009, p.17].

<sup>118</sup> Aux États-Unis par exemple il y existe des zones géographiques où certains opérateurs mobiles sont en monopole et les consommateurs n'ont alors pas d'autres choix que de se fournir chez cet opérateur.

<sup>119</sup> Voir Kalman [1993] pour une analyse détaillée de la rente hertzienne et des apports de la théorie classique de la rente foncière.

nombreuses communes il existe d'importantes réserves en terrains, pourtant ces communes se retrouvent confrontées à une pénurie de terrains constructibles et disponibles. Ce phénomène s'explique par la thésaurisation des zones à bâtir par les propriétaires, empêchant toute affectation conforme à la zone durant plusieurs décennies. La thésaurisation des terrains<sup>120</sup> est donc un réel problème pour lequel les collectivités ont mis en place différentes dispositions telles que l'obligation de construire, la mise en zone conditionnée, l'expropriation, etc. Il y a donc des solutions à mettre en place contre le problème de thésaurisation des bandes comme l'incitation à une utilisation plus efficace ou l'obligation de restituer la licence si celle-ci reste inutilisée<sup>121</sup>.

La thésaurisation du spectre n'est pas un problème exclusivement lié à l'approche axée sur les mécanismes du marché ou inhérente aux opérateurs mobiles. Le mode d'organisation hiérarchique qui a été utilisé pour attribuer des fréquences à des titulaires (diffuseurs audiovisuels par exemple) est également à l'origine de ce problème de thésaurisation des fréquences. Des utilisateurs détiennent des droits de propriété sur des fréquences et cherchent à bloquer toutes mesures visant à modifier l'allocation initiale de ces droits.

#### **1.1.4. Un système rigide : des droits de propriété jugés de trop long terme et trop exclusifs**

Depuis ses débuts, la réglementation du spectre a largement favorisé l'assignation de droits d'usage du spectre exclusifs de manière statique que ce soit à travers le modèle de gouvernance hiérarchique, ou celui basé sur les mécanismes du marché. Les droits attribués sont des droits de long terme conférant aux détenteurs un accès privilégié à certaines bandes de fréquences. Les bandes de fréquences attribuées aux opérateurs mobiles, par exemple, reposent sur des droits d'usage pour des durées allant généralement de 15 à 20 ans et pour lesquelles il existe, à échéance, une forte probabilité de renouvellement. Bien que le système actuel ait permis le développement de nombreux services innovants (GSM), aujourd'hui il ne semble plus aussi

---

<sup>120</sup> « Un terrain thésaurisé est un terrain constructible, régulièrement équipé, mais sur lequel le propriétaire ne souhaite pas construire. Il ne s'agit pas seulement de réels motifs de spéculation, les raisons d'une thésaurisation sont multiples: prévoir un usage pour les générations futures, problèmes d'hoirie, désir de ne pas avoir de voisin, manque de moyens financiers, etc. » ; voir VLP-ASPAN, Territoire & Environnement 6/2006, « Zones à bâtir thésaurisées ou mal situées. Que faire? » (<http://www.vlp-aspan.ch/fr/actualite/zones-batir-thesaurisees-ou-mal-situees-que-faire>).

<sup>121</sup> De telles mesures ont déjà été envisagées, c'est le cas de la règle du *use it or lose it*. L'objectif de cette règle est d'agir contre la thésaurisation de spectre en obligeant le titulaire à restituer les fréquences qu'il n'utilise pas. Toutefois cette approche a ses limites. Elle agit contre la thésaurisation anticoncurrentielle mais également spéculative, décourageant ainsi les opérateurs à investir dans les équipements, les technologies, et le réseau pour offrir un nouveau service. Selon Martin Cave cette solution demande à ce qu'une distinction soit faite entre une sous-utilisation et une sur-prévision [Cave, 2010].

approprié pour répondre aux défis de demain<sup>122</sup> [Holland et *al.*, 2012 ; PCAST, 2012]. Le manque de flexibilité fait partie des principaux reproches qui lui sont faits. Les droits de propriété sont contraints par les choix des pouvoirs publics qui décident des services fournis, des technologies utilisées, et des modèles économiques, empêchant de ce fait le transfert de droits de propriété d'un marché à un autre. Avec ces restrictions, les valorisations marginales du spectre varient considérablement selon les bandes en fonction de la réglementation [Hazlett et Munoz, 2009]. Pour Ballon et Delaere [2009] la structure de ces droits de propriété affecte même l'industrie des communications mobiles et conduit à une structure relativement fermée du marché<sup>123</sup>.

Finalement, les principaux risques relèvent d'un marché statique du spectre qui ne permet qu'un accès de long terme à la ressource. Cet accès statique et de long terme, enclin à favoriser les comportements anticoncurrentiels, ne permet pas de satisfaire une demande de court terme. Or, les besoins de certains usagers sont différents et certains d'entre eux ont des besoins d'accès au spectre pour un usage de plus court terme. Dans ce cas, les transactions pour le transfert de droits d'usage de court terme, pour des services nécessitant peu d'investissements, n'ont pas les mêmes caractéristiques que les transactions pour le transfert de droits d'usage de long terme. Les conditions d'accès au spectre devraient pouvoir satisfaire une demande de long terme, impliquant de lourds investissements en infrastructure, et une demande de plus court terme qui aujourd'hui n'est pas assurée.

## 1.2. L'augmentation des besoins en fréquences

La demande en fréquence est celle pour l'utilisation d'une bande de fréquence mesurée en Hertz (Hz). Elle dépend du type de demandeur, du type de service que celui-ci souhaite offrir et également de la capacité des acteurs à valoriser cette ressource, soit leur capacité à minimiser le coût des dépenses liées à l'exploitation de la fréquence. Les droits d'usage accordés sur une partie de la ressource doivent donc être déterminés en fonction de toutes ces caractéristiques. La demande est également fonction du prix de la fréquence. Celui-ci varie en fonction de la fréquence et du service voulu, et donc, de l'infrastructure nécessaire à son exploitation. La demande fluctue selon une dimension temporelle, spatiale et fréquentielle. En effet, les caractéristiques de l'utilisation seront par exemple différentes que l'on se trouve en

---

<sup>122</sup> A ce titre Taparia, Casey et Hammainen [2012, p.2] argumentent : « Traditionally the command and control approach has been used for managing the spectrum based on a static spectrum allocation model. Considering the legacy mobile networks, such an approach has been vital for the large scale diffusion, harmonization and standardization process for various radio access technologies, e.g. – GSM. However it is important to understand that radio spectrum is a multidimensional space (space, time and frequency) entity where command and control approach leads to a barrier in accessing these different dimensions. Thus there is a requirement for alternative spectrum management models which would allow a more efficient and flexible utilization of spectrum in future ».

<sup>123</sup> Ballon et Deleare [2009, p.249]: « (...) the mobile telecommunications industry is still plagued by significant inefficiencies and by high barriers to entry. For a large part, these inefficiencies and barriers are being attributed to the current regulatory practice of exclusive, long-term licensing of spectrum bands to mobile network operators, and the resulting, relatively closed, market structure ».

heure creuse ou heure de pointe (dimension temporelle), selon la localisation géographique (zone rurale ou urbaine), ou selon la fréquence utilisée (dimension fréquentielle).

L'offre de spectre, quant à elle, constitue la quantité de spectre disponible pour satisfaire un certain niveau de demande. Sur le territoire, l'offre est plutôt homogène, mais elle varie néanmoins en fonction du temps [Benzoni, 2005]. Elle est notamment fonction des technologies disponibles et mises en œuvre pour exploiter les fréquences.

L'analyse de retour d'expériences de certains industriels du secteur<sup>124</sup> a montré l'impact de l'association des voies de transmission en mode IP (*Internet Protocol*) sur la demande en spectre. L'impact du numérique est notable sur l'évolution des différents secteurs. Dans la téléphonie mobile, après les standards UMTS/HSPA, le standard de quatrième génération LTE (*Long Term Evolution*) est venu révolutionner les réseaux cellulaires principalement pour deux raisons. D'une part, cette nouvelle technologie « *full IP* » permet des débits beaucoup plus élevés que ses prédécesseurs allant de l'ordre des 100 Mbits/s<sup>125</sup>. Associée à d'autres technologies, comme les technologies d'agrégation de porteuse ou des technologies plus expérimentales comme la technologie MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), elle permet également d'atteindre plusieurs Gbits/s. D'autre part, la 4G est un réseau d'accès IP qui permet de nouveaux services basés sur la consommation et la fourniture de données. Aujourd'hui l'évolution des besoins en haut et très haut débit mobile touche tous les utilisateurs du spectre et pas exclusivement les opérateurs mobiles. Les différents utilisateurs de la ressource hertzienne souhaitent faire migrer leur service sur du LTE. Ces nouveaux besoins constituent un véritable enjeu pour la puissance publique et les gestionnaires du spectre puisqu'ils se traduisent par une volonté de la part de ces acteurs de détenir du spectre dédié. Néanmoins, il semble qu'à l'avenir cette demande sera de plus en plus difficile à satisfaire sachant que la quasi-totalité du spectre hertzien intéressant pour ces usages se trouve déjà dans les mains de titulaires de droits de propriété.

### **1.2.1. La demande en fréquence pour les réseaux de télécommunications commerciaux et grand public**

L'évolution des usages ces dernières années a conduit à une augmentation de la demande en fréquences pour des services commerciaux. D'après Cisco<sup>126</sup>, la croissance du trafic mobile mondial devrait dépasser la croissance du trafic fixe mondial par un facteur de trois d'ici 2019. Trois facteurs permettent d'expliquer cette augmentation:

- la croissance du nombre d'utilisateurs mobiles : Cisco estime qu'il y aura 5,2 milliards d'utilisateurs mobiles dans le monde en 2019,

---

<sup>124</sup> Interviews d'experts et d'industriels réalisés dans le cadre de la Mission Toledano [2014].

<sup>125</sup> S'agissant de la 3G (UMTS), seul ce qui a trait à Internet est IP. La 4G (LTE) est la première génération totalement IP.

<sup>126</sup> Source : VNI Mobile Forecast Highlights, 2014 – 2019

- de meilleures vitesses de connexion : la vitesse de connexion d'un mobile devrait atteindre 3,963 kbps en 2019 (contre 1,683 kbps en 2014),
- la multiplication des communications M2M (Machine to Machine): le trafic de communications M2M devrait croître par un facteur de 34 de 2014 à 2019.

De ce fait, il devient de plus en plus difficile pour les instances mondiales, régionales et nationales d'assurer l'équilibre entre l'offre et la demande, même en tenant compte des dernières avancées technologiques. Les améliorations technologiques, la baisse des prix des terminaux et les débits de plus en plus élevés ont contribué à l'augmentation de la demande en spectre pour des services de données mobiles, plaçant le consommateur au cœur de cet écosystème.

Les terminaux intelligents renforcent la demande de connectivité haute vitesse. Le haut débit mobile représente alors une alternative au haut débit fixe et est considéré comme un des facteurs les plus importants pour stimuler la croissance économique dans le domaine des technologies de l'information et de la communication [Forge, Horvitz, et Blackman, 2012]. Son déploiement constitue de ce fait l'un des principaux objectifs de la Commission européenne. En Europe, le RSPG a demandé à ce que soient évaluées les différentes solutions et options permettant de satisfaire la demande en très haut débit mobile à l'horizon 2013-2020, et notamment de trouver 1200 MHz de spectre d'ici 2015 pour cet usage [RSPG, 2013a]. Aux États-Unis, les réseaux haut débit mobiles sont également un objectif de premier ordre pour le gouvernement. Le gouvernement américain souhaite regrouper 500 MHz de spectre pour le haut débit mobile d'ici 2020. Il a par ailleurs l'ambition de construire un réseau haut débit mobile public dédié aux services d'urgence [Presidential Memorandum, 2010].

Pour répondre à ce besoin de connectivité mobile il convient de trouver de nouvelles bandes de fréquences. De nouvelles architectures de réseaux permettent également de soutenir la montée en puissance et en débit des appareils mobiles mais nécessitent en contrepartie d'avoir accès à plus de spectre (cf. **Annexe II.2.** Les réseaux d'accès radio émergents).

### **1.2.2. La demande en fréquence pour les réseaux radioélectriques indépendants et pour les réseaux de sécurité et de secours**

Les réseaux professionnels mobiles (ou réseaux PMR pour *Professional Mobile Radio*) et les réseaux mobiles dédiés assurant des missions de protection publique et de secours (ou réseaux PPDR pour *Public Protection and Disaster Relief*) font l'objet de nouveaux usages qui s'inscrivent dans l'évolution vers le haut débit. Tout comme pour les réseaux de communications mobiles, les acteurs de réseaux PMR et PPDR se dirigent vers la fourniture de services de transmission de données à haut ou à très haut débit et cette évolution des usages conduit à un besoin en fréquence supplémentaire.

### **1.2.2.1. La demande des acteurs PPDR étatiques**

La communication radio est une composante essentielle pour le ministère de la Défense et de l'Intérieur. Ce secteur a de nouveaux besoins de communication qui croissent et convergent vers de nouveaux usages (drones, robots, combats multiplateformes, communications mobiles par satellites, etc.). Ces usages et le besoin croissant d'échange d'informations entre les acteurs du domaine de la sécurité nécessitent l'accès à plus de bandes de fréquences et une évolution conjointe de ces différents réseaux afin de faciliter le partage d'informations. Les réseaux de gendarmerie et de police nationale du ministère de l'Intérieur souhaitent également disposer de fréquences dédiées afin d'assurer, quelles que soient les circonstances, le contrôle et la disponibilité des services de sécurité. En France, les réseaux de gendarmerie et police nationale (Rubis et Acropol)<sup>127</sup> permettent d'assurer avec un haut niveau de confidentialité, la transmission des conversations et des données ainsi que l'interopérabilité avec d'autres réseaux. S'agissant de réseaux de sécurité, il est alors difficile d'envisager que ces utilisateurs soient dépendants d'une organisation commerciale<sup>128</sup>.

Aujourd'hui, ces réseaux de sécurité permettent de faire de la communication directe (type *talkie-walkie*) avec une infrastructure locale limitée. Les installations sont déployées depuis longtemps et les technologies utilisées sont généralement analogiques et fournissent essentiellement des services de voix<sup>129</sup>. Cependant, les technologies numériques et l'arrivée du LTE prennent une importance croissante dans le renouvellement des installations et conduisent à des besoins additionnels en fréquences. Ainsi, les réseaux PPDR en France qui disposent actuellement de 2 x 3,5 MHz dédiés souhaiteraient détenir plus de spectre harmonisé afin de faire de la donnée (4G) et de bénéficier d'économies d'échelle sur des technologies commerciales. Parce qu'ils sont importants, la Commission européenne et les États membres doivent veiller à ce qu'une quantité suffisante de spectre soit harmonisée pour ces réseaux PPDR<sup>130</sup>.

### **1.2.2.2. La demande des acteurs privés PMR et des opérateurs d'importances vitales (OIV)**

Les réseaux mobiles professionnels sont mis en œuvre pour répondre à des besoins professionnels, assurant une couverture le plus souvent locale ou régionale. Divers utilisateurs couvrant différents secteurs d'activités développent des réseaux mobiles professionnels

---

<sup>127</sup> Le réseau Rubis de la gendarmerie nationale utilise des fréquences affectées au ministère de la Défense et le réseau Acropol (Automatisation des communications radioélectriques opérationnelles de police) de la police nationale utilise des fréquences affectées au ministère de l'intérieur.

<sup>128</sup> Les services de sécurité du ministère de l'Intérieur doivent satisfaire certaines exigences liées par exemple à la priorité des communications, à l'autonomie des stations en cas de coupure de courant, à la sécurisation des communications de bout en bout, qui ne leur permettent pas de dépendre d'un opérateur mobile. De plus, l'évolution des usages vers le haut débit mobile intensifie le besoin en spectre de ces utilisateurs.

<sup>129</sup> Il existe des réseaux d'ampleur régionale, voir nationale, dont l'architecture s'appuie sur un nombre significatif de stations de base et qui utilisent des technologies numériques (de type TETRA, TETRAPOL ou GSM-R) pour fournir des services de voix et d'échange de données.

<sup>130</sup> Article 8 de la décision RSPP

(entreprises, professionnels indépendants, grands groupes). Les grands secteurs d'activités sont les transports (entreprises de transport routier, sociétés de bus, de taxis, services aéroportuaires, sociétés d'autoroutes, ambulanciers, etc.), la sécurité et le gardiennage, le bâtiment et les travaux publics, ou encore l'énergie et l'industrie. Les réseaux mobiles professionnels sont soit des réseaux indépendants (réseaux réservés à un groupe fermé d'utilisateurs de type réseau national de taxis ou réseau ferré pour leurs propres opérations), soit des réseaux mobiles ouverts au public<sup>131</sup> non connectés à des réseaux commerciaux qui fonctionnent dans des bandes de fréquences spécifiques destinées à cet usage (réseaux 2G, 3G et 4G).

La bande 400 MHz (380-470 MHz) est la principale bande utilisée par les réseaux PMR. Elle est répartie au niveau français entre trois affectataires : le ministère de la Défense détient 37,15 MHz pour ses besoins propres, le ministère de l'Intérieur détient 7 MHz pour ses besoins propres également, et l'ARCEP détient 29,4 MHz pour les besoins d'autres utilisateurs [ARCEP, 2012].

Parmi ces acteurs PMR se trouvent les Opérateurs d'Importance Vitale<sup>132</sup> (OIV) qui assurent des services critiques. Les réseaux développés par ces OIV font partie des 26 000 réseaux mobiles professionnels qui existent actuellement en France. Aujourd'hui ces opérateurs ont besoin de faire évoluer leurs services vers des services numériques<sup>133</sup>. Un des principaux enjeux est la mise en place de services de vidéosurveillance (vidéo grand public avec des flux remontant du terrain par exemple). Cette évolution nécessite des fréquences permettant d'utiliser des technologies proches de la 4G bénéficiant des effets d'échelle de la consommation grand public.

### 1.2.3. La demande en fréquences pour les événements temporaires et généralement localisés

L'utilisation du spectre pour des événements temporaires et généralement localisés (usage PMSE pour *Programme Making and Special Events*) sont également concernés par l'évolution de

---

<sup>131</sup> Par exemple la RATP fournit un service de type PMR. Pour rentabiliser son investissement elle l'ouvre à d'autres utilisateurs (Conseil Général du Val de Marne par exemple). HubTelecom a également un réseau ouvert au public sur un certain nombre d'aéroport en France (Roissy, Orly, etc.).

<sup>132</sup> L'article R1332-2 du code de la défense définit comme secteurs d'activités d'importance vitale les secteurs d'activités concourant à un même objectif, c'est-à-dire qui ont trait à la production et la distribution de biens ou de services indispensables, ou qui peuvent présenter un danger grave pour la population. Les biens ou services indispensables relèvent des besoins essentiels pour la vie des populations, des besoins relatifs à l'exercice de l'autorité de l'État, au fonctionnement de l'économie, au maintien du potentiel de défense, ou à la sécurité de la Nation. Ainsi, sont jugés d'importance vitale les services de transport tels que les transports publics (RATP), transports ferroviaires (SNCF), ou transports aériens (aéroports); les services de santé, (hôpitaux), les services de sécurité (pompiers, police, gendarmerie), etc.

<sup>133</sup> En matière de spectre les acteurs de ces secteurs (RFF, SNCF, RATP, Air France, etc.) expriment un besoin de 10 MHz. Les attributions de fréquences PMR se font à ce jour pour 5 ans et au fil de l'eau alors que les besoins en fréquences pour ces acteurs sont de plus long terme. L'intérêt pour eux, hormis d'avoir une bande dédiée pour leurs services, serait de disposer d'une bande harmonisée.

leurs usages et donc par une demande en fréquences accrue. Il y a deux types d'usage PMSE, les microphones sans fil qui ont une portée générale et les caméras vidéo qui ont une portée individuelle. Ces équipements sont utilisés lors de grands événements (match, tour de France, concert, etc.), pour des événements temporaires (reportage, information) ou pour des utilisations plus pérennes (théâtre, studio de radiodiffusion, etc.) La demande en fréquences par événement peut être importante. Par exemple, le 100ème Tour de France a nécessité 932 fréquences soit 20% de plus qu'en 2012<sup>134</sup>. Le développement de nouveaux équipements et terminaux plus performants contribuent, lors de ce type d'événements, à augmenter les échanges de données entre les différents appareils, nécessitant *in fine* un besoin accru en bandes de fréquences.

Les PMSE utilisent des fréquences dans les bandes UHF. Or, du fait des transferts de fréquences récents aux profits des opérateurs commerciaux de moins en moins de fréquences sont utilisables pour ces services dans la bande 470-862MHz. Le premier dividende numérique (bande 800 MHz (790-862 MHz)) a réduit le nombre de fréquences utilisables pour les PMSE de 15 %, et celles-ci devraient être réduites de 45% lors de l'attribution de la bande 700 MHz (700 MHz (694-790MHz)) [FICAM, 2013]. Le passage au numérique devrait améliorer l'efficacité spectrale des microphones sans fil, néanmoins la demande en fréquence pour ce type de service s'accroît alors même que la quantité de spectre qui y est affectée diminue.

#### 1.2.4. Vers de nouveaux usages : l'ère de l'Internet des objets

A côté des utilisateurs existants qui cherchent de nouvelles fréquences pour répondre à leurs besoins actuels et futurs, de nouveaux acteurs apparaissent dans le paysage. C'est le cas des acteurs qui proposent des services en mobilité, de l'Internet des objets (IoT pour *Internet of Things*) ou encore des communications *Machine to Machine* (M2M). Ces derniers sont amenés à trouver leur place dans la répartition actuelle de l'utilisation des fréquences.

L'Internet des objets désigne un ensemble d'objets inanimés qui peuvent communiquer entre eux par voie électronique<sup>135</sup>. Les objets concernés s'échangent des informations entre eux à tout moment (le jour, la nuit), en tout lieu (en déplacement, à l'intérieur et à l'extérieur en étant proche ou non du PC) et de façon diverse (entre PC, entre personnes sans PC, de personne à objet, d'objet à objet). Ce nouveau type d'usage a pris de l'ampleur suite au développement de nouvelles technologies (RFID (*Radio Frequency Identification*) : identification par radiofréquence, capteurs sans fils, nanotechnologies), lesquelles permettent d'étendre l'utilisation d'Internet à des objets réels. L'apparition de nouveaux écosystèmes tels que les services de transports intelligents (*Intelligent Transportation Systems* (ITS)), les réseaux de santé sans fils (*Body Area*

---

<sup>134</sup> Source ANFR, données non publiées.

<sup>135</sup> La Commission européenne définit l'internet des objets comme « un réseau d'objets interconnectés » permettant de créer un « internet des objets (IdO), allant des livres aux voitures et des appareils électriques à l'alimentation. » [Commission Européenne, 2009].

*Network* (BAN)) ou encore l'aménagement de villes intelligentes (*SmartCities*), conduit donc à de nouvelles préoccupations en matière d'accès au spectre. Récemment, dans sa consultation sur les règles concernant les dispositifs connectés intelligents, la Commission Européenne a estimé à 50 milliards le nombre d'objets interconnectés en 2020<sup>136</sup>.

L'Internet des objets passe par l'usage de capteurs qui s'affranchissent des fils en utilisant les fréquences. La question qui se pose pour la puissance publique est celle de la mise à disposition de fréquences pour ces futurs besoins qui touchent de nombreux acteurs (fabricants, opérateurs, villes, administrations, etc.). Or, au vu de la rareté actuelle, trouver de nouvelles fréquences pour leur déploiement constitue un véritable enjeu<sup>137</sup>.

\*  
\* \*

Nous venons de montrer que divers acteurs souhaitent accéder au spectre et cherchent à acquérir des droits de propriété sur le spectre. Ces acteurs ont des besoins différents : certains souhaiteraient accéder au spectre pour de courtes durées tandis que d'autres auraient besoin d'un accès de plus long terme. **Tous les acteurs ne recherchent pas les mêmes conditions d'usage de la ressource. Dès lors, le mode d'organisation pour le transfert de droits de propriété sur la ressource spectrale et pour la mise en œuvre effective de ces droits, dépendra de l'acteur, de ses besoins et de ses objectifs.** Par ailleurs, le manque de ressource spectrale ne permet pas aux gestionnaires du spectre d'attribuer à chacun les fréquences dont il aurait besoin. À cet égard, l'utilisation de nouveaux outils tels que les outils de partage dynamique du spectre qui permettent de mieux utiliser les fréquences, et de répondre ainsi à la demande des différents acteurs, doit être envisagée.

### 1.3. L'émergence de technologies de partage et d'accès dynamique au spectre

Face à ces nouveaux besoins en fréquences, la technologie a un rôle important à jouer. Comme nous avons pu le voir dans le premier chapitre, le spectre est un bien dépendant de la technologie. Ainsi, les différentes techniques qui permettent d'accéder et d'utiliser cette ressource constituent un véritable enjeu pour les régulateurs, puisqu'il s'agit d'évaluer leurs

---

<sup>136</sup> Commission européenne – Communiqué de Presse, Stratégie numérique: la Commission lance une consultation sur les règles concernant les dispositifs connectés intelligents - l' « Internet des objets ».

<sup>137</sup> Sur la question de savoir quelles fréquences utiliseront ces services, à savoir sur des réseaux de télécommunications mobiles ou sur des bandes ouvertes, cela dépendra de la technologie utilisée. Les réseaux M2M peuvent utiliser une technologie dédiée ou existante. Dans le M2M il peut y avoir des objets qui ont des besoins de transmission/émission tandis que d'autres ont seulement des besoins de réception. Dans le premier cas les acteurs doivent faire face à des problèmes énergétiques et de déploiement de technologies dédiées. Ils sont dans des *business models* où les capteurs M2M ne doivent pas coûter cher, c'est pourquoi il sera peu probable que ces capteurs intègrent une puce LTE. Dans le cas où les objets ont seulement des besoins de réception, il n'y a pas de problème de brouillages, puisqu'il s'agit de faire de l'écoute passive. De nouvelles fréquences doivent être rendues disponibles pour l'Internet des objets.

apports d'un point de vue de l'efficacité globale (économique, technique, productive) et leurs conséquences en matière de gestion et de régulation du spectre. Parmi les dernières avancées technologiques, la radio cognitive occupe une place importante dans les débats. Néanmoins, bien que son concept soit apparu il y a plus de dix ans, la question de sa prise en compte par le régulateur n'a émergé que récemment, suite à la mise en avant du problème de la sous-utilisation des fréquences.

### 1.3.1. L'émergence de la radio cognitive et de la radio logicielle

À la différence du secteur aval de l'industrie sans fil qui est marqué par de nombreuses innovations technologiques de produits (*smartphone*, tablette, logiciel...), le secteur amont des infrastructures et du spectre radio est particulièrement marqué par des innovations technologiques de procédés (Télévision numérique terrestre (TNT), Ultra large bande (ULB), dédoublement des canaux, etc.). Ce sont ces innovations de procédés qui ont marqué les changements de technologie dans le spectre<sup>138</sup>.

Le concept de radio intelligente ou Radio cognitive (RC) représente un changement technologique découlant d'une innovation de procédé. Il est à l'origine de l'intérêt porté à l'accès et au partage dynamique du spectre. Le concept de radio cognitive a été défini par l'ingénieur Joseph Mitola [Mitola, 1999]. Ces radios sont dites cognitives car elles sont capables de reconnaître leur environnement et de s'y adapter : elles repèrent les paramètres radios tels que la gamme de fréquences, le type de modulation ou la puissance de sortie, et adaptent et modifient ces paramètres en fonction de l'environnement radio, de la situation, des besoins de l'utilisateur, de l'état du réseau de façon à optimiser l'usage des fréquences [Benmammar et Amraoui, 2012]. D'une manière générale, il s'agit d'une radio entièrement reconfigurable qui détecte en temps réel son environnement, en l'occurrence les bandes de fréquences disponibles, afin de permettre à des utilisateurs secondaires d'y accéder.

L'évolution progressive du concept de radio intelligente de Mitola a conduit les différents acteurs à tenir compte de l'émergence des techniques de radio définie par logiciel<sup>139</sup> (SDR pour

---

<sup>138</sup> Le Manuel d'Oslo [OCDE, 1997] définit une innovation technologique de procédé comme « la mise au point/adoption de méthodes de production ou de distribution nouvelles ou notablement améliorées », tandis qu'il définit l'innovation technologique de produit comme « la mise au point/commercialisation d'un produit plus performant dans le but de fournir au consommateur des services objectivement nouveaux ou améliorés ».

<sup>139</sup> La radio cognitive est une application de la radio logicielle. L'UIT définit le système de radiocommunication défini par logiciel (SDR pour *Software Defined Radio*) comme « un émetteur et/ou récepteur de radiocommunication utilisant une technologie qui permet de régler ou de modifier au moyen d'un logiciel les paramètres d'exploitation des fréquences (gamme de fréquences, type de modulation, puissance de sortie, etc.) à l'exclusion de modifications des paramètres d'exploitation qui interviennent pendant l'exploitation normale préinstallée et prédéterminée d'un appareil de radio conformément à une norme ou à une spécification de système » [UIT, 2009a].

*Software Defined Radio*) et du concept de système de radiocommunication cognitif <sup>140</sup> (CRS pour *Cognitive Radio System*). Les concepts de radio définie par logiciel et de radio cognitive représentent ainsi de nouvelles techniques de communication sans fil pouvant être déployées ensemble ou séparément dans un service de radiocommunication. Cette approche conduit à optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles du spectre tout en minimisant les brouillages avec d'autres utilisateurs [Benmammar et Armaoui, 2012]<sup>141</sup>.

D'autres technologies permettent également de partager le spectre. C'est le cas des technologies à bande ultralarge (ULB ou encore *Ultra Wide Band* (UWB)). L'ULB est une technologie sans fil développée pour transférer un large montant de données sur de courtes distances. La FCC a autorisé les communications ULB dans la bande comprise entre 3,1 et 10,6 GHz [FCC, 2002c]. En Europe, des études sur le sujet ont été lancées en 2001 par la CEPT (groupe de travail ECC-TG3) et ont abouti en 2006 à une réglementation générique complétée par des réglementations pour des applications spécifiques. Cette technologie ULB est reconnue pour permettre un **partage du spectre *underlay***<sup>142</sup>, c'est-à-dire le partage d'une fréquence entre un utilisateur secondaire (non titulaire) et un utilisateur primaire (titulaire de la fréquence), où l'utilisateur secondaire est autorisé à transmettre dans la bande occupée par l'utilisateur primaire mais avec des niveaux de puissance contrôlés. Elle est donc, du fait des dispositions techniques et opérationnelles imposées, limitée à un certain type de services sans fil. La radio cognitive (RC) est quant à elle reconnue pour permettre un **partage du spectre *overlay***<sup>143</sup>, lequel permet à un utilisateur secondaire d'utiliser la fréquence d'un utilisateur primaire durant les intervalles de temps où celui-ci ne l'utilise pas.

Aujourd'hui certains appareils utilisant plusieurs bandes de fréquences séparées sont déjà disponibles sur le marché. Néanmoins, nous ne sommes qu'aux prémices de la radio cognitive. Le **mécanisme de sélection dynamique des fréquences** (DFS pour *Dynamic Frequency Selection*) par exemple représente un premier système dit pré-cognitif. Le DFS est une technique de réduction des brouillages utilisée dans les systèmes d'accès hertzien (WAS pour *Wireless Access Systems* et RLAN pour *Radio Local Area Networks*) afin de faciliter le partage des fréquences utilisées par le service de radiopéage dans la bande des 5 GHz.

Toutes ces technologies de partage du spectre ont vocation à s'insérer dans les modes de gouvernance existants (cf. Figure 12). La question à laquelle on tentera de répondre par la suite

<sup>140</sup> L'UIT définit un système de radiocommunication cognitif (CRS pour *Cognitive Radio System*) comme « un système de radiocommunication qui utilise une technologie lui permettant d'obtenir des informations sur son environnement opérationnel et géographique, sur les principes en vigueur et sur son état interne; cette technologie lui permet aussi d'adapter de façon dynamique et autonome ses paramètres et protocoles d'exploitation en fonction des informations obtenues, pour pouvoir atteindre des objectifs préalablement définis, et de tirer parti des résultats ainsi obtenus » [UIT, 2009a].

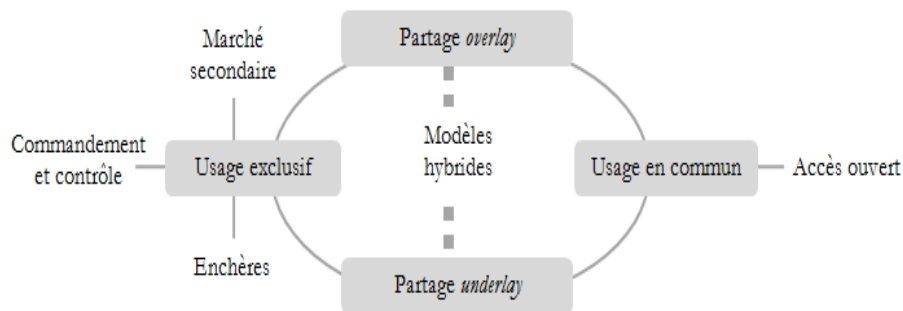
<sup>141</sup> L'Anfr [2008] définit la radio cognitive comme « un concept visant à traduire l'intelligence croissante des systèmes radios capable de s'adapter à l'environnement radioélectrique, permettant ainsi des usages opportunistes du spectre et un partage avec les utilisations existantes du spectre ».

<sup>142</sup> Transmission cognitive simultanée, voir Goldsmith et al., [2009].

<sup>143</sup> Transmission cognitive non simultanée, voir Goldsmith et al., [2009].

est celle de savoir **si ces technologies augmentent les coûts de transactions** (c'est-à-dire si elles rendent encore plus difficile la délimitation des droits de propriété) **ou les diminuent**. En tout cas, pour le moment, en permettant un usage dynamique et de plus court terme au spectre, ces dernières modifient les caractéristiques transactionnelles pour le transfert de droits de propriété. Les modes d'organisations des transactions étant alors liés aux caractéristiques de celles-ci, il apparait que la prise en compte de ces technologies nécessite un nouveau mode d'organisation plus hybride se situant entre les modèles de gouvernance marchande et en commun.

**Figure 12 : Technologies cognitives et nouveaux modèles de partage du spectre**



Source : à partir de Berg et al. [2012]

### 1.3.2. Pourquoi prendre en compte les technologies cognitives et d'accès dynamique au spectre ?

Les technologies cognitives et d'accès dynamique au spectre représentent donc une nouvelle classe de radios capables d'améliorer l'accès, l'utilisation et l'attribution du spectre. Elles pourraient répondre à terme à certaines problématiques auxquelles se trouve confronté le régulateur, en l'occurrence celle de l'amélioration de l'accès et de l'utilisation du spectre. La puissance publique a donc un intérêt à prendre en compte l'émergence de ces technologies et à créer les conditions favorables à leur introduction sur le marché. Mais la question de l'introduction d'une nouvelle technologie n'a pas toujours été évidente dans ce domaine et peut parfois conduire à des échecs. De ce fait, nous regardons l'impact de ces technologies sur l'efficacité dans le spectre, c'est-à-dire sur l'efficacité spectrale, économique et technique du spectre.

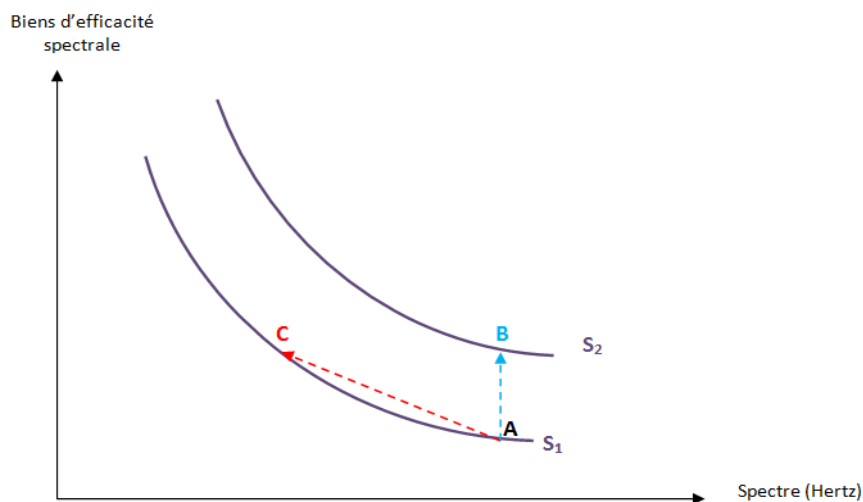
Les changements technologiques peuvent permettre d'améliorer l'efficacité spectrale, économique et technique. Le producteur a un choix à faire entre plusieurs technologies de transmission et de réception d'information plus ou moins efficaces. **Ces technologies représentent des biens d'efficacité spectrale**. En choisissant des biens d'usage du spectre plus efficaces, le producteur peut contribuer à diminuer la quantité de spectre utilisée, améliorant *in fine* l'efficacité spectrale. Un des derniers exemples illustrant ce gain d'efficacité

est le passage de la transmission analogique à la transmission numérique, évalué par l'UIT à cinq fois plus efficace techniquement UIT [2009b].

Le débat actuel sur les technologies d'accès dynamique et partagé au spectre est au cœur de la problématique sur l'utilisation efficace du spectre. Ces technologies intelligentes reposent sur le partage du spectre entre plusieurs utilisateurs. **Le partage du spectre entre des utilisateurs primaires (titulaires de droits de propriété) et secondaires (non titulaires) permettrait de transmettre plus d'informations en utilisant moins de spectre et donc d'améliorer l'efficacité spectrale.** L'efficacité technique dépendra du coût de mise en œuvre de ces technologies, mais si elles sont adoptées en masse par les acteurs, elles pourront bénéficier d'économies d'échelles.

Du fait de la rareté grandissante des fréquences, le gestionnaire du spectre doit veiller à ce que ne se produise pas un manque d'efficacité spectrale. Le manque d'efficacité spectrale est la différence entre l'offre actuelle en bande de fréquence et celle que l'on aurait avec des équipements et des technologies d'accès et d'utilisation du spectre plus efficaces. Par exemple les radios cognitives sont des technologies susceptibles d'améliorer dans un futur proche l'efficacité spectrale et l'efficacité technique. La Figure 13 illustre l'arbitrage microéconomique entre la consommation de spectre et l'usage de biens d'efficacité spectrale. On peut voir qu'en investissant dans des technologies plus efficaces, un agent peut : (i) soit accéder au même service (par exemple  $S_1$ ) en utilisant moins de spectre : ceci est représenté sur le graphique par le passage de A à C, (ii) soit accéder à un service de qualité supérieure  $S_2$  en utilisant la même quantité de spectre : ceci est représenté sur le graphique par le passage de A à B.

**Figure 13 : Arbitrage microéconomique entre la consommation de spectre et bien d'efficacité spectrale**



Les technologies d'accès dynamique permettent d'utiliser la même quantité de spectre pour transmettre plus d'informations (les informations de l'utilisateur primaire étant additionnées à celles de l'utilisateur secondaire). Ainsi, ne pas prendre en compte ces technologies pourrait conduire à un manque d'efficacité spectrale.

Finalement, d'un point de vue théorique, il semblerait que la radio cognitive permette aux gouvernements d'améliorer l'utilisation du spectre, de favoriser l'innovation, de simplifier la gestion du spectre, de maximiser l'efficacité spectrale ou encore de créer des bénéfices économiques supplémentaire [Baldani et *al.*, 2013]. Néanmoins, quelques inconvénients peuvent être relevés. Baldani et *al.* [2013] considèrent par exemple que ces technologies pourraient complexifier le régime réglementaire et la certification des appareils (*hardware* et *software*, baisser les recettes provenant de la vente des licences<sup>144</sup>, nécessiter la création de nouveaux schémas de certification et de nouveaux modèles d'échange du spectre et de *design* de marché, mais également augmenter les problèmes de brouillages.

S'agissant de la nécessité de créer de nouveaux modèles d'échange du spectre et de *design* de marché, plusieurs modèles ont été identifiés et proposés dans la littérature. L'annexe II.3 fournit une vue d'ensemble des différents concepts d'accès partagé (cf. **Annexe II.3.** Accès dynamique et modalités d'accès au spectre).

### 1.3.3. Le spectre : une commodité ?

Si les technologies intelligentes et d'accès dynamique au spectre permettent à différents utilisateurs de se partager l'accès aux fréquences en temps réel, on peut considérer qu'elles permettront de résoudre les problèmes de coordination entre les acteurs pour l'échange de spectre. L'enjeu d'un partage dynamique du spectre quant à la coordination des acteurs, consisterait à remplacer les outils précédents de commande et de contrôle pour l'attribution des fréquences par des marchés, afin de gérer la rencontre entre l'offre et la demande de fréquences en temps réel. Finalement, une des questions que soulève l'introduction des technologies de partage et d'accès dynamique au spectre est de savoir si elles auront la **capacité d'établir de manière décentralisée un système de droits de propriété.**

A première vue, il semblerait que les technologies intelligentes et d'accès dynamique au spectre permettraient d'améliorer l'efficacité des marchés du spectre. L'accès dynamique au spectre nécessite le recours à des bases de données et/ou à des techniques de partage (cf. Encadré 7). Les bases de données, en permettant de centraliser un certain nombre d'informations en temps réel sur les usagers et sur l'état des fréquences, pourraient réduire les délais nécessaires aux acteurs pour se coordonner. Le résultat serait **une réduction des coûts de recherche et**

---

<sup>144</sup> En autorisant à des utilisateurs secondaires d'accéder à des bandes de fréquences détenues par des utilisateurs primaires, le risque encouru est une diminution de la valeur des bandes de fréquences pour les utilisateurs primaires, conduisant en corollaire à une baisse des recettes budgétaires de l'État.

**d'information et donc des coûts de transaction.** Elles permettraient ainsi de fluidifier les marchés en conduisant à une meilleure confrontation entre l'offre et la demande, notamment sur le marché secondaire où les transactions se font par des négociations bilatérales.

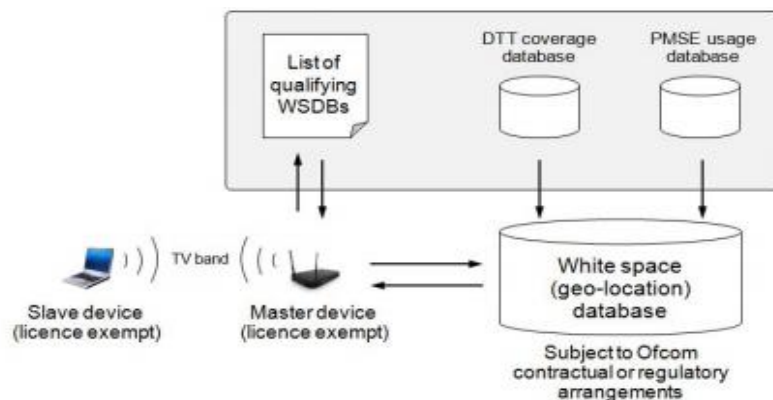
**Encadré 7 : Les outils techniques pour la mise en œuvre du partage**

La mise en œuvre d'un accès dynamique au spectre nécessitera de recourir à des mécanismes exécutoires *ex-ante* (c'est-à-dire d'*enforceability*). Parmi ces mécanismes, les outils techniques sont primordiaux pour protéger les usagers des brouillages et éviter les conflits *ex-post*. C'est le cas des techniques de coexistence qui permettent de repérer les espaces libres et de coordonner les usagers en temps réel.

**La première technique est l'observation dite *sensing*.** Il s'agit d'observer s'il y a émission ou non d'un signal radioélectrique dans une zone donnée. Les principales techniques de coexistence couramment utilisées à ce jour sont : la restriction du temps de cycle et le LBT (*Listen Before Talk*) pour un partage temporel, le LBT+AFA (*Listen Before Talk + Automatic Frequency Agility*), le DAA (*Detect and Avoid*) ou encore le DFS (*Dynamic Frequency Selection*) pour un partage fréquentiel.

**La seconde technique est la géolocalisation et l'inscription dans une base de données.** Les bases de données du spectre doivent contenir toutes les informations utiles qui permettront aux appareils secondaires de s'adapter rapidement aux changements dans l'utilisation du spectre. Ces bases sont un outil important pour optimiser l'usage du spectre et coordonner les différents usages. Elles sont aujourd'hui supportées par une majorité d'acteurs de l'industrie des services sans fil [Baldini et al., 2013]. La figure 14 ci-dessous est la schématisation d'une base de données permettant l'utilisation des espaces blancs de la bande UHF (WSDB pour *White Space DataBase*). On y voit en haut à gauche les détails concernant les fréquences utilisées par les microphones sans fil professionnels (PMSE). En effet, les PMSE fonctionnent déjà dans la bande UHF. Ainsi, les informations les concernant seront également inscrites dans la base de données.

**Figure 14 : Représentation d'une base de données pour l'utilisation des espaces blancs**



Source : OFCOM [2012]

Pour les plus optimistes, ces outils techniques permettront dans un futur proche de traiter le spectre comme un bien standard et d'accéder à celui-ci en temps réel, à l'instar des « marchés *spots* » énergétiques. Plus exactement, la radio intelligente en résolvant le problème d'accès statique et individuel au spectre, permettrait aux individus d'accéder au spectre de manière instantanée. En effet, depuis les années 2000, tandis que les économistes parlent de marché en

temps réel [Faulhaber et Farber, 2003; Noam, 1998; Cramton, 2013; Benkler, 2012], les ingénieurs parlent d'accès dynamique en temps réel [Chapin et Lehr, 2007; Zhao et Swami, 2007; Weiss et Lehr, 2009; Peha, 2005, 2007] chacun offrant des perspectives d'échange du spectre en temps réel.

Dans cette optique, le marché en temps réel a déjà fait l'objet de nombreuses attentions dans la littérature économique:

- « Agile radio users could negotiate long-term use of a band (“forward contract”) or negotiate band use at the moment of use (“spot market”) » [Faulhaber et Farber, 2003, p.209] ;
- « Spot and futures markets for spectrum access would emerge » [Noam, 1998, p.765].;
- « One might think instead that a spot market for spectrum, much like a spot market for electricity, would be a more flexible and efficient instrument » [Cramton, 2013, p.162];
- « One option, spectrum property, seeks to create markets in exclusive spectrum licenses, initially allocated by auction. These would be designed to offer sufficient flexibility to mimic property rights, and traded in secondary markets that would efficiently allocate them to diverse uses in wireless markets. A first important refinement of this approach would have eliminated auctions for big swaths of spectrum, and replaced them with spot markets in spectrum clearance rights » [Benkler, 2012, p.2-3].

La considération la plus récente allant dans ce sens est celle de la Cellule des Conseillers du Président sur les Sciences et les Technologies (PCAST) aux États Unis qui appelle à ce que la structure des droits de propriété s'étende afin de proposer des droits d'accès au spectre de durées intermédiaires en fonction du service et du degré de qualité de service attendue [PCAST, 2012].

Sous l'hypothèse d'un accès en temps réel, le marché du spectre pourrait pratiquement fonctionner dans l'alignement de la théorie des marchés concurrentiels.

A première vue, il semblerait que ces outils techniques améliorent l'accès et l'usage du spectre. D'une part, les coûts de recherche, de négociation et d'établissement de contrats portant sur l'échange de droits d'usage sur le spectre baisseraient car il deviendrait possible pour les utilisateurs de réaliser ces opérations en temps réel et en ligne *via* l'accès à une base de données des fréquences. D'autre part, les **coûts d'enforcement** des droits de propriété pourraient diminuer de manière considérable grâce aux techniques de *sensing* et autres techniques de partage. En effet, celles-ci permettraient de rendre **auto-exécutoires** des droits d'usage définis de manière rigoureuse puisqu'il serait possible de programmer les modalités d'usage d'une fréquence en fonction de l'environnement de façon à éviter les brouillages. En réduisant les

risques de brouillages préjudiciables, ces technologies conduisent à diminuer le coût des dispositifs d'*enforcement* destinés à la mise en œuvre effective des droits.

D'un point de vue économique, il apparaît que ces technologies favoriseraient la délimitation de droits de propriété. La définition des droits de propriété est actuellement faite par les institutions, mais avec l'usage de radio cognitive, celle-ci pourrait être en partie déléguée à ces radios qui seraient capables de définir en temps réel et en fonction de l'environnement dans lequel l'utilisateur se situe, les composantes des droits.

L'insertion de ces outils techniques dans le paysage actuel est néanmoins susceptible de conduire à une re-modélisation des institutions par la définition de nouvelles règles du jeu. Par exemple, une allocation dynamique en temps réel de droits de propriété (basée sur un mécanisme de marché) régie par une entité centrale, à savoir un courtier du spectre, peut être envisagée.

Un courtier du spectre est un agent qui aura la possibilité d'acheter et vendre des fréquences pour les autres. Il sera l'agent responsable de l'allocation des fréquences entre les utilisateurs, et de la fixation du prix que devront payer chacun de ces utilisateurs [Bae et *al.*, 2008, Berry et *al.*, 2010, Hwang et Yoon, 2008]. Pour Chapin et Lehr [2007] la probabilité de devoir recourir à un courtier du spectre est élevée et constitue une des étapes pour la création d'une place de marché d'accès dynamique au spectre. Selon ces auteurs, un courtier du spectre permettrait d'améliorer la liquidité du marché actuel et de réduire les coûts de transaction. Ils ont identifié trois types de courtier du spectre<sup>145</sup> : (a) le courtier ordinaire qui se contenterait d'apparier vendeurs et acheteurs, (b) le courtier responsable qui prendrait en charge la totalité de la sécurité et du fonctionnement de l'accès secondaire au spectre, et enfin (c) le courtier seulement chargé de garantir une qualité de service (QoS) au fournisseur de service.

Dans la littérature technique de nombreux modèles dynamiques d'utilisation du spectre ont également été étudiés, à commencer par les marchés secondaires en temps réel du spectre [Marcus, 2005 ; Attar et *al.*, 2008 ; Peha et Panichpapiboon, 2004]. Ces travaux ont débuté avec l'émergence des radios cognitives, notamment après que la FCC ait considéré que les « *cognitive radios may eventually enable parties to negotiate for spectrum use on an ad hoc or realtime basis, without the need for prior agreements between all parties* » [FCC, 2003]. Sur cette base, de nombreux auteurs ont cherché à modéliser les marchés en temps réel du spectre.

---

<sup>145</sup> Le groupe de travail européen sur les radios cognitives (COGEU, *Cognitive radio systems for efficient sharing of TV White Spaces on European context*) a travaillé sur un modèle de courtier du spectre pour les espaces blancs de la télévision. Disponible à : [http://ec.europa.eu/information\\_society/apps/projects/logos/0/248560/080/deliverables/001\\_COGEUD731\\_6012013.pdf](http://ec.europa.eu/information_society/apps/projects/logos/0/248560/080/deliverables/001_COGEUD731_6012013.pdf)

D'une part, différents mécanismes d'échange ont été envisagés pour le fonctionnement des marchés en temps réel. Par exemple, Marcus [2005] souligne que le mécanisme d'échange permettant de réunir les utilisateurs qui souhaitent accéder au spectre avec ceux qui détiennent des fréquences, pourrait être un système électronique en ligne. Pour Ghandi et al. [2008] des enchères en temps réel du spectre pourraient être conçues pour attribuer le spectre en temps réel entre les utilisateurs. Tandis que de leur côté, Zou et al. [2008] proposent une procédure d'enchère (Veritas) qui permettrait de soutenir une place de marché dynamique pour la vente de spectre, à l'instar de la place de marché eBay. S'agissant de ce dernier point, il convient de souligner que la Nouvelle Zélande a mis aux enchères fin 2014, 7 licences radios AM et 166 licences radios FM en utilisant un système d'enchères à l'instar du système d'enchères en ligne utilisé par eBay. Au total 124 licences ont été vendues pour un montant de 13,5 millions d'euros<sup>146</sup>. Il semblerait donc que les considérations d'un marché en temps réel du spectre ne soient pas uniquement des considérations théoriques dénuées de sens pour un praticien.

D'autre part, l'utilisation partagée et dynamique du spectre a également été modélisée à plusieurs reprises avec les outils d'organisation industrielle ou de la théorie des jeux. Sous ces modèles, l'accès partagé est conçu comme un marché<sup>147</sup> où un petit nombre d'utilisateurs primaires (ceux détenant du spectre) et plusieurs utilisateurs secondaires (à la recherche de spectre) concluraient des accords de partage de fréquences. En contrepartie, l'utilisateur secondaire qui accéderait à la fréquence d'un utilisateur primaire rémunérerait celui-ci. Sous cet angle, le partage du spectre n'échappe pas à une gestion purement marchande. Par exemple, Niyato et Hossein [2007] modélisent le partage du spectre entre un utilisateur primaire et des utilisateurs secondaires comme un marché oligopolistique au sein duquel les utilisateurs secondaires sont en concurrence pour accéder à la bande passante offerte par l'utilisateur principal. Sous ce modèle, l'utilisateur principal partage sa fréquence en contrepartie d'une compensation financière et le montant de la compensation est fonction du débit et de la quantité de bande passante disponible accordée.

Enfin, certains auteurs proposent une nouvelle conception de marché. L'idée est de construire des marchés hybrides du spectre constitués d'un marché à terme (ou « *future* ») pour des demandes prévisibles et de long terme, et d'un marché « spot » d'équilibrage pour les demandes de court terme. Dans cette optique, Berry, Honig et Vohra [2010] proposent un marché global du spectre scindé en deux niveaux. A un premier niveau, les propriétaires de spectre achèteraient des droits d'usage du spectre sur de longues durées tout en ayant la possibilité de les mettre en location sur un second marché. Sur ce second marché au comptant, les fournisseurs de services auraient l'occasion de louer du spectre pour de petites durées (heures/jours) à des endroits précis. Dans la même optique, Gao et al., [2012]

---

<sup>146</sup> Voir l'article de Toby Youell du 19 janvier 2015 « NZ uses commercial auction site for AM and FM licences » de Policy tracker.

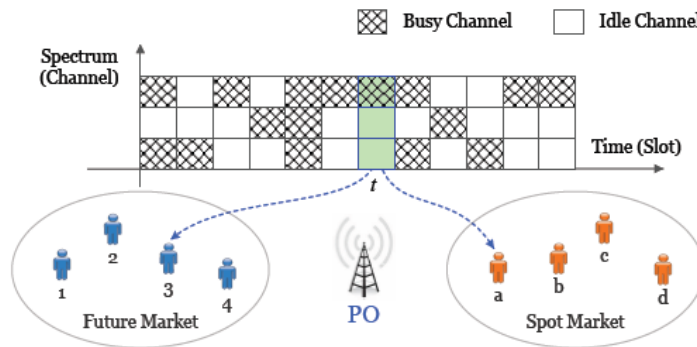
<sup>147</sup> Différentes structures de marché sont envisagées : marché oligopolistique, duopole, duopole de Stackelberg, etc.

modélisent le partage dynamique du spectre comme un partage entre un vendeur (le propriétaire du spectre) et plusieurs acheteurs (les utilisateurs secondaires) sur un marché hybride constitué à la fois d'un marché *spot* (*spot market*) et d'un marché à terme (*future market*) (cf. Schéma 1).

« The future market insures SUs against uncertainties of future supply through pre-defined contracts, while the spot market allows SUs to compete for spectrums based on the real-time demand and preference. A hybrid market has both the reliability (of the futures market) and the flexibility (of the spot market), and thus is highly non-trivial for quality of service (QoS) differentiations in dynamic spectrum access » [Gao et al., 2012].

Dans ce cas, comme en ce qui concerne la création d'un marché de gros dans le domaine de l'énergie, la conception d'une architecture du marché pour un marché de gros des fréquences ou un marché *spot* devra réunir certains dispositifs organisationnels et institutionnels afin d'assurer une nouvelle forme de coordination [Wilson, 2002].

**Schéma 1 : Conception du marché hybride (avec utilisation des RC)**



Source: Gao et al. [2012]

En parcourant ces différents modèles on voit bien que les technologies intelligentes et de partage du spectre sont susceptibles de conduire à une re-modélisation des formes organisationnelles pour le transfert de spectre. De nouveaux acteurs, comme les courtiers du spectre, pourraient apparaître. Dès lors, les modalités d'intervention des gouvernements dans le système de gestion des droits du spectre sont remises en cause par l'émergence de ces nouvelles technologies cognitives et d'accès dynamique au spectre. Au regard de la littérature existante, il semble que celles-ci modifieraient l'efficacité relative des modes de gestion et d'attribution des droits de propriété. Prétendre pour autant qu'elles nécessitent une nouvelle structure de gouvernance et une modification du cadre institutionnel nous demandera d'analyser le partage du spectre sous une approche transactionnelle. Cette analyse fera l'objet du chapitre 3 et la grille d'analyse de la théorie des coûts de transaction nous permettra d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

#### 1.4. Conclusion de la première section. *Le besoin de rationalisation du système actuel*

Certaines parties du spectre sont sous-utilisées voir inutilisées alors que la demande en bande de fréquences augmente. Face à cela, l'émergence de technologies cognitives permettant un accès dynamique au spectre rend possible le partage de fréquences entre un utilisateur primaire détenteur de fréquences et un nouvel entrant. Le partage permet ainsi d'améliorer l'efficacité spectrale en transmettant plus d'information sur une même bande de fréquence. Il permet également au gestionnaire du spectre de mieux satisfaire l'équilibre entre l'offre et la demande de fréquences.

Dès lors, au regard des inefficacités du modèle actuel et des nouveaux enjeux, l'utilisation partagée du spectre entre différents utilisateurs semble une option intéressante dans une situation où les bandes disponibles sont de plus en plus rares. Dans la section suivante, nous montrons que les technologies dynamiques et le partage du spectre font partie des préoccupations de la Commission européenne dans la mise en œuvre de sa réforme pour un accès partagé au spectre.

---

## Section 2. Changement institutionnel : vers une utilisation collective du spectre

Face aux constats de sous-utilisation du spectre, d'augmentation des besoins ou encore de l'émergence de technologies intelligentes, la Commission européenne a pris en considération l'opportunité des technologies cognitives et d'une utilisation partagée du spectre. Le partage dans le spectre est déjà présent, aussi bien, à travers la cession d'une partie de spectre sur le marché secondaire qu'à travers l'utilisation collective de bandes de fréquences ouvertes. Le « partage » a donc différentes significations et, jusqu'à présent, la notion de spectre partagé renvoyait essentiellement aux bandes Wi-Fi partagées entre plusieurs utilisateurs et technologies ou aux bandes exclusives partagées par des millions de consommateurs. La réforme européenne pour une utilisation partagée du spectre va introduire une toute autre vision que celle amenée par le Wi-Fi. Certes, le partage du spectre constitue toujours la possibilité d'accéder à la ressource sans licence mais d'autres possibilités laissent envisager un accès sous licence pour lequel la qualité de service reste garantie. Dans cette section nous revenons sur les grandes lignes de cette réforme (2.1) et nous mettons en perspective la solution d'un partage du spectre à côté de l'option d'un réaménagement afin d'éclairer ses avantages (2.2).

### 2.1. La réforme européenne pour une utilisation partagée du spectre

En Europe, les États membres ont décidé de se coordonner en matière de politique de gestion du spectre en établissant un programme pluriannuel de politique du spectre (RSPP pour *Radio Spectrum Policy Program*). Le mouvement de partage dynamique du spectre a été initié au niveau communautaire sous l'égide de la Commission et du Parlement européen. Cette décision montre un changement dans la direction choisie par la Commission européenne qui a été nouvellement marquée par la proposition européenne sur le continent connecté [Commission européenne, 2013a, 2013b, 2013c]. Cette dernière proposition englobe plusieurs notions relatives au partage du spectre et à une utilisation plus efficace des fréquences. Comme nous l'avons vu précédemment, le souhait de la Commission pour un spectre plus partagé résulte de la croissance exponentielle des usages, de la demande croissante en spectre de la part des différents acteurs et de l'émergence de technologies plus efficaces spectralement. La Commission européenne a de ce fait pris des décisions d'harmonisation, a choisi de soutenir l'innovation et les technologies d'accès dynamique et a confié des mandats à la CEPT afin de définir et préciser les caractéristiques de l'accès partagé au spectre sous licence (LSA pour *Licensed Shared Access*). Dans ce contexte les prémices d'une réforme vers une utilisation collective du spectre ont émergé. Pour autant, il convient de garder à l'esprit que cette réforme intervient dans une organisation institutionnelle préexistante.

### **2.1.1. L'immixtion de la Commission européenne en matière de régulation du spectre**

Alors que le spectre était une ressource déjà utilisée lors de la construction européenne, il faudra attendre l'émergence de la téléphonie mobile pour que celui-ci fasse l'objet d'une véritable réglementation communautaire. En effet, dès les années 1950, les décisions en matière de spectre étaient uniquement prises par la CEPT pour la Région 1 de l'UIT. À partir des années 1980, cette institution s'est avérée inefficace et peinait à établir une coordination entre les différents États membres. Ainsi, en 1987, la CEPT n'arrivant pas à faire accepter par tous les États membres l'harmonisation sur les bandes GSM (*Global System for Mobile Communications*), l'Union européenne est intervenue et a adopté la directive GSM.

#### **La directive 87/372/CEE, coup d'envoi de la réglementation européenne**

La directive 87/372/CEE du Conseil du 25 juin 1987 concernait les bandes de fréquence à réserver pour l'introduction coordonnée de communications mobiles terrestres publiques cellulaires numériques paneuropéennes dans la Communauté. L'objectif de cette directive était clair, il s'agissait de favoriser le déploiement de services paneuropéens de communications mobiles en introduisant des services sur la base d'une approche commune harmonisée. Cette coordination entre les pays sur l'usage d'une fréquence était importante, car comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, elle est à l'origine d'économies d'échelle. Dès lors, l'Europe s'est lancée dans l'établissement de normes harmonisées et a opté pour l'utilisation harmonisée des fréquences.

#### **La création de l'ETSI: vers des normes harmonisées**

En 1988, l'Union européenne opte pour la création de l'ETSI, organisme de normalisation en charge de définir les normes d'harmonisation techniques et les standards européens relatifs aux télécommunications. La création de l'ETSI a conduit à la mise en place de normes harmonisées. Ainsi, à travers l'établissement de normes harmonisées dans un premier temps, puis à travers l'harmonisation des fréquences dans un deuxième temps, l'environnement européen des radiocommunications a commencé à prendre de plus en plus de poids dans le paysage réglementaire.

#### **La politique du spectre radioélectrique : vers une utilisation harmonisée des fréquences**

Depuis 2002 l'Union Européenne s'est dotée d'une politique plus ambitieuse de gestion du spectre [Décision n°676/2002/CE] et d'un groupe en matière de politique du spectre radio [Décision n°2002/622/CE et Décision n°2009/978/UE]. La décision « spectre » relative à un cadre réglementaire pour la politique en matière de spectre radioélectrique dans la Communauté européenne établit le cadre réglementaire de base pour la politique en la matière. Ainsi, au lieu de d'édicter des directives spécifiques, la décision adoptée par l'Europe a donné des compétences à la Commission pour adopter des règlements. Cette Décision a conduit à une meilleure harmonisation et a été renforcée en 2012 par l'établissement d'un

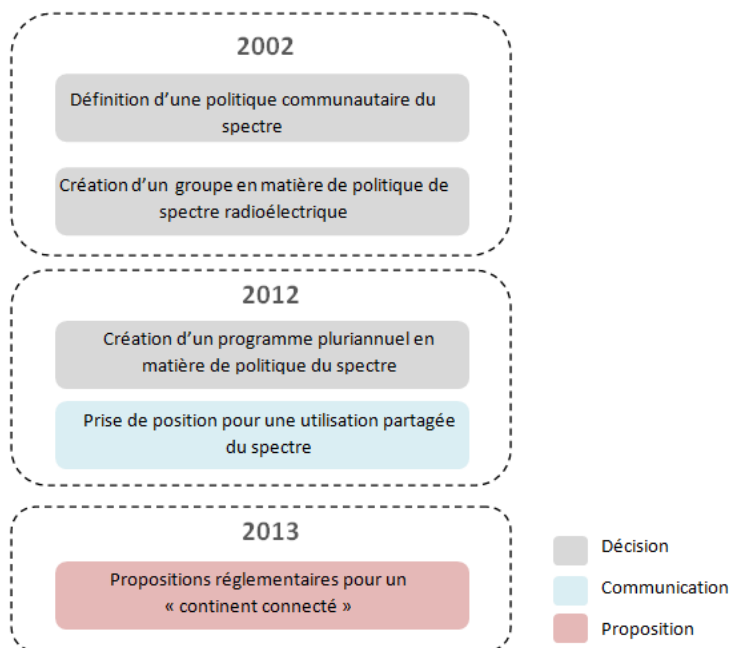
programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique [Décision n°243/2012/UE].

À travers les différents outils à sa disposition (Règlement, mandat, décision, communication) la Commission européenne construit sa réforme vers un accès partagé au spectre. À coté de son objectif de promotion de la concurrence et de l'innovation, la Commission, à travers l'utilisation partagée du spectre dans le marché intérieur, cherche à se positionner de plus en plus comme un État régulateur en essayant d'intervenir dans la régulation économique et sectorielle du spectre qui relève pour le moment de la compétence des États membres.

### 2.1.2. Une action institutionnelle forte en faveur de l'utilisation partagée des fréquences

La considération d'un accès partagé et dynamique au spectre au niveau européen est récente. La réforme vers un accès partagé au spectre s'est inscrite au fil des textes, encadrant la politique du spectre des États membres. Depuis son rapport sur l'utilisation collective du spectre en 2009, la Commission européenne montre dans ces récentes décisions et/ou communications son intérêt croissant pour une utilisation partagée des ressources du spectre radioélectrique et plus particulièrement pour cette nouvelle notion réglementaire d'accès partagé avec licence (*Licensed Shared Access*, LSA). Le schéma 2 présente les principaux textes encadrant la politique du spectre.

**Schéma 2 : Les textes majeurs encadrant la politique du spectre et la réforme vers un accès partagé au spectre**



**La décision « spectre radioélectrique » (décision 676/2002/CE)**

La décision Spectre Radioélectrique a pour objectif la coordination des politiques et l'harmonisation des conditions relatives à la disponibilité et à l'utilisation efficace du spectre radioélectrique dans la communauté [Décision 676/2002/CE]. Dès lors, elle prévoit quatre procédures pour atteindre cet objectif :

- faciliter la définition de politiques en matière de planification stratégique et d'harmonisation de l'utilisation du spectre radioélectrique dans la Communauté ;
- établir une méthodologie générale pour assurer une harmonisation des conditions relatives à la disponibilité et à l'utilisation efficace du spectre radioélectrique ;
- assurer la diffusion coordonnée et en temps utile d'informations sur l'attribution, la disponibilité, et l'utilisation du spectre radioélectrique dans la Communauté;
- assurer une coordination efficace des intérêts de la Communauté dans les négociations internationales lorsque l'utilisation du spectre radioélectrique a une incidence sur les politiques communautaires.

Dans cette décision, le partage du spectre n'est pas mentionné. Néanmoins, les procédures évoquées pourraient s'appliquer au cas de partage du spectre. La planification stratégique et l'harmonisation des bandes entre les pays sont indispensables pour partager le spectre avec le plus d'efficacité possible. Par ailleurs, afin de savoir quelles sont les bandes qui peuvent faire l'objet d'un partage, la diffusion coordonnée et en temps utile d'informations sur l'attribution, la disponibilité et l'utilisation du spectre radioélectrique dans l'Union, sera primordiale. Enfin, les décisions en matière de partage du spectre au niveau international pourraient affecter les politiques communautaires nécessitant, de ce fait, une coordination des intérêts de la communauté.

**Le groupe en matière de politique de spectre radioélectrique (décision n°2002/622/CE et décision n°2009/978/UE)**

La décision 2002/622/CE de la Commission du 26 juillet 2002 institue un groupe consultatif pour la politique en matière de spectre radioélectrique, le RSPG (*Radio Spectrum Policy Group*). Cette Décision établit les objectifs et la composition du groupe ainsi que ces modalités de fonctionnement, ces principes de consultation, de confidentialité et son entrée en vigueur. Elle n'évoque toujours pas l'accès et l'utilisation partagée dynamique du spectre. En 2002, alors que les États-Unis commencent à s'emparer du sujet avec la sortie du *Spectrum Policy Task Force* [FCC, 2002d], l'utilisation partagée du spectre ne fait pas encore partie des considérations de la Commission.

Le groupe chargé de la politique des fréquences a été créé pour assister la Commission et lui prodiguer des conseils sur des aspects relatifs à la politique du spectre. Parmi ces aspects, figurent [décision 2002/622/CE, Considérant 3]:

- la disponibilité du spectre,
- l'harmonisation et l'attribution des fréquences,
- la fourniture d'informations sur l'attribution des fréquences,
- la disponibilité et l'utilisation du spectre,
- les méthodes à utiliser pour octroyer les droits d'utilisation du spectre,
- le réaménagement du spectre et la migration d'utilisateurs vers d'autres fréquences,
- la tarification et l'utilisation efficace du spectre radioélectrique,
- la protection de la santé humaine.

Ainsi, alors que les possibilités de réaménagement du spectre et de migration des utilisateurs sont considérées, l'option d'un partage dynamique du spectre ne l'est pas. Il faudra attendre le rapport du RSPG de 2008 sur les usages collectifs du spectre pour que la notion d'accès partagé au spectre voie le jour [RSPG, 2008]. L'objectif d'une utilisation collective du spectre<sup>148</sup> (CUS pour *Collective Use of Spectrum*) est de faciliter le partage entre des utilisateurs primaires (titulaires) et des utilisateurs secondaires (non titulaires). Plus récemment, le groupe a proposé de nouveaux concepts tels que l'accès partagé sous licence (LSA pour *Licensed Shared Access*) [RSPG, 2011, 2013b] (cf. **Annexe II.3.** Accès dynamique et modalités d'accès au spectre).

Ainsi, le RSPG intègre de plus en plus de nouvelles notions telles que l'usage collectif du spectre, le partage sous licence ou encore la liquidité des marchés des fréquences comme de plausibles solutions pour améliorer l'usage du spectre.

### **Le programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique (décision RSPP) 243/2012/UE**

La décision du Parlement Européen et du Conseil du 14 mars 2012 établissant un Programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique (décision RSPP pour *Radio Spectrum Policy Program*) précise les principes réglementaires généraux (article 1) et les objectifs politiques (article 2) de ce programme. Elle souligne l'importance de la flexibilité et de l'efficacité dans l'usage (article 3) et de la concurrence dans l'accès au spectre (article 5). Elle rappelle les besoins en matière de spectre pour les communications à large bande sans fil (article 6), pour d'autres politiques de communications sans fil (article 7) et pour d'autres politiques spécifiques de l'Union (article 8). Enfin, elle annonce les objectifs d'un inventaire du spectre (article 9) et les principes qui s'appliquent dans le cas des négociations internationales (article 10).

Le programme pluriannuel fixe pour les années 2011-2015 les objectifs politiques à la Commission et aux États membres et le calendrier de mise en œuvre des décisions

---

<sup>148</sup> Le RSPG [2008] définit l'usage collectif du spectre comme suit: « *Collective Use of Spectrum allows an undetermined number of independent users and/or devices to access spectrum in the same range of frequencies at the same time and in a particular geographic area under a well-defined set of conditions* ».

d'harmonisation des bandes mobiles. Ces principaux enjeux sont l'inventaire du spectre, la préparation de la conférence mondiale des radiocommunications de 2015, l'identification de 1200 MHz de spectre additionnel pour le haut débit mobile (en tenant compte des ressources déjà allouées) et l'identification des besoins en fréquences des autres services. À travers ces différents objectifs, il est considéré que l'accès au spectre pourrait être amélioré grâce au partage :

« Assurer un accès facile au spectre pourrait nécessiter des types d'autorisations innovants, tels que l'utilisation collective du spectre ou le partage des infrastructures, dont l'application dans l'Union pourrait être facilitée en déterminant les meilleures pratiques, en encourageant le partage de l'information, ainsi qu'en définissant certaines conditions communes ou convergentes en matière d'utilisation du spectre. » [Décision 243/2012/CE, Considérant 12].

Cette décision considère entre autres la création éventuelle de nouveaux types d'autorisations à côté des autorisations existantes et reconnaît la nécessité de pallier le manque de transparence et de partage d'informations, responsables de l'augmentation des coûts de transaction. À travers ces différents objectifs, la Commission montre qu'elle reste ouverte à tout élément qui permettrait de conduire à un usage plus efficace du spectre, que ce soit les technologies radio cognitives, l'usage des espaces blancs et l'adoption de nouveaux leviers réglementaires ou financiers incitatifs.

En outre, le programme recommande les points suivants :

« Les technologies dites cognitives devraient d'ores et déjà être davantage explorées, y compris en facilitant le partage fondé sur la géolocalisation » (Considérant 13).

« L'utilisation collective (ou partagée) du spectre (...) devrait être favorisée le cas échéant, sans préjudice des dispositions de la directive 2002/20/CE en ce qui concerne les réseaux et services de communications électroniques » (Considérant 14).

« Les États membres en coopération avec la Commission, favorisent, le cas échéant, l'utilisation collective et l'utilisation partagée du spectre. Les États membres favorisent également le développement de technologies existantes ou nouvelles, par exemple la radio cognitive, y compris celles utilisant les espaces blancs » (Article 4(1)).

Ainsi, il apparaît que, depuis 2012, le partage du spectre et la prise en compte des technologies d'accès dynamique au spectre font clairement partie des objectifs de la Commission en matière de politique de spectre radioélectrique.

**La Communication de la Commission européenne de septembre 2012 (COM(2012) 478 final)**

La communication de la Commission de septembre 2012 décrit les nouvelles orientations de la réforme vers un spectre partagé et appelle les États membre à accroître l'utilisation partagée du spectre. Alors que dans la décision instituant un programme pluriannuel, l'utilisation partagée du spectre et l'usage de technologies cognitives apparaissaient plutôt comme une nouvelle option pour les États membres à côté des options existantes, cette communication affiche la volonté de la Commission de partager le spectre en introduisant deux nouveaux concepts. Le premier concept est celui de contrats de partage du spectre (ou SSAR pour *Spectrum Shared Access Rights*). Ces contrats s'apparenteraient à des accords juridiquement contraignants entre un utilisateur actuel du spectre et un candidat intéressé par le partage d'une fréquence. Le deuxième concept est celui de possibilités de partage bénéfique (BSO pour *Beneficial Sharing Opportunities*). L'objectif de la Commission est de recenser les possibilités de partage bénéfique afin de permettre à des agents économiques de conclure, au niveau national, des accords de partage avec les utilisateurs actuels du spectre. Dans cette optique, les deux concepts proposés par la Commission ont pour objectif d'harmoniser et de généraliser les accords de partage du spectre.

L'étude de février 2012, sous-traitée par la Commission européenne, a évalué l'avantage économique net qui pouvait être tiré d'un accès au spectre partagé. Trois scénarios ont été modélisés, chacun mettant en lumière les bénéfices socio-économiques attendus d'un accès partagé aux fréquences [Forge, Horvitz, et Blackman, 2012]. L'objectif général de la Commission est clair, il s'agit de favoriser l'utilisation partagée du spectre dans le marché intérieur, aussi bien dans les bandes de fréquences soumises à licence que dans les bandes exemptes de licence.

**Le marché unique**

Une politique stratégique et coordonnée du spectre au niveau de l'Union européenne est considérée par la Commission comme l'une des actions clés en vue d'un véritable marché unique des communications électroniques. En effet, la politique en matière de spectre est une condition préalable à la réalisation du marché unique [Bunel et Lescop, 2014]. En 2013, la Commission a présenté une proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil établissant des mesures relatives au marché unique européen des communications électroniques et visant à faire de l'Europe un continent connecté [Commission Européenne, 2013a]. La section 1 (Coordination de l'utilisation des radiofréquences dans le marché unique) du Chapitre 3 (Ressources européennes) de la proposition de règlement pour le marché unique comprenait huit articles relatifs aux radiofréquences harmonisées pour les communications à haut débit sans fil (article 8 à 16). Les articles 10 et 11 réaffirmaient en particulier la volonté d'une utilisation partagée des fréquences (soulignement par l'auteur) :

<p>Article 10 Considérant (6)</p>	<p>Les autorités nationales compétentes déterminent les conditions dans lesquelles les entreprises peuvent transférer ou louer tout ou partie de leurs droits individuels d'utilisation des radiofréquences à d'autres entreprises, <u>y compris le partage de ces radiofréquences</u>. Lorsqu'elles déterminent ces conditions, les autorités nationales compétentes tiennent compte des éléments suivants:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) utiliser de manière optimale les radiofréquences ;</li> <li>b) <u>permettre l'exploitation de possibilités de partage bénéfiques</u>;</li> <li>c) concilier les intérêts des titulaires de droits existants et potentiels;</li> <li>d) créer un marché de l'accès au spectre plus fluide et qui fonctionne mieux.</li> </ul>
<p>Article 11 Considérant (3)</p>	<p>Les autorités nationales compétentes étudient la nécessité d'instaurer, conformément aux règles en matière de concurrence, et en vue de libérer <u>ou de partager, en temps opportun, une quantité suffisante de radiofréquences harmonisées</u> dans des bandes économiquement avantageuses pour des services à haut débit sans fil de grande capacité:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) le paiement d'incitations ou d'indemnités appropriées à des utilisateurs ou à des titulaires de droits d'utilisation du spectre existants, notamment en les incorporant au système de soumission d'offres ou en fixant des montants spécifiques pour les droits d'utilisation; ou</li> <li>b) le paiement d'incitations par des utilisateurs ou des titulaires de droits d'utilisation du spectre existants</li> </ul>

Bien que les parties de cette proposition de règlement qui concernaient le spectre radioélectrique n'aient pas été adoptées, il convient néanmoins de souligner que la réforme pour une utilisation partagée, dynamique et plus efficace du spectre est en train de se construire à travers différents outils juridiques. Elle représente d'ores et déjà un changement dans l'environnement institutionnel. De nouvelles règles de jeu, ouvrant la perspective à de nouveaux modes d'organisation des transactions, se dessinent. Ainsi, à côté de l'accès statique et individuel (*via* les marchés du spectre) et de l'accès gratuit et collectif au spectre (*via* les bandes libres sans attributaires exclusifs), cette réforme conduit à la mise en place d'un environnement institutionnel rendant possible un nouveau mode d'accès et d'usage du spectre.

L'environnement institutionnel de l'Union européenne se caractérise par des interactions complexes entre institutions mais il repose également sur le principe de subsidiarité. Ce principe est important dans le cas de la gestion du spectre car il conduit à prendre en compte les spécificités des marchés nationaux et évite le retrait de l'État dans la gestion des fréquences. Dès lors, les choix nationaux en matière de mode de gouvernance pour l'attribution des fréquences dans le cas d'un partage pourront être différents. L'environnement institutionnel étant assez imprécis quant aux modalités d'organisation pour le transfert de droit d'usage dans le cadre d'une utilisation partagée du spectre, plusieurs formes de structures de gouvernance des transactions peuvent être envisagées, comme par exemple des solutions fondées sur le jeu des mécanismes de marché ou sur l'intervention de l'État. Le choix sera conditionné par les dotations de l'environnement institutionnel et politique propres à chaque pays ou à l'Europe.

## 2.2. Le partage : une solution de premier rang

Pourquoi partager le spectre ? Principalement pour deux raisons, d'une part, parce que le réaménagement du spectre est une solution longue et coûteuse, et d'autre part, parce que le partage améliore l'efficacité spectrale sans avoir besoin de délocaliser les utilisateurs en place. Jusqu'alors le réaménagement était le seul outil qui permettait au gestionnaire du spectre de rendre une bande disponible. Mais face à l'augmentation des besoins en fréquences, il devient de plus en plus difficile pour la puissance publique de trouver de nouvelles fréquences disponibles et de pouvoir déplacer les utilisateurs existants dans d'autres bandes de fréquences. Dans cette optique, le partage du spectre offre de nouvelles opportunités d'utilisation de la ressource et constitue une solution de premier rang du point de vue de l'efficacité spectrale.

### 2.2.1. Le partage: une nouvelle option face au réaménagement du spectre

Lorsque le gestionnaire du spectre souhaite attribuer une fréquence à un service mais que celle-ci n'est pas libre, il procède généralement à un réaménagement de la bande considérée. L'utilisation partagée du spectre, si elle est autorisée, évite un réaménagement de la bande tout en permettant à un utilisateur secondaire d'accéder à la fréquence. Si le coût du réaménagement est élevé, le partage sera une option plus intéressante. La faisabilité du réaménagement rentre aussi en ligne de compte. L'utilisation partagée permet donc à de nouveaux acteurs de disposer de droit d'usage sur la ressource là où il fallait auparavant envisager de récupérer le spectre ou de déplacer certains utilisateurs.

#### 2.2.1.1. Réaménagement vs. Partage

Le réaménagement du spectre constitue aujourd'hui le principal outil de gestion nationale du spectre. Avec l'arrivée du partage, le gestionnaire du spectre dispose d'une nouvelle option. Le choix entre ces deux options se fera essentiellement en fonction du coût du réaménagement et de critères de second ordre comme par exemple le temps nécessaire pour procéder au réaménagement. Le réaménagement du spectre ou le redéploiement est défini par l'Union internationale des télécommunications comme:

« Un ensemble de mesures administratives, financières et techniques, visant à retirer complètement ou partiellement, d'une bande de fréquence donnée les utilisateurs ou équipements auxquels y sont assignées des fréquences. La bande de fréquences peut alors être attribuée au(x) même(s) service(s) ou à un/des service(s) différent(s). Ces mesures peuvent s'appliquer sur une période courte, moyenne, ou de longue durée ». [UIT, 2003, p.1].

### Le coût du réaménagement

Dans le cas de la libération et du réaménagement d'une bande, le déplacement de l'utilisateur en place a un coût. Le parc technologique qu'il a déployé dans la bande considérée va devoir être déplacé dans une autre bande de fréquences. Le coût de ce déplacement inclut le coût des réglages des équipements sur de nouvelles fréquences, l'achat et la mise en œuvre de nouveaux équipements utilisant des fréquences différentes et les coûts d'utilisation de supports filaires. En effet, lorsque ces équipements sont déplacés sur une autre bande, ils doivent faire l'objet d'une remise à niveau afin de pouvoir fonctionner sur la nouvelle bande de fréquences. En amont, la planification préalable à un réaménagement contribue à augmenter ces coûts.

Dans le cas du partage, la majeure partie de ces coûts est évitée puisque l'utilisateur peut rester dans sa bande de fréquence (cf. Tableau 13). Néanmoins, l'arrivée d'un nouvel utilisateur dans la même bande nécessitera quelques ajustements.

**Tableau 13 : Coûts du réaménagement vs. Partage**

Réaménagement	Coût de la planification amont Coût de libération de la bande (coût de main d'œuvre, d'acquisition ou de location, travaux d'infrastructure, etc.) Coût représentant la perte de valeur de l'appareil existant non redéployable Coût de négociation et d'organisation de la procédure
Partage	Coût de négociation et de coordination Coût d'adaptation

Aux États-Unis, le coût pour libérer la bande 1755-1850 MHz (soit 95 MHz) actuellement utilisée par le Département de la Défense (DoD pour *Department of Defense*) et d'autres utilisateurs fédéraux a été estimé à 18 milliards de dollars par le NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*) dont 12,6 milliards de dollars proviendraient de la réallocation des systèmes militaires [GAO, 2013]. Ainsi, la libération dans un premier temps des premiers 25 MHz dans la plage de fréquences 1755-1850 MHz coûterait 3,5 milliards de dollars rien qu'au DoD, incluant un coût direct de 272 millions de dollars pour l'exécution de l'opération, 400 millions de dollars pour l'alignement des drones sur les nouvelles fréquences, et 100 millions de dollars relatifs à d'autres projets. En effet, le DoD qui utilise actuellement les bandes 1755-1850 MHz et 2025-2110 MHz devra regrouper, dans le cas de la libération de cette bande 1755-1780 MHz, l'ensemble de ces services existants dans le reste de sa bande (soit la bande de fréquences 2025-2110 MHz). En Europe, le coût de la réaffectation de 100MHz de spectre a été évalué à 1,62 milliards d'euros<sup>149</sup>.

<sup>149</sup> Le scénario 3 développé par l'étude pour la Commission Européenne estime le coût de réaffectation de 100 MHz de spectre suite au déplacement des services des titulaires sur d'autres bande de fréquence non spécifiée (estimation), voir Forge, Horvitz, et Blackman [2012, p.155].

Ces coûts de sortie (ou de réaménagement) varient en fonction de la bande considérée. Ils sont généralement pris en charge par le nouvel entrant. Lorsque ces derniers sont trop élevés, ils peuvent être répercutés sur le consommateur final. Au surplus, il arrive que les estimations de ces coûts de sortie soient *in fine* plus faibles que le coût réellement subi.

Aux États-Unis, parce que les coûts de sortie qui s'imposeraient au DoD pour quitter la bande de fréquences 1755-1850 MHz sont élevés, ce dernier a proposé de partager sa bande de fréquences avec de nouveaux utilisateurs plutôt que de la libérer.

### **Le temps du réaménagement**

Quel que soit le pays et l'organisation institutionnelle, le processus de réaménagement se fait généralement en plusieurs étapes et prend du temps. En France, par exemple il se fait en six étapes. En premier lieu, la décision de réaménagement se prend au niveau de la Commission de planification des fréquences (CPF) avec l'affectataire concerné. La deuxième étape consiste en la création d'un dossier de réaménagement, lequel est ensuite envoyé à l'ANFR afin qu'il puisse être analysé par la Commission du fonds de réaménagement du spectre (CFRS). La CFRS agit donc en aval une fois le réaménagement décidé. L'évaluation du coût de réaménagement au sein de la CFRS, avec l'aide de l'ANFR, constitue la troisième étape du processus. C'est l'ANFR qui supervise le projet de convention de réaménagement, le contrôle de l'exécution des travaux et qui gère les crédits destinés au réaménagement en question. Lors d'une quatrième étape, les principes et méthodes de calcul du coût du réaménagement sont établis au sein de la Commission de revue et valorisation du spectre (CRVS) et débouchent sur une convention établie entre l'ANFR et l'affectataire. Enfin, le processus se solde par une approbation de la convention au conseil d'administration de l'Agence. Le fonds de réaménagement du spectre est alors sollicité lors de la dernière étape et les paiements relatifs à la convention sont effectués.

Ces étapes s'inscrivent la plupart du temps dans la durée. Par exemple, concernant de la bande 2500-2690 MHz, la migration des liaisons hertziennes de la Défense et du réseau gouvernemental (RUBIS), géré par la gendarmerie nationale, vers des fréquences plus élevées a commencé en janvier 2011 et a pris fin en septembre 2013 [ANFR, 2012]. Six conventions ont été établies afin de mettre à disposition cette bande pour les réseaux de téléphonie mobile.

#### **2.2.1.2. Les différentes options pour le gestionnaire**

La libération d'une bande de fréquence (*clearing or releasing spectrum*) à travers le réaménagement permet d'assigner des fréquences à un nouvel acteur qui les valorisera plus que son prédécesseur, améliorant ainsi l'efficacité d'usage du spectre. Le réaménagement consiste en une modification par l'État des conditions réglementaires applicables à une bande de fréquences déterminée. Cette modification peut concerner les attributions, les services, les paramètres techniques d'utilisation ou encore les normes techniques et les standards [Dirk-Oliver von der Emden, 2010]. Il existe différents moyens pour changer une attribution. Le

gestionnaire peut attendre l'expiration de la licence ou révoquer celle-ci. Le titulaire peut également décider, soit de rendre volontairement sa licence, soit de changer son parc technologique, permettant ainsi de libérer une partie des bandes qu'il utilise. Le tableau 14 regroupe ces différentes options que nous détaillons par la suite. Il apparaît que le partage du spectre offre de nouvelles perspectives face au réaménagement.

**Tableau 14 : Les différentes modalités de réaménagement et de partage**

Réaménagement du spectre	Le réaménagement naturel	À l'expiration d'une licence	Restitution de la fréquence
		À la fin de la durée de vie d'un équipement	
		Dans les bandes non assujetties à une licence	
	Le réaménagement incitatif	Libération volontaire	Compensation (les nouveaux utilisateurs compensent les existants), outil incitatif
		Enchère incitative	Mécanisme réglementaire incitatif
		Tarification administrative incitative	Etablissement d'un prix pour l'utilisation
	Le réaménagement obligatoire	<i>Use it or lose it</i>	Clause de la licence
Partage du spectre	Le partage volontaire et incitatif	Dans des bandes sous utilisées géographiquement et/ou temporellement	Partage sous licence, garantie de QoS
	Le partage obligatoire	<i>Use it or Share it</i>	Clause de la licence
	Le partage autorisé	Dans des bandes non utilisées	Partage opportuniste

#### **2.2.1.2.1.** Le réaménagement naturel

Le réaménagement naturel peut se faire lors de l'expiration d'une licence. Dans le cas où les licences sont attribuées pour de courtes durées et qu'elles sont accompagnées de clauses de renouvellement automatique, il sera plus facile de pratiquer un réaménagement. L'avantage de cette approche est notamment financier, puisqu'il n'engage pas les finances de l'État et permet de conserver le degré de confiance établi entre le gestionnaire du spectre et les utilisateurs. Le réaménagement peut être également envisagé lorsqu'un équipement arrive en fin de vie et permet, de ce fait, la restitution d'une bande de fréquences. Toutefois, la rareté des fréquences conduit généralement les titulaires du spectre à conserver au maximum les fréquences qu'ils détiennent.

#### **2.2.1.2.2.** Le réaménagement incitatif

Il existe d'autres alternatives au réaménagement naturel telles que le réaménagement incitatif. L'autorité administrative peut inciter au réaménagement *via* des instruments économiques incitatifs tels que le fond de réaménagement du spectre, la tarification administrative incitative

ou les enchères incitatives. Il convient de souligner que ces outils sont pertinents parce qu'il existe une forte asymétrie d'information sur l'usage effectif du spectre et que les attributaires historiques n'ont aucune incitation à restituer leurs fréquences. Dans cette optique, il s'agit de rechercher et déterminer les méthodes incitatives adéquates à une utilisation plus efficace des fréquences.

- **Le Fonds de Réaménagement du Spectre (FRS)**

La libération volontaire du spectre est favorisée lorsque le coût de la migration des utilisateurs est pris en charge par le nouvel entrant. Le fonds de réaménagement du spectre est un outil incitatif qui permet de préfinancer la migration d'utilisateurs installés dans une bande de fréquences. La somme avancée par l'État est ensuite remboursée par les nouveaux titulaires. Ce fonds permet la restitution d'une bande de fréquences à la date souhaitée par les gouvernements ou par les nouveaux utilisateurs des fréquences. En France, il est par exemple géré par l'ANFR dans un compte séparé de son budget global.

Le fonds a permis de réaménager plusieurs bandes de fréquences. Il a par exemple financé l'intégralité de l'opération de réaménagement de la bande 1800 MHz auparavant utilisée par les faisceaux hertziens du ministère de la Défense au profit du GSM (1800 MHz). Le montant du réaménagement s'est élevé à 7 M€<sup>150</sup>. Le tableau 15 représente les principales réaffectations de spectre en France entre 1992 et 2011.

**Tableau 15 : Principales réaffectations de spectre en France 1992-2011**

Système	Quantité de spectre	Transféré de
GSM 900	50 MHz	Défense
GSM 1800	150 MHz	Défense
UMTS 2 GHz	140 MHz	Défense (en partie)
Wifi 2,4 GHz	83,5 MHz	Défense
Wifi 5 GHz	455 MHz	Défense, météo, CNES, ARCEP en partage
UMTS 2,5 GHz	190 MHz	Défense
Dividende numérique (800 MHz)	64 MHz	CSA, Défense
<b>Total MHz</b>	<b>1132,5 MHz</b>	

Source : ANFR

Parce que chaque cas est unique, le réaménagement est un processus qui peut prendre du temps.

<sup>150</sup> Autres exemples de réaménagement : FH de France Telecom pour l'UMTS (1,9-2,3 GHz): 15 M€, FH du réseau Rubis de la Gendarmerie pour le LTE 4 G (2,6 GHz): 25 M€, Système Félin en cours de développement pour le LTE et les PMSE (800 MHz) : 118M€.

- **La tarification administrative incitative (AIP pour *Administrative Incentive Pricing*)**

Au Royaume-Uni, l'Ofcom a défini une tarification administrative incitative. Théoriquement, au lieu de demander au ministère de la Défense (MoD) à combien s'élèveraient les coûts de sortie, il s'agit de facturer l'utilisation du spectre à un coût supérieur au coût administratif. L'objectif de cette tarification administrative incitative est d'inciter les utilisateurs gouvernementaux à faire une utilisation efficace du spectre en les obligeant à payer le spectre qu'ils détiennent. En effet, dans le cas où un utilisateur ne se sert pas de sa fréquence, ce dernier ne sera pas incité à payer un prix élevé pour la garder et préférera la restituer plutôt que de subir des coûts élevés. Dans le cas où cette tarification est bien définie, elle peut favoriser la libération du spectre et minimiser les coûts de sortie. Cette tarification s'applique essentiellement aux fréquences détenues par des agences gouvernementales et fédérales.

Toutefois, cette option a ses limites [Rosston, 2013]. D'une part, l'efficacité du processus AIP ne peut pas être mesurée par la quantité de spectre rendue par les utilisateurs gouvernementaux, car si l'allocation initiale est proche de l'efficacité, alors les changements dans le spectre seront très faibles. De plus, il est possible que les changements soient longs à mettre en place. D'autre part, si le montant de la tarification administrative incitative est fixé à un montant inférieur au montant théorique incitatif, il est probable que seuls les utilisateurs gouvernementaux très inefficaces soient prêts à restituer leurs fréquences. Ainsi, l'efficacité de ce processus résultera en grande partie du tarif qui sera imposé aux utilisateurs.

- **Les enchères incitatives**

Aux États-Unis, le régulateur envisage de recourir à des enchères incitatives. Ce type d'enchères a été proposé en 2010 par la FCC dans son *National Broadband Plan*. Les enchères incitatives représentent un instrument économique incitatif ayant vocation à libérer une partie de la bande de fréquences UHF [FCC, 2010b]. L'objectif de ces enchères est de réattribuer une partie de la bande détenue par les stations de diffusion de télévision aux services mobiles par une paire d'enchères. Les enchères incitatives se composent de deux enchères, une enchère à l'envers (*reverse auction*) et une enchère classique (*forward auction*). Elles se déroulent en quatre étapes suivantes:

- (a) une enchère à l'envers qui permet aux propriétaires des stations de télévision d'indiquer le prix auquel ils accepteraient de libérer leurs fréquences,
- (b) une phase de réaménagement où le régulateur, avec les informations qu'il détient, réaménage la bande de fréquences, d'une part, en retirant les utilisateurs qui sont prêts à la quitter au prix le plus faible, et d'autre part, en regroupant les utilisateurs restants sur une plage de fréquences réduites,
- (c) une enchère classique qui met en vente les lots de fréquences libérés,

(d) et enfin, une étape de transition permettant aux stations de télévisions de préparer leur sortie<sup>151</sup> [Hazlett, 2013].

L'objectif du régulateur est de libérer de nouveaux lots de fréquences et de réattribuer ces derniers à des services mieux valorisés par le marché. Ceci passe par une négociation entre le régulateur et le titulaire de la licence. En effet, les droits de propriété tels qu'ils existent aujourd'hui représentent des arrangements institutionnels. Il est difficile pour le régulateur de récupérer et de réattribuer ce spectre à d'autres acteurs, sans concerter les titulaires actuels [FCC, 2010b]. L'enchère incitative semble revêtir un certain nombre d'avantages. En outre, elle permet d'éviter certains coûts de re-coordination liés à l'évolution de l'utilisation du spectre tels que le coût de la migration des utilisateurs existants, le coût de la sécurité juridique pour les titulaires ou encore le coût de mise en œuvre des instruments juridiques permettant de contraindre les titulaires à restituer leurs fréquences [OCDE, 2014].

En 2012, la FCC a été autorisée à lancer la première procédure d'enchères incitatives. Toutefois, parce qu'elles sont complexes et parce qu'elles nécessitent une forte coordination entre les institutions, ces enchères ont été repoussées en 2016. A cet effet, le site dédié de la FCC (*FCC Learn Program*) permet de mesurer la complexité de ces enchères pour les acteurs<sup>152</sup>.

Ainsi, avant de procéder à la libération d'une fréquence il convient d'évaluer, d'une part, le temps qui sera nécessaire pour effectuer le réaménagement, et d'autre part, le niveau des coûts de transaction et de sortie. Le processus de libération et de mise à disposition de fréquences pour de nouveaux acteurs est long et se complexifie au fur et à mesure que le spectre se raréfie. Bien que les enchères incitatives aient été repoussées en 2016, il faudra néanmoins du temps pour que les chaînes de télévisions préparent leur sortie et que le régulateur organise la phase de réattribution. Aux États-Unis, l'autre objectif de ces enchères est d'utiliser les recettes tirées de la vente aux enchères pour financer d'autres réseaux publics.

### **2.2.1.2.3.** Le réaménagement obligatoire

Généralement le réaménagement est le résultat d'un consensus. Lorsque ce consensus ne peut être atteint, le réaménagement pourrait être obligatoire. Imposer une règle de type *use it or lose it* pourrait être une solution.

Freyens et Yerokhin [2011] ont développé un modèle d'utilisation d'une règle de *use it or lose it* dans le cas des bandes de fréquences sous utilisées. Ils concluent que lorsque le *design ex ante* n'a pas permis d'aboutir à une situation optimale, il est possible pour le régulateur d'utiliser des instruments *ex post* pour remédier à cela. La règle du *use it or lose it* constitue un des ces instruments. En obligeant un opérateur à rétrocéder sa bande de fréquences lorsqu'il ne

---

<sup>151</sup> Le *National Broadband Plan* prévoit 18 mois pour cette phase de transition alors que les diffuseurs avaient demandé trois ans.

<sup>152</sup> <http://wireless.fcc.gov/incentiveauctions/learn-program/>

l'occupe pas, cette règle vise à réduire tout comportement inefficace de gaspillage de la ressource. Néanmoins, le recours à ce type d'instrument *ex post* doit être spécifié dans les conditions de la licence *ex ante* et risquerait de faire chuter la valorisation *ex ante* de la bande de fréquences. En raison de l'asymétrie d'information, il est difficile de juger si un utilisateur utilise ou non sa bande. On retombe alors sur la problématique des mesures du taux d'utilisation des fréquences (cf. **Annexe II.1.** Les mesures d'occupation du spectre).

#### 2.2.1.2.4. Le partage volontaire incitatif

Le partage volontaire permet d'améliorer l'efficacité spectrale et allocative. En permettant à un nouvel utilisateur d'utiliser sa bande de fréquence, le titulaire de la bande en question peut ainsi rester dans sa bande de fréquence sans avoir à déplacer son parc technologique. Néanmoins, l'utilisateur primaire est souvent réticent à l'idée que son spectre puisse être utilisé par un autre. Dans ce cas, il faut qu'il y ait une incitation au partage ou bien rendre ce dernier obligatoire. Dans le cas où le partage n'est pas obligatoire, l'instrument financier peut être efficace. Un titulaire sera incité à partager son spectre s'il reçoit en contrepartie une rémunération. Afin d'inciter les acteurs à partager leur spectre, un système de récompense pourrait être établi. L'utilisateur en place ou le régulateur devra alors déterminer la procédure et le montant de la rémunération associée. Le partage pourrait ainsi conduire à une commercialisation du spectre. Le montant de la transaction serait ainsi versé au titulaire.

#### 2.2.1.2.5. Le partage obligatoire

Une autre solution est de rendre le partage obligatoire. L'autorité régulatrice pourrait imposer un mécanisme de type *use it or share it*. L'émergence des technologies d'accès dynamique au spectre permet d'envisager ce type de solution. Les espaces sous-utilisés par le titulaire de la fréquence en question pourraient être mis à disposition d'un utilisateur secondaire. Dans ce cas, au même titre que la clause de *use it or lose it*, cet instrument devrait être stipulé *ex ante* dans les licences et pourrait donc être inclus seulement dans les nouvelles licences.

#### 2.2.1.2.6. Le partage autorisé

Le partage pourrait être autorisé par l'autorité régulatrice dans certaines bandes de fréquences, comme par exemple dans les espaces blancs de la télévision. Dans ce cas, seules les parties prenantes qui souhaitent partager leurs fréquences auront cette possibilité.

### 2.2.2. Valorisation des bandes de fréquences : Réaménagement vs. Partage

Pour arbitrer entre l'option du réaménagement et celle du partage, l'autorité en question évaluera les utilités respectives des agents dans une situation de redéploiement et dans une situation de partage. Dans le cas du réaménagement, il existe deux agents : le sortant et l'entrant ( $U_{entrant}$  et  $U_{sortant}$  leur utilité respective). Le coût est celui du transfert  $C_{transfert}$ , c'est-à-

dire le coût de réaménagement lié à la migration du titulaire. Ce coût devra être supporté par le nouvel entrant.

Le réaménagement aura lieu lorsque  $U_{entrant} \geq U_{sortant} + C_{transfert}$ . Dans le cas où il n'est pas possible, c'est-à-dire lorsque  $U_{entrant} < U_{sortant} + C_{transfert}$ , on regarde dans une seconde étape si la bande considérée peut être partagée.

Dans le cas du partage, il existe également deux agents qui sont l'existant (le titulaire) et l'entrant ( $U_{existant}$  et  $U_{entrant}$  leur utilité respective). Le coût du partage (coût de négociation, de rédaction du contrat, etc.) est noté  $C_{partage}$ . Pour qu'il y ait partage d'une bande, il faut que l'utilité du titulaire dans le cas où il partage sa bande  $U_{existant\ avec\ partage}$  plus l'utilité de l'entrant  $U_{entrant}$  diminué des coûts liés au partage  $C_{partage}$  soit supérieure à l'utilité du titulaire dans les cas où rien ne se passe  $U_{existant\ sans\ partage}$ .

$$\text{Soit } U_{existant\ avec\ partage} + U_{entrant} - C_{partage} \geq U_{existant\ sans\ partage}.$$

Cet arbitrage est important car en faisant le mauvais choix, le gestionnaire du spectre augmente le coût d'opportunité. Le coût d'opportunité est le manque à gagner qui surviendrait si le gestionnaire, face au choix qui s'offre à lui, ne prend pas la meilleure décision. On peut donc mesurer l'impact de ces choix en matière de coût d'opportunité (cf. Tableau 16).

**Tableau 16 : Le coût d'opportunité**

	Les possibilités qui s'offrent au gestionnaire du spectre	
Utilité collective espérée (coût d'opportunité)	Réaménagement Possible	Réaménagement Impossible Partage possible
Réaménagement	X1 (0)	--
Partage	X2 (Za)	X3 (0)
Aucun des deux	X4 (Zb)	X5 (Zc)

Lorsque le réaménagement est possible, si le gestionnaire y procède, alors il ne peut pas gagner plus : le coût d'opportunité est nul. Par contre, si à la place il procède au partage, le manque à gagner sera de  $X_1 - X_2 = Za$ . Enfin, s'il ne procède ni à un réaménagement ni au partage, alors il subira un manque à gagner de  $X_1 - X_4 = Zb$  avec  $Zb > Za$ . Lorsque le réaménagement n'est pas possible, le partage est la solution optimale puisqu'elle permet à un maximum d'agent d'utiliser le spectre. Si le gestionnaire autorise le partage, le coût d'opportunité est donc nul. En revanche, s'il ne fait rien, le manque à gagner sera  $X_3 - X_5 = Zc$ .

Dès lors, l'arbitrage entre le réaménagement et le partage d'une fréquence est difficile à faire pour le gestionnaire qui ne dispose pas de toutes les informations. L'asymétrie d'information entre le titulaire du spectre et le gestionnaire peut être élevée. Le titulaire qui souhaitera garder sa bande de fréquences ne sera par exemple pas incité à révéler l'ensemble des informations

qui pourraient aller à l'encontre de ses intérêts. Par ailleurs, si le partage est plus rapide à mettre en œuvre que le réaménagement, le gestionnaire qui a une vision de court terme aura tendance à privilégier un partage du spectre même si le réaménagement s'avère plus optimal à long terme.

Dans la réalité, chaque choix est pris en fonction d'un ensemble de considérations qui impliquent de faire du cas par cas. Par exemple, le coût du partage sera également lié au coût du risque. Il existe un risque technologique (évolution des besoins existants, obsolescence des appareils, etc.) mais également un risque contractuel (opportunisme du titulaire, opportunisme du nouvel entrant, contrainte budgétaire, etc.) et commercial (mauvaise coordination ou manque de coordination). Si les événements qui surviendront *ex post* ne peuvent pas tous être établis *ex ante*, il est nécessaire que les moyens utilisés *ex post* soient stipulés dans le contrat afin de faire face aux dysfonctionnements qui surviendront. Nous étudierons ces considérations de façon plus précise dans le cadre d'une étude de cas dans le chapitre III.

La difficulté dans la gestion du spectre est qu'une solution, comme le partage d'une fréquence peut être la meilleure solution au temps  $T$  mais être sous optimale au temps  $T+1$ . Or, ce type de décisions a un impact sur le long terme, c'est pourquoi il est nécessaire de veiller à ce qu'un partage efficace soit mis en œuvre.

### **2.3. Conclusion de la deuxième section. *La rareté se pilote, la pénurie se subit***

Cette section a montré que la Commission européenne s'est emparée du problème de rareté et de sous-utilisation des fréquences en incitant les différents États membres à favoriser une utilisation partagée du spectre et à introduire les radios cognitives dans le marché. Il apparaît néanmoins que les forces du marché conduiront constamment à faire des réaménagements dans le spectre. Toutefois, l'utilisation partagée demeure une solution de premier rang dans un contexte de rareté de la ressource hertzienne.

## Conclusion du chapitre 2

Dans ce second chapitre, nous avons confronté les besoins en spectre des différents acteurs avec le problème de sous-utilisation des bandes de fréquences et nous avons montré que le système de gestion du spectre devait être rationalisé de façon à permettre une utilisation plus efficace des fréquences. À ce titre, une gestion plus rationnelle des fréquences pourrait passer par la récupération des bandes allouées non utilisées, ou sous utilisées. Mais le problème de la récupération des fréquences est particulièrement complexe car les gestionnaires du spectre n'ont pas toujours la possibilité de contraindre les utilisateurs et affectataires à rendre les fréquences non utilisées. Ils n'ont surtout, en général, pas d'informations suffisantes sur l'utilisation effective de ces bandes. Par ailleurs, les acteurs qui détiennent des fréquences sous-utilisées n'ont aucune incitation à les rendre puisque pour certains, elles ne leur coûtent rien. Par contre en choisissant de les rendre, ils subiraient d'une part des coûts administratifs dans leur interaction avec la puissance publique, et d'autre part un coût d'opportunité étant donné qu'ils pourraient en avoir besoin dans le futur ou bien avoir la possibilité de les revendre en cas de généralisation de la marchandisation du spectre. En parallèle, l'accès aux fréquences apparaît comme trop statique et de long terme, or les besoins en fréquences diffèrent selon les acteurs et certains souhaiteraient bénéficier de cette matière première plus rapidement et sur du court terme.

L'arrivée des radios cognitives et autres technologies d'accès dynamique et de partage du spectre offrent alors de nouvelles perspectives. Nous avons montré comment celles-ci s'étaient insérées dans l'environnement institutionnel et quelles étaient leurs particularités et leurs avantages face aux défaillances du système actuel. Nous avons ainsi constaté que l'utilisation partagée du spectre permettait d'améliorer l'efficacité spectrale et qu'elle était une solution intéressante face à la rareté croissante des bandes de fréquences et face au coût de réaménagement. L'étude des radios intelligentes nous a alors amené à envisager la possibilité qu'auraient ces technologies à établir de manière décentralisée un système de droits de propriété. En effet, si ces technologies sont capables de détecter et de reconnaître leur environnement et d'ajuster leurs paramètres de fonctionnement radio de façon dynamique et autonome, alors il serait possible pour les utilisateurs d'accéder au spectre sans attendre l'approbation de l'organisation institutionnelle nationale. C'est dans cette perspective que nous revenons sur les différentes considérations techniques et économiques qui mettent en avant la création de marché en temps réel du spectre, à l'image de ce que sont les marchés *spot* de différentes matières premières. Si nous supposons, à l'instar des récentes considérations en la matière, que les radios cognitives permettront la dématérialisation du marché du Hertz *via* le développement d'un marché *spot* par logiciel, les fréquences pourraient de ce fait constituer un objet de commerce entre acteurs économiques.

# Chapitre III

## Le choix du mode d'organisation comme gouvernance des transactions : le cas de l'utilisation partagée du spectre.

<b>Section 1. Une approche contractuelle du partage.....</b>	<b>149</b>
1.1. L'unité d'analyse : le transfert de droits de propriété entre usagers.....	149
1.2. L'approche par les coûts de transaction.....	158
1.3. Les caractéristiques contractuelles et dispositifs de coordination des utilisateurs.....	172
1.4. Conclusion de la section. <i>Des transactions diverses, évolutives et variées de droits d'usage du spectre</i>	186
<b>Section 2. Décryptage d'un futur arrangement institutionnel : l'accès partagé sous licence (LSA) .....</b>	<b>187</b>
2.1. Des transactions aux intérêts macro-économiques.....	188
2.2. Les micro-déterminants de la transaction.....	192
2.3. A la recherche de la structure de gouvernance la mieux alignée aux attributs de la transaction.....	198
2.4. Conclusion de la deuxième section. <i>Le LSA un premier modèle de partage complexe</i> .....	201
<b>Section 3. Le partage efficace: un problème d'incitation .....</b>	<b>202</b>
3.1. Les freins à un partage dynamique efficace du spectre.....	202
3.2. Les mécanismes incitatifs.....	204
3.3. Conclusion de la section 3. <i>Des mécanismes incitatifs pour un partage efficace</i> .....	207
<b>Conclusion du troisième chapitre .....</b>	<b>208</b>



## Introduction au troisième chapitre.

Dans le chapitre précédent, nous avons introduit l'hypothèse que les technologies cognitives et d'accès dynamique au spectre pourraient devenir le support d'un système d'échange de droits de propriété sur la ressource hertzienne. La question auquel tente de répondre ce chapitre est la suivante : ces technologies peuvent-elles conduire les États à abandonner leur pouvoir régalien et conduire à l'instauration d'un marché en temps réel du Hertz ? Pour évaluer si ces technologies émergentes conduisent à un système d'échange de droits d'usage clairement délimités, c'est-à-dire à une structure de gouvernance marchande pour le transfert de droits entre utilisateurs, nous avons choisi d'étudier un tel système d'échange dans le cadre d'un partage. Ceci afin de comprendre comment des droits d'usage peuvent être définis.

Dans ce chapitre, nous nous appuyons sur la branche micro-économique du programme de recherche néo-institutionnelle, c'est-à-dire sur les arbitrages qui se feront entre les modes organisationnels une fois que les considérations internationales et les contraintes d'harmonisation ont été intégrées. Pour cela, nous avons choisi la théorie des coûts de transaction, laquelle se révélera pertinente à plusieurs égards. En se fondant sur une démarche comparative et positive de l'économie institutionnelle, la théorie des coûts de transaction permet d'envisager différentes formes d'organisations alternatives au marché (système des prix) et à la hiérarchie (autorité). Le niveau des coûts de transactions (coûts d'organisation et de coordination des transactions) permet alors de faire un arbitrage entre différentes modalités organisationnelles. Afin de mettre en évidence ces coûts de transaction, on adopte une approche contractuelle du partage en considérant que le partage du spectre est une transaction de droits de propriété choisis parmi un ensemble de faisceaux de droits. Or, les droits transférés entre deux entités varient en fonction du type de partage et des parties prenantes devant négocier les termes d'un contrat de partage. Cette diversité des transactions concernant le partage du spectre nous conduit à envisager différents arrangements contractuels. Par ailleurs, les concepts de la théorie des coûts de transaction nous paraissent d'autant plus adaptés pour discuter de la structure de gouvernance adéquate pour les transferts de droits d'usage dans le cadre d'un partage de fréquences.

Ce chapitre comporte trois sections. Une première section utilise la grille d'analyse de la théorie des coûts de transactions afin de déterminer les caractéristiques transactionnelles et contractuelles des structures de gouvernance pour la définition et l'échange de droits de propriété sur le spectre entre usagers. En adoptant une approche contractuelle du partage, on

décrit les structures de gouvernance existantes et on montre que celles-ci sont plutôt complémentaires et non substituables dans le cas de transactions sur la ressource spectrale.

Après avoir déterminé les formes existantes, nous étudions dans une deuxième section un cas de partage particulier, celui de l'accès partagé au spectre (LSA pour *Licensed Shared Access*) en France, et nous analysons, pour ce cas bien précis, la structure de gouvernance qui serait la mieux alignée avec les attributs de cette transaction. L'accès partagé sous licence a en effet vocation à être expérimenté pour un partage de droits sur la bande 2,3-2,4 GHz entre le Ministère de la Défense (titulaire de la bande de fréquences) et les opérateurs mobiles. En procédant à une analyse des caractéristiques transactionnelles liées à ce transfert de droits de propriété entre ces deux catégories d'utilisateurs, on montre que la structure de gouvernance la mieux alignée avec les attributs de cette transaction spécifique est une structure de gouvernance trilatérale. Cette structure fonctionnant avec l'intervention d'une tierce partie pour assurer le rôle de coordinateur technique.

Enfin, dans une troisième section, nous nous intéressons aux mécanismes incitatifs qui permettent d'arriver à un partage efficace en pratique (système des prix, réduction des redevances, mécanismes institutionnels, etc.).

## Section 1. Une approche contractuelle du partage

L'utilisation partagée du spectre est assimilable à un transfert de droits de propriété choisis parmi un ensemble de faisceaux de droits entre des utilisateurs primaires titulaires de fréquences et des utilisateurs secondaires souhaitant accéder au spectre (1.1.). La théorie des coûts de transaction permet de mettre en exergue le rôle des coûts de transaction dans le transfert des droits de propriété sur le spectre et de déterminer la source de ces coûts (1.2.). Le choix d'une telle approche nous conduit à nous concentrer sur les contrats pour étudier les relations entre ces utilisateurs (primaires, secondaires) dans le cadre d'un partage dynamique et d'analyser la structure de gouvernance appropriée (1.3.). En effet, d'après Williamson l'économie des coûts de transaction est une approche axée sur l'étude de l'organisation économique où la transaction est l'unité de base de l'analyse. En se focalisant sur les arrangements institutionnels entre les différents usagers, la vision contractuelle offre alors une perspective différente de l'impact des radios intelligentes sur les modes d'organisation et de coordination des acteurs (1.4.).

### 1.1. L'unité d'analyse : le transfert de droits de propriété entre usagers

Pour Williamson, la transaction est l'unité d'analyse micro-analytique de la théorie des coûts de transaction. La transaction représente un transfert de droits d'usage sur des biens et des services « entre entités technologiquement séparables » [Williamson, 1996, p.379]. Par ailleurs, pour l'auteur :

« L'économie des coûts de transaction couvre un champ relativement large et possède une application assez étendue. En fait, toute relation, économique ou autre, qui prend la forme d'un problème contractuel (ou qui peut être décrite comme tel) peut être évaluée avantageusement selon les termes de l'économie des coûts de transaction » [Williamson, 1994, p. 349].

Dans cette section nous analysons le partage du spectre comme une transaction, c'est-à-dire comme un transfert de droits de propriété sur une fréquence entre des entités institutionnellement et juridiquement distinctes (les usagers eux-mêmes, les titulaires de fréquences, les nouveaux entrants). Cette démarche s'inscrit dans le prolongement des travaux de Coase pour qui ce sont des droits de propriété, et non des biens, qui sont échangés sur le marché. Ces transactions représentent donc une activité d'échange qu'il faut organiser et coordonner. Le système des prix est une modalité mais il n'est pas le seul mode de coordination et d'autres modes alternatifs d'organisations des transactions existent. Normativement, l'objectif de chacun est de minimiser les coûts de transactions en fonction des caractéristiques transactionnelles, c'est le principe d'alignement des structures de gouvernance.

### 1.1.1. Le système de droits de propriété

Un système de droits de propriété définit différents droits d'usage sur une ressource. La ressource concernée et son usage doivent alors être clairement définis, bien délimités, pour chacun des acteurs. Le théorème de Coase considère que lorsque les droits de propriété sont parfaitement définis, et si les coûts de transaction sont nuls, alors l'allocation initiale des droits n'a aucune importance sur l'efficacité de la société et un système de transactions marchandes permettra d'internaliser les externalités [Coase, 1960]. En pratique, les coûts de transactions ne sont pas nuls et une gestion de ces droits par les mécanismes de marché peut s'avérer inefficace comparativement à d'autres structures de gouvernance de la transaction considérée. En effet, il peut être très difficile d'établir un système de droits de propriété clairement délimités. Dans ce cas, si le système est complètement décentralisé, les coûts de transaction peuvent être excessifs notamment lorsque s'instaurent des conflits permanents entre les usagers pour délimiter ces droits d'usage exclusifs et quand rien ne permet de garantir leur sécurité [Barzel, 1989 ; North, 1990].

En France, en vertu de la loi du 30 septembre 1986, dans sa rédaction issue de la loi du 17 janvier 1989 (Art. 22), le spectre appartient au domaine public de l'État. La décision du Conseil Constitutionnel du 28 décembre 2000 considère que l'utilisation des fréquences sur le territoire de la République constitue un mode d'occupation privatif du domaine public de l'État [Décision n°2000-442 DC]. Dès lors, le système de droits est centralisé et le spectre fait l'objet d'un aménagement de droits de propriété par l'État qui arbitre entre les intérêts des différents usagers. Nous considérons dans ce cas le propriétaire de la ressource comme celui qui contrôle et gère la ressource à un niveau micro-économique (par exemple les opérateurs mobiles sont propriétaires de leur bande de fréquence même si juridiquement le spectre appartient à l'État).

Juridiquement, un droit de propriété se décompose en trois catégories d'usage de la ressource qui sont (i) l'*usus* qui représente le droit d'utiliser et d'occuper une fréquence, (ii) le *fructus* qui donne le droit à l'usager d'exploiter le spectre et d'en tirer une rémunération, et (iii) l'*abusus* qui permet au propriétaire de le céder définitivement à un tiers la ressource.

En économie, les droits de propriété permettent de délimiter ce que les gens peuvent faire ou ne pas faire avec la ressource<sup>153</sup>. Par exemple, les droits de propriété sur le spectre sont des droits d'utilisation exclusifs d'une fréquence pendant une période de temps et contre redevance. Ces droits d'exploitation de la ressource sont des autorisations non transférables à un tiers, sauf dans le cas spécifique où il existe un marché secondaire qui l'autorise et

---

<sup>153</sup> L'économie des droits de propriété a en particulier pris forme avec les travaux de Coase [1960], Demsetz (1967), Alchian et Demsetz [1972], Furubotn et Pejovich [1972].

l'organise<sup>154</sup>. Ils représentent également un droit à la protection contre les brouillages. On parle donc généralement de droits d'usage. Ces droits d'usage sur une fréquence sont également soumis à des obligations comme le respect des normes techniques, de règles d'utilisation, et de procédures. Dans le cas d'un non-respect, c'est la responsabilité de l'exploitant qui est engagé et plusieurs types de sanction peuvent être engagés, tels que l'amende ou la suspension temporaire ou définitive du droit d'accès.

### 1.1.2. L'attribution des droits de propriété

Herzel [1951] a été le premier économiste à associer les droits de propriété au spectre. Coase [1959] préconisera ensuite l'attribution de droits de propriété sur le spectre pour résoudre les problèmes de brouillages et de conflits d'intérêt induits par l'usage de cette ressource. Le droit de propriété proposé par Coase, était « un droit d'utiliser des équipements pour transmettre des signaux en respectant certaines conditions »<sup>155</sup>.

La définition des droits de propriété sur le spectre dépend des caractéristiques physiques, économiques et techniques du spectre (cf. Chapitre I). Levin [1968] proposa que les titres de propriété puissent reposer sur les différentes dimensions donnant une valeur aux fréquences, c'est-à-dire sur la durée d'utilisation, sur l'espace géographique couvert (en trois dimensions) et sur la fréquence (en hauteur et largeur). De Vany et al. [1969], quant à eux, proposaient que les droits de propriété soient constitués à la fois du droit exclusif de produire des ondes électromagnétiques durant une période de temps déterminée, du droit exclusif de produire des ondes électromagnétiques sur une aire géographique spécifiée, et du droit exclusif de produire des ondes électromagnétiques sur une portion de spectre définie. Sur cette base, Minasian [1975] suggèrera que les droits de propriété soient composés d'un droit d'émission, c'est-à-dire du droit d'émettre sur une bande de fréquence (la zone géographique, la période de temps et la puissance permise sont prédéfinies); d'un droit d'admission conférant le pouvoir d'exclure certains acteurs de l'espace défini par le droit d'émission ; d'un droit d'usage qui donne au titulaire la possibilité d'utiliser son titre comme il le souhaite sous contrainte du respect des règles établies par la loi ; et enfin, le droit de transfert qui permet de transférer tout ou partie de ces droits [Minasian, 1975]. Plus tard, De Vany introduira même le droit au brouillage (*interference right*) qu'il définira comme « *an explicit part of a licensee's protection* » [De Vany, 1998a, 1998b]

Plus récemment, Matheson et Morris [2012] ont développé le concept de *Licensed Electrospace Region* (LER). Les droits attribués portent sur une région de l'espace électromagnétique qui

<sup>154</sup> Pour rappel, sur le marché secondaire français les titulaires de spectre s'échangent des licences d'utilisation du spectre, droits et obligations inclus. L'ARCEP détient un registre des autorisations d'utilisation de fréquences délivrées pour les fréquences ou bandes de fréquences dont la cession est autorisée.

<sup>155</sup> Voir Coase et Sommer [1994, p.156].

représente un ensemble de sept dimensions comprenant l'espace (latitude, longitude, altitude), la durée, la fréquence et la direction concernée (l'inclinaison et l'azimut) (cf. Tableau 17).

**Tableau 17 : Les dimensions de l'espace électromagnétique**

Quantité	Unités	Nombre de dimensions
Fréquence	Khz, MHz ou GHz	1
Durée	Seconde, heure ou année	1
L'espace	Latitude, longitude et altitude	3
La direction	Inclinaison et azimut	2

Source : Matheson et Morris [2012]

Pour les auteurs cette approche permet de spécifier les régions de spectre qu'un individu peut détenir (le LER (*Licensed Electromagnetic Right*) constituant de ce fait la propriété d'un titulaire). Ils définissent deux signaux seuils  $E_o$  et  $E_{max}$  :  $E_o$  représente le niveau de puissance que les titulaires de licence ne doivent pas dépasser en dehors de leur LER, et  $E_{max}$  représente le niveau maximal de signal que les titulaire doivent respecter à l'intérieur de leur LER de façon à ne pas provoquer de brouillages avec les récepteurs fonctionnant en bandes adjacentes.

Les caractéristiques physiques des fréquences, leur complexité et leur étendue vont finalement amener les économistes à concevoir la propriété dans le spectre comme un faisceau de droits (*bundle of rights*). Par faisceau de droits, les économistes entendent qu'il n'y a pas un droit sur le spectre hertzien mais un ensemble de droits. Le droit de propriété est donc l'ensemble de ces droits<sup>156</sup>.

Cui, Gomez et Weiss [2014] distinguent alors différents droits en fonction du régime de propriété retenu, la liste étant non exhaustive (cf. Tableau 18).

<sup>156</sup> Pour Alchian et Demsetz [1973] les éléments qui composent un faisceau de droits peuvent être contrôlés par différents individus et être transférés séparément.

**Tableau 18 : Ensemble de faisceaux de droits de propriété dans le cas d'autorisation individuelle, générale et partagée**

Droits d'usage exclusifs (autorisation individuelle)	Droit d'établir une infrastructure Droit d'émettre Droit de recevoir sans brouillages Droit de fournir un type de services particulier Droit de transférer ou non la licence à un tiers
Droits d'usage collectifs (autorisation générale)	Droit d'établir une infrastructure Droit de transmettre selon les règles définies par l'autorité Droit de recevoir Droit de fournir un type particulier de services
Droits d'usage partagés Fréquences partagées	<i>Pour l'utilisateur primaire:</i> Droit d'établir une infrastructure Droit d'émettre Droit de recevoir sans brouillages Droit de fournir un type particulier de services <i>Pour l'utilisateur secondaire:</i> Droit d'établir une infrastructure Droit d'émettre selon les règles définies par l'autorité ou le contrat de location Droit de recevoir Droit <i>overlay</i> et/ou <i>underlay</i> Droit de brouiller ou non

Source : Cui, Gomez et Weiss [2014]

Par exemple, le panier de droits dans le cas d'utilisation individuelle et exclusive d'une bande de fréquence est composé du droit d'établir une infrastructure, du droit d'émettre, du droit de recevoir sans brouillages, du droit de fournir un type particulier de services et du droit de transférer la licence à un tiers ou non. Ces droits sont différents des droits que détiennent les individus dans le cas d'une autorisation générale. Sous autorisation générale, il n'y a pas de hiérarchie puisque chaque utilisateur dispose des mêmes droits et obligations, lesquels forment les conditions d'utilisation de la fréquence. Ainsi, chaque usager a le droit d'établir une infrastructure, d'émettre selon les règles définies par l'autorité, de recevoir (mais pas de recevoir sans brouillages) et de fournir un type particulier de services.

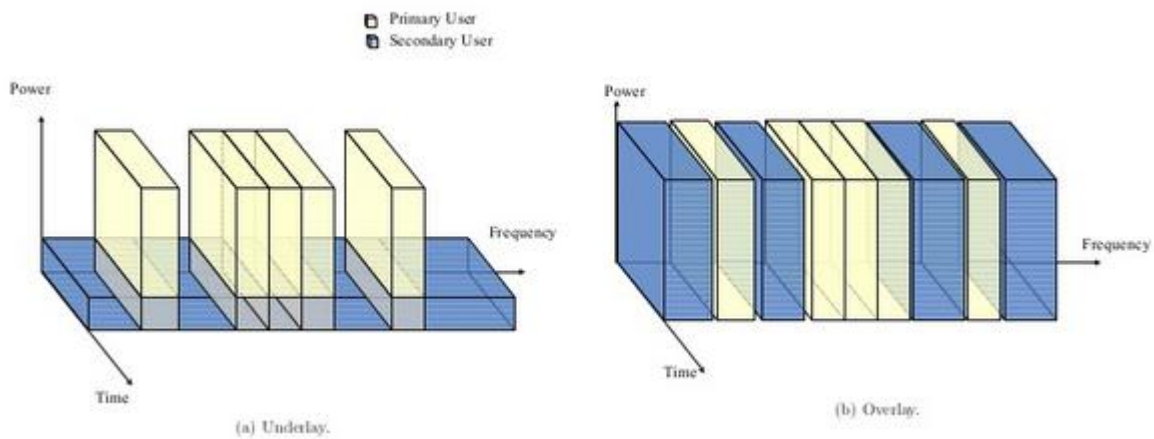
Dans le cas d'un partage de fréquence entre deux individus, le propriétaire d'un panier de droits va pouvoir transférer une partie de ces droits à un nouvel entrant sur la bande de fréquence considérée. Toutefois, afin d'assurer une cohabitation entre ces deux utilisateurs, il est nécessaire de définir de nouveaux droits qui détermineront les relations entre ces deux agents sur l'usage de la fréquence en partage. L'ensemble des droits susceptibles d'être transféré à l'utilisateur secondaire se compose du droit d'établir une infrastructure, d'émettre selon les règles définies par l'autorité ou le contrat de location, de recevoir, d'émettre en *overlay* et/ou *underlay* ou du droit de brouiller jusqu'à une certaine limite.

Les droits *overlay* et *underlay* ont été définis suite aux innovations technologiques qui diversifient les possibilités d'usage de la ressource spectrale. Ces droits ont été progressivement introduits et acceptés par les acteurs depuis l'émergence des technologies à bande ultralarge (ULB) et des radios cognitives (RC) [Faulhaber et Farber, 2003 ; Lehr, 2005 ; Pogorel, 2007 ; Luther, 2008 ; Cave et Webb, 2012].

Le droit *underlay* permet une utilisation secondaire du spectre par des émetteurs qui fonctionnent à faible puissance (cf. Schéma 3a). Ce droit est possible avec l'usage des technologies ULB qui étalent le signal sur une très large bande passante afin de limiter la puissance émise dans une bande de fréquence particulière.

Le droit *overlay* permet une utilisation secondaire d'une fréquence lorsque son titulaire ne l'utilise pas (cf. Schémas 3b). Cette utilisation spatiale ou temporelle est rendue possible avec l'usage de technologies cognitives qui détectent quand le spectre est libre pour pouvoir émettre.

Schéma 3: Le partage du spectre *overlay* et *underlay*



Source : Rajbanshi [2007]

Finalement, si l'on considère l'*Electrospace* défini par De Vany [1969], la transaction entre deux agents concerne la fréquence  $F$ , la durée d'utilisation  $T$  et l'aire de couverture  $A$ , et le droit de propriété (DP) dans le cas d'une utilisation exclusive sera noté comme une fonction de ces trois paramètres  $DP(F, T, A)$ .

Dans le cas où l'on introduit le partage, le panier de droits de propriété peut se complexifier puisque les droits transférés pourront concerner en plus de ces droits basiques (la fréquence, la durée d'utilisation, et l'aire de couverture), d'autres droits tels que des droits *underlay* ou *overlay*. Par exemple, un droit au brouillage (*Interference Right*) pourra être déterminé en fonction de l'utilisateur secondaire concerné (il dépendra alors des caractéristiques du couple émetteur/récepteur).

Pour Weiss et Cui [2012] le droit aux brouillages donnerait la possibilité à un utilisateur primaire de tirer un revenu de la bande qu'il sous-utilise, tout en conservant les paramètres d'usage associés à sa licence. Pour les auteurs, le droit au brouillage se définit selon cinq dimensions :

- la **densité de puissance de l'utilisateur secondaire** : c'est-à-dire le brouillage maximal qui peut être toléré par l'utilisateur primaire dans l'*Electrospace*. Cette valeur varie en fonction de la capacité des récepteurs primaires. En d'autres termes, moins les récepteurs des utilisateurs primaires sont sensibles aux brouillages plus la valeur du brouillage permis pourra être élevée. L'utilisateur principal pourrait ainsi vendre plus de droits d'interférence. Les droits accordés à l'utilisateur secondaire varieront également avec la propagation environnante et l'environnement électromagnétique à la fois naturel et artificiel ;
- la **densité de puissance de l'utilisateur primaire** : cette dimension est également importante car à partir du moment où un utilisateur secondaire va utiliser la fréquence, il souhaitera également connaître le niveau de densité de puissance que lui imposera l'utilisateur primaire sur le même *Electrospace*. S'il ne trouve pas ce niveau acceptable, il n'y aura pas de partage. L'utilisateur secondaire peut décider d'acheter ou non le droit d'interférence ;
- la **bande de fréquences** sur laquelle les services des utilisateurs primaires et secondaires fonctionneront. Lorsque plusieurs utilisateurs utilisent la même bande, le risque de brouillages préjudiciables augmente. Les utilisateurs pourront néanmoins contrôler ce niveau de brouillages en ajustant leurs seuils de puissance d'émission ;
- la **zone géographique** dans laquelle les utilisateurs secondaires seraient autorisés à fonctionner, comme par exemple, les régions où les utilisateurs primaires disposent de peu ou pas de récepteurs ;
- la **période de temps** durant laquelle les utilisateurs secondaires pourraient émettre. La durée des droits de brouillages pourrait par exemple varier de quelques secondes à quelques heures.

**En réalité, plus l'ensemble de faisceaux de droits est complexe, plus la transaction est spécifique. Les droits devront être définis le plus précisément possible en tenant compte de l'effet des innovations dans la définition des droits et des conflits d'usages que cela induit.**

De ce fait, De Vries et Weiser [2014] soutiennent l'instauration d'un droit de modification, c'est-à-dire du droit de modifier les paramètres de fonctionnement (par exemple, un plafond de puissance d'émission) au-delà des valeurs initiales déterminées dans les règles de l'autorité. Selon eux, ce droit devrait être attribué à un gestionnaire de la bande de fréquences, à l'instar d'un médiateur, qui aurait un seul type de droit, le droit de modification. Ce droit lui permettrait de négocier les contours du droit d'exploitation et d'adopter ou non des mesures de protection afin que différentes parties s'entendent. Avec un tel droit, les agents pourraient

négocier efficacement entre eux afin de s'entendre sur des changements en matière de droits d'exploitation. Tous les autres droits resteraient la propriété de leurs utilisateurs actuels<sup>157</sup>.

Au regard de ce que la littérature économique entend par droits de propriété (*property rights*), on peut dire que les droits de propriété sur le spectre sont des relations entre des individus qui ont rapport à l'usage des fréquences, mais ne sont pas des relations entre des individus et les fréquences [Furubotn et Pejovitch, 1972]. Pour conclure cette section, nous tenons à souligner qu'en fonction des droits sélectionnés parmi l'ensemble des dimensions possibles, les relations entre les parties prenantes à l'échange et les privilèges accordés seront différents, en mode statique et en mode dynamique, dans le cadre d'un partage de fréquence.

### 1.1.3. L'échange de droits de propriété dans le cadre d'un partage dynamique

Dans le cas d'une utilisation partagée, différents acteurs vont se transférer des droits de propriété sur une ou plusieurs fréquences. Les transactions de droits de propriété dans le cadre d'un partage entre différents usagers sont l'unité d'analyse. Pour que le partage ait lieu il doit y avoir transférabilité des droits afin de permettre à l'individu d'échanger ses droits avec d'autres agents. Néanmoins, comme le spectre appartient à l'État, la transférabilité n'est pas absolue. Les droits de propriété sont atténués et l'État intervient pour altérer les droits de propriété des utilisateurs.

Ainsi, on considère que les droits de propriété dans le cas d'un partage seront établis, mesurés, attribués et modifiés à travers des contrats qui définiront les transactions par lesquelles ces droits de propriété seront transférés entre les individus sous respect du cadre légal. Dès lors, ces contrats sont régis à deux niveaux : (i) à un niveau macro-économique au sein duquel les usagers, les gestionnaires et les administrations négocient le cadre juridique de base à partir duquel s'édifie la structure institutionnelle, c'est-à-dire l'ensemble des règles politiques, sociales et juridiques qui dressent le cadre dans lequel ont lieu l'échange et la répartition du spectre<sup>158</sup> (cf. Chapitre I), et (ii) à un niveau micro-économique où les usagers (utilisateurs primaires et secondaires) négocieront les droits, c'est-à-dire les arrangements institutionnels qui prendront forme au sein de structures de gouvernance des transactions.

Toutefois, on ne s'intéresse ici qu'au niveau micro-économique et donc aux relations entre les usagers du spectre dans le cadre d'une utilisation partagée et on se pose la question suivante : comment organiser le transfert et rendre exécutoires ces droits de propriété ? Le gestionnaire ne dispose pas, *a priori*, de l'ensemble des informations lui permettant d'établir les conditions de partage (asymétrie d'information). Les utilisateurs primaires et secondaires vont donc devoir s'organiser et se coordonner pour le transfert de droits. Ce qui nous intéresse ici est

---

<sup>157</sup> Pour les auteurs, même avec un gestionnaire de bande en place, les titulaires de permis pourraient encore transférer leurs licences et déterminer les émetteurs peuvent fonctionner dans leur zone de licence.

<sup>158</sup> L'autorité juridique supranationale est donc indispensable pour assurer la bonne utilisation du spectre et faire respecter les droits et obligations des détenteurs de titres de propriété sur le spectre hertzien.

d'évaluer quelle serait la forme organisationnelle la plus adaptée au partage du spectre : les utilisateurs vont-ils se coordonner via un système de prix ? L'utilisateur primaire va-t-il intégrer l'utilisateur secondaire et lui imposer de façon autoritaire ses conditions de partage ? Les utilisateurs vont-ils se coordonner par les biais de négociations bilatérales ?

Par ailleurs, nous avons précédemment indiqué que les technologies permettant le partage dynamique du spectre semblaient faire reculer le besoin d'une coordination administrative entre les acteurs. En détectant en temps réel leur environnement, ces technologies (radio cognitive et logicielle) permettent de définir les bandes de fréquences qui peuvent être partagées et sous quelles conditions (précisant, l'endroit, le moment, la durée, la puissance, etc.). Le partage de la ressource spectrale reposerait alors sur un serveur coordonnant les utilisateurs secondaires avec des bandes de fréquences détenues par des utilisateurs primaires de façon à maximiser l'utilisation du spectre. Le second avantage de ces serveurs est leur capacité à protéger les utilisateurs primaires des brouillages qui pourraient être causés par l'utilisateur secondaire. Ces technologies apparaissent comme des technologies de gestion efficaces des droits d'usage sur le spectre. L'hypothèse précédemment formulée était que la réalisation en ligne de transferts de droits de propriété sur une fréquence *via* une base de données conduirait potentiellement à diminuer les coûts de recherche, de négociation et d'établissement de contrats pour ces opérations. Par ailleurs, les techniques de gestion spectrale (détection, partage, décision et mobilité spectrales), qui permettent de protéger les utilisateurs primaires des brouillages de l'utilisateur secondaire, conduiraient à abaisser les coûts d'exécution (*enforcement*) des droits de propriété.

D'un point de vue technique, les radios cognitives sont supposées être les utilisateurs du spectre, mais les considérer comme tels conduit à leur laisser le soin de délimiter et de rendre exécutoire les droits. Or d'un point de vue économique, les usagers du spectre ne sont pas des technologies mais des acteurs économiques ayant des besoins différents d'accès à la ressource (cf. Chapitre II). En supposant que les radios cognitives soient les usagers du spectre, le risque est de ne pas tenir compte des usages spécifiques et des valorisations économiques associées. Or, si l'on veut obtenir un partage efficace du spectre, le mode d'organisation de la transaction doit être lié aux spécificités de la transaction. En fonction des caractéristiques transactionnelles, il sera possible de déterminer quelle est la forme organisationnelle la plus adaptée pour maximiser l'espace possible d'échange de droits. Dès lors, en listant les caractéristiques des transactions susceptibles de se produire dans le cas d'une utilisation partagée et en procédant par élimination, il nous est possible de déduire les formes contractuelles théoriquement compatibles avec les différentes modalités de partage.

## 1.2. L'approche par les coûts de transaction

Enoncée pour la première fois par Coase [1937], la théorie des coûts de transaction a été largement reprise et développée par Williamson [1975, 1985, 1996] qui s'attache à identifier les structures de gouvernance, c'est-à-dire les modes alternatifs d'organisation des transactions qui réduisent les coûts de transaction. A chaque étape du processus transactionnel, il existe des coûts de transaction, définis par Williamson [1996] comme les coûts *ex ante* et *ex post* de la transaction. Ces coûts varient en fonction de la nature de la transaction. Ainsi, le mode d'organisation des transactions dépend de leur nature. En conséquence, s'il existe plusieurs types de transactions pour le transfert de droits de propriété entre les utilisateurs, différentes structures de gouvernance pourront apparaître. Après avoir déterminé les coûts associés à la transaction (1.2.1.) nous revenons sur la source de ces coûts de transaction, à savoir la rationalité limitée, l'opportunisme des agents, et les attributs des transactions (1.2.2.). Les hypothèses comportementales et les attributs des transactions nous permettront alors d'évaluer les différents modes contractuels qui organisent les relations entre les parties prenantes au partage.

### 1.2.1. Les coûts associés aux transactions sur le spectre

Les coûts de transactions jouent un rôle dans le transfert des droits de propriété. Introduit pour la première fois par Coase [1937], le concept de coûts de transaction sera repris de façon plus précise par Williamson en 1985 pour définir « les coûts comparatifs de planification, d'adaptation et de suivi de transfert de droits associés à des tâches dans le cadre d'arrangements organisationnels alternatifs » [Williamson, 1985, p.2]. Toutefois, il n'existe pas une définition unique des coûts de transaction et l'étendue des définitions dans la théorie économique démontre la complexité de leurs évaluations (cf. Encadré 8).

#### Encadré 8 : Les coûts de transaction

Les coûts de transaction sont définis comme :

- « the costs of running the economic system » [Arrow, 1969, p.59].
- « the cost associated with the transfer, capture, and protection of rights » [Barzel, 1997, p.4].
- « the costs that arise when individuals exchange ownership rights to economic assets and enforce their exclusive rights. A clear-cut definition of transaction costs does not exist, but neither are the cost of production in the neoclassical model well defined » [Eggertsson, 1990, p.14].
- « the cost of resource utilized for the creation, maintenance, use, change, and so on of institutions and organizations. When considered in relation to existing property and contract rights, transaction costs consist of the cost of defining and measuring resources of claim, plus the cost of utilizing and enforcing the rights specified. Applied to the transfer of existing property rights and the establishment or transfer of contract rights between individuals (or legal entities), transaction costs include the costs of information, negotiation and enforcement » [Furubotn et Richter, 1997, p.40]

Face à la variété de définition du concept, nous retiendrons que les coûts de transaction sont les coûts de l'échange, c'est-à-dire du transfert de droits de propriété sur une fréquence entre agents économiques. Ainsi si l'on se réfère à Williamson [1996], les coûts de transaction génériques sont les coûts de la contractualisation qui se scindent en deux catégories : (i) les coûts *ex ante* nécessaires à l'établissement du contrat, et (ii) les coûts *ex post* nécessaires à sa bonne réalisation (cf. Tableau 19).

**Tableau 19 : Les différents coûts de transaction définis par Williamson**

Les coûts <i>ex ante</i>	Les coûts <i>ex post</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Négociation d'un accord</li> <li>- Rédaction d'un accord</li> <li>- Garantie d'un accord</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mauvaise adaptation au contrat</li> <li>- Marchandage occasionné par la divergence dans l'exécution du contrat</li> <li>- Organisation et fonctionnement des structures de gouvernance</li> <li>- Coûts d'établissement d'engagements sûrs</li> </ul>

Source : Williamson [1996]

Dans le cas d'un transfert de droits de propriété sur le spectre, des coûts de transaction apparaissent. Nous détaillons ci-dessous ces différents coûts.

#### 1.2.1.1. *Les coûts ex ante*

Les coûts de transaction *ex ante* correspondent aux coûts générés lors des phases de recherche d'information sur une fréquence, de recherche d'un titulaire et aux coûts liés à l'élaboration d'un contrat de partage. Ils sont interdépendants avec les coûts de transaction *ex post* et doivent donc être étudiés conjointement.

#### **Les coûts liés à l'acquisition et à la recherche d'une fréquence, d'un partenaire**

Les premiers coûts pour un utilisateur qui souhaite accéder au spectre, sont les coûts d'acquisition d'information sur l'état des fréquences. Les utilisateurs dans le cadre d'un échange ou d'un accès partagé doivent se procurer des informations détaillées sur les attributions de chaque bande de fréquences, sur les utilisations et sur les utilisateurs. Or, lorsque ces informations sont éparpillées, voire indisponibles, la recherche prend du temps et les coûts de transaction augmentent. Dans le cas d'un partage dynamique du spectre, le développement de bases de données centralisant les différentes informations sur l'état des fréquences pourra avoir un impact positif sur la baisse des coûts liés à l'acquisition et à la recherche d'une fréquence.

#### **Les coûts des dispositions préventives**

Aux coûts de recherche de partenaires et de fréquences, s'ajoutent les coûts d'études liés à la faisabilité d'introduction d'un nouveau service dans une bande de fréquences lorsqu'un nouvel utilisateur obtient un certain nombre de droits comme celui d'émettre, de recevoir et de fournir un service. Les dispositions préventives qui s'avèrent nécessaires à la bonne réalisation

d'un accord contractuel peuvent prendre deux formes : d'une part, la réalisation d'étude simulant l'impact d'un nouveau service sur les services déjà existants, et d'autre part, les dépenses de communications dans le cas où des perturbations sont susceptibles de toucher plusieurs individus.

**(i) les coûts liés aux simulations d'impact**

Les études et simulations d'impact *ex ante* à la transaction sont faites pour évaluer la probabilité d'apparition d'un risque théorique de brouillage lorsqu'un droit d'usage est transmis à un nouvel utilisateur dans une bande de fréquence. En fonction de la fréquence et du service fourni par cet utilisateur, les études seront plus ou moins importantes et plus ou moins coûteuses. Ces dernières pourront être réalisées par l'utilisateur de la fréquence, avec ou sans l'aide d'un coordinateur technique, ou par l'affectataire de la fréquence. Dans le cas du partage dynamique du spectre, les utilisateurs seront de plus en plus nombreux dans les bandes de fréquences. Les titulaires de fréquences auront de plus en plus d'utilisateurs dans leurs propres bandes de fréquences mais également de plus en plus de voisins en bandes adjacentes. Dès lors, le nombre d'études techniques de faisabilité et de simulations d'impact risque probablement d'augmenter ce qui augmentera les coûts de transaction.

**(ii) les coûts de communications sur les risques de brouillages**

Les coûts de communication sur les risques de brouillages résultent des campagnes d'information mises en place afin d'informer les consommateurs des risques d'éventuels brouillages et des démarches à effectuer en cas de perturbation. Si de tels dispositifs ne sont pas mis en place pour chaque transaction de fréquences, dans certain cas, ils peuvent être indispensables. Par exemple, lors du transfert de la bande 800 MHz (premier dividende numérique) entre les chaînes TV et les opérateurs mobiles, une campagne de communication a été mise en place afin de prévenir les utilisateurs des perturbations qui pourraient avoir lieu sur la réception des services de télévision suite à la mise en service des antennes de téléphonie mobile de quatrième génération (4G) en bande 800 MHz. Dans un cas de partage, une communication similaire pourrait être envisagée, ce qui se traduirait par une augmentation des coûts.

**Les coûts de concertation, de négociation et de rédaction des clauses contractuelles**

Une fois que les études préliminaires nécessaires à la détermination des paramètres techniques et autres conditions de partage ont été faites, le contrat peut être négocié et rédigé. Dans le cas d'un partage du spectre, les coûts de transaction *ex ante* peuvent être élevés en raison des études de faisabilité et des négociations qui prennent du temps. En effet, la période de négociation est alimentée par les différentes études techniques menées en amont et ne prend fin, qu'une fois celles-ci terminées. À partir de ce moment, les parties prenantes à la transaction peuvent se mettre d'accord et rédiger les clauses contractuelles.

### 1.2.1.2. *Les coûts ex post*

Les coûts de transaction *ex post* surviennent lors de la mise en application de la transaction. Williamson [1985] et Eggertsson [1990] ont défini cinq principaux coûts de transaction qui apparaissent après la signature d'un contrat : (i) les coûts de suivi (*monitoring*) du contrat qui permettent de s'assurer que les contractants respectent bien leurs engagements contractuels, (ii) les coûts d'exécution (*d'enforcement*) du contrat, c'est-à-dire les coûts qui permettent de s'assurer que les droits de propriété ne fassent pas l'objet d'une appropriation par une tierce partie, et de s'assurer de l'application de pénalités dans le cas où l'un des partenaires ne respecte pas ses engagements contractuels ; (iii) les coûts de mal-adaptation, provenant d'un environnement externe changeant ; (iv) les coûts de renégociation du contrat ; et (v) les possibles coûts de rupture de contrat. S'ajoutent à ces coûts ceux du traitement et de la résolution des brouillages dans le cas du spectre radioélectrique.

#### **Les coûts d'enforcement**

Les coûts d'*enforcement* représentent les coûts nécessaires à la bonne exécution des contrats. La mise en place de mécanismes d'*enforcement* des contrats permet de rendre exécutoires les droits de propriété. Ces mécanismes sont nécessaires pour contraindre les parties à respecter leur engagement. Toutefois ces mécanismes ont un coût. Il existe plusieurs types de mécanismes d'*enforcement*. L'*enforcement* peut être d'ordre public, c'est-à-dire basé sur le pouvoir des autorités régulatrices, ou bien d'ordre privé, c'est-à-dire basé sur la coopération volontaire des parties. Les outils d'*enforcement* public sont l'ensemble des mécanismes d'*enforcement* légal. Les mises en demeure effectuées par l'ARCEP, les amendes imposées par l'ANFR et le recours aux juridictions privées font partie de ces outils. Les outils d'*enforcement* privé sont principalement des processus de coopération et de négociations privées entre agents. Le partage dynamique du spectre augmente les risques de brouillages. Par conséquent, une augmentation des coûts d'*enforcement* est à prévoir. Si le partage dynamique va dans le sens d'un échange marchand de droits de propriété entre les usagers, ce sont avant tout les coûts d'*enforcement* relatifs aux mécanismes d'ordre privé qui seront susceptibles d'augmenter.

#### **Les coûts de mal-adaptation, d'ajustement et de rupture du contrat**

Une fois le contrat passé entre deux agents économiques et l'émission de signaux enclenchée dans le cadre de partage d'une fréquence, il n'est pas impossible que des problèmes de brouillages apparaissent et/ou que des ajustements techniques soient à faire. Les termes du contrat devront alors être modifiés de façon à remédier aux problèmes auxquels les parties sont confrontées. Ces coûts de renégociation apparaissent donc *ex post* dès lors que des problèmes qui n'avaient pas été prévus *ex ante* apparaissent. Si le partage dynamique du spectre favorise les négociations marchandes entre les contractants, il est probable, en cas d'aléas imprévus, que les contractants tirent plus d'avantages en procédant à une renégociation privée. Dans une forme de gestion par l'autorité publique il faut attendre que l'autorité tranche, ce qui peut être coûteux en temps alors qu'une renégociation privée du contrat entre les parties

prenantes pourrait réduire une partie de ces coûts. Dans le cas où aucune solution n'émerge, le contrat peut être rompu. Cette rupture représente un coût pour les parties prenantes qui est d'autant plus important si des investissements spécifiques ont été faits.

### **Les coûts de traitement et de résolution des brouillages**

Les coûts de traitement et de résolution des brouillages font partie des coûts de transaction *ex post* les plus importants. L'incertitude liée à l'utilisation des fréquences rend difficilement prévisible tous les cas de figure même si des études techniques *ex ante* ont été effectuées. Ces études de faisabilité, représentent un coût *ex ante* mais elles peuvent réduire l'incertitude *ex post*, diminuant ainsi les coûts de résolution des brouillages. Elles sont importantes puisqu'elles permettent de négocier *ex ante* avant que des problèmes n'apparaissent. Toutefois, il est possible que l'incertitude perdure et que des brouillages ou autres aléas viennent perturber le bon déroulement de la transaction. Si le partage dynamique augmente ces risques de brouillages, il augmentera de ce fait leurs coûts de traitement et de résolution. Plusieurs éléments peuvent néanmoins diminuer ce risque dans un cas de partage dynamique comme par exemple la mise en place d'un droit modulable au brouillage ou la capacité des technologies d'accès dynamique au spectre à éviter les brouillages.

#### **1.2.1.3. Les coûts de transaction indirects**

Les coûts de transaction indirects forment une catégorie à part, puisque contrairement aux coûts de transaction *ex ante* et *ex post*, ils ne sont pas liés à une transaction particulière mais concernent l'ensemble des transactions. Ces coûts sont le résultat de conditions institutionnelles mises en place pour assurer les transactions [North, 1990].

Ménard [2004, p.23] identifient trois sources principales des coûts de transactions indirects:

- les coûts des dispositifs techniques et socio-économiques nécessaires à la mise en relation des parties lorsque les transactions et le nombre d'intervenants sont élevés ;
- les coûts de production d'informations sur les caractéristiques des biens et des services ;
- et les coûts liés à la création d'institutions nécessaires au bon déroulement des transactions et au bon comportement des acteurs.

Dans le cas d'un partage dynamique du spectre le coût des bases de données est un coût de transaction indirect à la fois nécessaire à la mise en relation des parties et permettant la production d'informations sur le bien spectral.

#### **Le coût des bases de données**

Les bases de données représentent les coûts de production d'information sur les caractéristiques des fréquences et des titulaires. Plus le nombre de demandeurs augmente, plus les dispositifs de coordination se complexifient et coûtent cher. Dans le cas d'une utilisation partagée, les bases de données sont un outil indispensable et représentent un des coûts

d'organisation et de fonctionnement de la structure de gouvernance. L'augmentation de certains coûts de transaction peut se justifier dès lors qu'ils résolvent certaines défaillances du marché, en l'occurrence les brouillages préjudiciables. Les bases de données, même si elles sont coûteuses, permettront de centraliser de nombreuses informations sur l'état de l'utilisation des fréquences contribuant ainsi à améliorer l'accès au spectre et à réduire des coûts de recherche d'information<sup>159</sup>.

### **Les coûts de contrôle et résolution des conflits *ex post***

Les coûts de contrôle et de résolution des conflits *ex post* sont représentés par les coûts que génèrent la création et l'utilisation des institutions nécessaires à la réalisation de transactions efficaces de spectre. La mise en place de forces de contrôle du spectre (« police du spectre ») fait partie de ces coûts. En France, une partie de ces coûts est représenté par les coûts de fonctionnement de l'ANFR qui joue le rôle de coordinateur technique et de contrôleur du spectre. L'ANFR est chargée de veiller, par délégation de l'affectataire, à ce que l'utilisation des fréquences soit conforme aux procédures réglementaires. Elle est également chargée de traiter les plaintes en brouillage. Ainsi, sa mise en place, tout comme celle des lois et des tribunaux, constitue une source de coûts nécessaire à la bonne réalisation des transactions. Le partage dynamique du spectre appelle à un renforcement des moyens de police du spectre [Toledano, 2014], contribuant ainsi à augmenter les coûts de transactions indirects.

\*  
\*      \*

Nous venons de décrire l'ensemble des coûts de transaction spécifiques à un transfert de droits de propriété du spectre lorsque l'usage est statique. Le partage dynamique aura un impact positif ou négatif sur chacun de ces coûts. Le tableau 20 récapitule les différents coûts de transaction et l'impact du partage dynamique sur le type et l'intensité de ces coûts. Toutefois, il est difficile d'estimer l'ampleur de cet impact puisque le partage dynamique est encore au stade expérimental.

<sup>159</sup> Dans le chapitre II, nous avons déjà souligné que pour améliorer l'efficacité du marché secondaire, l'outil manquant était un espace numérique centralisant les informations nécessaires à l'échange de fréquence.

**Tableau 20 : Impact du partage dynamique sur les coûts de transaction**

Coûts de Transaction	Impact du partage dynamique sur la baisse des coûts
<i>Direct ex ante</i>	
Les coûts liés à l'acquisition et à la recherche d'une fréquence, d'un partenaire	Les technologies intelligentes permettent de détecter les fréquences disponibles (baisse des coûts)
Les coûts des dispositions préventives : - les coûts liés aux simulations d'impact - les coûts de communications sur les risques de brouillages	Le partage du spectre augmente les risques de perturbations. Plus il y a d'utilisateurs, plus les études de faisabilité sont complexes (augmentation des coûts)
Les coûts de concertation, de négociation et de rédaction des clauses contractuelles	Les bases de données et autres logiciels peuvent aider à la négociation (baisse des coûts possible)
<i>Direct ex post</i>	
Les coûts d' <i>enforcement</i>	Les bases de données et autres logiciels peuvent aider à la mise en œuvre des droits (baisse des coûts possible)
Les coûts de mal adaptation, d'ajustement et de rupture du contrat	*
Les coûts de traitement et de résolution des brouillages	*
<i>Indirects</i>	
Le coût des bases de données	Les outils de partage ont un coût (augmentation des coûts de transaction indirects)
Le coût de contrôle et de résolution des conflits <i>ex post</i>	Le partage dynamique nécessitera une augmentation des moyens de contrôle et de police du spectre

\* : *pas d'impact ou difficile à évaluer ex ante*

*A priori*, l'usage de base de données et de technologies cognitives devraient avoir un impact positif sur l'accès aux fréquences et sur la recherche de partenaires en abaissant les coûts de transaction et en permettant que l'espace des transactions possibles soit le plus vaste possible. Cette technologie permettrait en quelque sorte d'apporter de la liquidité à ce marché d'usage des fréquences. Par ailleurs, en s'adaptant de manière autonome à leur environnement, les technologies « radios intelligentes » pourraient baisser les coûts de transaction en évitant ou en réglant en temps réel les problèmes de brouillages.

### 1.2.2. La source des coûts de transaction

Les agents procèdent à des transactions au sein de structures de gouvernance. Ces structures ont vocation à minimiser les coûts liés aux transactions. Dès lors, pour juger de l'efficacité d'un mode de gouvernance, il convient de mesurer les coûts de transaction générés par celui-ci. Mais la quantification des coûts de transactions n'est pas un exercice facile et la difficulté à estimer ces coûts fait l'objet de vives critiques<sup>160</sup>. Toutefois, même lorsqu'il est possible d'évaluer précisément ces coûts, la complexité de l'exercice ne permet pas d'évaluer parfaitement l'efficacité d'un mode de gouvernance sur un autre. Parfois, il est même tout

<sup>160</sup> Ménard [2001] discute des problèmes de méthode au sein du programme néo-institutionnel.

simplement impossible d'estimer ces coûts, soit parce que les informations accessibles ne le permettent pas, soit parce que le mode de gouvernance n'existe pas encore. Dans ce cas, Williamson [2008] propose une grille d'évaluation fondée sur les grandeurs étant à la source des coûts de transaction.

Dès lors, pour déterminer la structure de gouvernance la plus efficace, il convient dans un premier temps de comprendre d'où proviennent les coûts de transaction de façon à pouvoir les minimiser. Les coûts de transaction résultent de la présence de risques contractuels qui proviennent à la fois des caractéristiques comportementales des agents économiques (1.2.2.1.) et des caractéristiques des transactions (1.2.2.2.).

### **1.2.2.1. *Les hypothèses comportementales***

Pour déterminer le mode de transaction il faut comprendre la manière réelle dont les agents prennent leurs décisions et agissent. Dans la théorie des coûts de transactions, la diversité des relations contractuelles s'explique par la diversité des transactions. Néanmoins chacune des relations contractuelles dépend des hypothèses comportementales retenues. Pour Williamson, l'hypothèse de rationalité limitée rend compte des comportements des agents et justifie leur opportunisme et la présence de coûts de transaction. En éclairant les aspects organisationnels et relationnels du dispositif de coordination des agents, les hypothèses comportementales expliquent ce qui rend les transactions plus ou moins coûteuses.

#### **(i) La rationalité limitée des agents**

Contrairement à la théorie économique classique où les acteurs de l'échange sont supposés agir de manière rationnelle (rationalité absolue), la nouvelle économie institutionnelle considère que les agents sont intentionnellement rationnels mais de façon limitée [Simon, 1961]. Un individu doté d'une rationalité limitée ne sera pas en mesure de prévoir et d'anticiper toutes les circonstances dans lesquelles la transaction se déroulera. Cette hypothèse admet que les agents économiques sont rationnels mais que leurs capacités à acquérir et traiter l'information est limitée. Plus l'environnement dans lequel ils agissent est complexe et incertain, plus il devient difficile pour eux de prendre des décisions optimales.

Par exemple, supposons que deux agents désirent se partager une bande de fréquence: l'utilisateur primaire, pour tirer un revenu de cette transaction, et l'utilisateur secondaire, pour accéder au spectre. Le transfert de droits de propriété n'étant pas forcément instantané, les deux parties vont négocier et établir les termes du contrat. Si la transaction s'inscrit dans la durée (c'est-à-dire si les acteurs souhaitent se partager une fréquence à long terme), les acteurs rationnels, de façon limitée, ne seront pas en mesure d'anticiper tous les cas de figure. Cette hypothèse de rationalité limitée de l'agent joue d'autant plus que le contexte est incertain et que la transaction s'étale dans le temps, puisqu'il deviendra de plus en plus difficile pour l'agent d'anticiper les situations futures. La rationalité limitée influe de ce fait sur les formes

contractuelles. Si les agents sont dans l'incapacité de prévoir les situations futures possibles, ils vont mettre en place des contrats incomplets. À l'inverse, dans un marché en temps réel pour un accès de court terme, voire très court terme au spectre, les aléas imprévus ont moins de chance de se produire, le problème de la rationalité limitée aura alors moins de conséquences.

**(ii) L'opportunisme des agents**

L'hypothèse comportementale d'opportunisme des agents induit un risque de comportement stratégique qui rend la transaction plus coûteuse. En effet, si les contractants recherchaient l'intérêt commun ils pourraient coopérer pour renégocier leur accord dans le cas de situations imprévues, et se coordonner pour maximiser les bénéfices partagés de leur transaction. Toutefois, la théorie des coûts de transaction présuppose que les acteurs économiques sont aiguillés par la recherche de leur intérêt personnel. Par opportunisme, Williamson entend donc une recherche d'intérêt personnel qui comporte la notion de tromperie. C'est-à-dire que l'agent à la recherche de son propre intérêt sera susceptible de retenir de l'information et de ne pas donner à son cocontractant les renseignements utiles. Dès lors, dans une transaction, certains agents disposeront de davantage d'informations que les autres sur l'objet de la transaction.

Dans le cas d'un partage d'une fréquence par exemple, l'utilisateur secondaire dispose de moins d'information que l'utilisateur primaire déjà en place. L'utilisateur primaire en fonction de ses intérêts peut divulguer des informations incomplètes. Comme il est difficile, voire impossible, d'obtenir les informations exactes sur l'utilisation d'une fréquence lorsque l'on n'est pas propriétaire de celle-ci, ce type de comportement peut être difficile à détecter.

Par ailleurs, plus la transaction se déroule dans la durée, plus le risque de voir évoluer le contexte est grand. De ce fait, suite à une évolution, les termes d'un contrat peuvent s'avérer défavorables à un des cocontractants, qui ne sera finalement plus incité à se comporter pour que le contrat soit bien exécuté. Cette hypothèse est donc au cœur des relations entre les acteurs économiques qui effectuent une transaction pour laquelle ils doivent concevoir un contrat. Cette hypothèse est fondamentale car elle implique que les contrats doivent tenir compte d'éventuels comportements opportunistes. Cet opportunisme *ex ante* est dénommé sélection adverse. L'autre forme d'opportunisme *ex post* est connue sous le terme de risque moral. Ce risque de comportement opportuniste va conduire les partenaires à se protéger lors de l'élaboration de contrats. En particulier, lorsque le transfert de droits concernera un accès au spectre à long terme, les utilisateurs devront définir des clauses de sauvegarde pour protéger et garantir leur relation. Ces clauses permettent ainsi de limiter l'incertitude comportementale, mais si elles s'avèrent insuffisantes, une renégociation ou une rupture de contrat entre les partenaires peut être envisagée, ce qui génèrera également des coûts.

### 1.2.2.2. *Les attributs des transactions*

La diversité des usages et des usagers ayant des besoins différents en spectre diversifient les caractéristiques transactionnelles. Pour Williamson, les transactions varient en fonction de trois éléments : la spécificité des actifs, l'incertitude comportementale, et la fréquence des transactions. Ces trois éléments constituent les attributs de la transaction. Avec les hypothèses comportementales, ils permettent d'expliquer pourquoi certaines transactions sont coûteuses.

#### (i) La spécificité des actifs

La spécificité des actifs est une des notions centrales de la théorie des coûts de transaction. Un actif spécifique représente un investissement durable avancé par un agent économique souhaitant réaliser une transaction, lequel ne peut être redéployé sans perte de valeur productive en cas d'arrêt prématuré du contrat [Williamson, 1991, p.281]. S'il y a une rupture de contrat, s'en suit alors une perte de valeur productive (perte due aux coûts irrécupérables). Le degré de spécificité des actifs varie en fonction du coût de redéploiement des actifs (matériels et immatériels) engagés dans la transaction. On considère qu'un actif déterminé est spécifique dès lors qu'il doit être articulé avec un autre actif particulier pour être productif.

« Un actif est spécifique lorsque sa productivité dépend d'une articulation harmonieuse de son usage avec celui d'un autre facteur de production déterminé ; ou lorsqu'il s'avère que pour certains agents, sa valeur d'usage est supérieure à sa valeur d'échange. » [Brousseau, 1989, p.129].

La notion de spécificité d'un actif est liée à celles de complémentarité et de redéployabilité. Plus les actifs sont complémentaires et faiblement redéployables plus ils sont spécifiques. Par ailleurs, plus le degré de spécificité des actifs est élevé, plus les parties à la transaction seront liées. Dès lors, dans le cas d'actifs spécifiques, la transaction n'est pas anonyme et ne peut pas être instantanée puisqu'un lien de dépendance entre les deux parties se crée. Combinée aux hypothèses comportementales, la spécificité des actifs intensifie les problèmes contractuels.

Pour Williamson le degré de spécificité des actifs s'évalue en fonction de la production et de la transaction<sup>161</sup>. Le spectre n'a pas besoin d'être produit. Néanmoins nous avons vu dans le chapitre I que c'était un bien dépendant de la technologie et que l'usage du spectre nécessite des investissements spécifiques dans d'autres facteurs de production puisque les deux sont complémentaires. Par ailleurs, si les droits de propriété sur le spectre ne sont pas transférables,

<sup>161</sup> Williamson définit cinq types de spécificité dans une transaction : (i) la spécificité de site concerne les investissements engagés non redéployables relatifs aux coûts d'installation et de localisation pour la production (ex : implantation d'une usine près d'un fournisseur) ; (ii) la spécificité des actifs physiques concerne les investissements dans des actifs qui répondent à une transaction (ex : achat de machines) ; (iii) la spécificité des actifs humains représentent les dépenses d'apprentissage ou de formation nécessaire à une transaction ; (iv) les actifs dédiés sont les investissements réalisés pour répondre à un client spécifique et qui ne pourront être redéployés pour un autre ; et (v) la spécificité temporelle représente la nature de la transaction. Par exemple lorsque les transactions se font en temps réel elles nécessitent une coordination technique et une synchronisation des actions.

ou s'ils sont trop complexes, alors ils ne seront pas redéployables, voire très faiblement. Nous montrons qu'en fonction des caractéristiques de la transaction, le degré de spécificité des actifs peut potentiellement varier.

### *La spécificité des actifs physiques*

La spécificité des actifs physiques concerne les investissements dans des actifs qui répondent à une transaction. Dans notre cas, comme le spectre seul ne sert à rien, les utilisateurs sont obligés d'investir dans d'autres actifs pour qu'il soit productif. En fonction de l'utilisateur et du service que celui-ci souhaite fournir, la spécificité des actifs physiques pour une transaction peut être élevée. Dans le cas d'une industrie de réseau comme celle des communications mobiles, les investissements (infrastructures et technologies spécifiques<sup>162</sup>) sont longs à mettre en place et surtout lourds en capitaux. Par exemple, les montants investis dans les réseaux aux États-Unis ont représenté 330 milliards de dollars sur la période 1985-2010<sup>163</sup>. En France, les opérateurs de télécommunication ont investi en 2013 près de 7,2 milliards hors acquisition de fréquences, soit un montant équivalent à celui observé en 2011 (7,2 milliards d'euros) et 2012 (7,3 milliards d'euros) [ARCEP, 2014a]. Le tiers de ce montant est relatif aux investissements réalisés dans le haut et très haut débit mobile (3G et 4G).

Pour un contractant, ces investissements varient en fonction de la bande de fréquences sur laquelle reposent les droits d'établir une infrastructure, d'émettre, de recevoir sans brouillages ou de fournir un type particulier de services. En effet, comme les fréquences basses (inférieures à 1 GHz) permettent une meilleure propagation des signaux, le coût de l'infrastructure pour déployer un réseau haut débit sans fil, en zone rurale par exemple, est moins élevé en bande basse qu'en bande haute. Le surcoût d'équipement provient du nombre d'antennes à déployer<sup>164</sup>. Cette particularité rend l'actif encore plus spécifique puisque les investissements engagés dépendront de la bande considérée. La figure 15 illustre cette différence de dépenses d'investissement de capital (CAPEX) entre les fréquences basses et hautes. Si la transaction de droits d'usage se fait sur la bande 800 MHz, les opérateurs auront moins d'investissements à faire que si ces droits portaient sur la bande 2100 MHz. À l'inverse, si la transaction de droits d'usage concerne la bande 2600 Mhz, les investissements engagés seront plus importants que ceux engagés sur une bande basse. Cette variation d'investissements engagés pour une transaction augmente le degré de spécificité de l'actif.

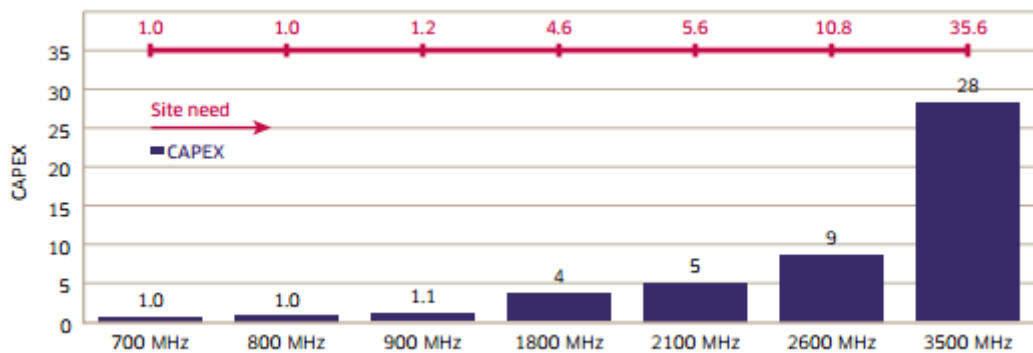
---

<sup>162</sup> Les antennes radioélectriques font parties de la spécificité des actifs physiques. Les technologies et les infrastructures vont dépendre de la bande de fréquence utilisée et du service que l'opérateur souhaite offrir, c'est pourquoi elles sont considérées comme des actifs non redéployables pour l'exploitation d'autres fréquences et la fourniture d'autres services.

<sup>163</sup> [http://files.ctia.org/pdf/CTIA\\_Survey\\_Year\\_End\\_2010\\_Graphics.pdf](http://files.ctia.org/pdf/CTIA_Survey_Year_End_2010_Graphics.pdf)

<sup>164</sup> En revanche, une fois que les antennes sont déployées le surcoût pour changer de technologies (passage de la 2G à la 4G par exemple) est relativement faible puisqu'il suffit de changer les paramètres de l'antenne.

Figure 15 : Nombre de sites/CAPEX en fonction des fréquences



Source : Alcatel Lucent [2014]

Concernant les transactions liées à l'industrie de la téléphonie mobile, une autre spécificité d'actif peut également être prise en compte : la spécificité d'actif de service public [Yvrande-Billon, 2002]. Dans le cas d'une industrie de réseaux comme l'industrie de téléphonie mobile, les transactions peuvent être dotées de caractéristiques spécifiques liées à la prise en compte d'impératifs d'intérêt général comme l'aménagement et la couverture du territoire<sup>165</sup>.

Ces deux spécificités favorisent la mise en place de droits d'accès au spectre de long terme afin d'éviter que les investissements engagés deviennent non recouvrables et conduisent à des coûts très élevés en cas de rupture dans l'accès au spectre. Dans le cas des licences mobiles, le niveau de spécificité des actifs est élevé. Toutefois, il existe des transactions de droits d'usage pour lesquelles la spécificité des actifs physiques peut être faible. Parmi l'ensemble des droits pouvant être transférés, il existe le droit de fournir un service spécifique, ou de transmettre une information sur une fréquence et une zone géographique particulière, qui n'engage pas forcément de lourds investissements. C'est par exemple le cas des liaisons temporaires de vidéo-reportage par satellite. Ainsi, en fonction du service et de la bande considérée, le degré de spécificité des actifs physiques sera plus ou moins important.

Dans le cas d'un partage du spectre, des outils spécialisés tels que les bases de données par exemple, sont requis pour permettre la transaction. Ces actifs spécifiques engendrent des coûts d'investissement. L'actif physique concerne ici les équipements nécessaires à la transaction dans le cadre d'un partage. Le degré de spécificité des actifs désigne alors le coût de redéploiement des actifs engagés dans une transaction, et en fonction de ce degré de spécificité, la transaction ne sera pas organisée de la même façon.

<sup>165</sup> Dans le cas des licences de téléphonie mobile, c'est la procédure contractuelle par voie concurrentielle (enchère ou soumission comparative) qui a été retenue pour ce service d'intérêt général. D'après l'article 42-1 du CPCE l'autorisation d'utilisation des fréquences doit être attribuée dans des conditions objectives, transparentes et non discriminatoires et doit tenir compte des besoins d'aménagement du territoire. C'est l'ARCEP qui assigne aux opérateurs et aux utilisateurs les fréquences nécessaires à l'exercice de leur activité.

### ***Les actifs dédiés***

Un actif dédié est un investissement réalisé pour répondre à un partenaire spécifique et qui ne pourra pas être redéployé pour un autre. Dans le cas d'une transaction pour le transfert de droits de propriété sur une fréquence, la spécificité des actifs dédiés concerne la coordination [De Vany, 1998 ; Epstein, 2007]. La coordination de l'utilisation du spectre est indispensable pour éviter tout brouillage préjudiciable. Cette coordination a un coût et se fait à plusieurs niveaux (cf. Chapitre I). Les perturbations, bruits et brouillages dans le spectre nécessitent une coordination qui caractérise la spécificité d'actifs dédiés.

Dans le cas d'un transfert de droits de propriété sur le spectre, il est nécessaire de faire des études de faisabilité technique afin de définir les paramètres techniques d'utilisation qui permettront d'éviter les brouillages préjudiciables entre les différentes parties. Ces études de faisabilité dépendent de l'utilisateur concerné, des équipements qu'il détient et du service qu'il souhaite mettre en œuvre. Leur coût est non négligeable. Elles représentent donc un actif spécifique à la transaction.

Ainsi, le coût des études de faisabilité pour un partenaire particulier, la complémentarité entre les fréquences et la technologie, et le degré de redéployabilité des droits conditionnent le degré de spécificité des actifs. Pour certaines transactions, les parties prenantes devront investir dans des actifs dédiés (études de faisabilité technique) et dans des actifs physiques conçus pour pouvoir opérer dans la bande de fréquence considérée (émetteurs/récepteurs conçus pour utiliser une bande de fréquences précise). Lors d'un réaménagement de fréquences, on mesure l'importance de ces actifs physiques. Lorsqu'un acteur économique est délocalisé sur une autre bande, il est généralement obligé de changer son parc technologique afin que ses équipements fonctionnent sur la nouvelle fréquence. Dans la plupart des cas, ces actifs physiques ne peuvent pas être recyclés sans coûts après un transfert de droits de propriété.

Toutefois, certaines transactions peuvent être moins sensibles aux aspects techniques. Pour ces transactions, il n'est pas nécessaire de faire des études de faisabilité techniques. Par ailleurs, elles nécessitent peu d'investissement. C'est par exemple le cas des transactions portant sur une sous bande réduite pour un accès de court terme au spectre et pour fournir un service qui ne demande pas de lourds investissements.

#### **(ii) Le niveau d'incertitude**

A côté de la spécificité des actifs, les transactions doivent également être analysées en fonction du niveau d'incertitude et de la fréquence des transactions [Williamson, 1994]. L'incertitude est la seconde variable de la transaction qui fait varier les coûts de transaction et qui influe sur la manière d'organiser les transactions. Williamson [2002] définit l'incertitude comme les perturbations auxquelles sont sujettes les transactions. Plus le niveau d'incertitude est élevé, plus les coûts engagés *ex post* pour pérenniser la transaction risquent d'être élevés. Selon

L'auteur l'incertitude peut être comportementale en raison de la rationalité limitée et de l'opportunisme des agents, ou peut provenir de perturbations exogènes impossibles à prévoir.

Concernant l'utilisation du spectre, l'incertitude est un des problèmes principaux auquel tous les acteurs doivent faire face. En effet, à côté du problème d'asymétrie d'information précédemment évoqué, il y a un phénomène beaucoup plus fort qui est celui de l'information limitée. Ce manque d'information, extérieur à la rationalité limitée des individus ou à d'éventuels comportements opportunistes des agents, est tout simplement lié au fait qu'aucun acteur n'est capable de prédire exactement le niveau et la nature des brouillages qui surviendront une fois l'émission de signaux enclenchée. Cette incertitude permanente dans le spectre influe sur le mode d'organisation des transactions, sur les choix contractuels, mais influence également la valorisation du spectre par les acteurs.

Gatignon et Anderson [1988] considèrent que le risque supporté par la firme qui investit est également une autre dimension de la spécificité des actifs à côté de celles définies par Williamson. Lorsqu'un investissement se produit en situation de risque, la firme peut perdre son investissement. L'incertitude dans l'utilisation du spectre est à l'origine de ce risque. Lorsque la coordination entre les parties prenantes et les parties extérieures à la transaction (parties en bande adjacente susceptibles d'être brouillées) n'est pas efficace, le risque supporté par la firme qui investit s'intensifie.

Finalement, le spectre est un bien d'expérimentation, c'est-à-dire que l'on ne connaît sa valeur qu'une fois que l'on a expérimenté le service<sup>166</sup>. L'incertitude est donc source de coûts de transaction et la nature du bien spectral ne fait qu'accentuer ce problème. Seulement, plus l'incertitude est élevée, plus la transaction est coûteuse. De ce fait, dans un contexte d'incertitude, les agents dotés d'une rationalité limitée sont dans l'incapacité de prendre en compte toutes les probabilités d'apparition d'un événement dans les relations d'échange. Certains événements imprévisibles et comportements opportunistes nécessitent de se contenter de contrats incomplets. L'objectif est alors d'adopter la forme organisationnelle qui permet d'atténuer ces problèmes.

### **(iii) La fréquence des transactions**

La fréquence d'une transaction renvoie au nombre de transactions dans une période donnée. Si les transactions sont fréquentes et les actifs hautement spécifiques, la structure de gouvernance de la transaction ne sera pas la même que dans le cas d'une transaction unitaire avec un faible degré de spécificité. La fréquence des transactions est également une source de coûts de transaction [Williamson, 1985].

Le tableau 21 synthétise les attributs décrits dans le cas étudié.

---

<sup>166</sup> La notion de bien d'expérimentation a été développée par [Nelson, 1970].

**Tableau 21: Synthèse des attributs des transactions**

Attributs des transactions		
Spécificité des actifs	Spécificité des actifs physiques	Investissements dans les infrastructures et technologies spécifiques
	Spécificité des actifs dédiés	Etudes de faisabilité, expérimentations
	Spécificité d'actif de service public	Aménagement et couverture du territoire
Niveau d'incertitude		Information limitée Impossibilité de prédire <i>ex ante</i> le niveau et la nature des brouillages tant que l'émission des signaux n'a pas commencé
Fréquence des transactions		Nombre de transactions (dépend de la complexité de la transaction)

### 1.3. Les caractéristiques contractuelles et dispositifs de coordination des utilisateurs

Les ressources engagées pour faire un transfert de droits de propriété sur le spectre réduisent le gain potentiel que les parties (le titulaire de la bande et celui qui souhaite accéder au spectre) peuvent retirer de la transaction. Le type de contrat passé entre les agents et le mode de coordination choisi pour la transaction seront primordiaux. Le choix du contrat efficace dépendra des attributs des transactions que nous venons de mentionner mais également des dispositifs permettant leur mise en œuvre. Concernant les transactions de droits d'usage sur la ressource spectrale nous venons de voir que celles-ci varient en fonction du type de droits transférés, des parties prenantes à la transaction, et du service fourni. Dès lors, comme les transactions sont hétérogènes, plusieurs formes contractuelles et modes d'organisation existent.

#### 1.3.1. Les quatre mécanismes de coordination

En fonction de la fréquence et de la spécificité des transactions, Williamson distingue quatre mécanismes de coordination différents en fonction de deux dimensions (cf. Tableau 22). Ces mécanismes sont une première réponse à notre volonté de déterminer le type de gouvernance efficace selon les spécificités de la transaction.

**Tableau 22 : Les mécanismes de coordination**

		Caractéristiques de l'environnement		
		Non spécifique	Mixte	Idiosyncrasique
Fréquence des transactions	Occasionnelles	Gouvernance de marché <i>Contractualisation classique</i>	Gouvernance trilatérale <i>Contractualisation néoclassique</i>	
	Récurrentes		Gouvernance bilatérale <i>Contractualisation</i>	Gouvernance unifiée <i>Evolutive</i>

Source : Williamson [1994, p.106]

La structure de gouvernance est le mode d'organisation dans lequel se déroule la transaction. Lorsque les utilisateurs (primaires et/ou secondaires) s'engageront dans une transaction dans le cadre d'un partage, ils noueront un contrat afin de définir les modalités de l'échange pour ce qui est du prix, de la spécificité des actifs et des garanties. La forme de la relation contractuelle dépend des caractéristiques de la transaction. Ainsi à chaque mécanisme de gouvernance correspond un type de contrat.

Les mécanismes de coordination proposés par Williamson reposent sur trois types de contrats, qui sont le contrat classique (contractualisation classique), le contrat néoclassique (contractualisation néo-classique) et le contrat personnalisé (contractualisation évolutive).

La **contractualisation classique** correspond à un contrat complet de court terme pour des transactions ponctuelles. Ces transactions sont les plus simples à réaliser et le marché est le mode de coordination le plus adapté aux besoins de la transaction. La coordination se fait par l'intermédiaire du mécanisme des prix puisqu'elles n'impliquent pas d'actifs spécifiques.

La **contractualisation néoclassique** devient nécessaire dans le cas où la contractualisation classique n'est plus adaptée en raison de l'incertitude. Ce contrat particularise les relations entre des agents non indépendants du fait de la spécificité des actifs engagés dans la réalisation de la transaction. Face à la dépendance des contractants, le marché seul ne suffit plus. La relation de moyen-terme et le degré d'incertitude nécessitent un contrat souple et incomplet permettant de s'adapter aux perturbations. Le contrat néoclassique est incomplet mais il définit les dispositifs de renégociation en cas d'aléas imprévus.

La **contractualisation évolutive** prend en compte les attributs de chacune des parties et met en œuvre des mécanismes d'ajustement spécifiques à la transaction. La contractualisation est dite évolutive car elle s'établit progressivement et elle est idéale dans le cas de relations de longue durée et complexes entre les parties.

Associés à ces types de contrat, Williamson définit quatre mécanismes de coordination, décrits ci-dessous.

La **gouvernance marchande** est théoriquement la plus efficace pour des transferts de droits qui ne requièrent pas d'investissements spécifiques et pour lesquels il y a peu d'incertitude. Seules les deux parties prenantes à la transaction interviennent.

La **gouvernance trilatérale** est théoriquement la plus efficace pour des transferts impliquant des actifs moyennement spécifiques et quand la fréquence des transactions est relativement faible. Ce mécanisme de coordination est associé à un contrat de moyen-long terme incluant des règles d'adaptation. Dans ce cas, des dispositifs de coordination et de contrôle plus puissants que ceux du marché sont attendus. Un tiers, détenant une légitimité

et un pouvoir d'expertise, intervient pour régler les conflits en cas de litige et protéger les engagements des contractants, jouant ainsi un rôle d'arbitre.

La **gouvernance bilatérale** est théoriquement la plus efficace pour des transferts impliquant des actifs spécifiques et dans le cas de transactions récurrentes. C'est une forme d'interaction bilatérale entre utilisateurs qui mettent en commun des informations de façon à trouver un accord de partage. Toutes les situations ne peuvent pas être décrites dans le contrat (contractualisation évolutive). Les parties prenantes restent autonomes mais elles ont un intérêt à se coordonner.

La **gouvernance hiérarchique** s'oppose au marché. Elle est adaptée dans le cas de transaction très spécifiques et de longue durée. Les utilisateurs sont dans une relation de subordination qui occulte toutes possibilités de négociations bilatérales entre les deux parties. Lorsque des perturbations apparaissent, la hiérarchie assure la résolution équilibrée des conflits.

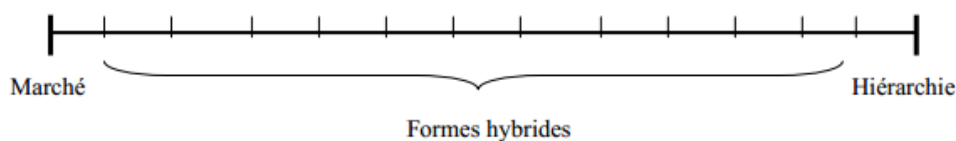
Les contrats et les mécanismes de coordination sont mis en place pour s'affranchir des aléas et des risques encourus lors du déroulement d'une transaction. Les contrats sont donc le résultat d'une interaction entre des acteurs. Ils doivent être construits de manière à réduire l'incertitude et les coûts de transaction inhérents.

L'application de l'analyse transactionnelle des contrats au cas du partage du spectre nous permet d'évaluer les différentes formes d'organisation d'un transfert de droits sur une bande de fréquences dans le cadre d'un partage, en fonction des modalités d'usage et de partage. Au vu de la diversité des utilisateurs et des usages du spectre, il semblerait que les différentes formes de gouvernance se révèlent plus complémentaires.

### 1.3.2. Les structures de gouvernance pour le partage du spectre entre utilisateurs primaires et secondaires

Les transactions sont encadrées par des structures de gouvernance qui viennent compléter le rôle des contrats dans la minimisation des coûts de transaction. La TCT retient trois modes de gouvernance : le marché, la hiérarchie, et entre ces deux se trouve une pluralité de structures de gouvernance hybrides (cf. Figure 16).

**Figure 16 : Continuum de possibilités de structures de gouvernance**



Dans une organisation par le marché, le système des prix assure la coordination entre les différents utilisateurs. Si l'organisation est de type hiérarchique, c'est-à-dire non négociée, la subordination sert de mécanisme de coordination. La subordination s'entend comme l'acte d'autorité et de commandement au sein de la structure. Les formes hybrides, quant à elles, combinent les deux mécanismes à savoir les prix et la sujétion. La vision dichotomique de l'attribution des ressources a tendance à ignorer l'existence de divers modes de coordination spécifiques alternatifs au marché et à la hiérarchie. Ces modes de coordination spécifiques sont ces formes hybrides situées entre le marché et la hiérarchie. Ménard [2004] les définit comme :

« Des arrangements institutionnels basés sur des contrats de long terme (ou de court terme automatiquement renouvelable) entre des partenaires qui maintiennent des droits de décision et de propriété distincts tout en acceptant une coordination partielle de leurs activités ou de leurs décisions » [Ménard, 2004, p.19]

On adapte à présent le cadre théorique précédent à la question du partage du spectre. **La thèse soutenue et démontrée ci-après est la suivante : lorsque le niveau d'incertitude est faible (usage de court terme) et le degré de spécificité des actifs est faible, le mode de coordination le plus adapté au besoin de la transaction est la gouvernance marchande.** À l'inverse, dès lors que le degré de spécificité est élevé et que l'incertitude est forte, un mode de coordination plus élaboré que le seul marché sera nécessaire. Ici nous ne faisons pas l'hypothèse qu'un mode de gouvernance prime sur un autre, par contre nous considérons que l'attribution et le transfert de droits de propriété sur le spectre dans le cadre d'un partage donnera lieu à différentes relations contractuelles en fonction des caractéristiques transactionnelles. Dès lors, nous montrons qu'il existe **une complémentarité entre les différentes formes de gouvernance.** L'objectif est d'évaluer les formes d'organisation que les utilisateurs primaires et secondaires vont potentiellement retenir pour se coordonner. La forme contractuelle, le mécanisme de coordination, et la structure de gouvernance retenus, dépendront des caractéristiques transactionnelles et donc du type de partage. En appliquant le cadre théorique de la théorie des coûts de transaction et en assimilant la hiérarchie à la forme de « commandement » dans le cas de l'attribution au spectre, on comprend mieux la diversité des modèles d'attribution dans le spectre.

Dans cette optique, l'analyse qui suit recense les différents modes de gouvernance pouvant être envisagés en fonction des caractéristiques transactionnelles, expliquant en partie leur coexistence dans le système actuel.

#### **1.3.2.1. Le modèle ouvert**

Dans le cas du spectre sans licence il n'y a pas de négociations possibles entre les parties. Cette structure serait théoriquement adaptée à un partage opportuniste du spectre. Ce type de partage est particulier puisque qu'aucun contrat de partage n'est mis en œuvre. C'est-à-dire qu'il y aura des interactions entre des utilisateurs primaires, détenant un ensemble de droits de

propriété sur certaines fréquences et des utilisateurs secondaires qui pourront accéder à ces fréquences en tant qu'utilisateurs opportunistes. En autorisant des utilisateurs secondaires à accéder aux bandes de fréquences d'utilisateurs primaires, un transfert de droits se fait entre les deux types d'utilisateurs (droit de brouiller, droit *overlay*, ou droit *underlay* par exemple). Cette forme de coordination sera adaptée à des cas de partage qui ne permettront pas de conclure un accord individuel avec chacun des utilisateurs secondaires. Dans ce cas, le mode de coordination reposera essentiellement sur la **mise en œuvre de dispositions *ex ante***.

Cette forme de coordination est utilisée lorsqu'il est impossible pour l'utilisateur de conclure un accord avec chacun des utilisateurs secondaires. Dans le cas d'un partage restrictif entre un utilisateur primaire et un utilisateur secondaire, les deux parties prenantes peuvent déterminer le mode de coordination et la forme contractuelle qui leur conviendront le mieux. Mais lorsque le partage se fait entre un utilisateur primaire et une multitude d'utilisateurs secondaires, il est difficile d'établir des mesures de sauvegarde pour chacun. C'est pourquoi, ce mode de coordination qui repose essentiellement sur la mise en œuvre de dispositions *ex ante*, ne prévoit pas de mesures *ex post* permettant de surmonter des situations imprévues. La transaction reste soumise à diverses formes d'aléa et les utilisateurs secondaires qui accèdent au spectre ouvert n'ont pas de garantie de protection contre les risques de brouillages. L'utilisateur primaire définit pour se protéger des conditions *ex ante* en s'assurant que celles-ci le protégeront des brouillages si les acteurs les respectent.

On parle donc de partage opportuniste car il n'y a pas de clause de sauvegarde. Les utilisateurs secondaires n'ont pas un droit à la protection. Ce type de relation n'est rationnel que dans le cas où les coûts de mise en œuvre de la gouvernance des transactions dépassent les pertes engendrées par une mauvaise résolution de l'échange. Par exemple, dans le cas où des utilisateurs secondaires seraient autorisés à utiliser les espaces blancs de la télévision pour faire des communications de l'Internet des objets, il serait beaucoup plus coûteux pour les titulaires de la bande de négocier un accord de partage avec chacun des utilisateurs que d'autoriser un accès sans attributaire exclusif. Toutefois, l'efficacité de ce mode de coordination repose sur le bon comportement des utilisateurs secondaires et sur la fiabilité des dispositifs définis *ex ante*.

Dans ce type de relation, il est difficile en raison du nombre élevé d'utilisateurs secondaires de déterminer le responsable d'un brouillage. Dans ce cas, les dispositions *ex ante* doivent passer sur une réglementation de l'appareil<sup>167</sup>. Ce mécanisme de mise en relation n'est pas adapté à tous les usagers. Il correspondrait à un partage dynamique du spectre sans contrat (bande

---

<sup>167</sup> Pour le moment les parties prenantes au partage ne sont pas favorables à une relation de ce type. La première raison est due aux dispositions *ex ante* qui ne sont pas encore très bien définies. En l'occurrence, ces dispositions sont des normes que les utilisateurs secondaires devront respecter pour ne pas brouiller les utilisateurs primaires. Or techniquement, celles-ci ne sont pas encore prêtes mais sont pourtant indispensables pour opérer un transfert efficace. Deuxièmement, les utilisateurs primaires souhaiteraient que les équipements susceptibles d'émettre dans leur bande puissent être parfaitement localisés, et pour le moment ce point là n'est pas non plus spécifié dans la norme. Tant qu'une méthode n'est pas clarifiée pour localiser les utilisateurs secondaires, les usagers ne peuvent pas envisager un partage efficace du spectre.

ouverte, gratuite et sans attributaire exclusif avec usage des radios cognitives). Sous ce modèle, il n'y a pas d'engagement de qualité et pas de mécanismes de sauvegarde pour les utilisateurs secondaires.

La régulation technique est alors primordiale à l'efficacité de la structure. Les appareils utilisés par les utilisateurs secondaires devront tous respecter la norme et les niveaux de puissance spécifiés par le superviseur (puissance publique et/ou utilisateur primaire) de façon à respecter les utilisateurs en place, les utilisateurs secondaires étant dépendants des activités de l'utilisateur primaire.

### **1.3.2.2. Le contrat classique et le marché spot du spectre**

Dans le cas d'un partage, le contrat classique associé à la gouvernance de marché va permettre aux utilisateurs primaires et secondaires de se coordonner par l'intermédiaire des prix. La gouvernance marchande est adaptée à des transactions ponctuelles, sans incertitude, sans complexité et sans spécificité d'actifs. Les transactions qui ont lieu au sein de cette structure sont donc des transactions peu risquées. L'utilisateur primaire ne prend pas de risque à partager une partie de sa fréquence à très court terme. Dès lors, l'identité des utilisateurs importe peu, la relation est impersonnelle et le cadre juridique permet de régler les relations. Les contrats passés sont instantanés et spécifient *ex ante* l'ensemble des circonstances fortuites. Les agents s'entendent de manière autonome sur la renégociation de leur accord et se tournent vers les règles légales existantes et les tribunaux en cas de litiges. Dans ce cas, nous pouvons considérer le cas extrême du marché « *spot* », en temps réel du spectre, comme adapté aux transactions de droits de propriété entre des utilisateurs primaires et secondaires.

L'un des principaux attributs qui permet de distinguer la gouvernance marchande des autres est le niveau d'incitation au partage. Cette structure se met en place lorsque les utilisateurs primaires ont un intérêt à partager leur fréquence avec d'autres utilisateurs secondaires. **Cette structure de gouvernance est idéale lorsque les agents ont un intérêt mutuellement bénéfique au partage car elle leur permet de s'approprier les bénéfices de l'échange.** Les utilisateurs primaires et secondaires seront alors incités à réduire leurs coûts et à s'adapter efficacement en cas de perturbation. Le tableau 23 reprend les caractéristiques du contrat classique et les dimensions de la structure marchande.

Tableau 23 : Les caractéristiques de la gouvernance marchande

Contrat classique et gouvernance marchande			Exemples de partage dynamique
<b>Caractéristiques transactionnelles</b>	Horizon temporel de la relation	Partage de courte durée	Partage de court voire très court terme en temps réel Marché <i>spot</i> du spectre
	Incertitude	Faible	
	Fréquence des transactions	Elevée	
	Spécificité des actifs	Faible	
	Niveau de risque	Transaction peu risquée	
<b>Caractéristiques contractuelles</b>	Niveau d'incomplétude	Faible	
	Choix des partenaires	Indépendants	
	Moyen de coordination	Prix	
	Nature des relations	Précision, contrôle	
	Mode de résolution des conflits	Marchandage, procès	
<b>Dimensions de la structure</b>	Mode organisationnel	Décentralisé	
	Incitation au partage	Forte	
	Degrés de contrôle administratif	Faible	
	Capacité d'adaptation autonome	Forte	
	Capacité d'adaptation coordonnée	Faible	

Au regard des caractéristiques physiques des fréquences (cf. Chapitre I) et des différents usages découlant de l'usage de ces fréquences (cf. Chapitre II), la thèse développée ici est que ce mode contractuel ne sera pas une solution pertinente pour toutes les transactions. **Une gouvernance marchande sera propice à un partage du spectre de courte durée pour lequel les risques de brouillages et les investissements engagés seront faibles.** Dans le cas d'une transaction plus risquée et d'un partage de plus long terme, une structure hybride sera plus appropriée.

### 1.3.2.3. Les structures hybrides de gouvernance

Dans le cas où le partage n'est plus de très court terme mais qu'il se déroulera sur du moyen-long-terme, une relation de dépendance bilatérale s'instaurera entre l'utilisateur primaire et le(s) utilisateur(s) secondaire(s) qui se partageront une bande de fréquences. Les parties prenantes devront alors veiller à la continuité de leur relation en s'assurant de ne pas se brouiller. Les mécanismes de coordination et de contrôle du marché ne seront pas suffisants et les parties devront recourir à un arrangement contractuel qui leur permettra d'adapter leur relation de partage aux circonstances imprévues. Les utilisateurs pourront avoir recours soit à un contrat évolutif (gouvernance bilatérale) soit à un contrat néo-classique (gouvernance trilatérale) tous deux associés aux formes de gouvernance hybrides. Les formes hybrides sont des structures de gouvernance qui permettent d'assurer l'organisation d'une transaction, laquelle exige des mécanismes de coordination plus poussés que ceux du marché.

**(i) Le négoce de fréquence et la contractualisation évolutive**

En 2012, la Commission a proposé que les droits et les obligations des catégories d'utilisateurs engagés dans un partage soient définis dans le cadre de **contrats de partage de fréquence** [COM(2012) 478 final]. Le contrat de partage du spectre proposé par la Commission est un **contrat directement établi entre le titulaire actuel et un ou plusieurs nouveaux utilisateurs suite à des négociations directes entre les contractants**. Il correspondrait à des échanges de droits d'usage du spectre à travers une structure de gouvernance bilatérale. Dès lors, ces contrats de partage permettraient aux entreprises de négocier directement les conditions d'accès au spectre avec les utilisateurs titulaires, limitant de ce fait le rôle de l'administration gestionnaire des fréquences. Les utilisateurs primaires pourraient définir avec les utilisateurs secondaires les conditions de partage de la fréquence. L'utilisateur primaire pourrait alors retenir le contrôle *de jure* et *de facto*<sup>168</sup> sur les droits transférés, ou bien seulement le contrôle *de jure* en fonction des conditions de partage définies.

Le contrat de partage de fréquence tel que la Commission le propose, est la solution optimale dès lors le que partage entre utilisateurs primaires et secondaires est peu risqué. *A contrario*, lorsque celui-ci est soumis à des risques élevés de mauvaise coordination et à une forte incertitude, il y a un risque à procéder à une contractualisation bilatérale et la gouvernance trilatérale est dans ce cas plus adaptée. Dans le cas d'une gouvernance trilatérale, l'intervention d'une tierce partie conduit à établir un climat de confiance en contribuant à l'élaboration d'engagements crédibles, à l'amélioration de la performance et à un éventuel contrôle *ex post*. D'ailleurs, la Commission reconnaît que l'intervention d'un tiers puisse être dans certains cas nécessaire. Elle ajoute que pour faciliter la conclusion de contrat de partage, les régulateurs nationaux pourraient être chargés de jouer le « rôle de conseillers techniques impartiaux et d'enregistrer les conditions de ces accords » [COM(2012) 478 final].

**(ii) La gouvernance trilatérale et le contrat néoclassique**

Si le partage se fait dans la durée, les utilisateurs primaires et secondaires vont devoir négocier un contrat incomplet de façon à s'adapter aux aléas. Le contrat néo-classique est un contrat incomplet qui prend la forme suivante :

$$C = C(p, k, s)$$

**C** représente le contrat portant sur une transaction ; **p**, le prix ; **k**, le degré de spécificité des actifs impliqués, et **s** les clauses de sauvegarde [Williamson, 1991 ; Ménard, 1997]. Le contrat néoclassique se distingue par la continuité de la relation entre les deux partenaires dans le temps. Dès lors, ce type de contrat est toujours incomplet et doit assurer une certaine

<sup>168</sup> Le contrôle *de jure* est le contrôle de droit, c'est-à-dire inscrit dans les textes de loi, tandis que le contrôle *de facto* est le contrôle de fait, c'est-à-dire dans la pratique.

flexibilité pour surmonter les imprévus. Les agents doivent donc élaborer et rendre leurs engagements crédibles pour surmonter les aléas et incertitudes qui surviendront dans le temps. Pour Brousseau [2008, p.38] « les engagements ne peuvent être crédibles que si, en dernier ressort, le coût de non-respect des obligations est supérieur au coût d'exécution ». Parce que les brouillages dans le spectre affectent généralement les services des deux utilisateurs simultanément, on peut estimer que cette caractéristique joue en faveur de l'élaboration d'engagements crédibles. En effet, si un acteur ne respecte pas ses engagements il risque de perturber l'activité de son cocontractant en créant des brouillages nuisibles, et plus grande sera la probabilité qu'il se nuise également à lui-même en raison de la réciprocité de l'externalité négative. Par ailleurs, si les contractants font face à des investissements spécifiques pour réaliser une transaction (études de faisabilité technique pour la coordination par exemple), et si le service qu'ils fournissent est critique, ils souhaiteront se protéger des brouillages et assurer leurs investissements. Pour cela, ils peuvent mettre en place des **clauses de sauvegarde**. Ces clauses ont pour objectif d'assurer un minimum de sécurité aux contractants. En réduisant les risques de brouillages et en créant une confiance entre les partenaires, elles permettent aux parties prenantes à la transaction de s'adapter aux contingences imprévues [Williamson, 1996].

La seconde caractéristique d'un contrat néoclassique est le **recours à l'arbitrage d'un tiers**. Les transactions de droits d'usage sur les fréquences ne peuvent pas être considérées séparément puisque les risques de brouillage rendent celles-ci interdépendantes<sup>169</sup>. Dès lors, les négociations bilatérales deviennent compliquées puisqu'il ne suffit plus de définir clairement des droits de propriété et d'avoir de faibles coûts de transaction pour que la transaction soit efficace. Il devient également nécessaire de coordonner l'ensemble des transactions ce qui justifie l'intervention d'une tierce partie.

La tierce partie aide les deux parties prenantes à déterminer les conditions d'utilisation de la fréquence. La complexité du partage nécessite l'intervention d'un coordinateur technique qui interviendra également *ex post* pour aider à la résolution des brouillages. La structure hybride permet aux utilisateurs de garder une certaine autonomie de décision et de préserver ainsi leur incitation à partager la fréquence. Lorsque la transaction est risquée, l'intervention d'une tierce partie permet ainsi d'établir un climat de confiance et de favoriser le consensus entre les contractants.

La structure hybride dans la cadre du partage est donc une structure qui permet aux utilisateurs d'interagir et de mettre en œuvre un contrat de partage. Les utilisateurs détiennent chacun des informations essentielles à la bonne mise en œuvre du partage. Toutefois ces informations pouvant être critiques, les contractants ne souhaiteront pas les partager. Dès lors, l'intervention d'un tiers sera une condition essentielle à la bonne réalisation de la transaction. La forme hybride combine les avantages incitatifs du marché à des dispositifs de réduction des

---

<sup>169</sup> Le risque de brouillage en bande adjacente renforce cette interdépendance puisqu'une transaction entre deux parties prenantes peut affecter le bien être d'un agent économique extérieure à celle-ci.

comportements opportunistes [Williamson, 1991]. Le tableau 24 reprend les caractéristiques transactionnelles, contractuelles et les attributs de la structure dans le cas d'une forme hybride que nous considérons adaptée à des échanges de spectre sur des durées de moyen-terme et pour lesquels l'incertitude sur la transaction n'est pas nulle.

**Tableau 24 : Les caractéristiques de la forme de gouvernance hybride**

Contrat néo-classique et gouvernance hybride			Exemples de partage dynamique
<b>Caractéristiques transactionnelles</b>	Horizon temporel de la relation	Partage sur du moyen-terme	Partage entre utilisateurs gouvernementaux et commerciaux
	Incertitude	Moyenne	
	Fréquence des transactions	Occasionnelle	
	Spécificité des actifs	Moyenne	
	Niveau de risque	Transaction risquée	
<b>Caractéristiques contractuelles</b>	Niveau d'incomplétude	Moyen	
	Choix des partenaires	Interdépendants	
	Moyen de coordination	Relations interpersonnelles	
	Nature des relations	Bénéfices mutuels, confiance	
	Mode de résolution des conflits	Marchandage, recours à une tierce partie	
<b>Dimensions de la structure</b>	Mode organisationnel	Coordonnée	
	Incitation au partage	Moyenne	
	Degrés de contrôle administratif	Moyen	
	Capacité d'adaptation autonome	Moyenne	
	Capacité d'adaptation coordonnée	Moyenne	

Les formes hybrides que ce soit la gouvernance bilatérale ou la forme trilatérale détaillée dans le tableau ci-dessus seront adaptées à des cas de partage et d'échange entre un utilisateur primaire et un utilisateur secondaire. Toutefois, si l'incertitude entourant la transaction s'intensifie et devient plus risquée, les utilisateurs primaires seront beaucoup moins incités à partager leur fréquence. Il sera alors nécessaire de recourir à un système d'incitation hiérarchique qui permettra à l'utilisateur de décider unilatéralement des conditions de partage.

#### **1.3.2.4. Le contrat de subordination et la structure de gouvernance hiérarchique**

La gouvernance hiérarchique sera préférable lorsque les coûts de négociations entre de multiples utilisateurs deviendront trop coûteux pour que le choix d'une gouvernance marchande soit efficace et faisable. Dans ce cas, une gouvernance hiérarchique est préférable pour permettre les transactions. La forme hiérarchique laisse à un « superviseur » le soin et le pouvoir de fixer les conditions de partage. La transaction ne donne alors pas lieu à la négociation et l'utilisateur primaire et les utilisateurs secondaires sont enfermés dans une

relation de subordination. Les parties prenantes à la transaction se coordonnent par l'intermédiaire d'un contrat de subordination, plus flexible que le contrat néo-classique, car doté d'une forme de commandement. Ainsi, lorsque des perturbations apparaissent le superviseur sera en mesure de rendre des décisions de façon unilatérale pour résoudre le conflit.

La définition des conditions de partage serait confiée à l'utilisateur primaire, sous le contrôle de la puissance publique. Les mesures de sauvegardes seraient définies par l'utilisateur primaire et l'utilisateur secondaire serait soumis aux ordres de l'utilisateur primaire qui lui dicterait comment utiliser la ressource et la partager. Pour Ménard [2003] ce mode de gouvernance permet de surmonter les difficultés de contractualisation liées à l'existence d'incertitude qui ne permet pas de négocier un contrat complet *ex ante*.

« L'idée que pratiquement tous les contrats sont incomplets conduit naturellement à l'exigence d'une analyse approfondie des dispositifs de coordination complémentaires aux accords contractuels (même implicites), par exemple les formes que prennent le « commandement » dans la création et l'allocation des ressources » Ménard [2003, p.105].

La forme de « commandement » peut donc se justifier dans le cas d'un degré élevé de spécificité des actifs et d'une forte incertitude, lesquels ne permettent pas de construire des contrats complets. Il y a dans une forme hiérarchique une asymétrie des droits de propriété [Ménard, 1997], le superviseur contraint les actions des parties prenantes pour le bon déroulement de la transaction. L'incertitude est trop forte pour que l'autonomie des parties soit conservée.

Le tableau 25 reprend les types de transactions qui pourront être organisées par une structure de gouvernance hiérarchique ainsi que les attributs de cette structure et du contrat de subordination.

**Tableau 25 : Les caractéristiques de la forme hiérarchique**

Contrat de subordination et gouvernance hiérarchique			Exemples de partage dynamique
<b>Caractéristiques transactionnelles</b>	Horizon temporel de la relation	Partage sur le long-terme	Partage complexe de long terme Partage risqué Partage mandaté
	Incertitude	Forte	
	Fréquence des transactions	Récurrentes	
	Spécificité des actifs	Moyenne	
	Niveau de risque	Transaction très risquée	
<b>Caractéristiques contractuelles</b>	Niveau d'incomplétude	Fort	
	Choix des partenaires	Dépendants	
	Moyen de coordination	Procédures	
	Nature des relations	Subordonnée	
	Mode de résolution des conflits	Décision unilatérale	
<b>Dimensions de la structure</b>	Mode organisationnel	Ordre	
	Incitation au partage	Faible	
	Degrés de contrôle administratif	Fort	
	Capacité d'adaptation autonome	Faible	
	Capacité d'adaptation coordonnée	Forte	

### 1.3.3. L'impact des technologies d'accès dynamique et l'altération des caractéristiques des transactions

Dans le futur, plusieurs innovations technologiques pourraient bien conduire à homogénéiser les transactions et modifier l'alignement des formes d'organisation des transactions. L'hypothèse faite dans le chapitre précédent était de dire qu'avec l'introduction de radios cognitives, **la forme hiérarchique dans l'attribution du spectre s'effacera au profit d'une forme d'organisation marchande. Nous expliquons les trois éléments qui sont en faveur de cette hypothèse.**

#### Des technologies de plus en plus autonomes

La première raison qui conduirait les propriétaires du spectre (utilisateurs primaires ou gouvernements) à relâcher leur contrôle sur l'usage de la ressource serait un usage intensif des technologies intelligentes. Dans un mode de partage dynamique et de réseaux de radio cognitifs, les décisions de partage ne seraient plus prises par les propriétaires du spectre mais par des serveurs capables de coordonner les transmissions et d'effectuer en temps réel les transactions de spectre entre les agents. Dans le système actuel statique, l'allocation du spectre se fait par les agences gouvernementales qui allouent les droits de propriété aux opérateurs

détenteurs de licence. Mais dans un système dynamique, l'allocation du spectre pourrait se faire à travers la technologie.

Les réseaux de radio cognitifs tendent à être des réseaux autonomes dont la principale caractéristique est l'autogestion. L'autogestion permet de rendre les systèmes informatiques moins dépendants des utilisateurs. L'intérêt de ces nouveaux émetteurs-récepteurs radios réside dans leur capacité à s'adapter et à modifier les paramètres de leurs transmissions (fréquence, puissance de transmission, modulation et protocoles) de façon à attribuer dynamiquement la bande passante. L'autre intérêt est d'assurer la protection des transmissions de l'utilisateur primaire. Dans ce cas, si les réseaux sont capables de s'autogérer et d'attribuer le spectre de manière autonome tout en évitant les brouillages, alors il y aura de moins en moins besoin de recourir aux administrations ou au propriétaire de la fréquence pour établir des études de faisabilité technique et achever la coordination. Ainsi, **les actifs dédiés pour la transaction, pour lesquels le rôle des parties prenantes à la transaction est central et qui se matérialisent par l'établissement d'études de faisabilité technique, pourront être diminués**<sup>170</sup>, occasionnant ainsi une baisse des coûts de transaction.

D'autre part, une des caractéristiques d'un réseau autonome est d'être constituée en majeure partie d'éléments *software*. L'intérêt de ces radios est de permettre l'utilisation des divers standards actuels et futurs par un simple téléchargement de logiciel<sup>171</sup>. **Dans ce cas, se serait le degré de spécificité des actifs physiques qui diminuerait.** Dans cette configuration, il serait envisageable de vendre et d'acheter du spectre en temps réel, et de taxer les transactions. L'idée serait de facturer l'usage du spectre après coût, au prorata de l'usage. Pour cela il faudrait que des marqueurs soient développés dans les bandes de fréquences ou bien d'être capable de dire *a posteriori* quels services et quels usagers ont utilisé une bande et durant combien de temps. Dans cette optique, il est possible que dans le futur il y ait au niveau législatif une dissociation entre le spectre et la technologie<sup>172</sup>.

### **La course à l'harmonisation**

La deuxième raison qui conduirait les propriétaires du spectre à relâcher leur contrôle sur l'usage de la ressource est la course à l'harmonisation. L'harmonisation garantit une interopérabilité mondiale et s'appuie sur l'élaboration de normes internationales. La pression exercée pour parvenir à une harmonisation mondiale des bandes de fréquences combinée au développement d'outils de gestion et d'utilisation du spectre portant sur des normes

---

<sup>170</sup> Sous de telles hypothèses la spécificité des actifs dédiés, c'est-à-dire les moyens déployés par les administrations pour faire la coordination, sera réduite car l'intelligence des appareils permettra aux acteurs de coexister et de se coordonner en temps réel.

<sup>171</sup> Les stations de bases tendraient alors à devenir des antennes radios (il n'y aurait plus de stations de bases avec pylônes mais cela nécessite en contrepartie un *backbone* important).

<sup>172</sup> À l'heure actuelle nous ne sommes pas aux enchères en temps réel du spectre mais des *startups* envisagent déjà de faire du *spectrum-trading*. Elles se préparent à une ouverture du marché, à l'image d'un *NY Stock Exchange* du spectre auquel seraient associés des valeurs boursières et des fluctuations. Il y a une évolution vers une dynamique qui n'existait pas avant. Le marché se prépare à cela.

harmonisées, rendent les **actifs physiques plus facilement redéployables**. La **diminution du degré de spécificité des actifs favorise les mécanismes de coordination marchands**. De plus, la mutualisation des infrastructures vient renforcer cette tendance.

### La mutualisation des infrastructures

Le cadre réglementaire européen actuel encourage à la mutualisation. Dans la directive 2009/140/EC, Récital (43), la Commission Européenne considère qu'« améliorer le partage de ressources peut favoriser considérablement la concurrence et faire baisser le coût financier et environnemental global du déploiement de l'infrastructure de communications électroniques pour les entreprises, notamment des nouveaux réseaux d'accès ». Le partage qui était jusqu'alors réservé à l'infrastructure passive s'étend de plus en plus à l'infrastructure active permettant la connexion des différentes stations de bases. Cette tendance au partage des ressources physiques entre les opérateurs mobiles et les fournisseurs de services a permis de soutenir un marché des communications sans fil plus efficace, plus compétitif et plus innovant<sup>173</sup>.

La Commission Européenne a également déclaré que « des améliorations opérationnelles telles que l'utilisation commune des infrastructures actives et passives et le partage et l'échange de spectre, rendront les réseaux sans fil plus faciles et moins chers à déployer et / ou à rénover avec les nouvelles technologies » [MEMO/13/779]. La figure 17 ci-dessous montre les différents niveaux de mutualisation dans le cas des infrastructures de réseaux mobiles. Plus on descend dans le graphique (gris foncé) plus le partage s'intensifie.

**Figure 17 : Les différentes formes du partage des infrastructures mobiles**

<b>1. Partage de réseaux passifs</b>	Location de sites
	Mâts
	Armoire de construction
	Puissance d'éclairage ou de climatisation
<b>2. Partage de réseaux actif (RAN (<i>Radio Access Network</i>) sharing)</b>	Antennes
	Equipements de stations de bases (2G ou 3G)
	Transmission
	Opération de maintenance des stations de base
	Planification et conception des radios
<b>3. Partage intense ou intégration</b>	Spectre radio
	Cœur de réseau
	IMS ( <i>IP Multimedia Subsystems</i> )
	Plateformes de contenu
	Facturation
	Services au consommateur final

Source: Analysys Mason

<sup>173</sup> Roemer et al. [2012] ont démontré qu'une coopération entre acteurs conduit à une utilisation plus efficace des ressources partagées.

La question de la mutualisation de réseaux ne se pose pas seulement dans le cas des réseaux mobiles de télécommunications. La mutualisation de réseaux entre acteurs PPDR étatiques (réseau de sécurité) et PMR civils (réseaux privés) est par exemple une véritable question. Les acteurs cherchent à s'inscrire dans une logique où chacun doit répondre à ses propres besoins mais où la mutualisation est une solution raisonnable pour y parvenir. La pénurie de fréquences conduit à l'heure actuelle les acteurs à étudier quelles seraient les modalités de partage sachant que chacun ne pourra pas obtenir le spectre dédié qu'il souhaite et qu'en tout état de cause la construction d'un réseau est très coûteuse. Le partage peut également être envisagé entre différents acteurs, puisqu'à côté des usages de fonds permanents comme ceux des PMRs, d'autres acteurs tels que le Ministère de la Défense et l'Intérieur souhaitent accéder aux fréquences pour des besoins événementiels. Dès lors, la mutualisation des infrastructures **réduit également le degré de spécificité des actifs puisqu'elle contribuerait à une diminution des investissements dans les facteurs de productions complémentaires au spectre.**

Finalement, dans le futur, il n'est pas impossible au regard de ces trois éléments, à savoir une autonomie des réseaux accrue, une harmonisation mondiale des bandes de fréquences et un partage intense des infrastructures, que l'on se dirige de plus en plus, tout au moins pour certaines bandes de fréquences, vers un retrait des gouvernements dans le contrôle de l'usage du spectre au profit d'une gestion décentralisée.

#### **1.4. Conclusion de la section. *Des transactions diverses, évolutives et variées de droits d'usage du spectre***

Cette première section a analysé l'échange de droits d'usage sur le spectre comme un ensemble de droits de propriété choisis parmi un ensemble de faisceaux de droits. Le cadre micro-analytique développé par Williamson a donc été choisi pour étudier les mécanismes de coordination dans le cadre d'un partage du spectre. La théorie des coûts de transaction montre qu'à ce niveau trois variables influencent le mode de contractualisation : la spécificité des investissements requis par la transaction, le degré d'incertitude qui l'accompagne, et la fréquence à laquelle elle se produit. Par ailleurs, Williamson a identifié trois structures de gouvernance différentes pour l'encadrement des transactions : le marché, la hiérarchie, et entre ces deux pôles, les formes hybrides qui englobent diverses solutions telles que la réglementation, le contrat ou des structures multilatérales de gouvernance [Glachant, 2002 ; Williamson, 2005 ; Saussier et Yvrande-Billon, 2007 ; Glachant et Perez, 2007]. Cette section ayant posé le cadre théorique d'ensemble, il nous paraît utile dans la section qui suit d'étudier un cas pratique de partage du spectre.

---

## Section 2. Décryptage d'un futur arrangement institutionnel : l'accès partagé sous licence (LSA)

Nous venons de voir que le mode de transfert de droits d'usage dans le cadre d'un partage dépendra des caractéristiques de la transaction, nécessitant de ce fait, de faire du cas par cas. L'accès partagé au spectre sous licence, entre des utilisateurs gouvernementaux et commerciaux, est actuellement en discussion en Europe (sous le nom de LSA pour *Licensed Shared Access*) et aux États-Unis (sous le nom de modèle *two-tiers*). En parallèle, des expérimentations pour la mise en œuvre d'un accès partagé au spectre sans licence sont également faites, en particulier dans les espaces blancs de la télévision. Néanmoins, suite aux entretiens menés avec différents acteurs du secteur dans le cadre de la mission ministérielle confiée à Madame Joëlle Toledano sur la gestion dynamique du spectre hertzien, nous avons pu noter que les agents économiques souhaitent une certaine qualité de service et une prévisibilité pour l'accès au réseau. Ce besoin de prévisibilité peut sans nul doute être relié à la spécificité des actifs. Contrairement à l'accès sans licence, l'accès partagé sous licence répond à ce besoin de prévisibilité. Toutefois, l'utilisation des espaces blancs de la télévision (ou TVWS pour *TV Whites Spaces*) constitue le premier exemple d'accès partagé sans licence<sup>174</sup> et les quelques expérimentations qui ont été lancées dans différents pays ont permis à des acteurs, privés et publics, d'expérimenter les technologies de partage dynamique du spectre et l'utilisation de bases de données. Le LSA nécessite également la mise en place de bases de données pour l'exploitation de données géo-localisées. Ainsi, les expérimentations relevant de la démarche initialement mise en œuvre par Google et Microsoft pour l'ouverture des espaces blancs de la télévision, ont bénéficié à la compréhension globale de ces nouveaux outils pour le LSA.

L'objectif de cette section est d'exposer les grandes lignes de l'accès partagé au spectre sous licence (LSA), et plus particulièrement l'expérimentation française portant sur la bande 2,3-2,4 GHz, afin d'identifier quelle serait la structure de gouvernance adéquate au partage du spectre sous licence. Alors que l'analyse de la structure de gouvernance relève du niveau micro-analytique, nous verrons que le concept de LSA en bande 2,3-2,4 GHz n'est pas le résultat d'une volonté de partage au niveau micro-économique mais le résultat d'intérêts macro-économiques (2.1.). Toutefois, la transaction de droits qui s'opérera entre les utilisateurs, dans le cas où ce type de partage venait à être mis en œuvre, sera affectée par les spécificités micro-économiques (2.2.).

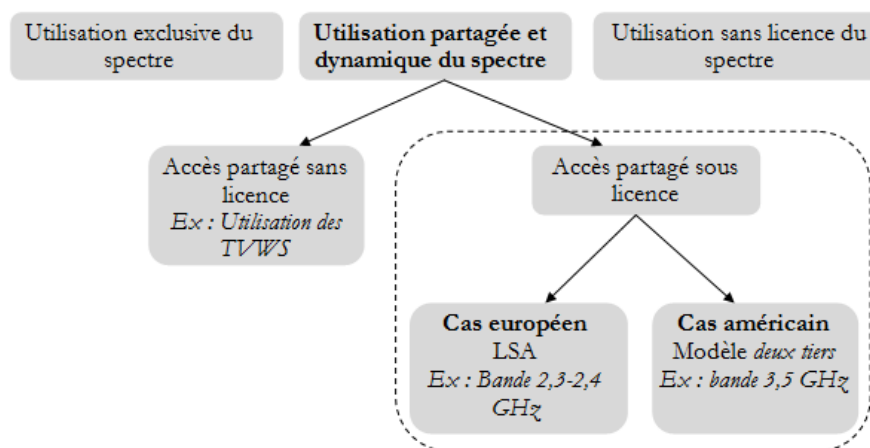
---

<sup>174</sup> Certains usages commerciaux existent sur ces espaces blancs mais aucun écosystème ne s'est développé. L'annonce des enchères incitatives aux États-Unis, l'avenir incertain de la bande UHF face à son éventuel rétrécissement suite au dividende numérique en Europe, et le manque d'appétence des constructeurs et équipementiers en général, ne conduisent pas à faire évoluer la situation.

## 2.1. Des transactions aux intérêts macro-économiques

Bien que les transactions de droits d'usage sur une fréquence entre deux types d'utilisateurs dans le cadre d'un partage relèvent de l'approche micro-analytique de l'économie des coûts de transaction, les intérêts macro-économiques des industriels ne sont pas sans influence sur celles-ci. Le spectre étant une ressource mondiale, l'harmonisation joue un rôle majeur dans l'organisation des transactions (cf. Chapitre I, Section 1). Les deux expérimentations en cours d'analyse pour un partage sous licence, sont le LSA en Europe dans la bande 2,3-2,4 GHz, et le modèle « *Tiers-2* » (équivalent du LSA) aux États-Unis dans la bande 3,5 GHz (cf. Schéma 4).

**Schéma 4 : Deux exemples de partage du spectre sous licence**



L'accès partagé sous licence peut être relativement simple dans le cas où le partage est seulement géographique mais devient plus complexe dès lors que celui-ci devient dynamique et qu'il nécessite l'usage de bases de données. En France, les modalités du partage de la bande 2,3-2,4 GHz dans le cadre du LSA sont moins ambitieuses que celles envisagées par les États-Unis dans la bande 3,5 GHz. Pour le moment, en France, la première étape consiste à mettre en place un partage géographique et dynamique. Aux États-Unis l'environnement institutionnel pousse pour un partage dynamique du spectre en trois tiers (*Tiers-3*), lequel inclut un accès sans licence à une certaine catégorie d'utilisateurs.

### 2.1.1. Le cas européen

En Europe, la mise en œuvre du LSA représente une des solutions permettant de répondre à l'objectif du Programme pluriannuel de politique du spectre qui fixe un objectif aux États membres de rendre disponible 1 200 MHz de spectre pour le très haut débit mobile. L'accès partagé sous licence (LSA) est défini par le RSPG comme l'utilisation par des utilisateurs supplémentaires d'une partie du spectre, selon des règles de partage incluses dans des droits d'utilisation permettant ainsi à tous les utilisateurs autorisés, y compris les titulaires, de fournir

une certaine qualité de service (QoS) [RSPG, 2013b]. Dès lors, le partage aboutit à une situation dans laquelle un ou plusieurs systèmes pourront opérer dans une même bande de fréquences. Pour cela, un transfert de droits se fera entre le titulaire en place et le nouvel utilisateur de la bande. À la fin de la transaction, les utilisateurs détiendront des droits exclusifs sur une même bande. Dans le cas où le partage est mandaté par la puissance publique, l'identité des parties prenantes à la transaction est prédéterminée par l'environnement institutionnel.

Côté européen, le LSA trouve son origine dans un autre concept d'accès partagé, l'*Authorized Shared Access* (ASA)<sup>175</sup> faisant suite à une demande de l'industrie des télécoms<sup>176</sup>. La question de l'utilisation partagée et dynamique au spectre a émergé en 2008 suite au rapport du RSPG sur l'utilisation collective du spectre [RSPG, 2008, RSPG08-244]. Remis à jour en 2011, ce rapport recommande entre autres une évaluation approfondie de la notion de LSA afin d'explorer la viabilité de cette approche et recommande l'établissement d'une consultation entre les États membres de l'Union sur ce sujet [RSPG, 2011a, RSPG11-392 Final]. Ainsi en 2012, le concept d'usage collectif du spectre (CUS pour *Collective Use of Spectrum*) laisse place à celui d'accès partagé sous licence (LSA pour *Licensed Shared Access*). Le Groupe de travail européen pour la gestion des fréquences (ECC WGF pour *Electronic Communication Committee's Working Group Frequency Management*) créé deux équipes de projet (FM52 et FM53 pour *Frequency Management 52 et 53*) pour étudier sa mise en œuvre en bande 2,3-2,4 GHz, en collaboration avec l'ETSI.

Afin de bénéficier d'économie d'échelles, le choix s'est porté sur la bande 2,3-2,4 GHz, laquelle a été identifiée pour les télécommunications mobiles internationales (IMT pour *International Mobile Telecommunications*) lors de la Conférence mondiale des radiocommunications de 2007 pour les Régions 2 et 3 (Amériques, Asie, Pacifique). En effet, cette bande étant déjà utilisée à l'extérieur de l'Europe en bande exclusive pour fournir des services haut débit mobile, les coûts de reconversion et de transaction pour le transfert de droits d'usage à des opérateurs de téléphonie mobiles seront donc plus faibles, tant pour le réseau que pour les terminaux. L'harmonisation des bandes de fréquences baisse le degré de spécificité des actifs. En Europe, différents utilisateurs occupent la bande 2,3-2,4 GHz en fonction des pays. En France, elle est utilisée par le Ministère de la Défense.

La volonté de disposer de bandes harmonisées a donc conduit la puissance publique à proposer le partage de la bande 2,3-2,4 GHz<sup>177</sup>. Néanmoins la coordination entre le ministère de la Défense et les opérateurs mobiles ainsi que l'efficacité de la transaction relèveront du

---

<sup>175</sup> Voir chapitre 2 section 2.

<sup>176</sup> Un consortium d'industries, parmi lesquelles se trouvaient Qualcomm et Nokia, souhaitait que de nouveaux acteurs puissent accéder à des fréquences à un prix raisonnable tout en conciliant deux mondes opposés mais complémentaires, le monde sans licence avec celui de la licence. L'objectif était d'identifier un nouveau système de droit d'accès sans changer les règles mondiales et nationales d'une part, et sans toucher à l'architecture juridique d'autre part.

<sup>177</sup> Par ailleurs, la logique quasi-exclusive du modèle LSA permet de préserver le cœur du modèle des télécommunications mobiles.

dispositif institutionnel micro-analytique. Le fait que les parties prenantes à la transaction soient prédéterminées en fonction de considérations plus macroéconomiques provient du fait que le spectre est un bien public qui reste la propriété de l'État même si, au niveau micro, les vrais propriétaires du spectre sont de fait les titulaires de fréquences notamment parce qu'ils sont les seuls à maîtriser l'information de leur utilisation. Finalement, la décision de partager la bande 2,3-2,4 GHz ne résulte pas, à l'instar d'une transaction classique, seulement du choix de deux types d'utilisateurs, mais également d'une convergence d'intérêts allant au-delà du niveau micro-analytique de la transaction. Néanmoins, **le transfert de droits n'aura lieu que si les deux parties prenantes se coordonnent de façon à tirer un avantage mutuellement bénéfique à cette transaction.** Nous verrons par la suite que lorsque la relation contractuelle est fortement poussée au niveau macro et qu'elle n'est pas spontanée, ceci n'est pas sans conséquence sur l'efficacité de la transaction.

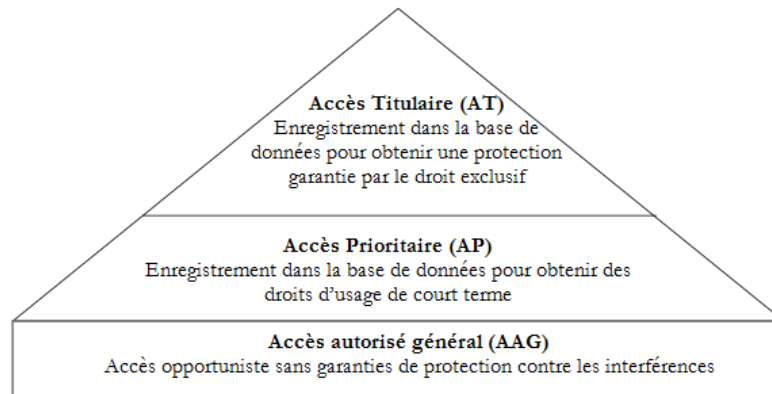
Le concept de l'accès partagé sous licence (LSA) continue d'évoluer au sein de l'environnement institutionnel. En juillet 2013, l'ETSI a élaboré un document de référence du système LSA dans la bande de 2.3-2.4 GHz et les industriels poursuivent leurs travaux sur les exigences techniques et sur l'architecture du système [ETSI, 2013, SRdoc TR103 113]. En Février 2014, le CCE a également élaboré un cadre réglementaire pour sa mise en œuvre pour des services mobiles large bande dans la bande 2.3-2.4 GHz [ECC Report 205]. À ce jour, la décision d'harmonisation d'utilisation de cette bande pour des services de haut débit mobile est en cours.

### 2.1.2. Le cas américain

Coté transatlantique, la nécessité d'une réforme du spectre pour permettre l'utilisation partagée des fréquences a été souligné par la FCC dès les années 2000 suite au constat de la sous-utilisation de certaines bandes de fréquences [FCC, 2002b]. Cette volonté a été réaffirmée par le *National Broadband Plan* de 2010 [FCC, 2010] et par les deux memoranda du Président appelant à libérer 500 MHz, puis 1000 MHz de spectre supplémentaire, pour le haut débit mobile [Presidential Memorandum, 2010, 2013]. Plus récemment, la Cellule des Conseillers du Président sur les Sciences et les Technologies (PCAST pour *President's Council of Advisors on Science and Technology*) a déclaré que la norme devrait être le partage dynamique [PCAST, 2012]. Dans cette lignée, le ministère de la Défense (DoD pour *Department of Defense*) et la *National Telecommunications and Information Administration* (NTIA) ont proposé plusieurs bandes pour faciliter le partage du spectre [Department of Defense, 2013]. Les États-Unis se sont alors fixé trois objectifs : (i) trouver 300 MHz d'ici 2015 et 200 MHz supplémentaires pour 2020 (dont 120 MHz devrait être pris aux diffuseurs), (ii) permettre le partage de 100 MHz de spectre dans la bande 3550-3650 MHz entre des utilisateurs commerciaux et fédéraux, et (iii) conduire des enchères incitatives pour libérer 65MHz de spectre supplémentaires pour les services mobiles haut débit dès 2015.

Concernant le partage de 100 MHz dans la bande 3,5 GHz, le rapport du PCAST a proposé un modèle de partage du spectre à trois niveaux (cf. Figure 18). Le premier niveau est représenté par les utilisateurs titulaires (AT). Le deuxième niveau est représenté par des utilisateurs secondaires ayant un accès prioritaire (AP). Et le troisième niveau représente les utilisateurs bénéficiant d'un l'accès autorisé général (AAG) [PCAST, 2012].

**Figure 18 : Le modèle américain de partage du spectre à 3 niveaux**



*Source:* Adapté de PCAST [2012]

Sous ce modèle *tiers-3*, le titulaire devra se coordonner avec l'utilisateur prioritaire de façon à déterminer les clauses contractuelles permettant la mise en œuvre du partage. Le partage entre les utilisateurs titulaires et prioritaires (modèle *tiers-2*) est équivalent au partage LSA européen. Le dernier tiers consiste en un partage opportuniste du spectre. Les utilisateurs ayant un accès prioritaire (AP) seront protégés des utilisateurs sans licence (AAG) mais ne devront pas interférer avec les titulaires (AT), c'est-à-dire, dans le cas de la bande 3550-3650 MHz avec les radars du gouvernement et les stations terriennes.

La bande 3550-3650 MHz a été proposée par le gouvernement américain pour un partage entre un utilisateur primaire fédéral et des utilisateurs secondaires non-fédéraux tout comme les bandes 1675-1710 MHz, 1755-1780 MHz, 3500-3650 MHz, et 4200-4220 MHz, 4380-4400 MHz. Aux États-Unis, la bande de fréquence 3550-3650 MHz est détenue par le département de la Défense mais elle est utilisée dans d'autres pays pour la fourniture de service commerciaux. Elle est en particulier attribuée dans certains pays européens aux réseaux Wimax. En Europe, les fréquences 3,5 GHz étaient initialement réservées aux réseaux Wimax<sup>178</sup> mais l'échec de cette technologie joue en faveur d'une utilisation de la bande par les réseaux cellulaires 4G-LTE. Par ailleurs, la bande 3400-3600 MHz est identifiée IMT au Japon. Il apparaît que la production de *small-cells*<sup>179</sup> pour le haut débit mobile sur cette bande de

<sup>178</sup> Réseaux desservant une boucle locale radio via des liaisons sans fil de plusieurs kilomètres à moyen débit (quelques Mbits/s) vers des antennes fixes de réception.

<sup>179</sup> Les *smallcells* sont des petites cellules déployées par les opérateurs pour améliorer la performance des réseaux mobiles pour une portée d'une centaine de mètres, inférieures à celles des cellules classiques (quelques kilomètres).

fréquence permettrait de créer des économies d'échelle (cf. **Annexe II.2.** Les réseaux d'accès radio émergents). Néanmoins, il n'existe pas pour le moment un plan de fréquence unique pour la bande 3550-3650 MHz. L'objectif des industriels est donc d'arriver à une harmonisation mondiale de la bande 3,4-3,7 GHz afin de pouvoir créer de réelles économies d'échelle<sup>180</sup>.

Ce modèle de partage, poussé par les acteurs de l'environnement institutionnel à un niveau plus macro-économique, nécessitera néanmoins de **définir au niveau micro-analytique les frontières des droits respectifs entre les deux parties (AP ou AAG) en fonction des spécificités de la transaction.** Tout comme pour le LSA en France, cette coordination va prendre effet au sein d'une structure de gouvernance qui devra minimiser les coûts de transaction.

## 2.2. Les micro-déterminants de la transaction

Dans cette partie, nous étudions le cas particulier d'application du LSA en bande 2,3-2,4 GHz en France, ce qui permettra par la suite de mieux cerner la structure de gouvernance et la forme de contractualisation qui serait adaptée à ce partage. En effet bien que les intérêts macro-économiques ont poussé en faveur d'un partage entre le ministère de la Défense et les opérateurs mobiles, il y a, au niveau micro-analytique, différentes structures de gouvernance envisageables pour le transfert de ces droits de propriété. Si l'on pense que les parties prenantes vont choisir le mode d'organisation qui correspond aux attributs de cette transaction, alors plusieurs questions doivent être traitées. Faut-il laisser les acteurs négocier entre eux et établir un contrat de partage ? Faut-il laisser l'utilisateur primaire décider des conditions de partage et donner l'ordre de partage ? Faut-il laisser une institution intervenir pour aider à la contractualisation ?

En France, le ministère de la Défense est titulaire et utilisateur de la bande 2,3-2,4 GHz. En raison des utilisations stratégiques qu'il fait dans la bande 2,3-2,4 GHz, il n'est pas possible de procéder à un réaménagement de cette fréquence pour l'attribuer totalement aux réseaux mobiles commerciaux. Toutefois, l'usage limité de cette bande rend possible un partage de la bande avec d'autres acteurs. En effet, le ministère utilise cette bande pour différents services<sup>181</sup> mais son utilisation est partielle, géographiquement et dans le temps. De plus, ces fréquences ne sont pas utilisées dans les zones géographiques où les besoins en fréquence sont les plus importants. Dès lors, d'autres utilisateurs pourraient accéder à cette bande de

<sup>180</sup> Pour le moment la gamme de fréquence 3400-3800 MHz est découpée en trois parties qui peuvent être utilisées soit par la technologie Time Division Duplex (TDD) (Bande TDD : 3400-3600 MHz et 3600-3800 MHz) soit par la technologie Frequency Division Duplex (FDD)(bande FDD: 3410-3490 MHz en liaison montante et 3510-3590 MHz en liaison descendante).

<sup>181</sup> Télémessures aéronautiques et terrestres, système de boucle locale radio tactique de l'armée de terre, liaisons vidéos sol-sol ou air-sol, liaisons de télécommande/télémessure des drones, système de rapatriement de données de vol).

fréquences lorsque celle-ci n'est pas utilisée. Ces utilisateurs, titulaires de licence LSA, seraient les opérateurs de téléphonie mobiles en raison des considérations évoquées précédemment. Cette solution de partage permettrait à la fois de préserver des usages existants et d'arriver à un compromis face à la pression exercée par les industriels au niveau macro pour harmoniser et libérer totalement cette bande.

Le partage d'une fréquence entre deux affectataires existe déjà<sup>182</sup>. Lorsque qu'un affectataire autorise un autre affectataire à utiliser sa bande de fréquences, ce partage se matérialise par une dérogation dans le tableau national de répartition des fréquences<sup>183</sup>. Le TNRBF définit une dérogation comme suit :

« Une dérogation est un droit d'assigner une fréquence accordée par le ou les affectataires autorisés dans la bande correspondante du TNRBF, à un affectataire non autorisé dans la bande (dérogation d'affectataire) ou pour un service non attribué (dérogation de service). Une assignation en dérogation des dispositions d'attribution des bandes de fréquences du TNRBF est soumise aux mêmes obligations de coordination et d'enregistrement que les autres assignations » [TNRBF, 2013].

Les dérogations représentent des accords pour des utilisations qui n'étaient pas prévues. Toutefois, à la différence du LSA, elles représentent des demandes unitaires, c'est-à-dire que le droit d'installer une infrastructure n'est accordé que pour une station<sup>184</sup>. La logique du LSA est différente puisque l'empreinte géographique du partage est plus importante, c'est-à-dire que le droit d'installer une infrastructure sera accordé pour le déploiement de plusieurs stations sur l'ensemble du territoire et de façon dynamique.

Dès lors, des règles de partage dynamique et des droits d'utilisation partagée du spectre devront être définis entre ces deux utilisateurs. Cependant, lorsque l'on regarde les usages de la bande 2,3-2,4 GHz dans différents pays européens, on peut en déduire qu'il sera difficile d'établir un contrat type pour le partage du spectre et de généraliser la procédure. En effet, les arrangements institutionnels existants diffèrent selon les pays et rendront les caractéristiques transactionnelles spécifiques à chaque cas. Le tableau 26 regroupe les principaux usages que l'on peut trouver dans la bande 2,3 GHz dans différents pays d'Europe.

---

<sup>182</sup> Voir première section de ce chapitre.

<sup>183</sup> Les dérogations prennent la forme de notes de bas de page dans le TNRBF précisant les dispositions propres à l'utilisation des fréquences et les modifications nécessaires à la gestion des bandes au niveau national.

<sup>184</sup> L'article 5 du Décret n°97-520 du 22 mai 1997 relatif à la redevance due par les affectataires de fréquences radioélectriques autorise les affectataires à attribuer des dispositifs à des tiers : « Un affectataire peut autoriser un tiers à utiliser des fréquences ou des bandes de fréquences qui lui sont affectées par le tableau national de répartition des bandes de fréquences. L'autorisation précise si les redevances de mise à disposition et de gestion correspondant à ces fréquences ou bandes de fréquences sont mises à la charge du tiers utilisateur. Les autorisations sont notifiées à l'Agence nationale des fréquences ».

**Tableau 26 : Les principaux usages de la bande 2,3-2,4 GHz dans différents pays européens [Plum, 2013]**

<b>Pays</b>	<b>Principaux usages</b>	<b>Pays</b>	<b>Principaux usages</b>
Finlande	Liaisons vidéo, caméras sans fils	Suède	Télémessures aéronautiques
France	Télémessures aéronautiques Liaisons vidéo	Royaume- Uni	Applications Défense
Allemagne	Applications Défense Télémessures aéronautiques Liaisons vidéo	Italie	Télémessures aéronautiques Liaisons fixes Liaisons studio
Irlande	Services de télécommunications ruraux Liaisons vidéo		

### 2.2.1. Les vœux du titulaire (le ministère de la Défense)

En France, le ministère de la Défense a des exigences techniques qui ne lui permettent pas de faire un partage de droits de propriété avec n'importe quel utilisateur. Pour que le partage soit accepté il faut que les opérateurs commerciaux acceptent avec les exigences définies par le titulaire.

#### Les restrictions géographiques

La Délégation Générale de l'Armement (DGA) utilise la bande de fréquence 2,3-2,4 GHz pour un ensemble d'applications allant des télémessures aéronautiques et terrestres aux liaisons vidéo, de télécommande ou de télémessure des drones, sur différentes zones du territoire français. Les essais aéronautiques et autres utilisations, se font sur l'ensemble de la bande. La quantité de spectre utilisée et la durée d'utilisation dépendent du service en question. Les zones géographiques sur lesquelles la DGA a des activités représentent des zones d'exclusion qui ne pourront pas être utilisées par l'utilisateur entrant dans le cas d'un partage, ou bien seulement, avec de très faibles puissances (cf. **Annexe III.1.** Les zones de protection et d'exclusion pour la mise en œuvre de l'accès partagé en bande 2,3-2,4 GHz en France).

#### La dimension du partage

Le partage du spectre peut être fréquentiel, géographique, temporel ou une combinaison de ces trois dimensions. Par ailleurs, les applications de l'utilisateur en place peuvent être statiques ou mobiles. Cet aspect est important puisque dans le cas où l'utilisateur en place ne propose que des services fixes, le partage sera plus simple et il sera ainsi plus facile de trouver des utilisateurs compatibles. Cet aspect vaut également pour les services de l'utilisateur secondaire.

#### La durée de la licence et la durée d'utilisation accordée (en jour ou en heure)

La durée de la licence est une autre condition qui va jouer sur le type de coalitions pouvant se réaliser. Si le titulaire de la fréquence propose un transfert de droits de propriété durant une courte période, il ne pourra pas partager sa bande de fréquences avec un utilisateur qui

souhaite engager de lourds investissements et qui recherche un accès de long terme. Par ailleurs, à côté de la durée de la licence, la période d'utilisation est importante. Si le nouvel entrant ne peut utiliser la fréquence qu'une heure par jour, son modèle d'affaire ne devra pas reposer sur un accès continu au spectre.

### **La largeur de la fréquence**

La largeur de la bande de fréquences proposée a également une importance. La largeur dépend de l'utilisation du titulaire, et dépendra également, dans une moindre mesure, des utilisateurs en bandes adjacentes. Par exemple, dans le cas de la bande 2,3-2,4 GHz il faudra réduire la bande de quelques canaux afin d'éviter des brouillages avec les utilisateurs en bande 2400-2483,5 MHz (bornes Wi-Fi ou les équipements Bluetooth).

### **Les possibilités de modification et d'arrêt du contrat**

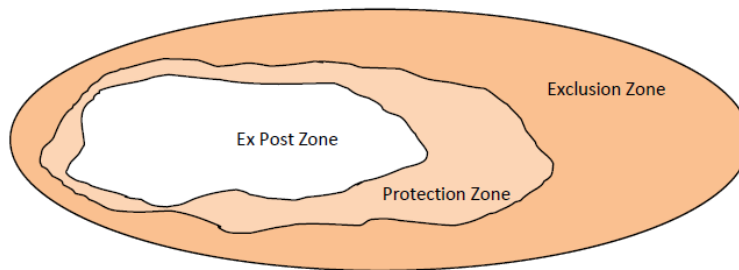
Certains acteurs pourront avoir des souhaits particuliers. Dans le cas français, le Ministère de la Défense souhaite pouvoir interrompre les activités de l'opérateur entrant (utilisateur secondaire) en cas d'urgence afin de réquisitionner une partie des droits d'usage de la bande de fréquences dans certaines zones. Ces clauses peuvent être plus ou moins restrictives mais elles conduisent dans tous les cas à rendre le partage plus spécifique et intensifient la difficulté à trouver un ou des partenaires prêts à s'engager. En effet, comme l'utilisateur primaire ne peut pas définir à l'avance ces moments d'interruption, la question de l'opportunisme s'immisce au cœur de la relation entre le titulaire de la licence et le nouvel utilisateur. Dès lors, la confiance semble être la seule solution. L'utilisateur secondaire doit faire confiance à l'utilisateur primaire dans le sens où l'utilisateur primaire ne devra pas abuser de son droit d'interruption temporaire du contrat. Un plafond, au-delà duquel le partage peut être remis en cause, pourrait être prévu.

#### **2.2.2. Les vœux des utilisateurs secondaires (opérateurs commerciaux)**

L'utilisateur entrant a lui aussi une demande spécifique. Il souhaite accéder à une certaine bande de fréquences sous certaines conditions pour fournir un service particulier.

### **Les zones d'exclusion et de protection**

Les zones d'exclusion représentent les zones géographiques dans lesquelles l'utilisateur entrant ou secondaire ne pourra pas fournir de service. La taille de ces zones conditionne le modèle d'affaire de l'opérateur qui trouvera alors le partage plus ou moins attractif en fonction des limites imposées. À côté des zones d'exclusion il est possible de définir des zones de protection plus petites que les zones d'exclusion dans lesquelles les émissions sont permises à un certain niveau de puissance (cf. Figure 19) [Altamimi, Weiss et McHenry, 2013]. Pour cela, un réseau de capteurs doit être développé autour de la zone d'exclusion afin de pouvoir détecter les utilisateurs secondaires entrants dans la zone protégée.

**Figure 19 : Représentation des zones d'exclusion et de protection**

Source : Altamimi, Weiss et McHenry [2013]

### **Le nombre d'utilisateurs**

Le titulaire a la possibilité de partager la bande de fréquence avec un ou plusieurs opérateurs. Concernant la bande 2,3-2,4 GHz, le régulateur en fonction d'un ensemble de critères (concurrence, prix, efficacité spectrale) autorisera le partage de la fréquence avec un ou plusieurs opérateurs mobiles. Ce choix peut jouer sur les différentes coalitions d'utilisateurs. Par exemple, si un acteur souhaite ne pas avoir de concurrents sur la bande de fréquence qu'il utilise, il sera forcément moins incité à payer l'accès à cette fréquence si le nombre de contractants augmente.

### **Les limites d'émission à l'intérieur et en dehors des bandes**

L'utilisateur primaire peut fixer des limites de puissance d'émission à l'intérieur des bandes afin de s'assurer qu'il ne soit pas brouillé. Des limites peuvent également être imposées en dehors des bandes à l'utilisateur secondaire pour ne pas provoquer de brouillages avec les utilisateurs en bandes adjacentes. Les valeurs fixées auront un impact sur ce qui sera possible de faire ou non dans la bande. Dans le cas où elles sont trop restrictives, elles contribuent à faire diminuer la valeur économique que les nouveaux entrants accordent à la bande de fréquences.

### **Le prix d'accès**

La valeur d'une bande de fréquences est généralement mesurée en €/MHz/habitant. Plus les contraintes fixées par l'utilisateur primaire sur l'usage de bande sont fortes, plus la disposition à payer du nouvel entrant diminue. Cette variation peut se mesurer avec l'élasticité de la disposition à payer (DaP) par rapport à la disponibilité d'usage de la fréquence (DU) :  $\xi$  est le rapport de la variation relative de la disposition à payer l'usage de la fréquence et la variation relative de la disponibilité d'usage de la fréquence. Cette élasticité est positive car quand la disponibilité d'usage augmente la disposition à payer le droit d'usage augmente également.

$$\xi (DaP/DU) = (\Delta DaP/DaP) / (\Delta DU/DU)$$

---

Dans le cas du LSA, la contrainte que le titulaire souhaite imposer aux opérateurs, c'est-à-dire celle d'éteindre leurs stations de bases durant X% du temps, entraîne une baisse de la disponibilité à payer. Ainsi, **plus les contraintes seront faibles (zones d'exclusion, durée d'utilisation, etc.) plus le partage sera attractif pour les utilisateurs entrants.** Par ailleurs, si le prix à payer en contrepartie de l'accès à la fréquence est trop élevé, il risque de n'avoir aucun utilisateur secondaire intéressé. L'objectif est que le partage soit mutuellement avantageux pour les deux parties prenantes.

Finalement, le partage de droits ne joue pas forcément en faveur d'une diminution des coûts de transaction. Lorsqu'une bande doit être partagée, comme dans le cas de la bande 2,3-2,4 GHz, les utilisateurs (primaires et secondaires) doivent s'entendre pour définir les conditions de partage, chacun ayant ces exigences. C'est donc en fonction des exigences de chacun que sera établi le panel de droits transférés. Dès lors, on voit bien d'après notre cas d'étude, **que le degré de spécificité de l'actif peut augmenter dans le cas d'un partage complexe, puisque le panel de droits, objet de la transaction, sera très peu redéployable.** En effet, dès lors qu'il correspond à un utilisateur secondaire très particulier il sera difficile de le re-transférer.

À ce jour, l'accès partagé sous licence doit faire l'objet d'une expérimentation dans une bande pilote. Toutefois, dans un futur proche, si sa mise en œuvre est un succès, il pourra s'appliquer à d'autres bandes de fréquences entre différentes catégories d'utilisateurs, comme par exemple en bande 3,8-4,2 GHz<sup>185</sup>, en bande 1427-1518 MHz<sup>186</sup> ou encore dans certaines parties de la bande 700 MHz afin de détenir plus de capacité à moindre coût dans un écosystème déjà établi (LTE). Un accès partagé sous licence pourrait permettre d'ouvrir un accès dynamique et contrôlé aux opérateurs dans ces bandes tout en assurant la protection des utilisateurs actuels. En ce qui concerne les usages, les autres opportunités du LSA sont la boucle locale radio (réseaux mobiles professionnels), les communications *Machine-to-Machine* (M2M), ou encore les réalisateurs de programmes et d'événements spéciaux (PMSE) qui n'ont pas les moyens d'acheter des licences et pour lesquels il deviendra difficile d'attribuer une bande ouverte, gratuite et sans attributaire exclusif. Le LSA pourrait donc être une solution pour ces différents usages.

---

<sup>185</sup> Cette bande est actuellement utilisée pour des systèmes satellites.

<sup>186</sup> Cette bande est actuellement utilisée pour des radars de la marine nationale mais qui pourrait être identifiée comme une bande IMT, c'est-à-dire destinées aux systèmes de télécommunications mobiles internationales à la prochaine Conférence Mondiale de Radiocommunications).

---

### 2.3. À la recherche de la structure de gouvernance la mieux alignée aux attributs de la transaction

En se référant aux caractéristiques du futur partage (LSA en bande 2,3-2,4 GHz en France), et en procédant par élimination, le mode d'organisation générique théoriquement compatible avec ce cas d'étude est une forme hybride (2.3.1.) avec l'intervention d'une tierce partie (2.3.2.). Toutefois, la structure de gouvernance n'est pas la seule variable à prendre en compte pour arriver à un partage efficace du spectre (2.3.3.).

#### 2.3.1. Le LSA : une forme hybride

Les attentes des deux parties prenantes au partage dans le cas français permettent déjà d'éliminer la gouvernance marchande. La coordination entre les acteurs ne pourrait pas se faire *via* un contrat classique, puisque les attentes des deux parties (le titulaire primaire et le titulaire LSA) sont particulières et nécessitent de négocier *ex ante* les conditions de partage pour que la transaction ait lieu. On est donc face à une transaction où des utilisateurs s'échangent des droits de propriétés mais le prix n'est qu'une composante (secondaire) de la transaction. Si un système de prix suffisait, les conditions proposées pour le partage d'une fréquence auraient peu d'importance et ce système conduirait à trouver un partenaire et un équilibre. Dans ce cas, le spectre ne peut pas être considéré comme un bien standard, auquel cas les utilisateurs pourraient faire du négoce de fréquences et se coordonner seuls, pour gérer la transaction de droits de propriété.

En raison de la complexité de la transaction, le Gouvernement a chargé l'ANFR d'organiser avec l'ARCEP, les opérateurs et le ministère de la Défense, les travaux permettant le lancement d'une expérimentation relative à un partage dynamique de manière satisfaisante. Bien que les actifs physiques soient moyennement élevés<sup>187</sup> puisque cette bande de fréquences est déjà utilisée en dehors de l'Europe par des services haut débit mobiles, **l'expérimentation d'un tel partage est un actif dédié important.** Celle-ci a vocation à déterminer les droits de propriété des parties prenantes à la transaction afin de rendre la coexistence entre les réseaux mobiles et les systèmes existants de la Défense faisable et opérationnelle.

La criticité du service fournit par le titulaire ne permet pas d'envisager une gouvernance bilatérale. D'une part, la complexité technique nécessite l'intervention d'une tierce partie pour assurer la coordination et donc le bon déroulement de la transaction. D'autre part, le ministère de la Défense est réticent à partager certaines données avec les utilisateurs secondaires. Or, celles-ci sont indispensables pour définir les conditions de partage et permettre la transaction.

---

<sup>187</sup> Par ailleurs, cette bande serait utilisée pour le déploiement de *femtocells*. Les *femtocells* sont de petites tailles et permettent d'améliorer le maillage d'un réseau opérateur et d'augmenter sa capacité de débit tout en réduisant son CAPEX et son OPEX.

Le rôle de la tierce partie sera de coordonner les contractants et maintenir un climat de confiance entre eux de façon à permettre la transaction. Elle joue un rôle essentiel en aidant les parties prenantes à la transaction à définir les accords de partage lorsque ces derniers sont dans l'incapacité de parvenir à une négociation bilatérale efficace.

### **2.3.2. Le choix de la tierce partie**

La difficulté transactionnelle du LSA en France nécessitera l'intervention d'une tierce partie afin d'encadrer suffisamment bien la transaction. Les utilisateurs (primaires et secondaires) devront coopérer pour mener à bien la transaction. Entre autre, ils devront définir les droits à transférer en fonction de leurs activités, s'entendre sur la création d'une base de données, attribuer des pouvoirs de décision pour la conception d'engagements crédibles, pour la résolution de conflits et pour l'adaptation de leurs comportements en cas de perturbations.

Ces dispositifs qui constituent la gouvernance hybride du LSA ne sont par ailleurs pas incompatibles avec la mise en place de mécanismes concurrentiels d'attribution du spectre (enchères). Ainsi, il convient de souligner qu'une fois que les droits de propriété auront été définis dans le cadre du LSA, les autorisations d'utilisations des licences qui contiennent ces droits pourront être attribuées par l'autorité compétente responsable de l'attribution des fréquences pour les usages de communications électroniques, soit l'ARCEP en France, afin de d'attribuer la licence LSA au titulaire qui valorisera le mieux la bande de fréquences. De ce fait, il n'y a pas à proprement parler de transfert direct de droit entre le titulaire primaire et le titulaire secondaire sous licence en France. Toutefois, rien n'interdirait à terme d'appliquer ces résultats à une transaction de droits sur le marché secondaire, ou sur un marché en temps réel, lorsque les discussions actuelles auront progressé et mis en œuvre le partage dynamique.

À ce stade, une structure de gouvernance trilatérale pour la transaction LSA conduit à donner un pouvoir d'évaluation et de décisions sur un ensemble d'évènements à une tierce partie afin de permettre le bon déroulement de la transaction, *ex ante* et *ex post*.

La tierce partie ne pourrait sans doute pas être le ministère de la Défense car elle déséquilibrerait la transaction. Par ailleurs, l'autre partie prenante à la transaction (les opérateurs) ne souhaitera pas laisser à ce dernier tout le pouvoir de pilotage. En effet, le ministère de la Défense a des intérêts à protéger ses usages et son territoire. Dans cette optique, les pouvoirs d'évaluation et de décisions pourraient alors être délégués à l'Agence Nationale des fréquences. Le Gouvernement a ainsi récemment confié à l'ANFR le pilotage de l'expérimentation. Cette institution n'étant pas indépendante, il existe néanmoins un risque de capture. L'ARCEP, quant à elle, ne dispose pas des compétences techniques nécessaires à la coordination des titulaires (compétence pour faire les tests de différentes configurations de réseaux, tests de reconfiguration des puissances d'émission, l'établissement des zones de protection et d'exclusion, etc.).

La gestion partagée (avec des utilisateurs différents) implique un fort degré de transparence pour les acteurs et de certitude de l'environnement. Si tel n'est pas le cas, la micro-institution capable d'organiser cette transaction doit être un expert technique dont le rôle sera superposé à celui des parties prenantes qui feront appel à lui. En favorisant le bon alignement de la gouvernance sur la transaction, l'expert contribue à l'entretien de la quasi-rente économique entre les deux parties mais ne peut pas se l'approprier. Finalement, l'objectif du partage doit être un meilleur usage optimal du spectre, mais il apparaît que celui-ci semble difficilement atteignable lorsque chacun des cocontractants défend ses propres intérêts et en particulier lorsque la valorisation du spectre intéresse autant les finances de l'État.

L'avantage de ce modèle est d'avoir une tierce partie qui intervienne à la fois *ex ante* pour définir les droits et obligations des parties prenantes dans le cadre du partage, et *ex post* pour traiter les conflits.

### 2.3.3. Le LSA : un partage efficace ?

Il convient de souligner que dans le cas du spectre, il ne suffit pas que la structure de gouvernance de la transaction soit alignée avec les attributs de la transaction pour que le partage soit efficace. La première condition pour qu'une transaction soit efficace et génère des gains économiques sur le long terme est de s'assurer que les affectataires aient un intérêt à ce qu'il y ait un meilleur usage du spectre. Il s'agit d'un vrai problème de politique publique. Les accords commerciaux dans le cadre du LSA ont été pensés pour inciter le titulaire à partager sa fréquence, à bien se comporter et à trouver un système de coopération entre les acteurs. **Mais il y a un risque d'effet pervers puisque l'utilisateur primaire a naturellement tendance à garder son spectre et à sous exploiter la ressource.** Comme nous avons pu le voir, le partage est poussé par le Gouvernement et par l'environnement institutionnel qui souhaite attribuer cette bande aux services mobiles haut débit. Dès lors, le partage de la bande 2,3-2,4 GHz ne relève pas d'une volonté particulière des agents mais a été mandaté par la puissance publique. Les parties prenantes à la transaction peuvent dans ce cas ne pas être incitées à se coordonner.

Pour le moment, les opérateurs mobiles affichent du moins une certaine réserve et montrent peu d'intérêt à détenir des droits sur cette bande en accès partagé et non exclusifs. Le partage de cette bande leur permettrait de fournir un usage LTE (*Long Term Evolution*) mais avec une technologie TDD (*Time Division Duplex*). Or, cette technologie qui se développe en Asie (Chine et Inde) n'a pour l'instant pas rencontré un grand succès en France, notamment dans la bande 3,6 GHz. Le Ministère de la Défense montre quant à lui plus d'intérêt au partage à l'heure actuelle. Mais il est difficile de juger si celui-ci découle d'une réelle volonté de parvenir à une utilisation plus efficace du spectre à long terme. En effet, le risque du partage lorsque celui-ci est imposé au titulaire d'une fréquence, est qu'il conduise à une situation de partage inefficace dans laquelle le titulaire accepterait de partager une partie de ses droits uniquement

pour éviter une alternative qui lui serait encore plus désavantageuse. Par exemple, dans le cas d'un réaménagement, celui-ci serait obligé de libérer la fréquence. Ainsi, en jouant le jeu, le titulaire de la fréquence qui se soumet au partage, s'assure de garder sa bande de fréquence.

A cet égard, il convient de souligner que le contexte de rareté risque par ailleurs d'exacerber ce type de comportements. Dès lors, bien avant de savoir comment rendre les droits de propriété exécutoires dans le cadre d'un partage, la puissance publique va devoir résoudre un problème d'incitation.

Les gains attendus du partage sont importants. L'étude faite par SCF Associates pour la Commission Européenne, estime que le partage de 200 à 400 MHz de spectre pour le haut débit mobile engendrera un bénéfice net de l'ordre de **plusieurs centaines de milliards d'euros** en 2020. La récente étude menée par Deloitte estime qu'à l'horizon 2030 le partage de la bande 2,3 GHz (50 MHz en tout) rapportera **86 milliards de dollars de valeur ajoutée** en Europe tandis que le partage de la bande 3,5 GHz (100 MHz en tout) aux États-Unis rapportera quant-à-lui **260 milliards de dollars de bénéfices** [Deloitte, 2014]. Enfin, l'étude faite par Plum Consulting envisage des gains économiques du LSA en bande 2,3 GHz de l'ordre de **6 à 22 milliards d'euros** en Europe [Plum, 2014]. Néanmoins, si les incitations au partage ne sont pas les bonnes, les gains attendus ne seront pas réalisés.

#### **2.4. Conclusion de la deuxième section. *Le LSA un premier modèle de partage complexe***

Cette deuxième section visait à appliquer notre démarche théorique à un cas de partage concret et à déterminer au regard des structures de gouvernance identifiées celle qui s'appliquerait le mieux au cas de partage LSA en bande 2,3-2,4 GHz, en France, entre le ministère de la Défense et les opérateurs mobiles. Pour ce faire nous avons analysé les micro-déterminants de la transaction et montré que le partage peut s'avérer complexe dès lors que les droits et obligations à déterminer dans le cadre d'une utilisation partagée deviennent très spécifiques à un utilisateur.

---

## Section 3. Le partage efficace: un problème d'incitation

Après avoir discuté de l'importance du mode d'organisation des transactions pour le transfert de droits de propriété dans le cadre d'un partage du spectre, nous montrons dans cette section que le mode d'organisation, même dans le cas où celui-ci est aligné avec les attributs de la transaction, n'est pas suffisant pour garantir un partage efficace. En effet, le mode d'organisation peut permettre le bon déroulement d'un transfert de droits entre deux parties prenantes sans pour autant parvenir à des résultats efficaces, tant au niveau de l'efficacité dans l'usage, qu'au niveau des gains économiques générés par le partage. *Ex ante*, si les parties prenantes n'ont aucun intérêt à partager leur fréquence ou bien, si les raisons pour lesquelles elles acceptent une transaction sont inefficaces, alors l'efficacité d'une utilisation partagée du spectre sera compromise.

Jusqu'à présent, les gouvernements et autorités ont réussi à libérer les bandes de fréquences nécessaires pour satisfaire les besoins de chaque secteur<sup>188</sup>. Néanmoins, en raison de l'augmentation des usages et de l'impécuniosité de l'État il semblerait que l'on rentre dans une période plus compliquée qui nécessite de trouver des solutions plus contraignantes. L'objectif de cette section est de mettre en lumière la nécessité de disposer de mécanismes incitatifs conduisant les titulaires à partager leurs fréquences. Pour cela, nous regardons, dans un premier temps, quels sont les freins à un partage dynamique efficace du spectre (3.1) et nous analysons, dans un second temps, les mécanismes incitatifs qui pourraient être mis en place pour inciter les utilisateurs à partager leur fréquence (3.2).

### 3.1. Les freins à un partage dynamique efficace du spectre

Les transactions de droits de propriété sur le spectre sont particulières car le spectre n'est pas produit par les utilisateurs primaires qui le détiennent. Qui plus est, celui-ci constitue la matière première de leur activité économique. Les agents économiques étant rationnels, il n'y a donc aucune raison, *a priori*, pour qu'ils soient incités à partager leur ressource avec d'autres. Dans certain cas, il peut y avoir une incitation mais seulement lorsqu'un propriétaire ne valorise plus sa fréquence et qu'il devient, pour lui, plus coûteux de garder ces droits et de payer des redevances, que de les transférer. C'est le principe du marché secondaire. Parfois, la puissance publique sera parfois tenue d'intervenir pour mandater le partage de certaines bandes de fréquences entre différents acteurs.

---

<sup>188</sup> C'est le cas de nombreuses fréquences appartenant au Ministère de la Défense ainsi que des fréquences du dividende numérique.

### 3.1.1. Les perdants de la réforme

Dans la section 2 du chapitre II nous avons identifié la Commission européenne et les gouvernements nationaux comme les acteurs de la réforme. Les deux ont des intérêts économiques et politiques à aller vers un nouveau système de gestion du spectre et une utilisation plus efficace de celui-ci. Si le partage du spectre est efficace, les retombées économiques seront importantes et les gouvernements seront alors considérés comme des gagnants de cette réforme pour une utilisation partagée et dynamique du spectre.

Le Gouvernement n'est pas la seule partie prenante gagnante à la réforme. Les nouveaux entrants (utilisateurs secondaires), les consommateurs, les salariés (en fonction des nouveaux emplois qui seront créés) seront aussi des gagnants de la réforme. Nous ne souhaitons pas faire ici une analyse de la réforme mais juste considérer dans la perspective de la nouvelle économie institutionnelle, que les différentes parties impliquées dans la réforme disposent d'un pouvoir de négociation plus ou moins fort en fonction de leur position [Ménard et Shirley, 2000]. Ce pouvoir de négociation détenu par les différentes parties prenantes à la réforme est néanmoins une variable importante dès lors que celles-ci n'ont pas les mêmes intérêts.

Dans la mise en œuvre d'une réforme, il y a généralement des gagnants mais également des perdants. Les parties prenantes et le gouvernement vont devoir entamer des négociations de façon à **redistribuer la ressource spectrale tout en s'assurant que les perdants ne bloquent pas la réforme**. À ce stade, il n'est pas possible d'évaluer empiriquement l'impact de celle-ci sur le groupe des gagnants et celui des perdants. Néanmoins, nous considérons comme perdants, les détenteurs de spectre qui seront tenus de partager leur bande de fréquences, comme les perdants. En effet, dans le cas d'un partage, une partie de leurs droits sera transférée à d'autres usagers sans qu'ils y soient forcément favorables. Dès lors, ces titulaires pour qui l'environnement est menacé vont chercher à influencer la réforme de façon à préserver leur position actuelle. Les propriétaires de fréquences sont des conservateurs qui estiment et craignent qu'une utilisation partagée et dynamique des fréquences ne conduise à la fin de leur privilège. Pour minimiser les changements, ils vont feindre de trouver de nouvelles formes de coordination pour cohabiter avec de nouveaux entrants, mais leur premier objectif sera de ne pas perdre ce qu'ils considèrent comme leur bien.

Dans une telle situation, on considère que les titulaires ont peu d'intérêts à partager la ressource dès lors qu'ils en sont les bénéficiaires.

### 3.1.2. Le risque d'une fragmentation excessive

Précédemment, nous avons vu que le partage densifiait l'ensemble de faisceaux de droits. Une des considérations importantes est que les droits transférés dans le cadre d'un partage ne

doivent pas être trop spécifiques. Si les droits transférés à un utilisateur secondaire sont trop spécifiques et trop adaptés à un utilisateur particulier, ils ne seront pas redéployables. Par ailleurs, les droits doivent être assez flexibles de façon à laisser une certaine marge de manœuvre en cas de renégociation.

La diversité des configurations de panels de droits transférables est importante. Mais la pression croissante sur la ressource spectrale conduit à une définition de plus en plus restrictive des droits exercés sur cette ressource. Le risque encouru est que le droit d'*abusus* de l'utilisateur secondaire soit limité, et qu'il devienne difficile, par la suite, de transférer son titre à un autre utilisateur qui ne pourra pas utiliser celui-ci pour l'usage de son choix. Le risque d'un partage intensif du spectre est donc que celui-ci mène à une appropriation privée individuelle de l'ensemble des droits dont dispose un agent.

La valeur des droits de propriété résultera du compromis entre une définition trop fragmentée et restrictive des droits, laquelle conduirait à une tragédie des anti-communs, et une définition trop laxiste qui ne permettrait pas de créer les incitations suffisantes pour investir dans les infrastructures [Hazlett et Oh, 2012].

### **3.2. Les mécanismes incitatifs**

Nous avons constaté que de nombreux acteurs se considèrent comme propriétaires de leurs fréquences et que certains sont réfractaires à l'idée de partager le spectre. Face à ce manque d'incitations, se pose la question des mécanismes incitatifs qui permettront de surmonter ces problèmes.

Les mouvements et réaménagements de fréquences, même s'ils sont poussés et accélérés par les contraintes et les demandes d'harmonisation au niveau régional et international, restent bien souvent dépendants du bon vouloir des acteurs et difficiles à mettre en place. Dans beaucoup de situations le principe de *grandfathering* (principe de droits acquis ou clause de grand-père) nuit à la libération des fréquences. L'autorité gestionnaire du spectre doit faire comprendre aux utilisateurs qu'ils ne sont pas propriétaires des fréquences. Il convient donc d'amener les utilisateurs à admettre et comprendre que le spectre ne leur appartient pas. Pour autant, le gestionnaire du spectre ne récupère pas les fréquences facilement. Si l'on regarde de plus près, le problème ne vient finalement pas des arrangements institutionnels existants. En effet, le gestionnaire du spectre pourrait révoquer les autorisations en place car elles constituent en droit des autorisations d'occupation du domaine public et sont donc précaires et révocables. Mais les autorisations d'utilisation des fréquences radioélectriques sont pour le juge administratif « créatrices de droit pour le titulaires » et ne peuvent ainsi être rapportées à l'administration à tout moment [Pez, 2011]. Néanmoins ce principe ne va pas forcément dans le sens de l'efficacité spectrale et laisse penser aux titulaires que leurs droits sont définitivement acquis.

Dans une logique d'efficacité spectrale, le gouvernement détient en quelque sorte, à travers le réaménagement, le pouvoir d'« exproprier » un titulaire du spectre si l'atteinte à ses droits de propriété n'est pas disproportionnée par rapport aux objectifs poursuivis et dans la mesure où l'expropriation vise à améliorer l'efficacité spectrale et présenter une utilité publique. Cependant, nous avons vu précédemment que le réaménagement du spectre est un processus long et coûteux. Dans un contexte de rareté exacerbée, une des solutions pourrait consister à faire payer tous les acteurs pour le spectre qu'ils utilisent afin de favoriser un usage plus efficace.

### **3.2.1. Système des prix**

Les utilisateurs primaires peuvent être incités à partager leurs fréquences s'ils reçoivent une compensation de l'utilisateur secondaire. C'est le principe du système des prix et de la gouvernance marchande. Mais le spectre n'est pas produit par l'utilisateur primaire et de ce fait, quelques limites apparaissent.

Si l'on rentre dans la logique d'un partage marchand en laissant les titulaires de fréquences négocier directement avec des utilisateurs secondaires le partage de leur fréquence contre une compensation monétaire, cela implique que des utilisateurs et affectataires pourront monnayer leurs fréquences. Or, le spectre est un bien public et, qui plus est, les fréquences détenues par les utilisateurs primaires sont en quelques sortes un héritage et non un produit de leur travail. Ainsi, il apparaît inéquitable que des titulaires détiennent un avantage sur d'autres utilisateurs, au seul motif de leur antériorité.

Dès lors, soit ce mécanisme incitatif est retenu et dans ce cas il faudra accepter que des utilisateurs puissent gagner de l'argent sur les fréquences qu'ils détiennent, soit il faudra choisir un autre mécanisme. Pour le moment, le marché *spot* du spectre envisagé dans le cas de transactions peu spécifiques, et de court terme, repose sur le système des prix et sur l'existence de compensations financières qui inciteraient les utilisateurs primaires à partager le spectre.

### **3.2.2. Réduction des redevances**

Afin d'inciter les acteurs au partage, une autre solution pourrait être de réduire la redevance imposée aux propriétaires qui acceptent de partager leurs fréquences. Le problème de cette mesure apparaît lorsque le titulaire concerné ne paye déjà pas ses fréquences. En France, c'est par exemple le cas des opérateurs du secteur de l'audiovisuel qui ne payent pas de redevances. L'utilisation des fréquences par ces opérateurs est soumise à des contreparties non financières, fondées sur des motifs d'intérêt général, qui se substituent aux redevances. L'utilisation n'en est pas pour le moins gratuite puisqu'il y a une contrepartie en nature qui est versée. Néanmoins, lorsque ces contreparties non financières remplacent les redevances domaniales, la réduction de redevance perd son sens. En France, la redevance généralisée prévue par le

décret du 22 mai 1997 n'a pas été appliquée [Pez, 2011]. À ce titre, le rapport Jouyet et Levy [2006] concluait que ce dispositif n'allait pas en faveur d'une économie des fréquences.

Une solution consisterait à inciter les acteurs privés et publics à une utilisation plus efficace, en récompensant ces derniers lorsqu'ils rendent des fréquences. Pour cela, les autorités doivent définir des mécanismes incitatifs. Au Royaume-Uni a été définie la tarification administrative incitative (AIP (*Administrative Incentive Pricing*)). L'Ofcom souhaitait l'appliquer aux diffuseurs audiovisuels d'ici 2014 mais son introduction a été repoussée à 2020<sup>189</sup> [Ofcom, 2013a].

### 3.2.3. Mécanismes institutionnels

Au États-Unis, un récent rapport de l'IDA (*Institute for Defense Analyses*) a recensé les différentes approches qui permettraient d'inciter les différents utilisateurs, notamment les agences fédérales, à partager ou rendre le spectre qu'ils détiennent [IDA, 2014].

Parmi les différentes approches proposées<sup>190</sup> par l'IDA, une approche consiste à récupérer des fréquences appartenant au Ministère de la Défense américain (DoD) : **BRAC the spectrum**. Dérivant de l'approche BRAC (*Base Realignment and Closure*) qui consiste à réviser les actifs détenus par le DoD et à fermer les bases militaires jugées non nécessaires afin de faire des économies, l'approche *BRAC the spectrum* a été proposée en 2011 par le Sénateur Mark Kirk et Andam Kinzinger [Kirk et Kinzinger] [House, 2011] [IDA, 2014]. Le processus proposé consiste à créer une commission composée de neuf membres (la *Federal Spectrum Reallocation Commission* (FSRC)) chargée, dans un premier temps, d'identifier les bandes de fréquences qui pourraient être libérées et mises aux enchères, puis dans un second temps, d'obliger les agences fédérales à céder leur bande. L'objectif étant de rationaliser l'utilisation du spectre fédéral.

Skorup [2014] juge qu'une réforme est nécessaire à court terme pour récupérer le spectre fédéral peu utilisé. À plus long terme, il estime que la loi devrait être modifiée afin de reconnaître que le spectre est un actif qui ne devrait pas être gratuit pour les utilisateurs gouvernementaux. Selon lui, les utilisateurs gouvernementaux devraient, comme pour les autres actifs qu'ils utilisent, prévoir un budget pour l'achat de fréquences.

<sup>189</sup> Voir également sur Policy Tracker les articles suivants : "Ofcom delays applying AIP to UK's DTT spectrum", Septembre 2013; "Ofcom's broadcast spectrum proposals may send the wrong signals", Avril 2013; "UK broadcaster urges regulator to waive "spectrum tax"", Mars 2013. <https://www.policytracker.com/headlines/ofcom2019s-broadcast-spectrum-proposals-may-send-the-wrong-signals>  
<https://www.policytracker.com/headlines/bbc-calls-on-regulator-to-waive-201cspectrum-tax201d>  
<https://www.policytracker.com/headlines/ofcom-delays-applying-aip-to-uks-dtt-spectrum/?searchterm=AIP%20UK>

<sup>190</sup> Les autres approches proposées ont la plupart été évoquées dans les chapitres précédent, on peut citer : la tarification administrative incitative, le fond de réaménagement du spectre, les droits de propriété du spectre, un marché dynamique en temps réel pour le spectre fédéral, des droits d'usage flexibles, l'accès partagé au spectre, les licences *overlay*.

Une autre solution pourrait également conduire à une utilisation plus efficace des fréquences : la *GSA (General Services Administration) for federal spectrum*. Cette option consiste en la création d'une agence indépendante du gouvernement fédéral américain afin d'aider à la gestion du spectre détenu par les utilisateurs fédéraux [Lenard, White et Riso, 2010 ; Skorup, 2013]. Proposée aux États-Unis, cette option chargerait le Congrès de créer une agence qui prendrait possession de tout le spectre détenu par les acteurs fédéraux afin de le louer aux agences fédérales. Une fois que tous les utilisateurs gouvernementaux auront loué le spectre qui leur est nécessaire auprès de l'agence, l'excédent de spectre pourrait être vendu ou loué aux utilisateurs commerciaux [Skorup, 2013].

#### **3.2.4. Taxe incitative**

L'objectif de la taxe incitative serait de faire payer une taxe à celui qui ne partage pas sa fréquence ou qui la sous-utilise. La taxe n'aura pas d'effets incitatifs si le prix fixé reste inférieur à la perte résultant du partage. Dans ce cas, il sera plus avantageux pour les titulaires de payer une taxe que de partager leur fréquence. Pour induire un changement de comportement chez les titulaires, il faudrait augmenter le montant de la taxe jusqu'au coût marginal du partage.

La taxe serait un versement obligatoire sans contrepartie, versée directement au budget de l'État. Ce type d'instrument inciterait les consommateurs et les fabricants à adopter un comportement plus conciliable avec les exigences d'efficacité spectrale. Pour autant, il faudrait être capable de définir la sous-utilisation d'une fréquence et de déterminer un niveau optimal de partage afin de pouvoir fixer le montant de la taxe.

### **3.3. Conclusion de la section 3. *Des mécanismes incitatifs pour un partage efficace***

Idéalement, pour parvenir à un partage dynamique efficace, il faudrait pouvoir remanier et remodeler tous les arrangements institutionnels existants, de façon à créer un environnement propice à celui-ci. Mais même dans un but d'efficacité économique générale, l'environnement institutionnel et la répartition des droits de propriété ne pourraient être remaniés de fond en comble comme si les affectataires ne possédaient aucun droit. La difficulté est donc de faire au mieux avec l'architecture institutionnelle actuelle.

---

---

## Conclusion du troisième chapitre

La nouveauté de notre approche réside dans la façon dont nous avons traité le partage. Plutôt que de le traiter d'un point de vue technique, nous l'avons abordé sous l'approche transactionnelle et contractuelle. Nous avons considéré qu'en partageant sa bande avec un utilisateur secondaire, le titulaire de la fréquence transférait un ensemble de droits choisis parmi un ensemble de faisceaux de droits (*bundle of rights*). En concevant la propriété comme un faisceau de droits, on ne l'a pas analysé comme le rapport entre un utilisateur et une fréquence, mais comme un rapport entre différents utilisateurs entre eux concernant une fréquence. Dès lors, l'utilisation du spectre est constituée de droits et d'obligations attribués à des utilisateurs qui régissent leurs relations autour de l'utilisation d'une fréquence. Ces droits portent sur les conditions d'accès et d'utilisation de la fréquence considérée, sur la possibilité de s'en approprier les résultats et d'en tirer des revenus, ou encore sur les possibilités de cession entre individus de ces différents droits.

Sur la base de cette conception de faisceaux de droits, on a montré que diverses formes d'organisation, ou structures de gouvernance, étaient envisageables. Ces structures de gouvernance représentent un mode spécifique de définition et d'affectation de divers droits sur une fréquence particulière. En fonction des caractéristiques transactionnelles, nous avons montré que les individus peuvent négocier et passer des accords, ou des contrats de partage, en se coordonnant via un système de coordination marchande (système des prix), hiérarchique (contrat de subordination) ou par des formes hybrides (avec intervention d'une tierce partie par exemple pour définir les conditions de partage). Nous avons ainsi montré qu'un marché *spot* du spectre en temps réel était envisageable dans des sous-bandes particulières, dès lors que le niveau d'incertitude et le degré de spécificité des actifs étaient faibles.

L'analyse que nous avons faite du cas du partage de la bande 2,3-2,4 GHz en France, entre le Ministère de la Défense et les opérateurs mobiles, a montré que certaines transactions plus complexes nécessitent un mode de coordination plus élaboré que le seul marché. Nous avons alors montré, pour ce cas particulier, qu'une forme hybride était la structure de gouvernance la plus adéquate. En particulier, l'intervention d'un tiers, coordinateur technique, apparaît nécessaire pour résoudre les problèmes de coordination et autres perturbations.

Toutefois, l'analyse de l'utilisation partagée du spectre a mis en exergue certains obstacles à un partage efficace du spectre. Premièrement, il est apparu que le principe de droits acquis (*grandfathering*) nuisait à la libération des fréquences, et que dans l'environnement institutionnel existant les acteurs se considéraient trop souvent « propriétaires » de leurs fréquences. La première recommandation que nous avons faite à ce sujet est la nécessité d'amener les utilisateurs à prendre conscience que le spectre ne leur appartient pas. Dans ce cadre, laisser les utilisateurs se coordonner entre eux pour se transférer des droits de propriété, en échange de compensations financières, constituerait un mécanisme incitatif. Néanmoins, cette solution

supposerait d'aller au-delà de ce qui est autorisé dans le cadre du marché secondaire, et de donner aux utilisateurs finaux (commerciaux et/ou gouvernementaux) la possibilité de décider eux-mêmes de l'affectation des bandes fréquences. Considérer le spectre comme un objet de commerce rentrerait alors en opposition avec la planification technique de l'utilisation des bandes de fréquences existante. Par ailleurs, une marchandisation de la ressource spectrale ne permettrait pas de tenir compte des utilisateurs en bande adjacente puisque ces derniers ne seraient pas pris en compte dans le contrat classique de partage. Deuxièmement, on peut se poser la question de la légitimité de la rationalisation économique des modalités d'attribution des fréquences. La création des marchés du spectre a conduit à une rationalisation de l'attribution des fréquences mais un nombre important de bandes avaient tout de même déjà été attribuées avant la création des marchés : c'est le cas des bandes de fréquences détenues par les utilisateurs gouvernementaux. Permettre à ces entités de commercialiser leur ressource et de monétiser les fréquences qui leur ont été affectées, au seul motif qu'elles étaient les premières institutions à y accéder, peut poser un problème d'équité.

Finalement, notre analyse a recensé les différents modes de gouvernance pouvant être envisagés en fonction des caractéristiques transactionnelles, expliquant en partie la coexistence des modes de gouvernance dans le système actuel. Nous avons conclu qu'aucune forme organisationnelle ne serait définitivement supérieure à une autre dans un monde de partage, mais que ces structures de gouvernance se révélaient complémentaires et non substituables concernant l'accès au spectre.

Toutefois, nous avons vu qu'en abaissant les coûts de transaction grâce aux technologies cognitives d'accès au spectre, il serait possible de favoriser une marchandisation de la ressource dans le futur. Mais alors, en considérant que le spectre puisse faire l'objet d'une transaction marchande (même entre acteurs gouvernementaux et commerciaux), le risque est de traiter celui-ci seulement comme un actif pouvant être approprié et non plus comme une ressource pouvant être gérée sans considérations économiques ou assimilée à une ressource commune.



# Chapitre IV

## La valorisation économique des fréquences dans un monde de partage

<b>Section 1. Principes de valorisation du spectre hertzien</b> .....	<b>214</b>
1.1. La valeur économique du spectre hertzien .....	214
1.2. Le spectre : un enjeu majeur de développement de l'innovation .....	221
1.3. Conclusion de la première section. <i>Au delà de l'aspect financier</i> .....	243
<b>Section 2. Partage et valorisation du spectre : réflexions économiques</b> .....	<b>244</b>
2.1. Les différentes méthodes d'évaluation .....	244
2.2. Les facteurs de valorisation du spectre .....	250
2.3. Conclusion de la section 2. <i>Vers une valorisation efficace de la ressource spectrale</i> .....	253
<b>Conclusion du dernier chapitre</b> .....	<b>254</b>



## Introduction au quatrième chapitre

La politique du spectre relève de la responsabilité des États qui ont pour objectif la valorisation de cette ressource sur leur territoire. Face à la rareté du spectre, il devient cependant de plus en plus délicat de satisfaire les besoins de tous les utilisateurs (nouveaux comme anciens). Lorsqu'un choix doit être fait, il est d'usage d'attribuer le spectre à l'utilisateur qui valorisera le plus la ressource (prix payé) et au service qui générera le plus de valeur économique (bénéfices économiques). Mais le spectre hertzien n'est pas un bien banal et se doit d'être géré de façon à maximiser les bénéfices socio-économiques. Même si la raréfaction croissante des bandes de fréquences et l'émergence des technologies intelligentes s'inscrivent en faveur d'une marchandisation de ce bien commun, nous montrons que la valorisation du spectre est un exercice délicat dès lors que ces services ne sont pas fondamentalement comparables. Au surplus, la rareté et l'utilisation partagée du spectre complexifient la répartition et l'allocation de celui-ci entre les différents usagers. La question qui se pose au regard de l'évolution récente des usages du spectre et de l'utilisation dynamique de cette ressource est celle de la valorisation des bandes de fréquences dans un monde de partage. Ce chapitre se propose d'éclairer cette question qui prend de plus en plus d'importance dans le contexte actuel où de moins en moins de bandes de fréquences sont disponibles.

La première section de ce chapitre est consacrée à l'analyse de la valeur économique générée par le spectre. Nous verrons qu'il existe un biais à comparer les bénéfices économiques générés par les différents services utilisant des bandes de fréquences différentes. À travers l'analyse du spectre sans licence, nous montrons que d'autres objectifs tels que la croissance et l'innovation dans le spectre contribuent à la valorisation de la ressource. Ainsi, la valeur économique générée par les différents usages du spectre ne permet pas toujours de faire des choix puisque le système de gestion du spectre relève aussi bien d'une logique de bien privé que d'une logique de bien public. Par ailleurs, il est nécessaire que cette ressource limitée, qui tend de plus en plus à être partagée de façon dynamique, soit valorisée de façon à assurer la fourniture de services publics, marchands et de recherche.

Après avoir passé en revue les différentes estimations de la valeur économique du spectre et estimé la valeur économique du spectre sans licence en France, nous analysons dans une seconde section les différentes méthodes d'évaluation de cette valeur et les différents éléments qui influent sur celle-ci. Notre objectif est d'analyser comment valoriser la ressource spectrale dans un monde de partage. Après avoir notifié l'importance de recourir à des approches de valorisation plus hybrides, nous revenons sur les différents éléments, qui en dehors des qualités intrinsèques des fréquences, permettent aux gestionnaires du spectre d'optimiser la valeur des fréquences.

## **Section 1. Principes de valorisation du spectre hertzien**

Pour attribuer une bande de fréquences à un service particulier, le gestionnaire du spectre peut se baser sur une estimation de la valeur du spectre associée aux différents services concurrents. Par exemple, dans le cas du premier dividende numérique, l'attribution des fréquences libérées s'est faite, pour partie, sur une base économique, en comparant la valeur économique générée par le haut débit mobile de celle générée par la création de chaînes supplémentaires de télévision numérique terrestre. La valeur économique du spectre s'évalue en fonction du coût d'opportunité, lequel est représenté par la valeur des usages alternatifs auxquels il faut renoncer lorsqu'un usage donné est choisi. Cette méthode de valorisation est efficace lorsqu'il s'agit de faire un arbitrage entre deux ou plusieurs services bien déterminés pour une bande de fréquence donnée. Mais dès le début de ce travail, nous avons vu que les fréquences qui constituent le spectre radio ne se valent pas toutes et qu'en raison de leurs caractéristiques physiques, elles ne permettent pas de délivrer les mêmes services. Par ailleurs, dans un contexte de rareté où le spectre doit être partagé entre différents utilisateurs, valoriser la ressource spectrale devient un exercice de plus en plus délicat en raison des contraintes qui peuvent être imposées par le titulaire.

Nous montrons que la valeur économique générée par l'utilisation du spectre est un instrument économique utile mais non suffisant (1.1.). Pour les tenants de la marchandisation de ce bien commun, le spectre doit être considéré comme un bien économique. En réalité, le gestionnaire du spectre doit attribuer la ressource en fonction de considérations politiques et sociales afin de tenir compte d'autres facteurs à côté de l'aspect financier, comme par exemple la sécurité publique, la capacité à innover, les possibilités de recherche et développement ou encore le bien être des consommateurs, qui contribuent tous à la valorisation socio-économique du spectre. Nous montrons que le spectre ouvert, gratuit et sans attributaire exclusif, alors non monétisé, concourt également à la valorisation de la ressource (1.2.).

### **1.1. La valeur économique du spectre hertzien**

La valeur économique d'une bande de fréquences est souvent estimée en fonction des valeurs attribuées aux biens et services liés au spectre (1.1.1.). Toutefois, il y a certain biais à comparer les valeurs économiques générées par les différents services sans tenir compte de la bande de fréquence et de la quantité de spectre qui leur sont attribuées (1.1.2.)

#### **1.1.1. Comparaisons des valeurs économiques générées par les différents services**

L'utilisation du spectre radio, aussi bien pour la fourniture d'applications relevant du domaine marchand (communications mobiles), régalién (défense, sécurité civile) ou public

(météorologie, recherche) a un impact considérable sur l'économie d'un pays. Les retombées économiques diffèrent en fonction de la bande de fréquence considérée et de l'usage qui en est fait. Elles permettent d'attribuer une valeur économique au spectre en mesurant le surplus social, c'est-à-dire la somme du surplus du producteur et du consommateur, lié à un service. Les services fournis par les différents producteurs dépendent également du régime d'accès à la fréquence. Tandis que les bandes de fréquences sous licence supportent des services commerciaux bien connus (télévision, téléphonie mobile), les bandes sans licences supportent également de nombreux services, notamment innovants. Lorsque le gestionnaire du spectre doit faire un arbitrage entre un régime privé et un régime en commun, il peut s'appuyer pour prendre sa décision sur les valeurs économiques respectivement générées par les bandes soumises à ces deux régimes d'accès.

La valeur économique de l'ensemble du spectre se mesure ainsi en estimant le bénéfice des différents usages publics et privés du spectre, c'est à dire en calculant le surplus des consommateurs et des producteurs générés par l'ensemble des services sans fil. Une récente étude faite pour le Ministère britannique des entreprises, de l'innovation et des compétences (*Department for Business, Innovation and Skills* BIS) et le Ministère britannique de la culture, des médias et des sports (*Department for Culture, Media and Sport* ou DCMS) a estimé la valeur économique du spectre au Royaume-Uni en 2011 à 52 milliards de livres [Kende et *al.*, 2012] tandis qu'une autre a estimé celle des États-Unis en 2009 à 277 milliards de dollars [Thanki, 2009] (cf. Tableau 27).

**Tableau 27 : La valeur économique du spectre au RU (2011) et aux US (2009)**

Services	RU (milliards de £)	US (milliards de \$)
Communications mobiles	30.2	168,7
Diffusion (TV + Radio)	10,8 <sup>191</sup>	44,9
Liaisons micro-ondes	3.3	21,7
Liaisons satellites	3.6	30,2
Radio amateurs	2.3	9,3
Wi-Fi	1.8	2,3
<b>Total</b>	<b>52.0</b>	<b>277,0</b>

Source : Kende et *al.* [2012] et Thanki [2009]

En 2013, Lewin et *al.* [2013], dans une étude pour le GSMA, font également une estimation de la valeur économique du spectre en Europe. Les résultats de leur étude sont donnés dans le Tableau 28 ci-dessous. Les bénéfices économiques générés par le spectre représentent près de 590 milliards d'euros en Europe.

<sup>191</sup> 7.7 Milliards de £ pour la TV et 3.1 milliards de £ pour la radio.

**Tableau 28 : La valeur économique du spectre en Europe (UE 27) en 2013 et 2023**

<b>Services (en milliards d'€)</b>	<b>2013</b>	<b>2023</b>	<b>CAGR(*)</b>
Communications mobiles	269	477	5,9%
Diffusion terrestre (TV+radio)	48,4	25,1	-6,4%
Diffusion satellite (TV)	17,5	21,1	1,9%
Liaisons satellites	31	55	5,9%
Liaisons terrestres fixes	27,8	30,3	0,9%
PMR	19	21,4	1,2%
Aviation civile	159	210	2,8%
Wi-Fi	22	95	15,7%
<b>Total</b>	<b>593,7</b>	<b>848,9</b>	<b>3,6%</b>

(\*) *Compound annual gross rate (CAGR)* est le taux de croissance annuel

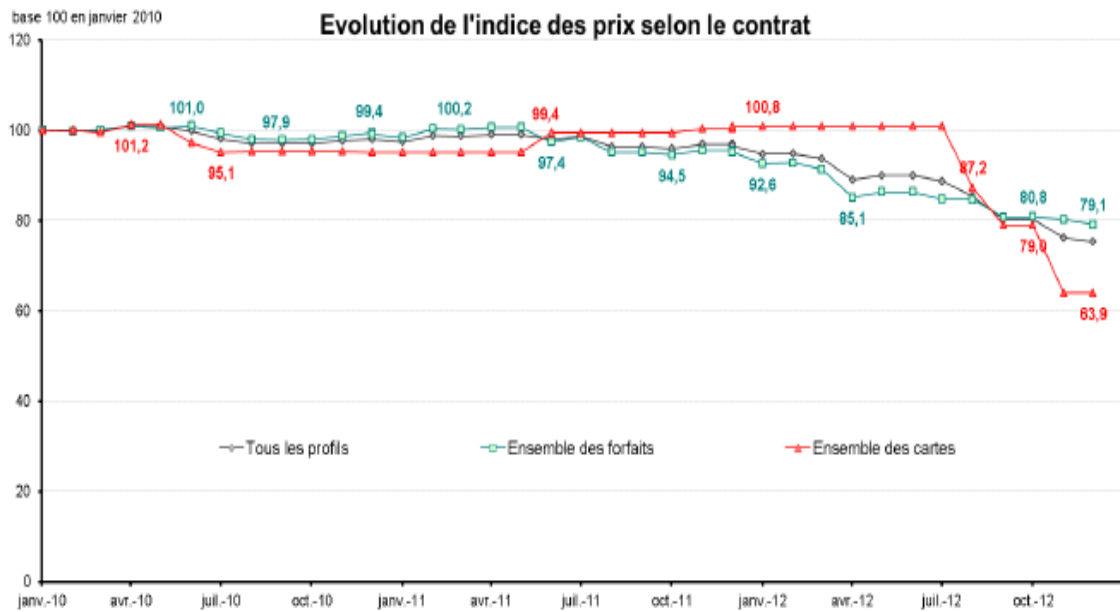
Source : Compilation auteur avec données de Levin et *al.* [2013]

Ces différentes études montrent qu'une grande partie de la valeur du spectre provient des communications mobiles<sup>192</sup>, soit 168,7 milliards de dollars sur les 277 milliards apportés par l'ensemble des services mentionnés aux États-Unis en 2009 ; 30,2 milliards de Livres sur les 52 au Royaume Uni en 2011 ; et enfin 269 milliards d'euros sur les 593,7 estimés en Europe en 2013. Une part importante de cette valeur provient du surplus du consommateur. En France, la valeur générée par le spectre libéralisé (téléphonie mobile) est également importante. En 2013, plus de 54 millions d'abonnés ont bénéficié des services de téléphonie mobiles offerts par les différents opérateurs.

La Figure 20 montre l'évolution de l'indice des prix en France. L'arrivée d'un quatrième opérateur de réseau mobile en janvier 2012 a contribué à baisser le prix de nombreux forfaits sans modification de contenu de l'offre, se traduisant *in fine* par une augmentation du surplus du consommateur.

<sup>192</sup> Par exemple, la valeur des bandes de fréquences attribuées aux services de télécommunications mobiles peut être évaluée en tenant compte du surplus des consommateurs et du produit des enchères. La dernière vente aux enchères des licences 4G a rapporté plus de 3,6 milliards d'euros.

Figure 20 : Evolution de l'indice des prix en France (2010-2012)



Source : ARCEP

L'étude Lewin et *al.* [2013] indique que la deuxième composante la plus importante, en terme de valeur économique générée (48,4 milliards d'euros), provient de la télévision et de la radiodiffusion terrestre. L'introduction de la télévision numérique haute définition (TVHD), la multiplication des télévisions dans les foyers et l'accroissement des chaînes de télévision contribuent à cette augmentation. La valeur économique générée par la télévision et la radio se mesure en fonction du surplus du consommateur et du producteur mais également en fonction des autres bénéfices économiques provenant de la chaîne de valeur de l'industrie de la radiodiffusion (approvisionnement, production de contenu, agrégation de contenu, publicité, distribution de contenu, fabrication d'équipements). Au Royaume-Uni par exemple, les 10,8 milliards de livres de bénéfices économiques générés par la radio et la télévision tiennent compte des revenus générés le long de la chaîne de valeur ainsi que des créations d'emplois.

En France, d'après le CNC [2013] les revenus des chaînes de télévision s'établissent à 9 473 millions d'euros en 2012 (incluant les financements publics, les recettes publicitaires et les abonnements aux chaînes payantes) : la croissance du marché de la télévision affiche une croissance de 22,4 % par rapport à 2003 (+5,0 % en euros constants), les recettes publicitaires nettes et les revenus des abonnements sont également en hausse (respectivement de 10,9 % et de 17,6 %). La valeur générée par la télévision et la radio occupe ainsi une part importante de la valeur économique du spectre dans son ensemble.

A coté de ces trois principaux usages (téléphonie mobile, services radio et audiovisuel), la valeur des autres usages est estimée à 11 milliards de livres pour le Royaume-Uni en 2011 (et à 61,2 milliards de dollars aux États-Unis en 2009). La valeur économique des services publics

n'a pas été estimée dans cette étude en raison de la difficulté de l'exercice<sup>193</sup>. Par contre, le Wi-Fi apparaît comme le service qui génère le moins de valeur économique parmi l'ensemble des services évalués. Sa valeur est par exemple estimée à 1,8 milliards de livres au Royaume-Uni. Plus de 98% de cette valeur provient du surplus des consommateurs. A côté, le surplus des producteurs est faible (près de 1,4 %). Il est estimé en évaluant les économies réalisées par les opérateurs lorsqu'ils déchargent une partie du trafic de leurs abonnés sur le Wi-Fi. La valeur des bandes Wi-Fi est estimée à **22 milliards d'euros** pour l'ensemble des pays européens en 2013 et devrait générer **95 milliards d'euros** d'ici 2023, soit un taux de croissance annuel de 15,7% [Lewin et *al.*, 2013]

Les bénéfices économiques générés par le Wi-Fi apparaissent relativement faibles au regard des autres services. Pourtant en offrant de nombreux avantages aux consommateurs et aux producteurs, la valeur économique du Wi-Fi prend de plus en plus d'importance dans la valorisation économique du spectre. Par exemple, l'étude faite pour le DCMS tient seulement compte de la valeur liée au déchargement du trafic sur le réseau Wi-Fi mais pas de l'ensemble des bénéfices économiques générés par le spectre sans licence. Les chiffres européens illustrent tout de même l'importance des réseaux sans fil dans les années à venir. Les taux de croissance annuelle, calculés à partir des estimations faites par Lewin et *al.* [2013], montrent que c'est la valeur économique générée par les réseaux sans fil (WLAN) qui a le taux de croissance le plus élevé par rapport aux autres services (+15,7%) (cf. Tableau 28). En Europe, la majeure partie des bénéfices économiques générés par le Wi-Fi en 2012 provient du Wi-Fi domestique (17 milliards d'euros), tandis qu'en 2023 ce seront les communications M2M qui généreront plus de la moitié de la valeur économique du spectre sans licence (55 milliards d'euros sur les 95 milliards prévus).

Finalement, il y a clairement une disparité significative de la valeur du spectre à travers les secteurs. Par exemple, la divergence entre la valeur économique de la téléphonie mobile et du Wi-Fi est remarquable. Cependant, il est important de souligner que ces estimations ne sont pas directement comparables. En fonction de la méthode d'évaluation retenue ou de la bande de fréquence considérée (fréquence et quantité de MHz utilisée), les estimations de la valeur ne seront pas les mêmes. La valeur marchande du spectre ne saurait suffire à faire des choix en matière de gestion du spectre. Comme de nombreuses applications échappent au domaine marchand et relèvent soit du domaine régalién, soit du domaine public (météorologie, recherche), d'autres critères tels que la valeur sociale, le niveau d'innovation ou le niveau de recherche et développement nécessitent d'être pris en compte. Elles constituent néanmoins un outil d'aide à la décision pour comparer les services qui génèrent le plus de bénéfices économiques.

---

<sup>193</sup> La valeur générée par les services publics (sécurité intérieure, défense, etc.) est une valeur essentiellement sociale qui nécessiterait d'interroger les différents habitants pour mesurer les bénéfices économiques qu'ils retirent de chacun de ces services.

### 1.1.2. Les limites de la valeur économique du spectre comme outil de valorisation

Au regard des précédents tableaux, on s'aperçoit donc qu'il y a un biais énorme à comparer les valeurs économiques générées par différents usages. D'une part, les bandes de fréquence utilisées pour fournir ces services n'ont pas les mêmes caractéristiques physiques, et d'autre part, la quantité de spectre attribuée (en MHz) varie selon les usages. Même lorsque celles-ci sont utilisées pour produire les mêmes services, leur valorisation peut être significativement différente. Les dernières enchères réalisées en France en sont un exemple. La valorisation du spectre 4G n'a pas été la même pour la bande 800 MHz et pour la bande 2,6 GHz. S'agissant de la bande 2,6 GHz, les quatre opérateurs retenus ont payé près de 936 millions d'euros pour 70 MHz duplex de spectre. S'agissant de la bande 800 MHz, seulement trois opérateurs ont été retenus mais ils ont payé les 30 MHz duplex près de 2,6 milliards d'euros. Pour des opérateurs de téléphonie mobile, la valorisation d'une bande est plus forte lorsque celle-ci est une bande basse qui permet de couvrir le territoire à moindre coût.

#### 1.1.2.1. Vers un système de pondération

Pour évaluer la répartition du spectre entre les différents services, il convient de déterminer la quantité de MHz attribuée à chacun d'eux. Néanmoins, une telle approche est biaisée puisque les bandes hautes sont plus larges que les bandes basses. A cet effet, l'Ofcom [2013b] utilise un facteur de pondération, lequel prend en considération le fait que la quantité de spectre est supérieure dans les bandes de fréquences hautes que dans les fréquences basses (en quantité de Mhz). Le principe consiste donc à appliquer un facteur de pondération constant<sup>194</sup> pour les bandes de fréquences allant jusqu'à 1 GHz et un facteur de pondération logarithmique inverse au dessus de 1 GHz, afin de prendre en considération les différences de largeurs de bandes dans le spectre lorsque l'on étudie la répartition de celui-ci entre les différents usages. Ainsi, en retenant ce facteur de pondération, il apparaît qu'une quantité de 10 MHz de bande passante à 100 MHz est équivalente à une même quantité de 10 MHz de bande passante à 1 GHz, mais qu'une quantité de 10 MHz de bande passante à 1 GHz est équivalente à une quantité de 100 MHz à 10 GHz.

Sous cette approche, sur l'ensemble du spectre des fréquences radioélectriques (allant 87,5 MHz à 86 GHz), il apparaît **19% du spectre (en quantité) se situe en dessous de 1 GHz** (contre 1% sans facteur de pondération), **31 % du spectre se situe entre 1 et 6 GHz** (contre 6% sans facteur de pondération), **18 % entre se situe entre 6 et 15 GHz** (contre 11% sans facteur de pondération), et **32 % se situe entre 15 et 86 GHz** (contre 82% sans facteur de pondération). À partir de cette distribution du spectre total pondéré, il est possible d'évaluer la répartition du spectre entre les différents secteurs et en fonction des différentes modalités d'accès.

---

<sup>194</sup> Permet de ne pas donner une importance disproportionnée aux fréquences basses.

### 1.1.2.2. *Un compromis permanent entre fréquences basses et fréquences hautes*

La pondération faite par l'Ofcom permet de faire une meilleure interprétation des résultats concernant la valeur économique générée par le spectre. Le tableau 29 donne la répartition du spectre total pondéré entre les différentes catégories de services.

Les quatre premiers secteurs (spectre sans licence, liaisons fixes, satellite et sciences spatiales) détiennent chacun plus de 20 % du spectre (sur un spectre total de 185 %<sup>195</sup>). Néanmoins, ils ne possèdent pratiquement pas de spectre sous 1 GHz à l'inverse des radiodiffuseurs qui ont accès à seulement 6% du spectre mais qui disposent uniquement de fréquences inférieures à 1 GHz.

**Tableau 29 : Répartition du spectre disponible par secteur en % de la quantité totale de spectre pondéré (RU, 2013)**

	Spectre entre 0,875 et 1 GHz	Spectre supérieur à 1 GHz			Total
		Entre 1 et 6 GHz	Entre 6 et 15 GHz	Entre 15 et 86 GHz	
Secteur public ( <i>dont service aéronautique</i> )	9,3 %	19,2%	10,5%	12,6%	52 %
Spectre sans licence	1 %	7,2 %	8,5 %	8,9 %	29 %
<i>Liaisons fixes</i>	0,1 %	2,8 %	5,8 %	15,6 %	24 %
<i>Satellite</i>	0 %	9,9 %	8,4 %	3,7 %	22 %
<i>Sciences spatiales</i>	0,2 %	8,4 %	3,2 %	8,2 %	20 %
PMSE	5,9 %	4,8 %	1,4 %	0,3 %	12 %
<i>Mobile et haut débit sans fils</i>	2,6 %	5,8 %	0 %	0 %	8 %
<i>Radiodiffusion</i>	6 %	0 %	0 %	0 %	6 %
<i>Amateurs</i>	1 %	3 %	1 %	2 %	6 %
<i>Maritime</i>	1 %	2 %	1 %	0 %	4 %
<i>Radio</i>	2 %	0 %	0 %	0 %	2 %
Spectre non assigné	0,2 %	0 %	0 %	2,5 %	3 %

*Source:* Ofcom, UK Frequency Allocation Table, UK Plan for Frequency Authorisation

En reprenant les résultats des trois précédents tableaux (Tableau 27, 28, et 29), on s'aperçoit que les deux catégories de services générant le plus de valeur économique (communications mobiles et radiodiffusion) sont celles qui détiennent le plus de bandes de fréquences sous 1 GHz. Par ailleurs, on constate que les bandes de fréquences accessibles à tous et sans licence sont très faibles sous le spectre à 1 GHz.

Au regard de ces considérations, la question de mettre sous un modèle collectif des fréquences inférieures à 1 GHz se pose, notamment pour les espaces blancs de la TV. Le choix de rendre des bandes de fréquences UHF accessibles à tous et gratuites ne va pas à l'encontre d'une valorisation efficace du spectre si l'on considère que le spectre ouvert est source de croissance et d'innovation. Pour justifier ce propos, nous faisons dans la partie

<sup>195</sup> En totalisant le spectre assigné entre les différents services à partir de la dernière colonne du tableau 29 on arrive à un total de 185 qui s'explique par le fait que de nombreuses fréquences sont utilisées par deux ou plusieurs services et sont ainsi comptabilisées plusieurs fois.

suivante une évaluation de la valeur économique générée par le spectre sans licence en France en 2013. La valorisation des bandes de fréquences sans licence est un exercice complexe, d'une part, parce que ces bandes sont gratuites, et d'autre part, parce qu'étant ouvertes à tous, il est difficile de savoir qui les utilise.

## 1.2. Le spectre : un enjeu majeur de développement de l'innovation

En abaissant les barrières à l'entrée, les bandes gratuites, libres et sans attributaire exclusif encouragent les firmes à tester et à développer de nouveaux produits et services, favorisant ainsi la concurrence et l'innovation dans le secteur. Le spectre sans licence, bien que gratuit, n'est donc pas dépourvu de valeur économique et son utilisation génère des gains économiques non négligeables. Les services délivrés par l'usage de bandes sans licence sont à la fois des services innovants mais également concurrents à ceux reposant sur le spectre sous licence. Le spectre sans licence, à travers le développement de nouvelles normes et technologies, fait émerger tout un écosystème. Les bénéfices générés par cet écosystème constituent la valeur intrinsèque du spectre sans licence. Par ailleurs, les services fournis par l'intermédiaire de bandes de fréquences exclusives développent de plus en plus de synergies avec les bandes sans licence. Aujourd'hui, une part non négligeable des données délivrées par ces services est déchargée au travers de dispositifs Wi-Fi. La valeur économique du spectre sans licence se décompose ainsi en une valeur intrinsèque, générée par l'usage de différents standards et technologies découlant de l'accès direct et gratuit à ces fréquences, et en une valeur dérivée due à la synergie entre les bandes avec et sans licence.

La valeur du spectre sans licence ne doit pas se restreindre à la valeur économique générée par le Wi-Fi (dans les Tableau 27 et 28 seule la valeur générée par le Wi-Fi est estimée). Dans son récent rapport sur une gestion dynamique du spectre en France, la professeure Joëlle Toledano appelle justement à libérer l'innovation en veillant à ce que la politique du spectre soit favorable à la concurrence et à l'innovation [Toledano, 2014]. Pour cela, il convient de s'assurer que la gestion dynamique du spectre dans un monde de partage favorise l'innovation afin de continuer à créer des externalités positives dans le reste de l'économie.

### 1.2.1. L'écosystème du spectre sans licence

Lorsque la valeur des bandes sans licence est comparée à celle des autres services sans fil développés sur des bandes de fréquences exclusives, elle peut paraître limitée. Pourtant, le spectre sans licence est un facteur de croissance économique dont les bénéfices économiques sont souvent sous estimés en raison de la difficulté à les quantifier. **En effet, la disposition à payer des consommateurs pour le spectre sans licence est difficile à estimer dès lors que l'accès à celui-ci est gratuit.** Par ailleurs, il est difficile de connaître l'ensemble des acteurs économiques qui bénéficient directement ou indirectement des fréquences libres. Pourtant, dans un contexte de rareté où des choix doivent être faits en matière de régulation et

de gestion du spectre, il est nécessaire de chercher à valoriser le plus rigoureusement possible les fréquences.

#### **1.2.1.1. Valeur économique intrinsèque du spectre sans licence**

Le spectre sans licence est constitué de différentes bandes de fréquences qui ont permis le développement de nombreuses normes et technologies telles que le Wi-Fi, le *Bluetooth* ou encore les technologies NFC (*Near Field Communication*) ou RFID (*Radio Frequency Identification*) aujourd'hui utilisées par une multitude d'acteurs dans des secteurs d'activités très divers. Le tableau 30 regroupe les différentes normes et technologies utilisées en fonction des principales « bandes libres » et y associe les applications qui en découlent. L'annexe 7 du TNRBF fournit la liste exhaustive des fréquences utilisables pour certains matériels de faible puissance et de faible portée<sup>196</sup>.

Pour Katz [2014a], les bandes libres, gratuites et sans attributaires exclusifs sont un facteur de production permettant à la fois d'améliorer l'efficacité des technologies filaires (haut et très haut débit fixe) et cellulaires (réseaux 3G, 4G), de développer des technologies alternatives (téléphonie *via* Internet), de supporter de nouveaux modèles d'affaire et de renforcer l'accès aux services de communications (connecter les zones blanches non desservies par un réseau donné).

Le spectre sans licence est un lieu d'innovation principalement en raison d'une utilisation sans barrière financière à l'entrée. L'utilisation de ces bandes de fréquences est de plus en plus intense puisque les technologies et services pour lesquels elles sont un *input* ne cessent de croître. Cisco [2013] estime par exemple que près de la moitié du trafic cellulaire sera déchargé vers les réseaux fixes ou Wi-Fi d'ici à 2017, ou encore que 25 milliards d'appareils seront connectés à Internet d'ici à 2015 (puce RFID essentiellement). Les prévisions tablent sur une forte croissance des technologies reposant sur le spectre sans licence contribuant ainsi à augmenter sa valeur économique. Par ailleurs, les appareils conçus pour des services fonctionnant sur des bandes exclusives (*smartphone*, télévision, radio) sont de plus en plus dotés de technologies basées sur les bandes sans licence telles que le *Bluetooth* ou le Wi-Fi.

---

<sup>196</sup> Voir Annexe 7 : Fréquences utilisables pour certains matériels de faible puissance et de faible portée [http://www.anfr.fr/fileadmin/medias/medias/documents/tnrbf/DR-02\\_13-Mod2\\_-\\_Annexe7.pdf](http://www.anfr.fr/fileadmin/medias/medias/documents/tnrbf/DR-02_13-Mod2_-_Annexe7.pdf)

**Tableau 30 : Technologies et applications utilisant les bandes sans licence**

Bande de fréquence	Technologies/ Normes <sup>197</sup>	Applications
125 kHz	RFID technologie passive	Bouteille de gaz, gestion de déchets, instrumentation chirurgicale, équipements domestiques, équipements de sécurité, automobile (gestion des stocks)
134,2 kHz	RFID technologie passive	Identification d'animaux
13,553-13,567 MHz	RFID technologie passive	Colis postaux, instrumentation chirurgicale, équipements de sécurité, aéronautique (gestion des stocks), bornes de location de vélo, transactions financières (Moneo), paiements sans contact (applications NFC : Near Field Communication), événements sportifs (timing)
169 Mhz	RFID technologie passive	M2M, domotique, télérelève et télégestion
433 MHz	RFID technologie passive	Identification des bogies et wagons (SNCF)
863-870 MHz	Tags RFID UHF (865 MHz à 868 MHz) Zigbee/802.15.4	Chaînes d'approvisionnement, badges, containers, lecteur de badge transport en commun, identification des bogies et wagons (SNCF), marquage d'objet sur de longue distance Commutateurs sans fils, compteurs électriques, système de gestion de trafic
2,4 GHz	RFID technologie passive ou active (2,446-2,454 MHz) Wi-Fi / 802.11b 802 .11g Bluetooth/802.15.1 (2400-2483,5 MHz) WirelessHART / 802.15.4	Transport et identité (passeport, pass Navigo, cartes sans contact), péage autoroutier, identification des bogies et wagons (SNCF) Accès haut débit (ordinateurs portables, smartphones, tablettes), réseaux locaux sans fils commerciaux, industriels, médicaux, personnels, gouvernementaux, etc. Oreillettes, ordinateurs portables, scanner code barre, appareil de paiement, applications industrielles et médicales, etc. Equipement et procédé de surveillance, contrôle environnemental, gestion de l'énergie, gestion des actifs, maintenance, etc.
5 GHz	RFID technologie passive WiMax/802.16 Wi-Fi/802.11b 802 .11g	Identification des bogies et wagons (SNCF) Transmission de données à haut débit, "Voix sur IP" (VoIP), interconnexion de réseaux d'entreprises, connectivité point à point Accès haut débit (ordinateurs portables, smartphones, tablettes), réseaux locaux sans fils commerciaux, industriels, médicaux, personnels, gouvernementaux, etc.
60 GHz	WirelessHD WiGig/802.11 ad	Appareils électroniques haute définition Communications M2M, transmission de données sans fils (smartphones, tablettes, ordinateurs portables, TV, caméras, etc.)

<sup>197</sup> **Wi-Fi** est un ensemble de protocoles de communication sans fil régi par les normes du groupe IEEE 802.11. **Bluetooth** : Technologie de communication sans fil, permettant de faire communiquer, dans un rayon de couverture limité, différents objets mobiles. **Zigbee** : Protocole permettant la communication de courte distance de petites radios. **WirelessHART** : Protocole sans fil robuste pour la gamme complète des applications de mesure et contrôle des procédés et de gestion d'actifs. **WirelessHD** (ou WiHD) : Spécification d'une technique de transmission sans fil. **WiGig** : Spécification décrivant les protocoles pour une transmission de données sans fil courte portée, technologie basée sur le standard IEEE 802.11ad, intéressante notamment pour les communications M2M. **RFID** (appareil RFID) : Technologie d'identification automatique des objets à distance qui s'appuie sur les radiofréquences.

Parmi les technologies fonctionnant sur le spectre sans licence, la technologie Wi-Fi, les puces RFID, mais également les autres technologies et normes de communication sans fils (*Near Field Communications* (NFC), *Bluetooth*, *WirelessHart*, etc.) contribuent directement à la valeur économique du spectre sans licence. Elles permettent de créer de la valeur dans différents domaines comme celui de la sécurité (surveillance), des jeux électroniques (consoles de jeux), du transport (carte de transport), de la santé (appareils médicaux), etc.

Les puces RFID sont par exemple utilisées dans plusieurs secteurs d'activité tels que la chaîne logistique, l'industrie pharmaceutique, le transport et la mobilité, le commerce, etc. Elles permettent à divers distributeurs et fournisseurs d'améliorer la gestion des inventaires, d'optimiser la gestion des entrepôts, de gérer les stocks, de tracer les produits, et d'éviter les vols.

Les équipements Wi-Fi utilisent essentiellement la fréquence 2,4 GHz et la norme IEEE 802.11g concernant les réseaux sans fil locaux, laquelle fournit un débit maximum théorique de 54 Mbits/s. Les appareils les plus récents sont compatibles avec la norme IEEE 802.11n utilisable sur les fréquences 2,4 GHz et 5 GHz. La dernière norme IEEE 802.11ac, normalisée depuis janvier 2014, autorise des débits encore supérieurs (débit théorique de 1,3 Gbits/s). Ainsi, le Wi-Fi contribue à améliorer la valeur des réseaux existants (fixe haut débit et mobile) et contribue également à l'émergence de nouveaux services et appareils. C'est un protocole de communication à la fois complémentaire et alternatif à d'autres services de communications. Dans le cas de la téléphonie mobile, il agit en complément lorsque le réseau est surchargé, permettant ainsi aux opérateurs mobiles d'économiser une partie des coûts d'investissement dans le réseau. C'est une technologie alternative aux services de téléphonie mobile existants puisqu'il est possible grâce à elle de passer des appels téléphoniques (*via* des applications comme *Skype*, *Facetime*, *Viber*, *Whatsapp*, etc.), à partir de différents équipements (ordinateurs portables, tablettes, smartphones, etc.), sans avoir besoin de disposer d'une connexion 3G ou 4G.

Grâce à de faibles barrières à l'entrée, de nombreuses innovations ont pu naître sur le spectre sans licence. C'est maintenant tout un écosystème qui repose sur ces fréquences et qui génère des bénéfices économiques. Mais la valeur économique du spectre sans licence ne s'arrête pas au Wi-Fi et des effets économiques plus larges doivent être pris en compte dans les estimations.

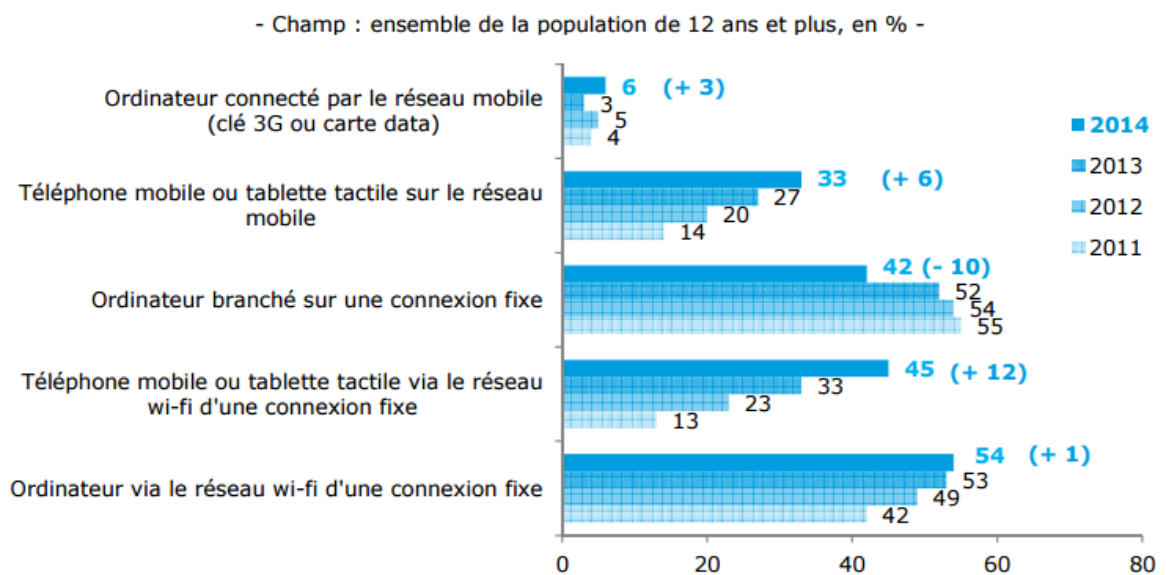
#### **1.2.1.2. Valeur économique dérivée du spectre sans licence**

Le spectre sans licence génère des effets positifs d'entraînement (ou effets de *spillover*), c'est-à-dire des effets économiques plus larges que ceux liés à sa valeur intrinsèque. Les effets de *spillover* proviennent d'un effet de débordement d'un secteur à l'autre : les innovations générées par le spectre sans licence ont un impact positif sur les usages provenant des bandes exclusives. Par exemple, l'impact direct positif du Wi-Fi sur les bandes de fréquences

exclusives, tout comme sur le haut et très haut débit fixe, est un effet d'entraînement [Milgrom et *al.*, 2011 ; Cooper, 2012 ; Katz, 2014a].

Une récente étude du CREDOC sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française montre, qu'à ce jour, les ordinateurs tendent de plus en plus à être connectés sur le réseau Wi-Fi d'une connexion fixe et de moins en moins branchés sur une connexion fixe. Les connexions de téléphones mobiles et tablettes *via* le réseau Wi-Fi d'une connexion fixe ont également largement progressé sur trois ans. La Figure 21 donne la proportion d'individus se connectant à Internet à domicile autre que par une connexion fixe.

**Figure 21 : Les différents modes de connexion à internet à domicile en France (en %)**



Source : Credoc [2014]

Le Wi-Fi augmente la valeur du haut et très haut débit fixe. Il est clair que sans son existence les individus ne pourraient pas profiter de leur connexion fixe dans toutes les pièces de leur logement et sur divers appareils. Le nombre d'appareils mobiles dont l'intérêt est justement de pouvoir être utilisé en mobilité et sans fil (*smartphone*, tablette, PC portable) tend à se multiplier au sein d'un même foyer. En 2013, les ventes de tablettes ont explosé (6,2 millions) et sur les 4,8 millions de PC vendus en France 3,9 millions sont des PC portables<sup>198</sup>. Par ailleurs, toujours d'après l'étude du CREDOC, les individus se servent principalement d'Internet pour effectuer des achats<sup>199</sup> [Credoc, 2013, p.15]. Au surplus, les bandes sans licence participent indirectement à tout un pan de l'activité économique incluant notamment l'e-commerce. En

<sup>198</sup> D'après GFK, voir <http://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-le-marche-des-tablettes-39789571.htm>

<sup>199</sup> Les autres étant, par ordre décroissant, d'effectuer des démarches administratives ou fiscales, écouter ou télécharger de la musique, participer à des réseaux sociaux, visionner ou télécharger des films, vidéos, séries ; téléphoner par Skype ou MSN, de rechercher des offres d'emplois, d'effectuer un travail à domicile et enfin de regarder la TV.

2013, le marché français de l'e-commerce a atteint 51,1 milliards d'euros et a progressé de 13,5% par rapport à 2012<sup>200</sup>.

Une part importante de la valeur économique dérivée du spectre sans licence provient également du délestage du trafic des réseaux mobiles. Le spectre sans licence a une influence positive sur la valeur économique du spectre sous licence. En permettant aux opérateurs mobiles de décharger une partie de leur trafic *via* le Wi-Fi, les opérateurs peuvent transmettre plus d'informations sans avoir à investir dans de nouvelles stations de base. Les investissements nécessaires à la couverture Wi-Fi sont significatifs (notamment dans les zones denses telles que les grandes métropoles mondiales) mais restent inférieurs aux investissements qui seraient nécessaires pour construire des réseaux LTE. D'après Cisco, 33% du trafic de données mobile mondial a été déchargé sur le réseau fixe *via* le Wi-Fi en 2012. Ce trafic est enclin à augmenter avec la multiplication des smartphones et autres appareils mobiles. Sur les 23,8 millions de mobiles vendus en 2014 auprès des français, 18,2 millions sont des smartphones<sup>201</sup>. En France, 46% des personnes sont désormais équipées d'un smartphone [Credoc, 2014].

Face à l'augmentation de données prévues sur les infrastructures mobiles les opérateurs vont devoir, pour répondre à la demande, supporter des coûts de transport de données plus élevés et éviter l'encombrement des réseaux. Plusieurs solutions sont à leur disposition. C'est le cas de la norme LTE, de la gestion du trafic ou de l'augmentation de capacité des liaisons terrestres. Cependant, la technologie Wi-Fi constitue la solution de premier rang pour les opérateurs puisqu'elle est intégrée dans la quasi-totalité des appareils mobiles. Le déchargement du trafic de données sur le réseau mobile contribue, d'une part, à l'augmentation du surplus du consommateur en réduisant le coût des données mobiles, et d'autre part, à l'augmentation du surplus du producteur en réduisant les coûts d'investissement dans le réseau.

### 1.2.2. La valeur économique du spectre sans licence

La méthodologie retenue pour mesurer la valeur économique du spectre consiste à calculer les surplus des consommateurs et des producteurs générés par un service en particulier (cf. **Annexe IV.1.** La méthode des surplus). Aux États-Unis, la valeur du spectre sans licence en 2013 est estimée à 222 milliards de dollars en termes de surplus total et représente 6,7 milliards de dollars de contribution au PIB (1.2.2.2.). Comme il n'existe pas d'estimation pour la France, nous faisons une estimation de la valeur économique générée par le spectre sans licence en France en 2013 (1.2.2.3.).

---

<sup>200</sup> Fevad et ZDNet chiffres clés <http://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-l-e-commerce-en-france-39381111.htm>

<sup>201</sup> D'après GFK, via ZDNet.fr/chiffresclés <http://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-les-ventes-de-mobiles-et-de-smartphones-39789928.htm>

### 1.2.2.1. Les résultats des différentes estimations aux États-Unis

Aux États-Unis, le spectre sans licence est fortement poussé par les acteurs *Over The Top*<sup>202</sup> (Google, Facebook, Amazon, Apple, etc.) et par les câblo-opérateurs qui voient en ce modèle une alternative à l'Internet fixe<sup>203</sup> [Toledano, 2014]. Ainsi, en dehors des deux études faites en 2009<sup>204</sup> puis 2012<sup>205</sup> pour le Ministère britannique des entreprises, de l'innovation et des compétences, et pour le Ministère britannique de la culture, des médias et des sports, les principales études consacrées à la valeur du spectre sans licence sont des études américaines. La première étude est celle de Thanki [2009] sponsorisée par Microsoft. Elle donne une première estimation de la valeur économique du spectre sans licence en agrégeant la valeur générée par trois applications sur la période 2004-2024 : **(i)** la valeur générée par le haut débit mobile au sein des foyers, **(ii)** la valeur générée par les applications utilisant le Wi-Fi dans les hôpitaux, et **(iii)** la valeur générée par les étiquettes RFID pour suivre les vêtements. La valeur générée est estimée entre **16 et 37 milliards de dollars par an**, dont 4,3 milliards de dollars sont attribués à la valeur du Wi-Fi résidentiel pour l'estimation basse et 12,6 milliards pour l'estimation haute.

En 2011, Milgrom et al. [2011] évaluent la valeur économique du spectre sans licence en fonction des usages actuels et proposent une évaluation de la valeur en fonction des usages futurs. Ils estiment que la valeur des bandes sans licence représente **64,6 milliards de dollars**, ce qui inclut la valeur générée par le déchargement des réseaux cellulaires sur le Wi-Fi, la valeur du Wi-Fi résidentiel et la valeur générée par les tablettes. Pour Cooper [2012], le délestage et le Wi-Fi résidentiel rapportent à eux seuls **84 milliards de dollars**. La même année, Thanki [2012] dans une seconde analyse, va remettre à jour ses estimations en fonction de l'évolution des marchés. Il estime alors que la valeur du Wi-Fi dans la sphère domestique et relative au déchargement des réseaux cellulaires s'élève à **24 milliards de dollars** toujours aux États-Unis.

Enfin, les deux études les plus récentes et les plus détaillées sont celles financées par le WifiFoward - un consortium incluant Google et Comcast ainsi que d'autres institutions - et

---

<sup>202</sup> Les OTT (*Over the Top*) sont également des sociétés de services telles que Skype, Viber ou Whatapps, qui utilisent le réseau Web pour fournir des services Telecom.

<sup>203</sup> Comme le souligne Joëlle Toledano dans son rapport pour une gestion dynamique du spectre pour l'innovation et la croissance : « le spectre sans licence constitue une solution à la dominance des principaux opérateurs mobiles, pour des acteurs différents. D'une part, les câblo-opérateurs ne veulent pas rester absents du marché de la mobilité et proposent des offres ubiquitaires via le Wifi à leurs clients fixes. La disponibilité de fréquences ouvertes est donc un élément central de leur stratégie. D'autre part, les acteurs de l'Internet craignent que la situation insuffisamment concurrentielle ne pèse sur la neutralité de l'Internet. Les fréquences basses sans licence permettent un accès alternatif à Internet et constituent une menace crédible de nouvelles entrées sur le marché pour les opérateurs mobiles. » [Toledano, 2014, p. 33].

<sup>204</sup> Voir « Economic impact of the use of radio spectrum in the UK », Europe Economics, November 2006 [http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/spectrum-research/economic\\_impact.pdf](http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/spectrum-research/economic_impact.pdf)

<sup>205</sup> Impact of radio spectrum on the UK economy and factors influencing future spectrum demand, Analysys Mason for DCMS, November 2012. <https://www.gov.uk/government/publications/impact-of-radio-spectrum-on-the-uk-economy-and-factors-influencing-future-spectrum-demand>

réalisées par Raul Katz, professeur à l'université de Columbia. Après avoir analysé les résultats des précédentes études, Katz [2014a, 2014b] propose une nouvelle valeur du spectre ouvert : il quantifie la valeur du spectre ouvert en y intégrant par rapport aux précédentes analyses la contribution au PIB liée aux revenus agrégés des 1800 fournisseurs de services Internet sans fil aux États-Unis ainsi qu'aux revenus générés par les produits *bluetooth* et autres normes de communication sans fil (*Zigbee, WirelessHart*) [Katz, 2014a]. La valeur du spectre sans licence est estimée à **222,38 milliards de dollars** (surplus total) auquel s'ajoutent **6,707 milliards de dollars** de contribution au PIB. Katz [2014b] estime qu'en 2017 le surplus généré par les bandes sans licence atteindra **547,22 milliards de dollars**, dont 531,02 milliards provenant des technologies et applications déjà déployées et 16,2 milliards provenant des applications futures susceptibles de s'y déployer. La contribution au PIB sera de 13,485 milliards de dollars pour les technologies déjà existantes et de 36,30 milliards pour les futures technologies représentées en majeure partie par les communications M2M, soit un total de **49,78 milliards de dollars**. Ainsi, bien que la valeur économique des bandes ouvertes soit difficile à évaluer en raison de leur gratuité et de la multitude d'acteurs qui les utilisent, les récents travaux en la matière affichent néanmoins des ordres de grandeur conséquents, lesquels illustrent le poids économique de leur utilisation.

#### **1.2.2.2. Une estimation pour la France**

Pour déterminer la valeur économique du spectre sans licence en France, nous avons choisi au regard des précédentes études relatives à la valeur des fréquences sans licences aux États-Unis d'estimer plusieurs valeurs économiques. Ces valeurs sont les suivantes :

- la valeur générée par l'utilisation du Wifi dans la sphère domestique, c'est-à-dire la valeur économique provenant du délestage à l'intérieur d'un foyer ayant souscrit à un abonnement haut ou très haut débit fixe (développement et diffusion des boxes),
- la valeur produite par le délestage du trafic des réseaux macro cellulaires,
- la valeur du Wi-Fi provenant uniquement des tablettes,
- la valeur des réseaux personnels et technologies sans fils,
- la valeur produite par les puces RFID.

##### **1.2.2.2.1. La valeur du Wi-Fi dans la sphère domestique**

Le Wi-Fi étant gratuit, il est difficile d'estimer la disposition à payer des consommateurs pour ce service. Toutefois, le surplus du consommateur peut être calculé en partant du surplus du consommateur lié aux services haut et très haut débit fixe. En effet, puisque la connectivité sans fil permise par le Wi-Fi est un service complémentaire aux offres haut et très haut débit fixe proposées par les opérateurs, une partie de la valeur économique générée par le haut et très haut débit fixe lui est imputable. Ainsi, nous faisons l'hypothèse qu'en l'absence de Wi-Fi, les consommateurs seraient moins (voir plus de tout) disposés à payer leur abonnement au haut et très haut débit.

Les bénéfices économiques liés au haut et très haut débit fixe sont très importants. De nombreuses études économétriques ont cherché à modéliser économétriquement l'impact de l'Internet et du haut débit fixe sur l'économie d'un pays [Crandall et *al.*, 2007 ; Gillett et *al.*, 2006 ; Greenstein et McDevitt, 2009 ; Katz et Suter, 2009]. Une récente analyse empirique conduite par Greenstein and McDevitt [2012] pour l'OCDE a estimé qu'en 2010, le surplus des consommateurs annuel lié au haut débit fixe s'élevait à 7,144 milliards de dollars USD en France, soit 4,9 milliards d'euros. Ne disposant pas d'étude sur la disposition à payer des consommateurs pour le haut et très haut débit fixe en France, on se base sur cette estimation et on considère que 50% de cette valeur provient du Wi-Fi (cf. Tableau 31). En effet, lorsque l'on se réfère à la Figure 21, on voit qu'en France, à domicile, plus de 50% des personnes se connectent sur ordinateur *via* le réseau Wi-Fi au détriment des connexions *via* une connexion fixe, lesquelles diminuent fortement. Nous estimons ainsi que la moitié des bénéfices économiques liés à l'internet fixe sont imputables au service Wi-Fi inclus dans les abonnements fixes.

**Tableau 31 : Le surplus du consommateur généré par le Wi-Fi résidentiel en 2013**

<b>Surplus du consommateur annuel généré par le haut débit</b> ( <i>valeur 2010 OCDE en euro</i> )	4,9 milliards d'euros
50%	<b>2,5 milliards d'euros</b>

Sous cette hypothèse (50% de la valeur du surplus de consommateur généré par le haut débit est attribuable au Wi-Fi) le surplus est du même ordre de grandeur que celui estimé par Thanki [2012]. En effet, Thanki estime que la valeur économique annuelle du Wi-Fi dans la sphère domestique en France est de 2,9 milliards d'euros (cf. Tableau 32).

**Tableau 32: Le surplus du consommateur généré par Wi-Fi résidentiel en France [Thanki, 2012]<sup>206</sup>**

Total des connexions wifi ( <i>en millions</i> )	Valeur haute ( <i>en milliards d'euros</i> )	Valeur basse ajustée ( <i>en milliards de d'euros</i> )
18,83	<b>3,3</b>	<b>2,9</b>

*Source* : Thanki [2012]

La valeur économique générée par le Wi-Fi dans la sphère domestique en France est donc estimé à **2,5 milliards d'euros** (cf. Tableau 31).

<sup>206</sup> L'auteur se base sur le total des connexions Wi-Fi en faisant l'hypothèse que 85% des connexions haut débit sont des connexions Wi-Fi. En prenant pour référence le surplus du consommateur américain lié au Wi-Fi, c'est-à-dire 222 dollars en moyenne, il quantifie la valeur haute du surplus des consommateurs lié au Wi-Fi résidentiel (en multipliant le nombre de connexion Wi-Fi par le surplus moyen par individu). La valeur basse est obtenue en ajustant la valeur haute à la différence de PNB entre la France et les États-Unis.

À cette première estimation du surplus du consommateur, on peut également ajouter les coûts économisés par le consommateur grâce au Wi-Fi. On soumet l'hypothèse selon laquelle, sans connexion Wi-Fi, les abonnés au haut et très haut débit seraient plus ou moins obligés de câbler les différentes pièces de leur logement afin de pouvoir bénéficier d'une connexion dans toute leur résidence et sur plusieurs appareils. En retenant un coût moyen de câblage d'une résidence pour un foyer compris entre 50 euros et 100 euros<sup>207</sup>, et en tenant compte du fait que 54% des connexions des 25,9 millions d'abonnés au haut et très haut débit se font *via* le Wi-Fi [Credoc, 2013], on estime le coût total évité en câblage entre **702 millions** d'euros et **1,4 milliards** d'euros.

#### **1.2.2.2.2.** La valeur économique du déchargement du trafic du réseau cellulaire sur le Wi-Fi

Pour estimer la valeur économique du déchargement du trafic du réseau cellulaire sur le Wi-Fi nous procédons en deux étapes : d'une part, on estime le surplus du consommateur généré par les accès Wi-Fi publics gratuits, et d'autre part, on estime le surplus des producteurs résultant du déchargement du trafic de données sur le spectre sans licence [Katz, 2014a].

- Le surplus du consommateur généré par le Wi-Fi gratuit

Le déchargement du trafic de données<sup>208</sup> vers les réseaux Wi-Fi peut se faire *via* des réseaux communautaires gratuits (*hotspots* dans les cafés, restaurants, lieu de travail, etc.) ou payants (*hotspots* dans les hôtels, aéroports), *via* des réseaux privés tels que les réseaux propres à l'abonné (depuis les box) ou *via* des réseaux Wi-Fi entretenus par les opérateurs mobiles. Ces derniers permettent, d'une part, d'éviter des problèmes de congestion, et d'autre part, de réduire le montant des investissements dans leur réseau cellulaire. Le déchargement du trafic de données, ou délestage, se fait donc de différentes manières (cf. Encadré 9).

---

<sup>207</sup> Ce coût inclut la visite, les heures de travail et le coût des câbles pour chacune des pièces du domicile. L'estimation s'est faite à partir du coût de pose de la fibre au domicile.

<sup>208</sup> Le déchargement du trafic de données a été défini dans l'étude pour la Commission Européenne sur l'impact du délestage de trafic et des tendances technologiques connexes sur la demande de spectre haut débit sans fil comme : « L'acheminement des données sans fil, traditionnellement fournies par les réseaux macro-cellulaires via des technologies alternatives de réseau d'accès exploitant la couverture locale (portées de transmission inférieures) et opérant à des fréquences potentiellement, ou non, accessibles exclusivement par l'opérateur du réseau. L'accès alternatif à la bande passante sans fil repose habituellement sur de « petites cellules » comme les points d'accès Wifi, voire les réseaux cellulaires à femto-cellules ou pico-cellules. » [Marcus et Burns, 2012, p.1-2].

**Encadré 9 : Les différents types de délestage du trafic de données sur le Wi-Fi**

	<b>Payant</b> ( <i>directement ou indirectement</i> )	<b>Gratuit</b>
<b>Wi-Fi public</b>	<i>Hotspots</i> Wi-Fi utilisant un proxy permettant le paiement direct <i>Ex : Certains hôtels, aéroports, etc.</i>	<i>Hotspots</i> Wi-Fi utilisant un proxy permettant l'authentification et/ou l'acceptation de conditions d'utilisation par l'utilisateur avant de lui accorder l'accès à Internet <i>Ex : McDonald, Starbuck, restaurants, etc.</i>
<b>Wi-Fi privé</b>	Grâce aux Box, il est possible de se connecter à internet et de disposer d'un accès Wi-Fi (Wi-Fi payé indirectement dans l'abonnement haut débit fixe) <i>Ex : Domicile privé, firmes, petites et moyennes entreprises</i>	Accès « invité » si quelqu'un partage sa connexion Wi-Fi <i>Ex : Domicile privé, firmes, petites et moyennes entreprises</i>

Le déchargement du trafic ne passe pas seulement sur le spectre sans licence. Au domicile, l'usage de *femtocells* permet également de faire du délestage (par exemple SFR a plus de 200.000 *femtocells* sur son réseau<sup>209</sup>). Une *femtocell* est une station de base installée au domicile ou sur le lieu de travail de l'utilisateur, laquelle permet d'améliorer la couverture réseau locale, en général *indoor*. Les opérateurs peuvent mettre en place ce type de technologies pour décharger leur réseau. Ainsi, dans un lieu privé, le trafic de données peut être déchargé *via* un point d'accès Wi-Fi local ou des *femtocells*, tandis que dans un lieu public, il peut être délesté *via* des *hotspots* gratuits ou payants. Il est donc nécessaire de dissocier le déchargement du trafic de données à l'intérieur du domicile de celui fait en extérieur sur des sites publics gratuits. Par ailleurs, en fonction de la nature du délestage (c'est-à-dire selon que celui-ci provienne d'ordinateurs ou d'appareils sans fil), l'impact ne sera pas le même sur la demande en spectre. Les appareils mobiles tels que les smartphones ou les tablettes qui n'ont pas accès aux réseaux Wi-Fi, ne peuvent pas bénéficier du haut débit fixe. Dans ce cas, c'est le réseau cellulaire qui doit supporter l'ensemble du trafic, ce qui nécessite une hausse des investissements dans le réseau. Il faut également dissocier les accès Wi-Fi gratuits des payants. Les *hotspots* publics et gratuits sont utilisés gratuitement par les consommateurs. Ce n'est pas le cas du Wi-Fi dans la sphère domestique qui fait partie intégrante des offres des opérateurs fixes. Le prix du service est donc inclus dans le prix payé.

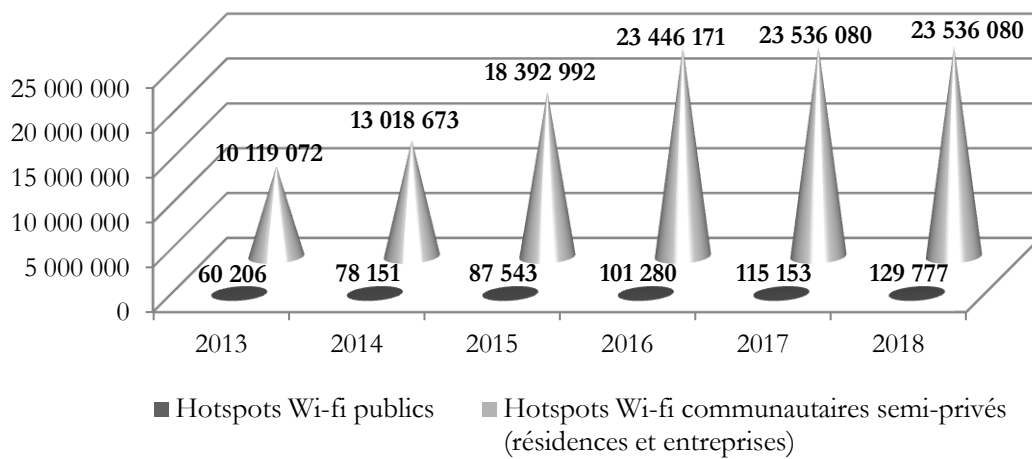
L'étude pour la Commission Européenne sur l'impact du délestage sur la demande de spectre haut débit estime que la grande majorité du délestage est de nature privée. La généralisation des « Box » au sein des foyers a introduit le Wi-Fi dans la sphère domestique. Le pourcentage du délestage intervenant sur les points d'accès Wi-Fi publics est donc assez faible. Néanmoins, il est prévu que la situation évolue suite aux progrès technologiques et suite à une disponibilité accrue des connexions Wi-Fi dans l'espace public, particulièrement à l'extérieur. Selon le

<sup>209</sup> Les *femtocells* déployées par les opérateurs n'utilisent pas forcément des bandes libres type Wi-fi. Elles peuvent utiliser les bandes exclusives de l'opérateur.

cabinet d'étude iPass, spécialisé dans les réseaux et la mobilité en entreprise, il existe en France près de 13 millions de *hotspots*. La France fait partie des pays, avec les États-Unis et la Chine, qui comptent le plus de *hotspots* Wi-Fi. Les données d'iPass comptabilisent les réseaux Wi-Fi purement publics et commerciaux ainsi que ceux fournis par les box des abonnés (c'est-à-dire offerts par les opérateurs mobiles), ce qui explique le nombre élevé de *hotspots* en France (près de 13 millions en 2014). Toutefois, la France dispose d'environ 80 000 *hotspots* publics commerciaux.

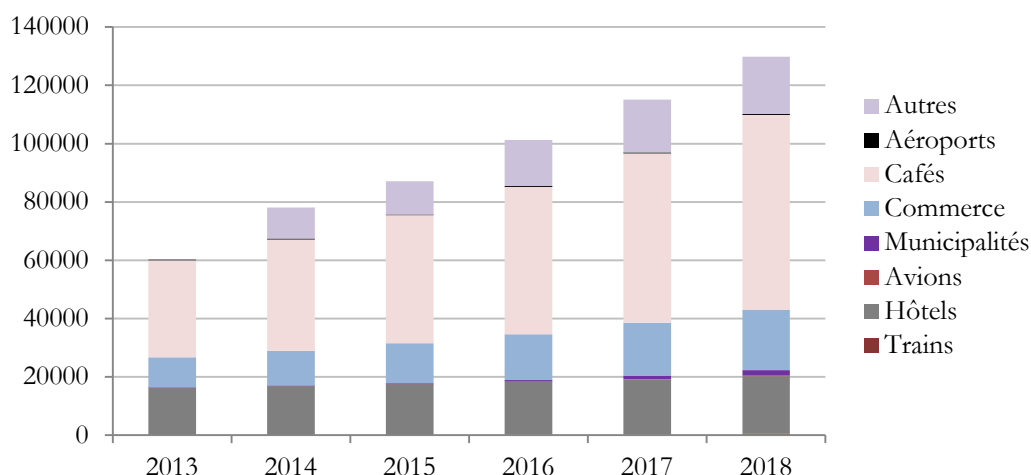
La figure 22 donne l'évolution du nombre de *hotspots* Wi-Fi publics et Wi-Fi communautaires semi-privés en France entre 2013-2018.

**Figure 22 : Nombre de *hotspots* Wi-Fi publics et communautaires semi-privés en France (2013-2018)**



Données : iPass, Compilation auteur

Les *hotspots* Wi-Fi publics sont situés dans différents lieux, principalement dans les hôtels, les cafés et les commerces. Certains d'entre eux sont payants tandis que d'autres sont gratuits. La Figure 23 donne la répartition des *hotspots* Wi-Fi publics par lieux en France.

**Figure 23 : Nombre de hotspots Wi-Fi publics par lieu en France (2013-2018)**


Données: iPass Wifi Growth Map, compilation auteur

Lorsque la connexion au Wi-Fi se fait *via* des sites publics gratuits, les consommateurs réalisent un gain net. Par contre, à partir du moment où l'accès est payant comme dans certains lieux publics, il se traduit par une baisse du surplus pour les consommateurs. Nous avons estimé la part du trafic internet mobile délesté sur le Wi-Fi (cf. Tableau 33). La méthodologie et le détail des calculs sont présentées dans l'annexe IV.2 (cf. **Etape 1**. Estimation du trafic total de données mobiles et **Etape.2**. Estimation du trafic déchargé par le Wi-Fi de l'**Annexe IV.2**. Estimation du surplus des consommateurs provenant du spectre sans licence).

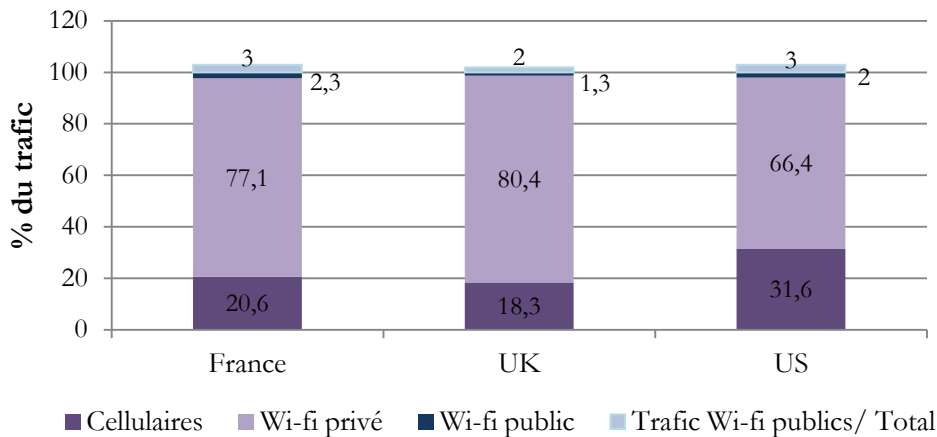
**Tableau 33 : Part du trafic internet mobile délesté sur le Wi-Fi**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Trafic Wi-Fi total par appareil (en millions de GB par mois)</b>						
Smartphones	10,4	16,3	25,7	40,4	63,5	98,65
Tablettes	5,2	9,1	16,4	29,2	51,4	91,5
Ordinateurs portables	40,5	51,3	64,3	80,5	94,35	110,5
<b>Trafic Wi-Fi total</b>	<b>56</b>	<b>76,7</b>	<b>106,4</b>	<b>150</b>	<b>209,3</b>	<b>300,7</b>

Données : Katz [2014a], Cisco VNI 2013-2018, Extrapolation Auteur

En 2013, le trafic Wi-Fi total s'élève à plus de 56 millions de GB par mois et sera de plus de 300 millions de GB par mois en 2018. Toutefois, seulement une partie de ce trafic est gratuit pour les consommateurs. C'est cette part du trafic qui nous intéresse et que nous cherchons à calculer pour estimer le surplus du consommateur provenant de l'accès gratuit au Wi-Fi. Les statistiques de Mobydia concernant le trafic de *smartphones Android* seulement, indiquent qu'en France, 20,6% du trafic annuel passe par les réseaux cellulaires, 77,1% passe par les réseaux Wi-Fi privés, et 2,3% passe par les réseaux Wi-Fi publics (cf. Figure 24). Au total, le trafic Wi-Fi public représenterait 3% du montant total de trafic Wifi en France.

**Figure 24 : Distribution du trafic par type de connexion et de hotspot pour des utilisateurs de smartphones Android, janvier 2013**



Source : Auteur avec données de Mobidia [2013]

Pour estimer le surplus du consommateur généré par le Wi-Fi public gratuit, on retient que 3% du trafic Wi-Fi total est totalement gratuit et au regard des prix pratiqués par les opérateurs on retient un prix moyen de 1 GB de données mobiles de 5,5 euros (cf. **Etape.3.** Estimation de la part du trafic gratuitement délesté, de l'**Annexe IV.2.**). En 2013, le surplus des consommateurs généré par le Wi-Fi gratuit uniquement est estimé à **111 millions d'euros** et devrait atteindre **595 millions d'euros** en 2018, soit une croissance annuelle de 39,9% (cf. Tableau 34).

**Tableau 34 : Le surplus des consommateurs généré par le déchargement du trafic de données mobiles sur le Wi-Fi gratuit**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Trafic Wi-Fi gratuit</b>						
Trafic Wi-Fi total (en millions de GB par mois)	<b>56</b>	<b>76,7</b>	<b>106,4</b>	<b>150</b>	<b>209,3</b>	<b>300,7</b>
Trafic Wi-Fi gratuit (%)	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Trafic Wi-Fi gratuit (en millions de GB/ mois)	1,8	2,3	3,2	4,5	6,3	9,02
Trafic Wi-Fi gratuit (en millions de GB/ an)	20,2	27,6	38,3	54,03	75,3	108,24
Prix moyen par GB (en euro)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
<b>Impact économique (en millions d'euros par an)</b>	<b>111</b>	<b>152</b>	<b>211</b>	<b>297</b>	<b>414</b>	<b>595</b>

Source : Estimation auteur à partir des données Cisco VNI 2013-2018

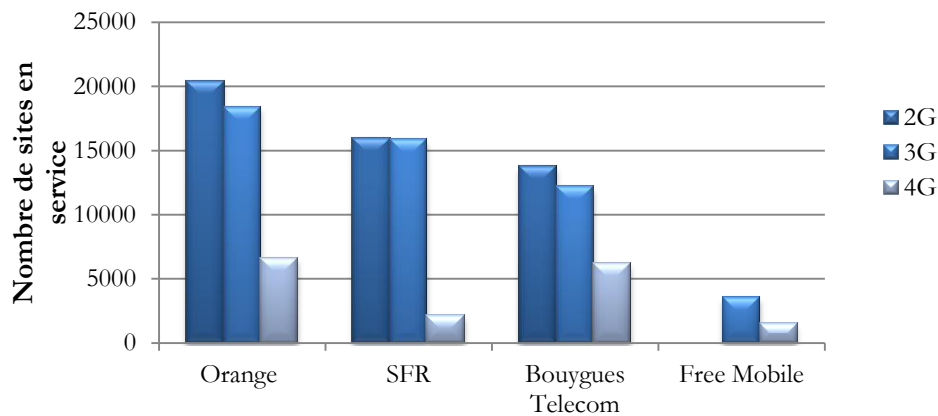
- Le surplus du producteur résultant du déchargement du trafic de données sur le spectre sans licence

Pour calculer le surplus des producteurs, on fait l'hypothèse qu'en l'absence de bandes Wi-Fi, les opérateurs mobiles n'auraient pas eu la possibilité de déléster une partie du trafic de leurs

données mobiles et auraient ainsi été tenus de faire des investissements supplémentaires dans leur réseau afin de supporter le trafic. Le montant de ces investissements supplémentaires représente les coûts évités par les opérateurs mobiles.

La Figure 25 donne le nombre de sites en services déployés par les opérateurs mobiles en France au 1<sup>er</sup> octobre 2014. Sans le Wi-Fi, le nombre de sites déployés aurait dû être plus élevé.

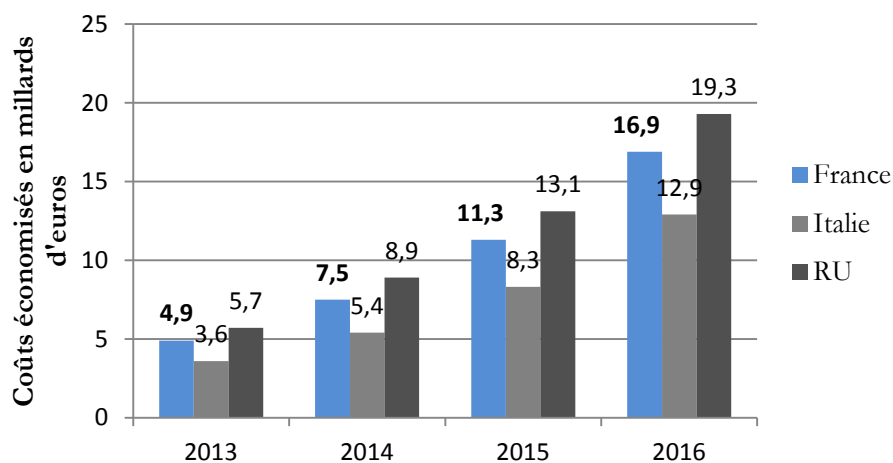
**Figure 25 : Nombre de sites 2G/3G/4G en France (au 1<sup>er</sup> octobre 2014)**



Données : Anfr

Dans leur étude pour la Commission européenne sur l'impact du délestage de trafic et des tendances technologiques connexes sur la demande de spectre haut débit sans fil, Marcus et Burns [2013] font une estimation des coûts évités dans les réseaux par les opérateurs mobiles grâce au déchargement du Wi-Fi en Europe. Ils estiment qu'en France les opérateurs ont économisé 4,9 milliards d'euros en 2013 et qu'en 2016 ils économiseront plus de 19 milliards d'euros grâce au délestage. La Figure 26 illustre les coûts économisés dans trois pays européens jusqu'en 2016.

**Figure 26 : Coûts annuels économisés dans le réseau grâce au délestage**



Données : Marcus et Burns [2013], Compilation auteur

Les résultats estimés par les auteurs sont cependant des estimations hautes en raison des hypothèses retenues. Les auteurs ont calculé les coûts que les opérateurs mobiles auraient dû supporter (ou devraient supporter pour les prochaines années) si tout le trafic Wi-Fi avait été transmis sur le réseau cellulaire macro. Néanmoins, notre hypothèse est qu'en l'absence de Wi-Fi, les données mobiles générées par certains appareils ne transiteront pas par les réseaux cellulaires mais par les réseaux fixes étant donné qu'ils disposent d'une connexion filaire.

Notre démarche consiste à estimer les coûts effectivement économisés par les opérateurs en ne considérant que la part du trafic de données mobiles véritablement déchargée sur les réseaux cellulaires en cas d'absence de Wi-Fi. On se base pour cela sur les résultats de Marcus et Burns [2013] et sur nos estimations du trafic Wi-Fi (cf. Tableau 34). Précédemment, nous avons estimé qu'en 2013, le trafic Wi-Fi total en France s'élevait à 56 millions de GB/mois pour les smartphones, les tablettes et les ordinateurs portables. Le montant du trafic Wi-Fi généré par les tablettes et les smartphones uniquement, c'est-à-dire 15,5 millions de GB/mois en 2013, représente alors 30% du trafic Wi-Fi total.

Pour estimer les économies faites par les opérateurs provenant du délestage, on soutient donc l'hypothèse que 30% de la valeur estimée par Marcus et Burns [2013] représente les coûts effectivement économisés par les opérateurs s'ils avaient dû acheminer la part du trafic Wi-Fi provenant des smartphones et des tablettes. Le surplus des producteurs en 2013 s'élève donc à **1,47 milliards** d'euros.

\*  
\* \*

Finalement, si l'on reprend les différents résultats estimés, la valeur économique générée par le déchargement du trafic cellulaire sur le Wi-Fi s'élève à plus de 1,5 milliards d'euros en terme de surplus total, c'est-à-dire surplus du consommateur et du producteur.

**Tableau 35 : Valeur économique du déchargement du trafic mobile sur le Wi-Fi (2013)**

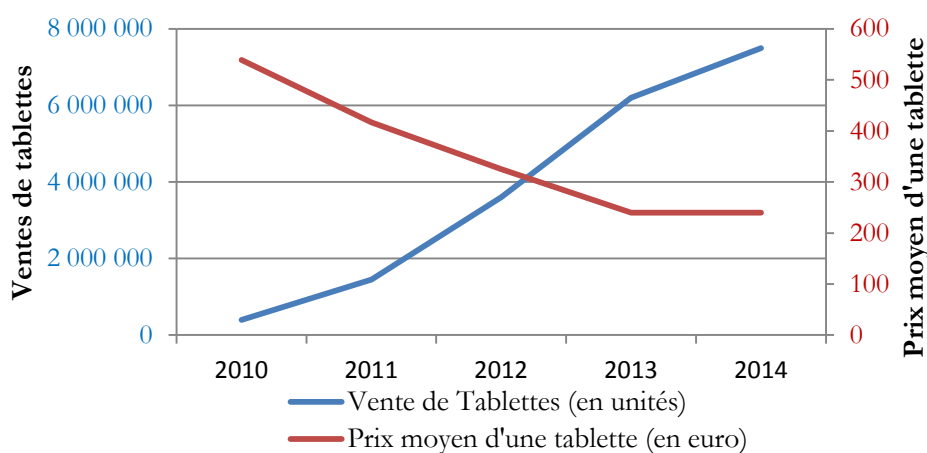
Effet	Méthodologie	Résultat
Surplus des consommateurs	Valeur économique générée par le Wi-Fi gratuit (sites publics)	0,11 milliards d'euros
Surplus des producteurs	Coûts évités en investissement dans les réseaux cellulaires grâce au Wi-Fi	1,47 milliards d'euros
<b><i>Surplus Total</i></b>		<b>1,58 milliards d'euros</b>

### 1.2.2.2.3. La valeur économique provenant uniquement du Wi-Fi des tablettes

En France, 67% des tablettes détenues par les consommateurs sont des tablettes qui disposent seulement d'une connexion Wi-Fi (contre 22% pour une connexion Wi-Fi et 3G). Par ailleurs, 98% des connexions Internet provenant des tablettes (toutes tablettes confondues) passent par le Wi-Fi [Deloitte, 2013]. Une part non négligeable de la valeur économique du Wi-Fi est donc générée par les tablettes.

Les ventes de tablettes ne cessent d'augmenter. En 2014, 7,5 millions de tablettes ont été vendues en France (cf. Figure 27). La valeur économique provenant du Wi-Fi des tablettes uniquement peut ainsi être estimée en fonction du surplus du producteur. Par ailleurs, l'augmentation de la demande contribue à la baisse du prix moyen des tablettes et améliore, de ce fait, le surplus des consommateurs. La Figure 27 montre la relation entre l'évolution des ventes de tablettes et celle du prix moyen en France.

**Figure 27 : Evolution des ventes et du prix moyen des tablettes en France**



Source : Auteur (Données : Gfk ; ZdNet Chiffres clés<sup>210</sup>)

Pour estimer la valeur économique générée par le Wi-Fi résultant uniquement des tablettes, on calcule le surplus du producteur et le surplus du consommateur. Le surplus du producteur est calculé à partir de la différence entre le coût de production et le prix de vente. Les hypothèses retenues et calculs figurent en annexe (cf. **Annexe IV.3.** Estimation de la valeur économique provenant du Wi-Fi des tablettes uniquement). Le surplus du producteur en France en 2013 provenant du Wi-Fi des tablettes uniquement est estimé à **81,84 millions d'euros** et celui du consommateur de **744 millions d'euros** (cf. Tableau 36). La valeur économique générée par le Wi-Fi des tablettes uniquement est d'environ 826 millions d'euros.

<sup>210</sup> <http://www.zdnet.fr/actualites/chiffres-cles-le-marche-des-tablettes-39789571.htm>

**Tableau 36 : Surplus du producteur et du consommateur généré par le Wi-Fi des tablettes**

	2010	2011	2012	2013	2014
Vente de Tablettes (en unités)	400 000	1 450 000	3 600 000	6 200 000	7 500 000
Tablettes françaises	44 000	159 500	396 000	682 000	825 000
Marge du producteur	269,5	208,5	162,5	120	120
Surplus du producteur ( <i>en millions</i> )	11,86	33,3	64,35	<b>81,84</b>	99
Surplus des consommateurs ( <i>en millions</i> )	107,8	302,3	585	<b>744</b>	900

#### 1.2.2.2.4. La valeur générée par les réseaux personnels sans fil dans les secteurs de la santé et de la domotique

Les réseaux personnels sans fil, également appelé réseau individuel sans fil ou réseau domestique sans fil (WPAN pour *Wireless Personal Area Network*), représentent les réseaux sans fil de faible portée (quelques dizaines mètres). Ces réseaux sont généralement déployés pour relier entre eux différents périphériques (imprimante, téléphone portable, autres appareils domestiques, etc.). Les objets connectés sont dotés de technologie radio de faible débit (WPAN), tels que le *Bluetooth*, le protocole *Zigbee* ou *WirelessHART*. La technologie *Bluetooth* qui fonctionne comme le Wi-Fi sur la bande 2,4 GHz est la principale technologie WPAN. En France, le marché des objets connectés se divise en deux principaux secteurs, celui de la santé et celui de la domotique<sup>211</sup>. La valeur du marché des objets connectés a été estimée à 150 millions d'euros pour l'année 2013 d'après une étude menée par Xerfi, ce qui représente 1% des dépenses *high-tech* des Français (ordinateur, téléphone, tablette,..). En 2016, les objets connectés devraient représenter plus de 3% des dépenses *high-tech* des Français.

Le tableau 37 donne la valeur provenant des ventes d'objets connectés pour le secteur de la domotique et de la santé d'ici 2016. Sans le spectre sans licence, une grande partie de ces objets et de ces revenus n'existeraient pas puisque la plupart des objets connectés dotés de technologies sans fil (Wi-Fi, *bluetooth*, *Zigbee* ou *WirelessHART*) fonctionnent sur le spectre sans licence.

**Tableau 37 : Les ventes d'objets connectés pour la santé et la maison d'ici 2016**

	2013	2014	2015	2016
Valeur de la vente d'objets connectés ( <i>en millions d'euros</i> )	150	240	355	500

Source : Xerfi (d'après GFK, L'atelier BNP Paribas, Ifop, NPD, Strategy Analytics)

<sup>211</sup> Dans le secteur de la santé, les quatre principaux objets sont les balances connectées, montres connectées, traqueurs d'activité, et tensiomètres connectés. Parmi les acteurs français dans ce domaine on peut citer par exemple Sanofi Aventis et son lecteur de glycémie connecté (BGStar et IBGStar) ; la société Withings qui fabrique des balances et des tensiomètres connectés ; la startup grenobloise Bio2imaging qui conçoit des capteurs de santé communicants (oxymètre, tensiomètre, balance) ; ou encore les sociétés BodySens, Medigames Studios et Espi, toutes trois également présentes sur le marché.

Les connexions entre objets peuvent également passer sur les réseaux mobiles ou sur des infrastructures spécifiques. Le type de réseau sur lequel ces objets connectés communiquent est choisi en fonction de nombreux paramètres (coût du matériel, coût de l'abonnement, qualité de la couverture réseau, volumes et débits de données). Les trois principaux types de réseaux sont : **(i)** les réseaux pour des technologies de courte portée (Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth LTE, NFC, RFID, etc.), **(ii)** les connexions *Machine to Machine* (M2M) basées sur les réseaux cellulaires existants; et **(iii)** les réseaux dédiés aux objets connectés comme par exemple celui de l'opérateur Sigfox<sup>212</sup>.

Les revenus provenant de la vente des objets connectés dans le domaine de la santé et de la domotique permettent d'évaluer la contribution au PIB. Selon Xerfi, les revenus s'élèvent à 60 millions d'euros dans le domaine de la santé, et à 90 millions d'euros dans le domaine de la domotique en 2013. Le manque de données et d'études plus précises ne nous permet pas de quantifier le nombre d'objets qui utilisent seulement le spectre sans licence. Toutefois, comme les acteurs estiment que l'Internet des objets se fait principalement dans les bandes sans licence, nous estimons *a minima* que 50% de la valeur de la vente des objets connectés est due au spectre sans licence. Selon l'ARCEP [2014b], certains acteurs disposent d'informations propres à leurs activités et affichent une utilisation effective de ces bandes libres<sup>213</sup>.

En retenant une hypothèse basse de 50% et une hypothèse haute de 80%, on estime qu'entre **30 et 48 millions d'euros** sont générés par le spectre sans licence uniquement pour le secteur des objets connectés dans le secteur de la santé et entre **45 et 72 millions d'euros** pour le secteur de la domotique<sup>214</sup>.

#### **1.2.2.2.5.** La valeur générée par les étiquettes RFID

L'OCDE [2008] définit la RFID comme :

« une technologie sans fil qui permet, au moyen d'un lecteur radiofréquence, de collecter les données contenues sur des étiquettes (ou « marqueurs », ou « puces ») électroniques qui sont apposées sur des objets ou y sont intégrées, notamment aux fins

---

<sup>212</sup> L'opérateur Sigfox propose un réseau global très bas débit hautement évolutif pour les objets connectés (voir <http://www.sigfox.com/fr/>).

<sup>213</sup> Par exemple, l'AFSA utilise le spectre sans licence pour ses systèmes de télépéage routier (soit 6 800 voies de télépéage en France). Endetec utilise également le spectre sans licences pour la relève de ses compteurs d'eau, soit 3 500 000 modules. Le système de comptage intelligent « *smart metering* » de M2ocity, représentant un parc installé de l'ordre de 2 millions de compteurs, est aussi les bandes sans licence.

<sup>214</sup> Ces valeurs ne représentent pas l'ensemble des bénéfices économiques provenant des réseaux personnels sans fil. Pour avoir la valeur économique totale générée par ces technologies sans fil, il faudrait d'une part tenir compte des bénéfices indirects liés à l'usage de ces technologies, comme par exemple la réduction significative de la consommation d'énergie et la réduction des dépenses de santé (moins d'analyses, de déplacements, etc.) qui représentent des gains économiques pour le consommateur. D'autre part, il faudrait également prendre en compte toute la valeur provenant de l'exploitation des données numériques pour les entreprises. On pourrait également prendre en considération les créations d'emplois des nombreuses entreprises françaises fabricantes d'objets connectés et dont le modèle d'affaire repose sur le spectre sans licence et sur les technologies sans fil. Par ailleurs notre estimation se base seulement sur deux secteurs (santé et domotique) or il existe d'autres secteurs comme celui du transport ou de l'agriculture qui ont recours aux objets connectés.

d'identification. Les systèmes mis en œuvre sont spécifiques aux applications. Certains utilisent des étiquettes passives relativement bon marché (avec une courte portée de lecture) et d'autres des étiquettes haute performance qui offrent une grande capacité de stockage de données, sans connexion réseau, et une longue portée de lecture ».

La Commission Européenne identifie la RFID comme un axe d'innovation prioritaire. D'après le cabinet IDTechEx, le marché mondial de la RFID a atteint 7.88 milliards de dollars en 2013 et 9,2 milliards de dollars en 2014, soit une augmentation de 17% en 1 an. La même étude estime que le marché devrait atteindre plus de 30 milliards de dollars en 2024 [Das et Harrop, 2013]. Les puces RFID feront parties des 80 milliards d'objets connectés identifiés par l'Idate à l'horizon 2020. L'Idate estime que les objets dotés d'une puce RFID proviendront en majeure partie de l'industrie pharmaceutique (boîte de médicament par exemple avec puce RFID), et de l'industrie textile/chaussure (pour le réassort).

Thanki [2009] a estimé la valeur économique générée par la RFID dans l'industrie textile aux États-Unis entre 2 et 8,1 milliards de dollars. Katz [2014a, b] a, quant à lui, estimé que la valeur économique générée par la RFID dans le secteur de la santé et dans le secteur du commerce de détail avait atteint 130,83 milliards de dollars en 2013 et atteindra 191,46 milliards de dollars en 2017, toujours aux États-Unis<sup>215</sup>. La valeur économique générée par la RFID peut se mesurer en calculant le surplus du consommateur et du producteur, lequel ne dépend pas seulement des revenus de la vente de puces. L'usage de la RFID génère des bénéfices et des économies aussi bien pour les producteurs d'un service que pour ses consommateurs. Dans le secteur de la distribution par exemple, les systèmes RFID déployés conduisent à une meilleure maîtrise de la chaîne d'approvisionnement et à optimiser le réassort en magasin, ce qui permet au détaillant de faire des économies et au consommateur de bénéficier d'un meilleur service de vente<sup>216</sup>. Dans le secteur de la santé, les applications RFID sont surtout utilisées pour la gestion et la maintenance des équipements mobiles, pour la gestion de la chaîne logistique et le monitoring des températures, pour la gestion de la sécurité du personnel médical et des patients, pour la gestion des flux opératoires ou encore pour le contrôle d'accès. Des coûts importants peuvent ainsi être évités. Certaines études ont quantifié, pour des cas bien précis, les économies que certains hôpitaux ont pu faire grâce à la mise en place d'un tel système. Par exemple, Unstundag [2013] indique que le *Wayne Memorial Hospital* a économisé plus de 300 000 dollars grâce à la mise en place d'un nouveau système de RFID, lequel est utilisé pour

---

<sup>215</sup> Les deux auteurs utilisent les chiffres de précédentes études pour arriver à ces résultats. Thanki [2009] se base sur l'étude de Hardgrave et al., [2009] tandis que Katz [2009a] reprend les chiffres estimés par Barua et al. [2006].

<sup>216</sup> Barua et al. [2006] identifient les bénéfices de la RFID dans le commerce de détail. Pour les détaillants les principaux bénéfices sont les suivants : réduction des coûts de main d'œuvre, réduction du volume des pertes, amélioration de la rotation des stocks, réduction de la radiation des stocks, rupture de stock évitée, erreurs d'expéditions réduites, mise sur le marché plus rapide, accès omniprésent à travers plusieurs chaînes. Pour les consommateurs, les principaux bénéfices sont la personnalisation des produits et des services et une expérience d'achat améliorée.

suivre environ 1000 dispositifs médicaux dans tout l'hôpital (pompes à perfusion, diagnostic des machines, ordinateurs sur roues, fauteuils roulants et autres équipements).

Etant donné que les marchés verticaux les plus avancés en termes d'utilisation d'objets connectés en 2020 seront ceux de l'industrie pharmaceutique et de l'industrie textile, on se focalise sur ces deux marchés pour estimer la valeur économique générée par les RFID. Cela nous permet d'avoir une idée de l'impact financier de la RFID sur deux secteurs importants. Toutefois, d'autres secteurs tels que le transport, l'industrie automobile ou la sécurité ont également recours à ces systèmes.

Par exemple, dans le secteur du textile, une étude de 2012 a estimé que l'usage de systèmes RFID permet une augmentation du chiffre d'affaire entre 2,6% et 21% [CNR RFID, 2012]. Cette augmentation du chiffre d'affaire résulte d'une meilleure efficacité des opérations logistiques, d'une optimisation des OPEX et des CAPEX ainsi que des stocks, d'une réduction des délais d'approvisionnement, d'un meilleur service après vente et également d'une meilleure traçabilité des produits, tous permis par la RFID. Pour estimer la valeur économique générée par la RFID dans ce secteur, on retient l'hypothèse que tout le secteur du textile adopte un tel système, puis à partir des revenus générés par l'industrie textile en France, on en déduit les gains supplémentaires qui pourraient être générés.

En France en 2012 le chiffre d'affaire de l'industrie textile est de 12,5 milliards d'euros. Ainsi, en retenant une augmentation du chiffre d'affaires des magasins équipés en système RFID comprise entre 2,6% et 21%, la valeur économique générée par la RFID serait comprise entre **0,325 milliards de dollars** et **2,625 milliards de dollars**.

1.2.2.3. *Récapitulatif de l'ensemble des résultats pour la France (2013)*

Valeur économique	Impact	Méthodologie	Résultat (en euros)
			2013
<b>Wi-Fi dans la sphère domestique</b>	Impact financier de l'accès internet sans fils	Surplus du consommateur	<b>2,5 milliards</b>
	Coûts évités dans le câblage		<b>Entre 0,7 et 1,4 milliards</b>
<b>Délestage du trafic mobile sur le Wi-Fi</b>	Valeur du trafic Wi-fi offert par les sites publics	Surplus du consommateur	<b>111 millions</b>
	Investissements évités dans le réseau cellulaire	Surplus du producteur	<b>1,47 milliards</b>
<b>Wi-Fi des tablettes uniquement</b>	Valeur générée par les tablettes	Surplus du producteur	<b>82 millions</b>
		Surplus du consommateur	<b>744 millions</b>
<b>Réseaux sans fils personnels et objets connectés</b>	Valeur générée par les objets connectés dans le secteur de la santé	Contribution au PIB	<b>48 millions</b>
	Valeur générée par les objets connectés dans le secteur de la domotique		<b>72 millions</b>
<b>Adoption de la RFID</b>	Valeur générée par la RFID dans l'industrie textile	Surplus du producteur	<b>0,325 – 2,625 milliards (*)</b>

(\*) Valeur de 2012 hypothétique qui aurait résulté si toute l'industrie textile avait adopté la RFID

Ce tableau fournit la somme d'un ensemble de bénéfices, non exhaustifs, dérivés d'applications et de services reposant sur le spectre sans licence. **Pour préserver cette valeur et faire en sorte qu'elle augmente dans le futur, la politique du spectre ne doit pas négliger l'importance du spectre en commun.** Une utilisation trop intense des bandes de fréquences sans licence pourrait conduire à un effet de saturation réduisant toute possibilité de créer de la valeur supplémentaire dans l'avenir. Il faut donc envisager et regarder quelles bandes pourraient être ouvertes afin de pouvoir supporter de nouveaux déchargements de trafic. Le spectre sous 1 GHz pourrait être adapté pour fournir une connectivité haut débit sans fil dans les zones rurales et continuer à supporter un déchargement du trafic de plus en plus important.

### **1.3. Conclusion de la première section. *Au delà de l'aspect financier***

A côté des considérations de valorisations économiques, le gestionnaire doit s'assurer que suffisamment de spectre soit disponible et mis en commun pour favoriser l'innovation et l'émergence de nouveaux écosystèmes. Nous avons montré que la valorisation financière du spectre et les bénéfices économiques générés par les services des différents secteurs ne constituaient pas un outil d'aide à la décision suffisant pour les gestionnaires des fréquences. Il y a un biais à comparer les valeurs économiques générées par les différents services dès lors que les caractéristiques des fréquences et la quantité de MHz qu'ils utilisent diffèrent. L'accès au spectre est fondamental tant pour la fourniture de services marchands que pour la fourniture de services non marchands. L'estimation de la valeur du spectre sans licence en France a révélé que l'innovation contribue à la valorisation du spectre puisque ces bandes de fréquences, auparavant considérées de bandes « poubelles », sont aujourd'hui la source d'importants bénéfices économiques. En abaissant les barrières à l'entrée au spectre, le Gouvernement a favorisé l'innovation et contribué à la valorisation d'une partie de la ressource spectrale longtemps dépourvue d'intérêts.

## **Section 2. Partage et valorisation du spectre : réflexions économiques**

En ne recourant qu'à une approche économique pour évaluer la valeur du spectre, on risque d'accorder trop d'importance aux expressions monétaires de la valeur des bandes de fréquences, au détriment de leur valeur sociale. Face à une rareté croissante de la ressource, on peut penser que le spectre sera de plus en plus partagé, soulevant ainsi la problématique de la valorisation du spectre dans un monde de partage. Comment estimer la valorisation d'une fréquence lorsque celle-ci est partagée dynamiquement entre des acteurs et des services qui pourront être fondamentalement différents ? Nous estimons que pour valoriser la ressource spectrale, il est nécessaire de favoriser une méthode d'évaluation de la valeur du spectre qui tienne compte des utilisations économiques, sociales et innovantes du spectre. Nous étudions dans cette deuxième section les différentes méthodes d'évaluations de la valeur du spectre (2.1) puis nous regroupons en trois catégories de facteurs (économiques, intrinsèques au spectre et financiers) les éléments qui contribuent à la valorisation de la ressource (2.2.).

### **2.1. Les différentes méthodes d'évaluation**

Mesurer la valeur économique du spectre a souvent été une préoccupation de première importance en matière de gestion des fréquences. En effet, pour gérer correctement le spectre, il est primordial de connaître sa valeur économique. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la valeur du spectre. En estimant la valeur que les usagers attribuent à une bande de fréquences, il est possible de valoriser la ressource en attribuant la fréquence à l'acteur qui la valorise le plus. De même que dans le cas où deux usagers sont en concurrence pour une même bande de fréquences, un calcul de coût d'opportunité permet de les départager. Mais les méthodes utilisées pour estimer la valeur commerciale ou la valeur sociale du spectre diffèrent. Le problème auquel seront rapidement confrontés les gestionnaires dans un monde de partage est celui de l'estimation de la valeur d'une fréquence lorsque cette dernière est amenée à être utilisée par des services et des utilisateurs fondamentalement différents. Face à la rareté croissante du spectre et dans un monde de partage dynamique, les méthodes d'évaluation de la valeur des fréquences doivent donc être reconsidérées afin de tenir compte de nouveaux éléments d'appréciation qui permettront de faire une utilisation plus efficace du spectre et de mieux valoriser celui-ci.

#### **2.1.1. Les méthodes d'évaluation pour estimer la valeur commerciale du spectre**

Les méthodes d'évaluation sont choisies en fonction de la valeur du spectre que l'on souhaite estimer. Ainsi, lorsque l'on souhaite évaluer la valeur commerciale du spectre, plusieurs approches sont possibles pour départager différents services marchands en concurrence pour l'usage d'une bande de fréquence. La monétisation du spectre (approche basée sur la

disposition à payer les fréquences des utilisateurs) est devenue une démarche incontournable avec les marchés du spectre. Au-delà de l'objectif de maximiser les recettes de l'État, elle cherche également à promouvoir une allocation efficace de la ressource et à déterminer les préférences des individus vis-à-vis d'une fréquence donnée.

Le Tableau 38 décrit ces différentes approches. Certaines méthodes sont directes, comme la monétarisation au prix de marché du spectre, tandis que d'autres sont indirectes. C'est le cas pour la méthode de calcul des coûts d'opportunité.

**Tableau 38 : Les méthodes d'évaluation la valeur marchande du spectre**

Méthode	Description
Approche axée sur les revenus	Approche qui revient à optimiser le prix du spectre (montant des enchères, prix sur le marché secondaire, redevances). Evaluation de la disposition à payer des utilisateurs pour une quantité de spectre. L'analyse nécessite de disposer de données sur les recettes totales, les dépenses en capital (y compris les charges d'exploitation) et le coût du risque.
Approche économique plus large	Approche économique plus large qui évalue la valeur du spectre par rapport à sa contribution à l'économie nationale. Estimation des bénéfices économiques générés par l'usage du spectre. L'analyse s'opère à trois niveaux : au niveau micro (mesure de surplus des consommateurs), méso (surplus du producteurs, profits des entreprises), et macro (croissance, contribution au PIB).
<i>Benchmark</i>	Approche qui estime la valeur du spectre en comparant différentes valeurs passées du pays et d'autres pays. Cela peut concerner, le montant des enchères passées, les prix pratiqués sur le marché secondaire, les valeurs de différentes compagnies (cours de leurs actions), etc.
Calcul du coût d'opportunité : - du spectre non occupé - du spectre occupé	Approche qui consiste à évaluer le manque à gagner lorsqu'une ressource n'est pas mise à contribution de la meilleure façon. Pour le spectre disponible (non occupé), il s'agit de calculer les coûts nécessaires à la fourniture de services concurrents et de tenir compte des tendances futures en matière d'usage. Pour le spectre déjà occupé, la valeur de l'actif peut se calculer soit : - en estimant les coûts évités par les opérateurs dans le réseau lorsqu'ils accèdent à du spectre supplémentaire, - soit en fonction de la valeur actuelle nette des flux de trésorerie que l'actif génère, c'est-à-dire en calculant la somme des flux de trésorerie générés, actualisés au taux reflétant le niveau de risque de l'entreprise.
Approche économétrique	Approche qui consiste à se baser sur des données passées afin d'estimer les variables ayant un impact sur la valeur du spectre.

Source : A partir de Malisuwan et al. [2014], IUT [2012], Plum [2011]

Le spectre est un bien économique, limité en quantité par rapport à la demande qu'il suscite. Le traiter comme un bien économique revient à lui reconnaître un coût d'opportunité. Mais c'est également un bien auquel est attachée une utilité sociale. Parce qu'il est un élément essentiel à la fourniture de nombreux services publics comme les services de sécurité ou de santé, le spectre est valorisé par les États et les collectivités. Or, les différentes méthodes citées

ci-dessus ne permettent pas de mesurer la valeur sociale du spectre. Si le spectre venait à être un objet de commerce entre acteurs économiques, alors celles-ci seraient suffisantes pour permettre au gestionnaire de faire son choix. Mais d'autres approches sont à considérer si l'on souhaite estimer la valeur sociale du spectre.

### 2.1.2. Les méthodes d'évaluation pour estimer la valeur sociale du spectre

La politique du spectre a une incidence sur le bien-être des individus. Les impacts d'un choix politique en matière de gestion de fréquences doivent donc être pris en compte dans les évaluations. Il y a une nécessité d'établir et de mesurer le bénéfice social issu de la fourniture de services non marchands reposant sur l'utilisation des fréquences. Lorsqu'une partie du spectre est attribuée à des utilisateurs gouvernementaux pour la fourniture de services publics, les gestionnaires du spectre doivent être en mesure d'évaluer les bienfaits retirés par les individus, et plus largement par la collectivité, de la fourniture de services publics. Face à l'écart grandissant entre l'offre et la demande en spectre, cette nécessité s'impose. Différentes méthodes d'évaluation pourraient être utilisées pour mesurer la valeur sociale du spectre. Ces dernières sont particulièrement utilisées en économie de l'environnement pour estimer la valeur sociale d'une ressource naturelle et sont ainsi, tout à fait appropriées, à une ressource naturelle telle que le spectre hertzien (cf. Tableau 39).

**Tableau 39 : Les méthodes d'évaluation de la valeur sociale du spectre**

Méthode	Description
Méthode des coûts évités	Approche qui cherche à évaluer la valeur des services sociaux à partir des coûts à engager si ces services venaient à disparaître.
Méthode de l'évaluation contingente	Approche par enquêtes pour obtenir une information directe sur les préférences, la disposition à payer des individus pour obtenir ou préserver un service public utilisant le spectre. Estimation de la disposition à payer pour bénéficier de certaines variations de l'offre de biens (non marchands).
Analyse coûts-bénéfices	Analyse qui cherche à estimer les coûts et bénéfices de différents services publics (ou politique en matière de spectre) pour la société alors que ceux-ci ne sont pas directement mesurables. Peser les avantages sociaux et les coûts d'un choix politique en matière de gestion du spectre et déterminer si les gains l'emportent sur les pertes. Il s'agit de déterminer l'option la plus efficace économiquement. Pour effectuer cette analyse « coûts/bénéfices », une valeur monétaire de la vie humaine peut être précieuse.
Analyse coût-efficacité	Méthode d'analyse économique qui mesure l'efficacité selon des indicateurs et des objectifs fixés et non en fonction de la valeur monétaire de ces résultats. L'efficacité se mesure en fonction d'un résultat attendu comme par exemple plus de croissance et d'innovation, ou une amélioration des services non marchands.
Evaluation du bien-être des individus	Approche qui vise à mesurer l'impact de différents usages du spectre sur le niveau de vie des individus

Une analyse coûts-bénéfices peut être utilisée lorsqu'il s'agit de planifier et d'attribuer des fréquences pour la fourniture de services publics comme le maintien de l'ordre et la sécurité publique, la protection de la vie et de la santé humaine ou encore pour la science fondamentale. Cette approche consiste à mesurer et comparer l'accroissement (bénéfices) et la réduction (coûts) du bien-être social induits par une action ou une politique particulière, comme par exemple la décision d'attribuer plus de spectre aux utilisateurs gouvernementaux ou bien de réaménager certaines fréquences au profit d'utilisateurs commerciaux. Une politique en matière de gestion du spectre satisfera au critère coûts-bénéfices si les bénéfices sociaux sont supérieurs aux coûts sociaux.

Le récent rapport du ministère britannique de la culture, des médias et du sport (DCMS), propose d'utiliser la méthode d'évaluation du bien-être (*Well-being valuation*) pour prendre en compte les estimations de la valeur de l'utilisation des fréquences par les services non marchands. Cette approche consiste à estimer les impacts de différentes utilisations du spectre en fonction de la valeur monétaire et d'un vecteur d'autres critères relatifs à la satisfaction de la vie [DCMS, 2014]. La difficulté dans un monde de partage est de pouvoir tenir compte à la fois des valeurs estimées de l'utilisation des fréquences par l'ensemble des acteurs du secteur marchand et du secteur public.

### 2.1.3. Mesurer la valeur totale du spectre dans un monde de partage

Dans le cas d'une utilisation partagée du spectre, l'objectif est de tenir compte à la fois de la valeur économique du spectre et de sa valeur sociale sans avoir besoin de les dissocier. Le partage du spectre ne se limite pas à un partage entre acteurs privés ou entre acteurs publics fournissant les mêmes services. Par exemple, le cas du LSA en bande 2,3-2,4 GHz étudié dans le chapitre précédent illustre le partage d'une bande de fréquence entre des opérateurs commerciaux et des utilisateurs gouvernementaux. **Dans un monde de partage dynamique, la frontière entre le secteur public et le secteur privé pour l'utilisation du spectre tend à se dissoudre.** Ainsi, pour valoriser au mieux la ressource spectrale dans ce contexte, il est dans l'intérêt de tous que le spectre soit valorisé indépendamment du fait que l'utilisateur soit du secteur public ou privé et sans faire de distinction entre la fréquence concernée.

Pour cela, les méthodes d'évaluation retenues doivent tenir compte à la fois de la valeur économique totale et sociale du spectre. La sphère non marchande et celle de l'économie monétaire ne doivent plus être séparées mais doivent s'interpénétrer. Le tableau 40 distingue les trois types de valeur potentiellement attachées au spectre: la valeur économique, la valeur sociale, et la valeur d'option.

La **valeur économique** de l'utilisation du spectre comprend les retombées économiques en termes de création d'emplois, de production de services marchands, de bénéfices économiques directs et indirects. Les usages scientifiques, les bénéfices sur la santé et la qualité de vie sont

inclus dans la **valeur sociale** du spectre, au sens des bénéfices tels qu'ils sont perçus par les individus.

**Tableau 40 : Registre de la valeur du spectre**

Valeur économique	<i>Valeur d'usage directe</i>	Utilisateurs directs du spectre qui génèrent des bénéfices économiques	Ex : opérateurs mobiles
	<i>Valeur d'usage indirecte</i>	Utilisateurs indirects qui génèrent des bénéfices économiques en s'appuyant sur les services de communications qui utilisent le spectre	Ex : entreprises qui utilisent le haut débit, le Wifi, etc.
Valeur d'option		Bénéfices retirés d'usages futurs potentiels	Ex : Usages futurs
Valeur sociale		Utilisateurs du spectre qui délivrent une valeur sociale	Ex : services d'urgence, systèmes de défense, etc.

Il apparaît que les méthodes précédemment décrites dans les tableaux 38 et 39 permettent de faire une estimation de la valorisation d'une fréquence lorsque celle-ci est utilisée pour la fourniture d'un service déjà existant. A cet égard, il apparaît difficile de faire une estimation de la ressource spectrale lorsque le service n'existe pas encore. C'est pourquoi la **valeur d'option** est essentielle.

En effet, avec la rareté croissante des fréquences, la valeur d'option risque de prendre de plus en plus d'importance. La notion de valeur d'option, introduite par Arrow et Fisher [1974], est surtout utilisée en économie de l'environnement où se pose régulièrement la question de savoir s'il est opportun ou non de préserver certaines ressources naturelles. S'agissant du spectre radioélectrique, il peut être justement opportun de ne pas attribuer trop précipitamment la ressource au regard de la difficulté qu'ont les gestionnaires à récupérer celle-ci une fois que des utilisateurs s'en sont accaparés. La valeur d'option permet alors d'évaluer les gains qui peuvent être obtenus lorsque la décision d'engager une partie de la ressource est remise à plus tard. En s'accordant du temps, les acteurs sont en mesure de collecter des informations supplémentaires, lesquelles permettent de réduire le degré d'incertitude. C'est la valeur de ces informations qui constituent la valeur d'option [OCDE, 2007].

Celle-ci est très importante lorsqu'il s'agit de prendre des décisions sur une ressource rare et limitée telle que le spectre. La rareté du spectre nécessite de porter une attention particulière à cette valeur. Dans le cas où la ressource est disponible en grande quantité et où il est possible de satisfaire les différents besoins, estimer la valeur d'option n'est pas fondamentale. Par contre, lorsque la demande en fréquence est supérieure à l'offre, elle peut être très utile notamment lorsque beaucoup d'incertitudes se greffent à la décision. Dans le chapitre II nous avons vu qu'il est difficile, long, et coûteux de réaménager une bande de fréquence. C'est pourquoi les décisions en matière de gestion du spectre ne doivent pas être précipitées et

doivent prendre en compte l'impact d'un choix politique en matière de fréquence dans le futur.

La politique de gestion du spectre a des effets sur le long terme. Dès lors, les gestionnaires du spectre doivent avoir une vision de long terme et tenir compte en permanence des avancées technologiques. Un choix qui doit être fait à un instant  $T$  et qui engage une partie de la ressource spectrale qui ne pourra pas être récupérée (ou qu'il sera très difficile de réaménager une fois qu'un utilisateur l'occupera), peut être qualifié d'irréversible. Dans un tel contexte d'incertitude et d'irréversibilité, il peut être plus prudent de remettre à plus tard la décision d'attribuer une partie de la ressource. **C'est la valeur des informations qui pourront être obtenues grâce à ce report et qui contribueront à diminuer le degré d'incertitude, qui constitue la valeur d'option.**

Les espaces blancs du spectre sont à ce jour un exemple intéressant pour illustrer la valeur d'option du spectre. Les espaces blancs constituent une opportunité de générer de nouveaux bénéfices économiques. L'utilisation partagée de ces espaces permettrait de mieux valoriser le spectre<sup>217</sup>. D'après les industriels de l'Internet et les partisans du Wi-Fi, les portions du spectre de la radiodiffusion plus ou moins utilisées en fonction de la zone géographique considérée, pourraient être utilisées pour fournir des points d'accès à un réseau Internet grâce à des *hotspots*. Quatre types d'applications ont pour le moment été envisagées, les deux premières existant déjà : (i) les équipements auxiliaires sonores et de radiodiffusion (appareils de faible portée pour du *streaming* ou du multimédia), (ii) les équipements de liaisons rurales très haut débit destinés au public, (iii) les équipements de réseaux locaux pour des débits de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s en intérieur et en extérieur de type Wi-Fi, et (iv) les communications *Machine to Machine* (M2M).

Les États-Unis, à la demande des industriels comme Google et Microsoft, ont développé une réglementation permettant d'utiliser ces espaces dans le cadre d'un modèle collectif fondé sur une obligation de géolocalisation des équipements et de connexion à des bases de données pour obtenir les fréquences disponibles. Le Royaume-Uni s'est également engagé sur cette voie en pratiquant plusieurs expérimentations visant à déployer différentes applications (couverture zones rurales, WiFi, M2M).

Le problème d'une ouverture des espaces blancs à un modèle collectif du spectre est **l'irréversibilité de la décision**. Aujourd'hui, plusieurs incertitudes demeurent quant à l'utilisation de ces espaces sans autorisation. D'une part, les normes pour les équipements utilisant les espaces blancs ne sont pas finalisées et les équipements ne sont pas disponibles. D'autre part, les caractéristiques de propagation étant élevées dans les fréquences inférieures à 1 GHz, les risques de brouillage pourraient être plus importants. Enfin, une fois que plusieurs

---

<sup>217</sup> Pour rappel, les espaces blancs sont les canaux théoriquement exploitables par d'autres applications<sup>217</sup> en dehors des 8 canaux parmi les 40 de la bande UHF utilisés pour diffuser les programmes de la TNT (8 multiplex actuels).

équipements auront été autorisés à fonctionner et déployés sur ces bandes de fréquences (par exemple dans le cas des applications M2M) il sera très difficile de revenir en arrière. Il est donc parfois plus prudent d'attendre et d'avoir plus d'informations avant d'attribuer la ressource notamment lorsque la décision a un impact sur le long terme et qu'elle s'avère être irréversible. À ce jour, les éléments et informations récoltés constituent la valeur d'option du spectre et permettront de prendre la meilleure décision, une fois le degré d'incertitude réduit, tout en tenant compte des considérations présentes et futures de la ressource.

## 2.2. Les facteurs de valorisation du spectre

Plusieurs instruments contribuent à augmenter la valeur du spectre avant que celui-ci ne soit attribué. Le gestionnaire du spectre n'a ni marge de manœuvre ni pouvoir sur les caractéristiques physiques des bandes de fréquences, en revanche, il peut règlementer l'usage du spectre de façon à optimiser les bénéfices économiques découlant de son utilisation. Le tableau 41 présente les différents instruments à sa disposition. Ils peuvent être classés en trois catégories: les facteurs économiques, les facteurs intrinsèques aux fréquences et les facteurs financiers.

**Tableau 41 : Les facteurs de valorisation du spectre**

<b>Facteurs économiques</b>	Harmonisation	Niveau d'harmonisation (mondial, régional)	
	Règlementation	Neutralité technologique	
		Partage du spectre / Partage d'infrastructure	
		Règle de protection contre les brouillages	
		Dispositif de résolution des brouillages	
	Efficacité des services publics		
	Niveau d'innovation et d'investissement		
Niveau de recherche et développement			
<b>Facteurs intrinsèques</b>	Qualité bande de fréquence	Fréquence basse	Fréquence sous 1 GHz
		Fréquence haute	Entre 1 et 6 GHz
			Entre 6 et 15 GHz
	Capacité de partage	Fortes contraintes	Durée du partage, couverture, etc.
		Faibles contraintes	
<b>Facteurs financiers</b>	Accès au spectre	Gratuit	
		Payant	Coût d'opportunité
			Recette pour l'État
	Coûts de gestion		
	Montant des redevances de gestion et de mise à disposition des fréquences		

### 2.2.1. Les facteurs économiques

Parmi les facteurs économiques, l'harmonisation d'une bande de fréquences augmente considérablement la valeur de celle-ci. Les gestionnaires du spectre peuvent également prendre diverses décisions réglementaires, comme par exemple la neutralité technologique ou le partage d'infrastructure, pour valoriser la ressource. Par ailleurs, de faibles barrières à l'entrée au spectre participent également à une meilleure valorisation de la ressource spectrale en favorisant l'innovation. C'est le cas, comme nous avons pu le voir précédemment, des bandes de fréquences Wi-Fi qui génèrent de nombreux bénéfices économiques.

#### 2.2.1.1. Harmonisation

Au niveau économique, quel que soit le type de service envisagé, l'harmonisation du spectre permet de valoriser la ressource spectrale. Une bande de fréquences qui dispose d'excellentes caractéristiques de propagation mais qui n'est pas harmonisée peut avoir une faible valeur d'usage. En effet, le spectre seul n'est pas utile puisqu'il est dépendant de la technologie. L'harmonisation permet aux usagers de bénéficier d'une itinérance mondiale et d'économies d'échelle pour les équipements de réseau et les terminaux. Les industriels qui fabriquent les équipements des réseaux privés et publics sont donc dépendants de l'harmonisation du spectre. Ainsi, plus la fréquence est harmonisée à un échelon élevé, plus elle a de la valeur. Par exemple, l'harmonisation européenne de la bande 700 MHz (libérée dans le cadre du second dividende numérique) vise à créer un écosystème favorable à l'utilisation de cette bande pour les services mobiles. De fait, en reprenant le découpage asiatique la puissance publique rend cette bande de fréquence plus attrayante pour les acteurs du secteur. Il convient néanmoins de souligner que lorsque le découpage est fait de façon à harmoniser les plans de fréquences, il peut parfois se faire au détriment d'une meilleure efficacité spectrale. L'adoption du plan asiatique dans la bande 700 MHz, en France, par exemple, ne permet d'attribuer que 30 MHz duplex aux opérateurs mobiles au lieu des 100 MHz disponibles.

#### 2.2.1.2. Régulation

La puissance publique a la possibilité d'augmenter la valeur du spectre par l'introduction et la mise en œuvre de plusieurs instruments. Le principe **neutralité technologique** vise à optimiser l'utilisation du spectre hertzien et à déspecialiser celui-ci en ne restreignant pas l'usage d'une fréquence à une technologie particulière. Ainsi, l'ouverture de la bande 1800 MHz - initialement réservée aux technologies de deuxième génération - aux technologies de quatrième génération a contribué à une meilleure valorisation de la bande en augmentant les bénéfices économiques qui pouvaient être tirés de son exploitation. En France, le gouvernement a de ce fait augmenté le niveau des redevances de la bande 1800 MHz.

Le partage d'infrastructures, en réduisant les coûts d'utilisation du spectre, a également un impact sur la valorisation du spectre. La puissance publique peut donc autoriser le partage de

certaines infrastructures afin de réduire le degré de spécificité des actifs, tout en veillant à ne pas aller à l'encontre des principes anticoncurrentiels.

Sous une utilisation partagée de la ressource, deux éléments vont fortement contribuer à sa valorisation. Il s'agit des règles de protection contre les brouillages et des dispositifs de résolution de ces brouillages. Pour cela, les moyens financiers délivrés par les États pour se protéger et résoudre les problèmes de brouillages doivent être évalués en conséquence. La prévention et la résolution des brouillages nécessitent d'importants moyens humains et techniques, lesquels représentent un coût important dans le budget des administrations en charge de la gestion des fréquences. Néanmoins, s'ils s'avèrent insuffisants, les externalités négatives liées à l'usage du spectre pourront potentiellement s'accroître et conduire à une utilisation non optimale de la ressource. Or, les différents acteurs attribuent une valeur au spectre qui dépend de la valeur des services qu'ils peuvent fournir, elle-même conditionnée par le niveau des brouillages occasionnés. En créant un environnement sans brouillage, favorable aux investissements, le régulateur peut donc améliorer la valeur du spectre hertzien.

### ***2.2.1.3. Favoriser l'innovation***

L'innovation contribue à la valorisation du spectre par la création de nouveaux services et nouvelles applications pour les consommateurs ou de technologies innovantes pour l'usage du spectre. Dans tous les cas, le développement de ces nouvelles technologies ou applications est conditionné, dans une certaine mesure, par la disponibilité en spectre. Les technologies pourront toujours être améliorées pour utiliser plus efficacement le spectre, mais pour continuer à favoriser l'innovation, le gestionnaire doit mettre en place une politique d'encouragement à l'innovation. Pour cela il faut s'assurer qu'il y ait suffisamment de spectre disponible pour satisfaire cet objectif.

### ***2.2.1.4. Préserver les services publics et les activités de recherche et développement***

La qualité des services publics est une autre source de valorisation de la ressource. En s'assurant que suffisamment de spectre soit disponible dans le futur pour les services régaliens et les activités de recherche et le développement, lesquelles permettent de garantir l'émergence de nouveaux services et de nouvelles technologies plus efficaces spectralement, le gestionnaire contribue à valoriser le spectre.

## **2.2.2. Les facteurs intrinsèques**

La valeur d'une fréquence dépend, d'une part, du type de service délivré, et d'autre part, de la qualité de la bande de fréquence. La qualité d'une bande de fréquence est déterminée par trois facteurs : (i) les caractéristiques physiques du spectre, comprenant la longueur d'onde et les potentiels appariements, (ii) l'écosystème rattaché à la fréquence, incluant l'existence de technologies compatibles à cette fréquence tant pour les infrastructures que pour les appareils, et (iii) le niveau d'encombrement de la fréquence qui varie en fonction du titulaire et des

restrictions imposées par le gestionnaire [Bazon et Mc.Henri, 2013]. Le gestionnaire du spectre n'a pas la possibilité d'agir sur les caractéristiques physiques des fréquences. Néanmoins, il peut mettre en place des mécanismes incitatifs qui conduiront les agents à utiliser efficacement leur ressource et il peut attribuer les fréquences aux services les plus appropriés à la qualité de la bande. Le gestionnaire peut également mettre en place les mécanismes incitatifs qui permettront d'inciter les acteurs à définir les conditions de partage les plus optimales.

### **2.2.3. Les facteurs financiers**

Comme nous l'avons vu précédemment, la tarification du spectre est un instrument qui favorise un usage efficace du spectre. En revanche, cette modalité n'implique pas forcément une structure de gouvernance marchande puisque le prix payé pour accéder à la ressource peut prendre la forme d'une taxation.

## **2.3. Conclusion de la section 2. *Vers une valorisation efficace de la ressource spectrale***

Dans cette section, nous sommes revenus sur les différentes méthodes d'évaluation de la valeur du spectre. Nous avons montré que face à la rareté croissante en fréquences et à un partage plus accru des bandes de fréquences, il devenait de plus en plus urgent de retenir une méthode d'évaluation hybride de la valeur du spectre qui permette de tenir compte à la fois de la valeur économique marchande et de la valeur sociale du spectre. Le cas du LSA, étudié dans le chapitre III, en est un exemple probant. En effet, estimer la valeur économique de la bande 2,3-2,4 GHz par la méthode d'actualisation des flux de trésorerie générés par la production de services commerciaux ne permettrait pas de mesurer la valeur sociale de cette fréquence. Dans le cas d'un partage dynamique de cette fréquence entre utilisateurs gouvernementaux et commerciaux, il convient de recourir à des méthodes d'évaluation hybrides.

Par ailleurs, il nous paraissait important d'introduire le concept de valeur d'option, particulièrement utilisé en économie de l'environnement. La valeur d'option est fondamentale dans un contexte où l'offre en fréquences est inférieure à la demande. En effet, au regard de la difficulté à pouvoir réaménager le spectre, il est important que la ressource soit attribuée lorsque toute l'information réunie permette au gestionnaire de prendre la meilleure décision.

## Conclusion du dernier chapitre

Dans ce dernier chapitre, nous avons tenté de cerner l'impact d'une utilisation partagée de la ressource hertzienne sur la valeur et la valorisation économique du spectre. La réalité est que dans un monde de partage, les bandes de fréquences seront partagées de façon dynamique et la valeur économique et sociale du spectre seront vraisemblablement de moins en moins dissociables.

Alors que la raréfaction de la ressource conduirait plutôt à aller dans le sens d'une généralisation de la marchandisation de la ressource spectrale, nous avons montré dans ce chapitre qu'il fallait justement être prudent et ne pas tenir compte uniquement des considérations de valorisation économique au risque de ne plus avoir de spectre disponible pour les services non marchands et pour favoriser l'innovation. Nous avons montré que l'approche sociale nécessitait parfois de prendre le relais du calcul économique et garder l'avantage sur lui. La volonté d'assurer et de préserver la fourniture de services marchands et non marchands, d'activités de recherche et de développement ou encore de services innovants, poussent à la régulation du spectre. Ainsi, même face à de faibles coûts de transaction, on ne peut donc pas abandonner totalement les Hertz au marché. L'attribution doit être organisée et régulée. Le rôle du gestionnaire du spectre est alors de planifier les orientations stratégiques à long terme.

---

---

## **CONCLUSION GENERALE**

---

---

À la question de savoir si le spectre pourra devenir un objet de commerce entre acteurs économiques, nous aurions tendance à répondre que non. Notre thèse montre que le spectre n'est pas un bien standard. Certes, on est face à une ressource qui est exploitée pour la fourniture d'une multitude de services, mais pas face à une ressource banalisée. Nous avons tenté au fil de ces pages d'apporter des éléments de réponse à cette question, à travers l'analyse des caractéristiques et des modes de gouvernance de cette ressource si précieuse. L'étude des caractéristiques physiques, techniques et économiques des bandes de fréquences, ainsi que l'étude des différents modes d'attribution du spectre, ont conforté notre idée que le spectre n'était pas une commodité. Toutefois, l'étude des technologies d'accès dynamique et de partage du spectre a révélé leur capacité à homogénéiser la ressource spectrale. Ainsi, à l'instar des récentes considérations en la matière, la dématérialisation du marché du Hertz *via* le développement d'un marché *spot* par logiciel dans le futur n'apparaît pas improbable.

Les enseignements qui peuvent être tirés de ce travail sont donc les suivants :

### **L'importance de la régulation et de la cohérence entre les échelles décisionnelles**

Notre analyse a mis en avant l'importance de la régulation et de la cohérence entre les échelles décisionnelles pour une utilisation et un partage efficace du spectre. Nous soutenons par ailleurs que dans un monde de partage, l'utilisation du spectre ne pourra être efficace que si la régulation technique ainsi que les moyens techniques et financiers déployés pour surmonter les problèmes de brouillages, sont suffisamment élevés. La cohérence entre les échelles décisionnelles est vitale pour arriver à une utilisation efficace du spectre puisqu'elle permet la mise en œuvre de normes harmonisées et l'harmonisation des bandes de fréquences, lesquelles contribuent à la valorisation du spectre.

### **La coexistence des modes de gouvernance**

Notre analyse montre qu'un mode de gouvernance ne prime pas sur un autre et que ces derniers sont complémentaires et non substituables. Certes, les partisans d'un spectre exclusif et ceux d'un spectre en commun cherchent chacun à influencer une attribution des droits qui leur serait plus favorable. Mais en réalité, si l'on souhaite continuer à favoriser la diversité des usages et des acteurs ayant accès à cette ressource, on ne peut pas retenir qu'un seul mode de gouvernance. En fonction des usages et des services, les contraintes sont différentes. Ceci explique pourquoi dans un cas, le modèle collectif du spectre sera préférable au modèle exclusif, et inversement.

---

---

**Une marchandisation de la ressource pour des transactions de courte durée, peu incertaines**

En appliquant les développements de la théorie des coûts de transaction à l'utilisation partagée du spectre, nous avons pu comparer les différentes structures de gouvernance possibles pour le transfert de droits entre des utilisateurs primaires et secondaires. Cette démarche positive nous a permis d'étudier le monde tel qu'il est, c'est-à-dire en tenant compte de l'environnement institutionnel dans lequel les gestionnaires du spectre évoluent. Nous avons conclu qu'une marchandisation du spectre n'était pas impossible, mais seulement dans des sous-bandes particulières et pour un partage du spectre de courte durée nécessitant peu d'investissement. En effet, même si les radios intelligentes conduisent à réduire les coûts de transaction, il y aura toujours un certain degré d'incertitude immuable dans le spectre. En réalité, le partage dynamique du spectre - en augmentant le nombre d'utilisateurs dans une même bande - est susceptible d'accroître les problèmes de brouillages et d'augmenter le niveau d'incertitude concernant le bon déroulement d'une transaction. Dès lors, nous soutenons que dans de nombreux cas l'intervention d'une tierce partie, coordinateur technique, sera indispensable à la mise en œuvre d'une utilisation partagée du spectre efficace. Même si certaines études envisagent la création de marché en temps réel des fréquences, nous avons montré que le spectre possède des caractéristiques propres qui risqueraient de l'empêcher d'obéir aux mêmes principes de fonctionnement que les marchés d'autres matières premières.

**Un spectre condamné à être réaménagé**

L'utilisation partagée et dynamique du spectre est une solution qu'il ne faut pas ignorer face à la rareté des fréquences. Néanmoins, cette analyse a mis en exergue ses limites et les risques d'un partage sous-efficace dans le cas où les bons mécanismes incitatifs ne sont pas mis en place. Nous soutenons par ailleurs que le spectre est condamné à être re-nettoyé et que les gestionnaires devront toujours se poser cette question. Les politiques subissent les avancées technologiques et celles du marché. Dès lors, on ne peut jamais savoir ce que sera le marché demain. C'est pourquoi il est important qu'une vision stratégique de long terme soit définie de façon concertée. Face à la rareté croissante et l'utilisation accrue du spectre, la capture du secteur par les techniciens et l'absence d'une vision stratégique à long terme de la part de l'action publique en matière de gestion du spectre, pourraient être néfastes et conduire à une utilisation inefficace de la ressource.

\* \* \*

A cet effet, plusieurs recommandations peuvent être faites :

**Rendre l'information plus transparente en créant une base de données et un observatoire en temps réel du spectre**

---

Tout au long de ce travail de recherche, il a été constaté un véritable problème d'asymétrie d'information à différents niveaux. S'agissant du marché secondaire, il est apparu que ce dernier ne pouvait être liquide notamment en raison du fait que les utilisateurs qui souhaitent accéder au spectre n'ont pas suffisamment d'informations sur l'identité des titulaires, sur les bandes de fréquences négociables, sur leur prix, ou en encore sur les conditions d'utilisation de ces dites fréquences. À cet égard, il serait nécessaire de créer une base de données qui permettrait aux différents acteurs de savoir où se trouve le spectre disponible, qui en est le titulaire, quelles sont les conditions de partage, aussi bien pour favoriser la liquidité sur le marché secondaire que pour permettre un partage efficace du spectre.

S'agissant de l'utilisation effective des bandes de fréquences, il est à ce jour difficile d'estimer le taux d'utilisation d'une fréquence lorsque l'on n'est pas titulaire de celle-ci. Par ailleurs, il est apparu dans le cadre d'une utilisation partagée et dynamique que les utilisateurs primaires n'étaient pas incités à être totalement transparents quant à l'usage effectif de leur spectre. Or, pour partager une fréquence ou pour juger de l'efficacité d'utilisation du spectre, il est primordial de détenir ces données. À cet effet, un observatoire de l'utilisation du spectre pourrait être créé afin d'améliorer la transparence sur l'utilisation effective qui est faite du spectre toujours dans un but d'efficience.

### **Lancer des études et enquêtes auprès des citoyens pour déterminer la valeur totale du spectre**

Les gouvernements devraient favoriser des approches de valorisation du spectre plus hybrides qui tiennent compte de la valeur totale du spectre. La question de la valeur d'une bande de fréquence ne se pose pas de la même manière si l'on cherche à comprendre quelles sont les retombées économiques de son utilisation en termes d'emplois, de développement d'activités et services rendus, ou en termes de protection et de sécurité publique. En fonction de l'angle retenu, la valeur d'une fréquence peut considérablement varier d'autant plus que certaines bandes de fréquences n'ont pas de valeur marchande. Les méthodes de valorisation économique des fréquences, comme l'approche par les flux de trésorerie ou le parangonnage international ne permettent pas de mesurer la valeur sociale du spectre. Afin de pouvoir évaluer celle-ci, des enquêtes devraient être réalisées auprès des consommateurs ou des usagers du spectre pour recueillir différentes informations telles que leur consentement à payer un service, ou encore le niveau de satisfaction ou de qualité de vie que leur procure un service non marchand.

A cet égard, à côté de la valeur monétaire du spectre, il est nécessaire d'estimer la contribution à la richesse nationale ou régionale des différents écosystèmes reposant sur le spectre, d'évaluer les retombées des dispositifs de sécurité ou de protection du public, ou encore d'appréhender la valeur d'une fréquence par rapport au nombre d'emplois créés. Ne pas tenir compte des différentes valeurs qui constituent la valeur totale du spectre peut entraîner une mauvaise allocation de la ressource et avoir un impact négatif sur le bien être collectif.

---

Ainsi, afin de pouvoir se lancer dans des méthodes d'estimation hybrides permettant de tenir compte d'un ensemble de facteurs, il apparaît fondamental que la puissance publique favorise la collecte d'informations et le déploiement de telles études, lesquelles permettront de créer des outils d'aide à la décision et à la réflexion dans le futur afin de faire une estimation juste de la valeur économique et sociale du spectre. Ces études conduiront notamment à estimer la valeur attachée aux bandes de fréquences ouvertes et aux bandes utilisées pour la fourniture de services gouvernementaux dans le but d'étayer le raisonnement sur la quantité de spectre à mettre à leur disposition.

### **Favoriser un partage efficace du spectre**

Pour favoriser un partage efficace du spectre, il sera nécessaire de donner les moyens techniques, humains et financiers qui permettront la bonne mise en œuvre des mécanismes d'*enforcement* et d'*enforceability* dans un monde de partage.

\* \* \*

### **Perspectives pour la recherche**

Notre travail offre plusieurs voies de recherche dans la mesure où nous ne sommes qu'au début d'une utilisation partagée et dynamique du spectre. Quelques pistes permettraient de compléter nos travaux ainsi que d'autres thématiques de recherche tout aussi importantes pour l'analyse économique de la ressource spectrale.

D'une part, les différents exemples de partage qui seront mis en œuvre dans le futur permettront de prolonger notre analyse économique des transactions de droits de propriété sur le spectre. Sur cette base, il sera possible de comparer dans le temps les structures de gouvernance et d'évaluer leurs coûts de fonctionnement.

D'autre part, il serait intéressant de lancer des études de valorisation de la ressource spectrale qui tiennent compte de la valeur sociale des fréquences. Au surplus, l'impact d'une utilisation partagée du spectre ne doit pas seulement se mesurer au niveau microéconomique, mais également au niveau macroéconomique, où le partage dynamique aura un impact substantiel sur plusieurs agrégats économiques. À ce titre, il est clair qu'au niveau macro-économique le spectre a un impact considérable sur l'économie. Pourtant, aucun chiffre n'a pu être cité en raison du manque d'études et d'analyses économiques plus poussées sur ce sujet. Nous pensons qu'il est nécessaire de mener tout un ensemble d'études qualitatives et quantitatives, lesquelles permettront de mieux connaître la ressource spectrale afin d'améliorer sa gestion et son utilisation.

Plus généralement, la recherche sur l'analyse économique de l'utilisation partagée du spectre doit être poursuivie dans deux directions.

Au fur et à mesure de leur intégration, il conviendra d'analyser l'impact des technologies intelligentes et autres technologies de partage (comme les bases de données) sur les asymétries informationnelles. Comment vont-elles modifier le comportement des agents et la nature des problèmes de coordination que ces derniers auront à résoudre ? Notre approche fondée sur la théorie des coûts de transaction a fait le postulat que ces technologies auraient un impact non négligeable sur ces coûts. Il serait alors intéressant de quantifier les différents coûts de transaction dans le cadre d'une utilisation partagée.

Par ailleurs, les expériences de marché appliquées au spectre radio sont encore peu nombreuses. Le recours à l'économie expérimentale pourrait permettre de recréer les mécanismes théoriques (modélisation théorique du marché actuel) dans un environnement réel, avec des vrais agents, et de comparer en laboratoire des conceptions de marché différentes - comme par exemple la comparaison entre un marché statique des fréquences et un marché en temps réel - afin d'évaluer l'efficacité des différents mécanismes d'échange de la ressource.

Pour finir, ce travail nous a permis de développer une réflexion sur l'impact des technologies d'accès dynamique et de partage du spectre sur l'accès à celui-ci en associant à une réflexion théorique un problème concret. Cette thèse favorise le débat économique, juridique et technique de la gestion du spectre des fréquences radioélectriques sans toutefois sortir de la réalité. L'expérience professionnelle au sein de l'Agence nationale des fréquences dans le cadre de la mission ministérielle sur la gestion dynamique du spectre confiée à Madame Joëlle Toledano a été mise à profit tout en gardant le recul nécessaire à l'analyse de l'utilisation partagée des fréquences.

---

# ANNEXES

---

## Annexe I.1. Bandes de fréquences et longueurs d'onde

L'unité de fréquence est le Hertz (Hz). Les fréquences sont exprimées:

- en kilohertz (kHz), jusqu'à 3 000 kHz inclus;
- en mégahertz (MHz), au-delà de 3 MHz, jusqu'à 3 000 MHz inclus;
- en gigahertz (GHz), au-delà de 3 GHz, jusqu'à 3 000 GHz inclus.

Numéro de la bande	Symboles (en anglais)	Gamme de fréquences (limite inférieure exclue, limite supérieure incluse)	Subdivision métrique correspondante	Abréviations métriques pour les bandes
4	VLF	3 à 30 kHz	Ondes myriamétriques	B.Mam
5	LF	30 à 300 kHz	Ondes kilométriques	B.km
6	MF	300 à 3 000 kHz	Ondes hectométriques	B.hm
7	HF	3 à 30 MHz	Ondes décamétriques	B.dam
8	VHF	30 à 300 MHz	Ondes métriques	B.m
9	UHF	300 à 3 000 MHz	Ondes décimétriques	B.dm
10	SHF	3 à 30 GHz	Ondes centimétriques	B.cm
11	EHF	30 à 300 GHz	Ondes millimétriques	B.mm
12		300 à 3 000 GHz	Ondes décimillimétriques	

NOTE 1: La «bande N» (N = numéro de la bande) s'étend de  $0,3 \times 10^N$  Hz à  $3 \times 10^N$  Hz.

NOTE 2: Préfixes: k = kilo ( $10^3$ ), M = méga ( $10^6$ ), G = giga ( $10^9$ ).

*Source* : Règlement des radiocommunications (Article 2)

## Annexe I.2. Les grandes catégories de services de radiocommunication

Les services radioélectriques cités ci-dessous sont ceux référencés dans le TNRBF et dans le Règlement des Radiocommunications. Une radiocommunication est une « télécommunication réalisée à l'aide des ondes radioélectriques ». Les services spécifiques de radiocommunication sont des « services définis impliquant la transmission, l'émission ou la réception d'ondes radioélectriques à des fins spécifiques de *télécommunication* ». Ils sont classés soit dans la catégorie des services de terre, soit dans celle des services spatiaux.

### Les services de terre

Un service de terre est service radioélectrique (défini dans le Règlement des Radiocommunications) autre qu'un service spatial (c'est-à-dire un service qui ne fait pas appel à un satellite ou à toute autre plate-forme située dans l'espace). Les services spécifiques de terre sont les suivants :

SERVICES DE TERRE	DEFINITION [UIT, RR]
Service des auxiliaires de la météorologie	« Service de radiocommunication destiné aux observations et aux sondages utilisés pour la météorologie, y compris l'hydrologie »
Service d'amateur	« Service d'instruction individuelle, d'intercommunication et d'études techniques effectué par des amateurs, c'est-à-dire par des personnes dûment autorisées, s'intéressant à la technique de la radioélectricité à titre uniquement personnel et sans intérêt pécuniaire. »
Service de radioastronomie	« Service comportant l'utilisation de la radioastronomie »
Service des fréquences étalon et des signaux horaires	« Service de radiocommunication assurant, à des fins scientifiques, techniques et diverses, l'émission de fréquences spécifiées, de précision élevée et donnée, et destinées à la réception générale »
Service fixe	« Service de radiocommunication entre points fixes déterminés »
Service de radiodiffusion :	« Service de radiocommunication dont les émissions sont destinées à être reçues directement par le public en général. Ce service peut comprendre des émissions sonores, des émissions de télévision ou d'autres genres d'émissions »
Service mobile <ul style="list-style-type: none"> <li>- Service mobile aéronautique</li> <li>- Service mobile sauf mobile aéronautique, dont <ul style="list-style-type: none"> <li>o <i>Service mobile terrestre</i></li> <li>o <i>Service mobile maritime</i></li> </ul> </li> </ul>	<u>Service mobile</u> : « Service de radiocommunication entre stations mobiles et stations terrestres, ou entre stations mobiles » <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Service mobile aéronautique</u> : « Service mobile entre stations aéronautiques et stations d'aéronef, ou entre stations d'aéronef, auquel les stations d'engin de sauvetage peuvent également participer; les stations de radiobalise de localisation des sinistres peuvent également participer à ce service sur des fréquences de détresse et d'urgence désignées »</li> <li>- <u>Service mobile sauf mobile aéronautique</u></li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <u>Service mobile terrestre</u> : « Service mobile entre stations de base et stations mobiles terrestres, ou entre stations mobiles terrestres »</li> <li>○ <u>Service mobile maritime</u> : « Service mobile entre stations côtières et stations de navire, ou entre stations de bord associées; les stations d'engin de sauvetage et les stations de radiobalise de localisation des sinistres peuvent également participer à ce service »</li> </ul>
Service de radiorepérage <ul style="list-style-type: none"> <li>- Service de radiolocalisation</li> <li>- Service de radionavigation, dont <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Service de radionavigation aéronautique</i></li> <li>○ <i>Service de radionavigation maritime</i></li> </ul> </li> </ul>	<u>Service de radiorepérage</u> : Service comportant l'utilisation du radiorepérage. <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Service de radiolocalisation</u> : « Service de radiorepérage comportant l'utilisation de la radiolocalisation »</li> <li>- <u>Service de radionavigation</u> : « Service de radiorepérage comportant l'utilisation de la radionavigation » <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <u>Service de radionavigation aéronautique</u> : « Service de radionavigation à l'intention des aéronefs. »</li> <li>○ <u>Service de radionavigation maritime</u> : « Service de radionavigation à l'intention des navires »</li> </ul> </li> </ul>

### Les services spatiaux

Les services de terre sont doublés par un service spatial ou « par satellite » plus moins équivalent. Un service spatial est un « service de radiocommunication entre stations terriennes et stations spatiales, ou entre stations spatiales, ou entre stations terriennes lorsque les signaux sont retransmis par des stations spatiales, ou transmis par réflexion sur des objets situés dans l'espace, à l'exclusion de la réflexion ou la diffusion par l'ionosphère ou dans l'atmosphère terrestre ».

Les services spécifiques spatiaux sont les suivants :

SERVICE SPATIAL	DEFINITION [UIT, RR]
Service de météorologie par satellite	« Service d'exploration de la Terre par satellite pour les besoins de la météorologie »
Service d'amateur par satellite	« Service de radiocommunication faisant usage de stations spatiales situées sur des satellites de la Terre pour les mêmes fins que le service d'amateur »
Service inter-satellites	« Service de radiocommunication assurant des liaisons entre des satellites artificiels »
Service des fréquences étalon et des signaux horaires par satellite	« Service de radiocommunication faisant usage de stations spatiales situées sur des satellites de la Terre pour les mêmes fins que le service des fréquences étalon et des signaux horaires »
Service fixe par satellite	« Service de radiocommunication entre stations terriennes situées en des emplacements donnés lorsqu'il est fait usage d'un ou de plusieurs satellites l'emplacement donné peut être un point fixe déterminé ou tout point fixe situé dans des zones déterminées; dans certains cas, ce service comprend des liaisons entre satellites, qui peuvent également être assurées au sein du service inter-

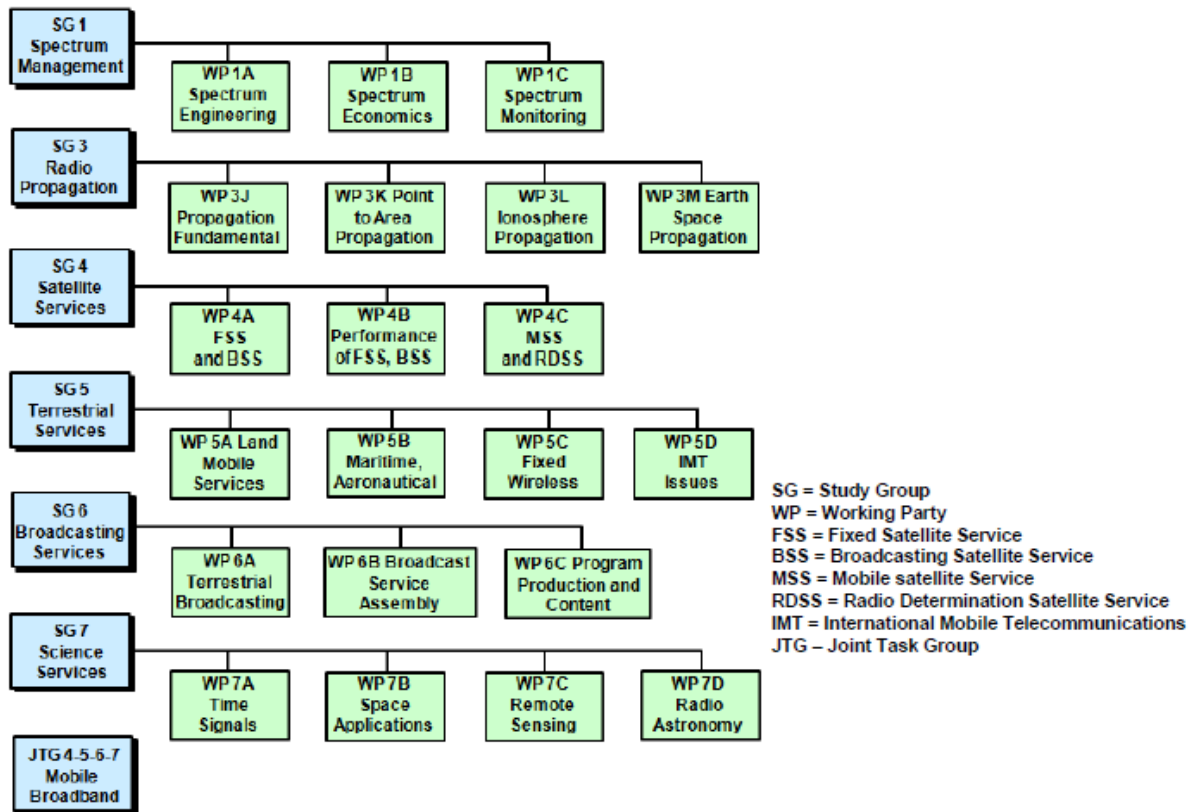
Annexe I.2. Les grandes catégories de services de radiocommunication

	satellites; le service fixe par satellite peut en outre comprendre des liaisons de connexion pour d'autres services de radiocommunication spatiale »
Service de radiodiffusion par satellite	« Service de radiocommunication dans lequel des signaux émis ou retransmis par des stations spatiales sont destinés à être reçus directement par le public en général »
Service mobile par satellite - Service mobile par satellite sauf mobile aéronautique par satellite - Service mobile aéronautique par satellite	<u>Service mobile par satellite</u> : « Service de radiocommunication entre des stations terriennes mobiles et une ou plusieurs stations spatiales, ou entre des stations spatiales utilisées par ce service; ou entre des stations terriennes mobiles, par l'intermédiaire d'une ou plusieurs stations spatiales » - <u>Service mobile par satellite sauf mobile aéronautique par satellite</u> - <u>Services mobile aéronautique par satellite</u> : « Service mobile par satellite dans lequel les stations terriennes mobiles sont situées à bord d'aéronefs; les stations d'engin de sauvetage et les stations de radiobalise de localisation des sinistres peuvent également participer à ce service »
Service de radiorepérage par satellite - Service de radionavigation par satellite - Service de radiolocalisation par satellite	<u>Service de radiorepérage par satellite</u> : « Service de radiocommunication aux fins de radiorepérage et impliquant l'utilisation d'une ou plusieurs stations spatiales » - <u>Service de radionavigation par satellite</u> : « Service de radiorepérage par satellite aux fins de radionavigation » - <u>Service de radiolocalisation par satellite</u> : « Service de radiorepérage par satellite utilisé aux fins de la radiolocalisation »
Service d'exploitation spatiale	« Service de radiocommunication destiné exclusivement à l'exploitation des engins spatiaux, en particulier la poursuite spatiale, la télémessure spatiale et la télécommande spatiale »
Service de recherche spatiale	« Service spatial dans lequel on utilise des engins ou autres objets spatiaux pour la recherche scientifique ou technique »
Service d'exploration de la Terre par satellite	« Service de radiocommunication entre des stations terriennes et une ou plusieurs stations spatiales, qui peut comprendre des liaisons entre stations spatiales, et dans lequel : (i) des renseignements relatifs aux caractéristiques de la Terre et de ses phénomènes naturels, y compris des données sur l'état de l'environnement, sont obtenus à partir de détecteurs actifs ou de détecteurs passifs situés sur des satellites de la Terre, (ii) des renseignements analogues sont recueillis à partir de plates-formes aéroportées ou situées sur la Terre, (iii) ces renseignements peuvent être distribués à des stations terriennes appartenant à un même système, (iv) les plates-formes peuvent également être interrogées »

## Annexe I.3. Structure de l'UIT-R

L'UIT-R se divise en sept groupes d'études. Le groupe 1 est celui en charge de la gestion du spectre. Il comprend trois groupes de travail : le groupe chargé de l'ingénierie du spectre, le groupe chargé de l'économie du spectre, et le groupe chargé de la surveillance du spectre.

Figure 1 : La composition de l'UIT-R



Source : Union Internationale des Télécommunications

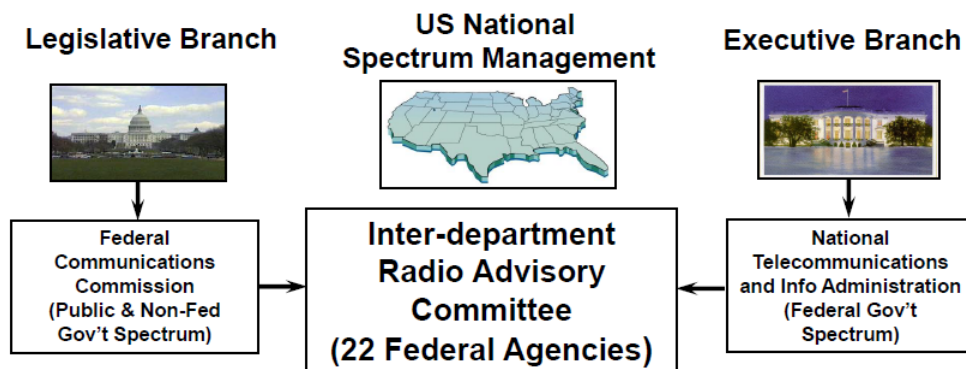
## Annexe I.4. La gestion du spectre aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Finlande et en Inde

Dans le premier chapitre, nous avons présenté la gestion du spectre en France. Cette annexe présente les modes de gestion du spectre dans quatre autres pays : les États-Unis, le Royaume-Uni, la Finlande et l'Inde. Nous avons choisi ces quatre pays pour des raisons particulières. Au niveau mondial, les États-Unis sont les pionniers, tant en matière de libéralisation que de partage du spectre. Le Royaume-Uni est le pays d'Europe précurseur dans ce domaine et sûrement l'un des plus proactifs en matière de gestion dynamique du spectre. La Finlande est un cas intéressant, car ne faisant pas partie de l'Organisation du traité de l'Atlantique Nord (OTAN : *North Atlantic Treaty Organization*), la gestion du spectre est plus simple dans ce pays que dans les autres pays européens membres. Enfin, l'Inde est un cas intéressant puisque le pays mène une politique en faveur d'une gestion plus flexible et d'une libéralisation de l'usage du spectre.

### A. La gestion du spectre hertzien aux États-Unis

Aux États-Unis, la **FCC** (*Federal Communications Commission*) et le **NTIA** (*National Telecommunications and Information Administration*) se partagent la gestion du spectre. Le Communications Act de 1934<sup>218</sup> autorise la FCC à allouer et assigner les fréquences aux usages et aux utilisateurs autres que les administrations fédérales (notamment aux communications électroniques et audiovisuelles dont elle est le régulateur, puis aux gouvernements des divers États), tandis que le NTIA gère et enregistre les allocations et assignations du gouvernement fédéral, notamment aux fins de défense (cf. Figure 1).

Figure 1 : La gestion du spectre hertzien aux États-Unis



Source : Spectrum Analytics, LLC

<sup>218</sup> Le *Communications Act* est une loi fédérale américaine approuvée le 19 juin 1934 par le Congrès des États-Unis. La loi a remplacé l'ancienne *Federal Radio Commission* par la *Federal Communications Commission* (FCC).

Les juridictions de la FCC et de la NTIA doivent nécessairement coordonner leur gestion du spectre puisque les bandes de fréquences qu'elles gèrent sont dans en majorité en mode partagé entre des acteurs fédéraux et non fédéraux. Elles le sont dans la moitié du spectre en dessous de 3 GHz, dans les deux tiers du spectre en dessous de 30 GHz, et pratiquement dans tout le spectre au dessus de 30 GHz (cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : L'utilisation du spectre aux États-Unis**

Frequency Range	Federal Exclusive	Non-Federal Exclusive	Shared
3 MHz to 3 GHz	14%	32%	54%
3 GHz to 6 GHz	8%	18%	74%
6 GHz to 30 GHz	7%	23%	71%
30 GHz to 300 GHz	1%	3%	96%

*Source* : Spectrum-Analytics, LLC, 2014

Il est donc dans l'intérêt des deux agences de travailler ensemble pour une utilisation efficace du spectre.

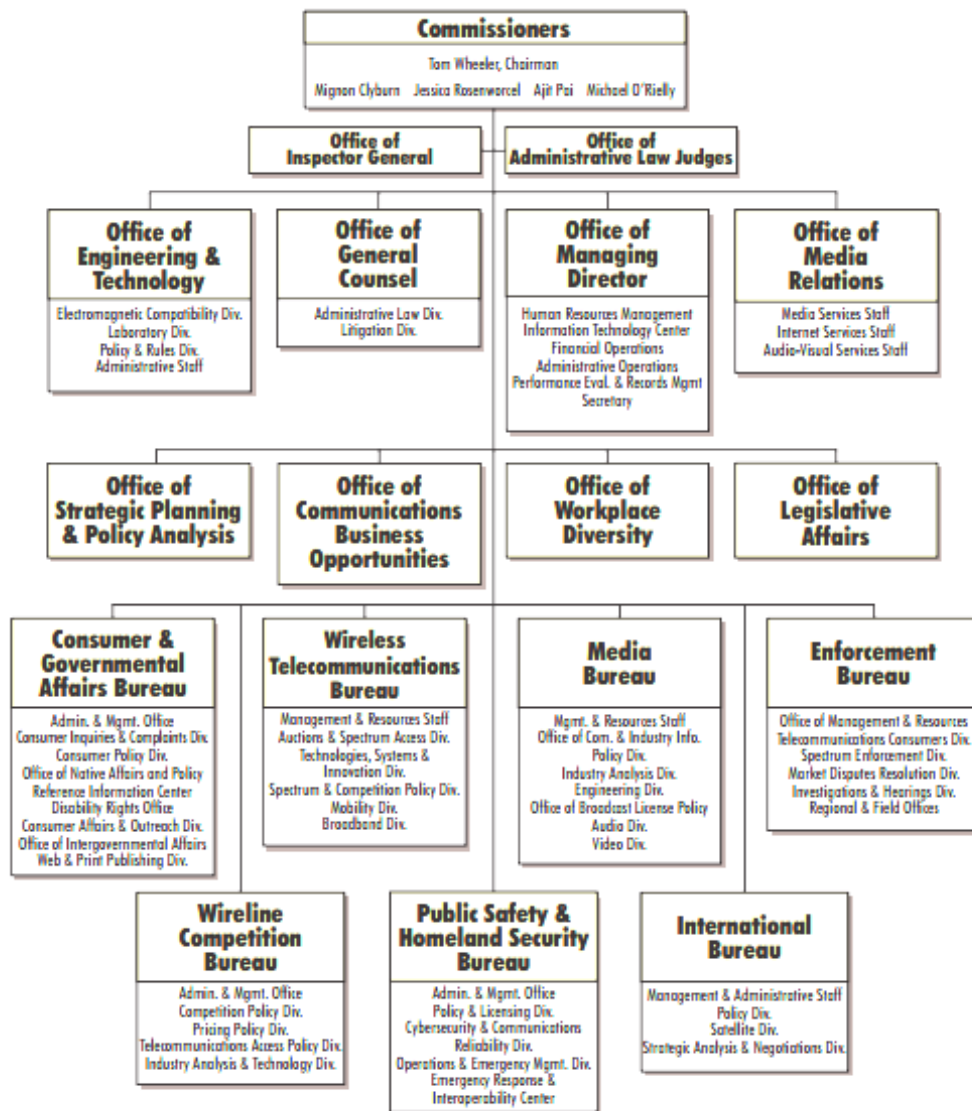
### A.1. La FCC

La FCC est une agence fédérale indépendante du gouvernement des États-Unis, placée sous la responsabilité du **Congrès**. En matière de fréquences, elle contrôle l'utilisation du spectre commercial ainsi que celui des gouvernements des divers états et des collectivités locales. Elle est, de façon plus générale, chargée de réguler les télécommunications ainsi que les contenus des émissions de radio et de télévision, et l'Internet. Ses commissaires sont nommés par le président des États-Unis.

Concernant la gestion du spectre hertzien par la FCC, le Congrès a la possibilité d'intervenir dans la gestion des enchères en demandant à la FCC la libération ou la mise aux enchères de certaines bandes de fréquences<sup>219</sup>. En l'absence de loi, la FCC a le pouvoir de décider seule de l'avenir d'une bande de fréquence.

<sup>219</sup> Le Congrès des États-Unis (*United States Congress*) est la branche législative du gouvernement fédéral des États-Unis. Ses deux chambres sont le Sénat (*United States Senate*), la chambre haute, composé de 100 sénateurs (deux par État) et la Chambre des représentants (*United States House of Representatives*), la chambre basse, composée de 435 représentants.

Figure 1: L'Organisation de la FCC

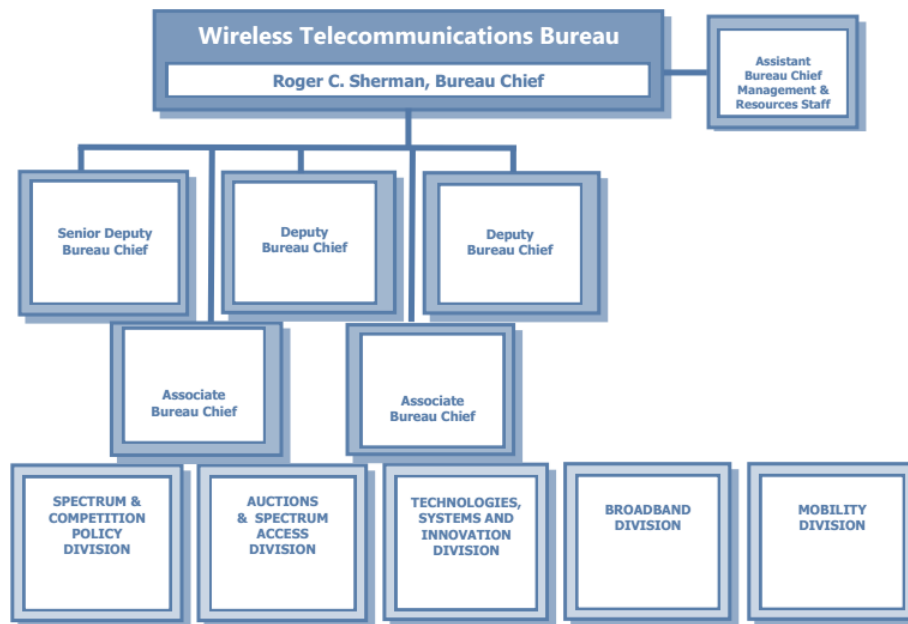


Au sein de la FCC, le *Wireless Telecommunications Bureau* (WTB) est chargé de développer et d'exécuter la politique du spectre. Il met en œuvre les procédures d'attribution des fréquences et réglemente les services de communication sans fil, notamment les services de téléphonie mobile, de sécurité publique, et de radio commerciale et privée.

Après avoir recouru au principe du « premier arrivé premier servi » pour répartir les fréquences préalablement allouées entre les services, entre les usagers, la FCC a successivement eu recours à d'autres mécanismes tels que les appels à candidatures, les procédures de loteries, et les procédures d'enchères. La division *Auctions and Spectrum Access* du WTB est responsable de la planification, de la conception, et de la conduite des enchères. Elle

travaille également sur d'autres questions liées à l'attribution concurrentielle du spectre, comme les enchères incitatives ou le réaménagement du spectre.

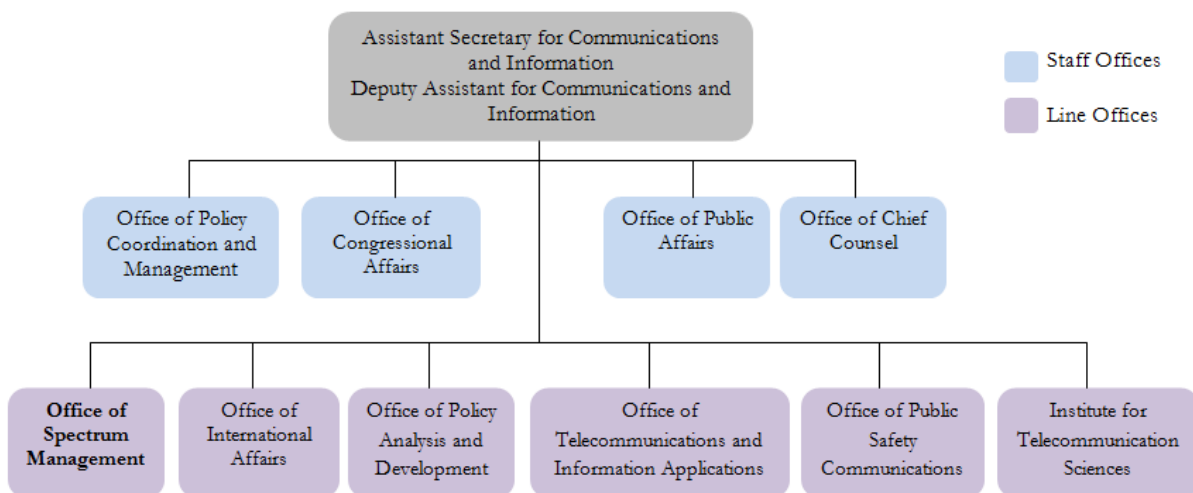
**Figure 2 : La structure du Bureau des Télécommunications sans fil**



## A.2. Le NTIA

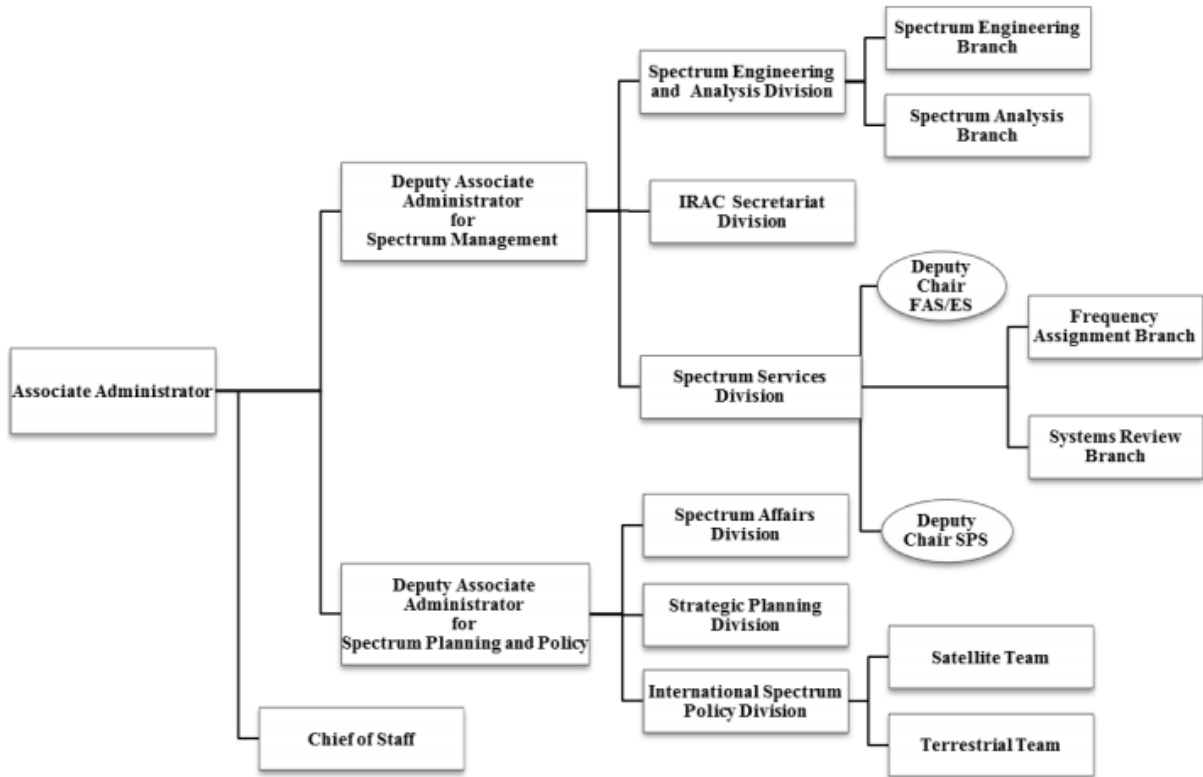
Le principal objectif du bureau de la gestion du spectre du NTIA est de protéger les usages du gouvernement fédéral qui utilisent le spectre, tout en soutenant la croissance des nouveaux usages et des nouvelles technologies. Il gère l'utilisation des fréquences radios par le gouvernement fédéral et reçoit pour cela l'aide et les conseils de l'*Inter-department Radio Advisory Committee* (IRAC).

**Figure 2 : L'organisation de la NTIA**



Au sein de la NTIA, l'office chargé de la gestion du spectre l'*Office of Spectrum Management*, gère le spectre au niveau fédéral et international.

Figure 3 : La structure de l'*Office Spectrum Management*



### A.3. Le Comité de Conseil Interdépartemental sur le Spectre Radioélectrique

L'IRAC se compose d'un comité principal, de six sous-comités, et de plusieurs groupes de travail qui tiennent compte des divers aspects de la politique de gestion du spectre. Les six sous-comités sont les suivants : l'*Emergency Planning Subcommittee (EPS)*, le *Frequency Assignment Subcommittee (FAS)*, le *Radio Conference Subcommittee (RCS)*, le *Space Systems Subcommittee (SSS)*, le *Spectrum Planning Subcommittee*, le *Technical Subcommittee (TSC)*.

Les missions de l'IRAC sont d'aider le Secrétaire Adjoint dans les décisions d'assignation des fréquences et dans l'élaboration et l'exécution des politiques, des programmes, des procédures et critères techniques relatifs à l'attribution, la gestion, et l'utilisation du spectre [NTIA, 2014]. Les décisions prises par la NTIA sont approuvées en amont par l'IRAC. Les questions qui n'ont pas pu être résolues à l'IRAC sont directement soumises au *Deputy Associate Administrator* de la NTIA (*Office of Spectrum Management*), et si besoin à l'*Associate Administrator*.

Lorsqu'il y a une prise de décision, l'IRAC regroupe les représentants désignés par chacun des ministères et organismes membres : *Agriculture*, *Air Force (AF)*, *Army*, *Broadcasting Board of*

---

*Governors (BBG), Coast Guard, Commerce, Energy, Federal Aviation Administration (FAA), Homeland Security, Interior, Justice, National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Science Foundation (NSF), Navy, State, Transportation, Treasury, U.S. Postal Service, Veterans Affairs).*

La FCC n'est pas un membre de l'IRAC. Toutefois, la Commission a désigné un représentant de liaison qui travaille avec l'IRAC et ses sous-comités. Les agents de l'IRAC et les Présidents de ses sous-comités sont nommés par le Secrétaire adjoint.

Les réunions sont régulières et les représentants sont convoqués par le Président. Au sein du sous-comité en charge de l'assignation des fréquences (**FAS**), l'*Aeronautical Advisory Group (AAG)* présidé par la *Federal Aviation Administration (FAA)*, et le *Military Advisory Group (MAG)* présidé par la *Air Force (AF)*, sont chargés de déterminer si les demandes d'assignation de fréquences dans leurs bandes respectives doivent être approuvées ou non par la NTIA<sup>220</sup>.

Le travail de l'IRAC ne se limite pas seulement aux réunions mais à de nombreux travaux en amont. Lors des votes chacun des membres possède une voix et aucune procuration ne peut être accordée. Dans le cas où un accord unanime sur une question n'a pas été obtenu, une opinion minoritaire peut être déposée dans le dossier. Celle-ci est transmise par les sous-comités et groupes à l'IRAC, puis par l'IRAC à la NTIA, à la demande de tout membre. Les motions sont prises à la majorité des voix exprimées.

#### **A.4. La gestion du spectre au sein du Département de la Défense**

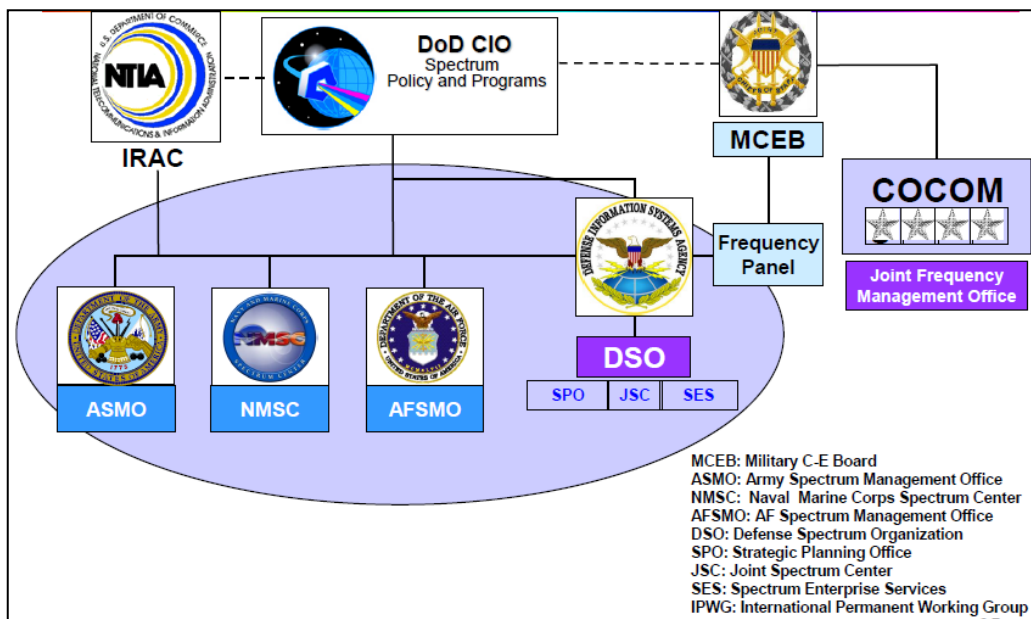
Le Département de la Défense est l'utilisateur fédéral de spectre le plus important. De nombreuses applications militaires dérivent de l'utilisation des fréquences radioélectriques.

Le DoD partage son spectre avec d'autres agences fédérales. La NTIA stipule les conditions sous lequel le DoD peut opérer. La *Defense Spectrum Organisation (DSO)* a été créée en 2006 par le *Department of Defense (DoD)* au sein de la *Defense Information System Agency (DISA)*. La DSO comprend quatre divisions : la *Strategic Planning Office (SPO)*, le *Joint Spectrum Center (JSC)*, le *Spectrum Enterprise Services (SES)*, et le *Business Management Office (BUO)*.

---

<sup>220</sup> Les bandes **MAG** : 225.000-328.600 et 335.400-399.900 MHz. Les bandes **AAG** : 190-285 kHz / 978-1020 MHz inclusive / 285-435 kHz / 1 1030 MHz / 510-535 kHz / 1031-1087 MHz inclusive / 74.800-75.200 MHz / 1090 MHz / 108.000-121.9375 MHz / 1104-1146 MHz inclusive / 123.5875-128.8125 MHz / 1157-1213 MHz inclusive / 132.0125-137.000 MHz / 5000-5250 MHz / 328.600-335.400 MHz.

Figure 4 : La gestion du spectre par le DoD



Source : Spectrum Analytics, LLC

Le DoD a trois points d'entrée pour introduire des propositions d'attribution de fréquences: le NTIA, la FCC, ou le Congrès. Lorsqu'un utilisateur gouvernemental a de nouvelles exigences, il peut formuler des propositions, comme des propositions d'attribution de fréquences, qui sont en premier lieu introduites à l'IRAC. En tant que participante non-membre de l'IRAC, la FCC est mise au courant de ces propositions. Elle peut formuler une proposition d'attribution en émettant un avis d'enquête (*Notice of Inquiry* (NOI)) ou un avis de projet de réglementation (*Notice Proposition of Rule Making* (NPRM)), et en invitant les parties prenantes à s'exprimer. C'est le Congrès qui met ensuite en œuvre les propositions d'attribution.

Le DoD est proactif en matière de gestion du spectre. En 2013, il a proposé un plan d'action stratégique ayant pour objectif de surmonter les différents défis liés à l'usage et au partage des fréquences (cf. Tableau 1).

**Tableau 1 : Les buts et objectifs stratégiques du DoD en matière de gestion du spectre (2013)**

<p>« <b>Goal 1:</b> Expedite the Development of Spectrum Dependent System (SDS) Capabilities with Increased Spectrum Efficiency, Flexibility, and Adaptability</p> <p>    « <b>Objective 1:</b> Expedite development of technologies that increase an SDS’s ability to: access wider frequency ranges; exploit spectrum efficiency gains; utilize less congested bands; and adapt rapidly to changing EMEs</p> <p>    « <b>Objective 2:</b> Accelerate the fielding of technologies that enable spectrum sharing and improve access opportunities</p> <p>    « <b>Objective 3:</b> Cultivate and adopt commercial service capabilities</p> <p>    « <b>Objective 4:</b> Strengthen enterprise oversight of DoD spectrum use »</p>
<p>« <b>Goal 2:</b> Increase the Agility of DoD Spectrum Operations</p> <p>    « <b>Objective 1:</b> Develop the ability to perform near-real-time spectrum operations</p> <p>    « <b>Objective 2:</b> Advance the ability to identify, predict, and mitigate harmful interference</p> <p>    « <b>Objective 3:</b> Modify policies, regulations, and standards to enable DoD to exploit improvements to SDS spectrum flexibility and facilitate sharing spectrum »</p>
<p>« <b>Goal 3:</b> Sharpen the Responsiveness to On-going Spectrum Regulatory and Policy Changes</p> <p>    « <b>Objective 1:</b> Reform DoD’s ability to assess regulatory proposals</p> <p>    « <b>Objective 2:</b> Expand DoD’s participation in and contributions to regulatory and policy Discussions</p> <p>    « <b>Objective 3:</b> Institutionalize DoD’s ability to adapt to and implement regulatory and policy changes »</p>

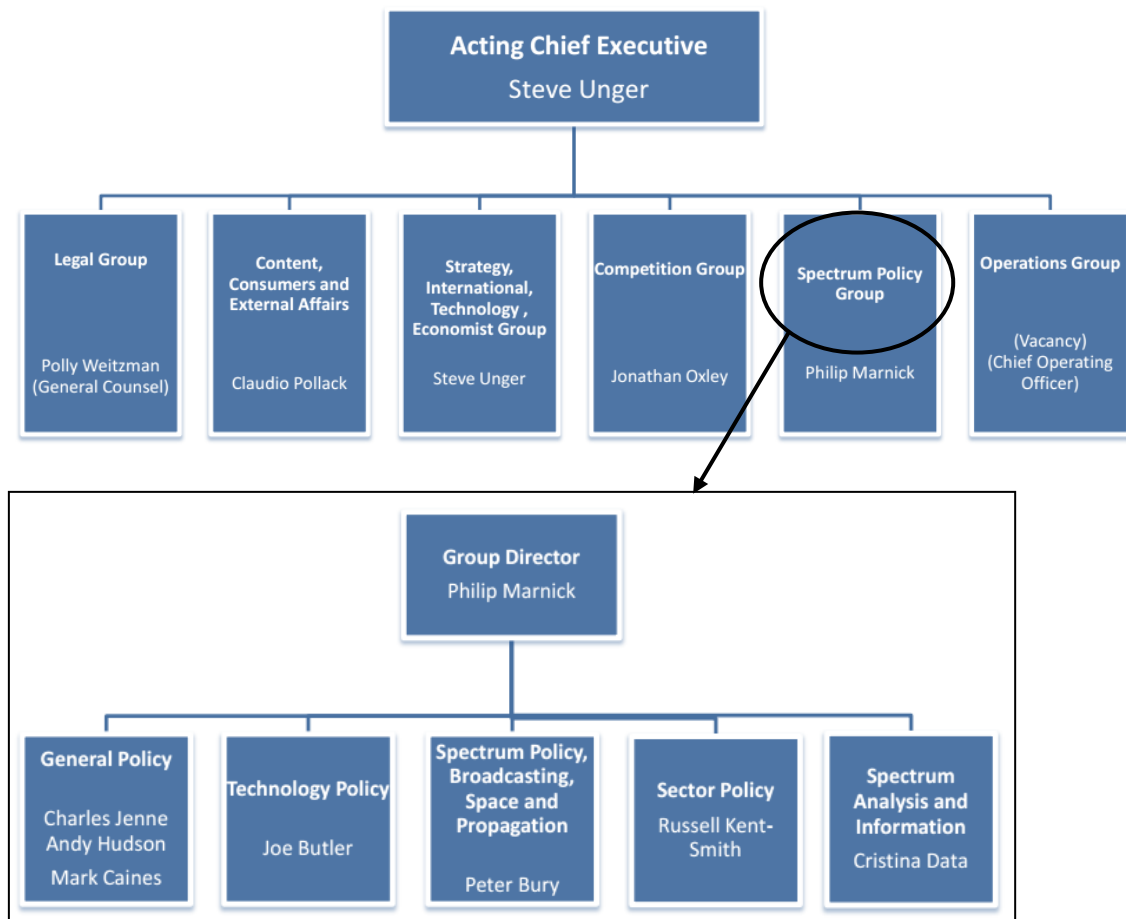
Source: DoD, Electromagnetic Spectrum Strategy, 2013

## B. La gestion du spectre au Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, contrairement à la France, le spectre hertzien ne fait pas partie du domaine public. Le spectre affecté à des usages privés est géré par le régulateur britannique l'Ofcom. L'**Ofcom** a été définie en 2002 par l'*Office of Communications Act 2002*, et créée en 2003 à la suite de la transposition du « paquet télécoms ». Cette instance est le fruit de la fusion des cinq autorités de régulation préexistantes<sup>221</sup>.

L'autorité a pour mission de gérer spectre radioélectrique, de délivrer des autorisations d'émettre, d'attribuer les fréquences audiovisuelles et de communications électroniques, de contrôler le contenu des émissions diffusées, et de contrôler et de promouvoir la concurrence. Il convient de souligner que le spectre est le seul sujet régulé par l'OFCOM qui ne soit pas traité de manière transversale. Un groupe spécifique est dédié à la gestion de cette ressource au sein de l'autorité (cf. Figure 1).

Figure 1 : Structure de l'Ofcom et du *Spectrum Policy Group*



Source : Ofcom

<sup>221</sup> Fusion de la BSC (*Broadcasting Standards Commission*) avec l'ITC (*Independent Television Commission*), l'Oftel (*Office of Telecommunications*), Postcomm, RAU (*Radio Authority*).

La politique du gouvernement sur l'utilisation du spectre est coordonnée par le Comité stratégique du spectre au Royaume-Uni, l'*UK Spectrum Strategy Committee (UK SSC)* rattaché aux Ministères de la Culture et de la Défense. Ce comité est co-présidé par des hauts fonctionnaires du Département de la Culture, des Médias et du Sport (*Department for Culture, Media and Sport* ou **DCMS**) et du ministère de la défense (*Ministry of Defense* ou **MoD**).

Le DCMS, en tant que chef du département pour la politique du spectre, a un rôle important dans la gestion britannique du spectre. Le MoD, en tant que responsable du département pour la gestion des fréquences, gère également de nombreuses fréquences. L'Ofcom assiste au comité en tant qu'observateur, fournit des conseils, et prend en considération les vues de l'UK SSC.

Le régulateur ne gère pas le spectre alloué au gouvernement. Le spectre de l'aviation civile est directement géré par la *Civil Aviation Authority*, et celui de la défense par le *Ministry of Defense* (MoD). Toutefois, les aspects internationaux sont traités par l'Ofcom qui détient la compétence en matière de gestion du spectre à l'international.

Le DCMS a récemment affirmé son ambition de définir une stratégie de l'État en matière de spectre. Les principales lignes d'actions identifiées par l'*UK Spectrum Strategy* sont les suivantes [DCMS, 2014]:

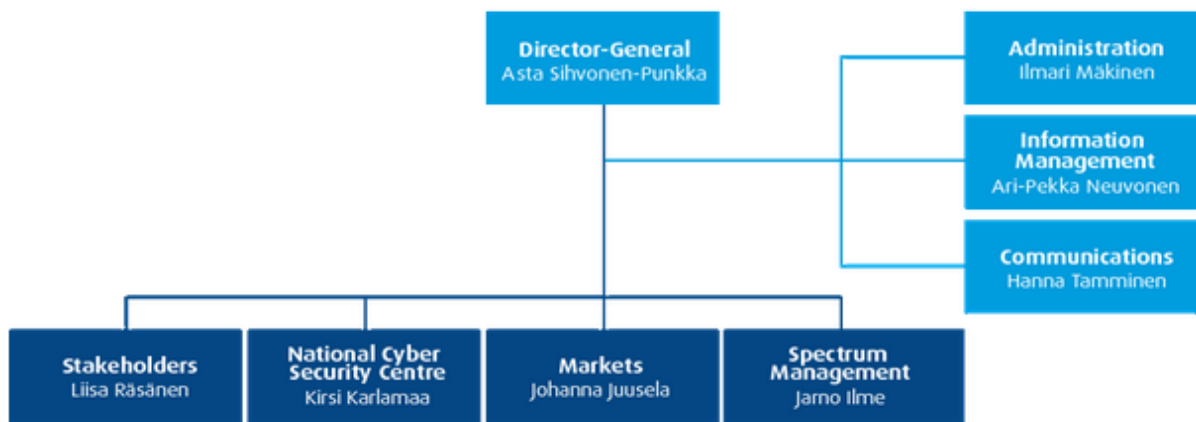
- développer une méthodologie cohérente qui permette d'évaluer la valeur du spectre au Royaume-Uni,
- appliquer à tous les secteurs les mêmes principes d'évaluation de l'utilisation du spectre,
- définir les hypothèses et les mécanismes qui inciteront les ministères du gouvernement à payer pour le spectre dont ils ont besoin et à libérer celui dont ils n'ont pas besoin, et être en mesure d'acquérir de nouvelles fréquences pour les besoins futurs,
- rassembler toute l'information sur le spectre géré par le secteur public, qui indique clairement quelles sont les fréquences utilisées, celles qui sont disponibles et leur emplacement géographique. L'objectif est de permettre au secteur public de gérer son spectre plus efficacement, et de fournir une base de données,
- veiller à ce que la base de données du spectre du secteur public puisse s'interfacer avec les bases de données de géolocalisation établies ou autorisées par l'Ofcom,
- veiller à ce que le spectre soit disponible pour la recherche pour stimuler l'innovation et la croissance,
- faciliter le développement de technologies avancées et s'assurer de la disponibilité du spectre et d'autres mécanismes appropriés,
- favoriser l'étude et l'adoption des nouvelles technologies.

Au sein de l'Ofcom, la création de l'*UK Spectrum Policy Forum* en 2013 permet d'échanger directement avec les industriels concernés par la politique du spectre.

## C. La gestion du spectre en Finlande

En Finlande, la FICORA est l'autorité de régulation des communications. Elle réglemente les fréquences radio et les permis de télédiffusion, supervise le fonctionnement des fournisseurs de services Internet, et gère la zone de domaine « .fi ». Le spectre radio est entièrement géré par la FICORA, même celui attribué à la défense. La Finlande ne faisant pas partie de l'OTAN, la gestion du spectre (notamment le spectre utilisé à des fins militaires) est plus simple.

**Figure 1 : Organisation de la FICORA**



Source : Ficora

L'autorité est composée de quatre divisions : (i) *Stakeholders*, (ii) *National Cyber Security Center*, (iii) *Markets*, et (iv) *Spectrum Management*. Comme pour l'OFCOM, il convient de souligner que la FICORA dispose d'une division spécialement dédiée au spectre.

La division de la gestion du spectre (*Spectrum Management*) au sein de l'autorité est responsable de l'ensemble des activités liées à la gestion des fréquences telles que l'utilisation et la planification des fréquences, la gestion des licences radio et autres droits d'usage sur le spectre, l'évaluation de la conformité des équipements et des terminaux de radio et de télécommunications, leur mise sur le marché, et leur marquage. Elle est également chargée de la surveillance du marché, du contrôle et de la résolution des brouillages, de la résolution des problèmes liés à une utilisation non autorisée du spectre ou à la possession d'équipements illégaux, et de la conception des enchères du spectre.

## D. La gestion du spectre en Inde

En Inde, l'*Indian Telegraph Act* (1885) et l'*Indian Wireless Telegraphy Act* (1933) établissent le cadre de base pour la gestion du spectre.

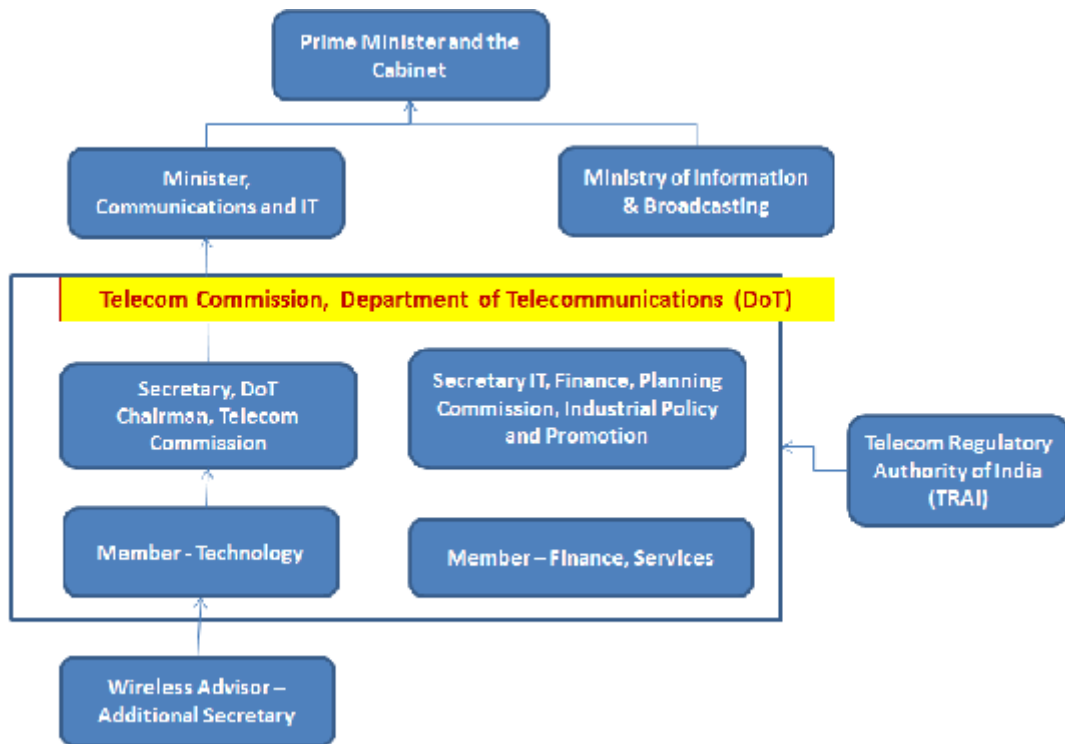
Le travail des différents ministères du gouvernement s'effectue par l'intermédiaire de l'*Union Cabinet* dirigé par le Premier ministre. Le Conseil des ministres de l'Union (*Union Council of Ministers*) exerce le pouvoir exécutif dans la République de l'Inde. Il se compose de hauts ministres et est dirigé par le Premier ministre. Le Cabinet de l'Union (*Union Cabinet*) est un organe exécutif plus restreint : c'est l'organe de décision suprême de l'Inde. Seul le premier ministre et les ministres ayant le grade de "ministre de Cabinet" en sont membres. Dans le processus d'attribution d'une bande de fréquence ou d'un changement, se sont l'*Union Cabinet* et le Premier ministre qui interviennent à la fin du processus et qui prennent la décision finale.

Au sein du Ministère en charge des communications (*Ministry of Communications and Information Technology* ou **MCIT**), le département des télécommunications (*Department of Telecommunications* ou **DoT**) traite des dossiers relatifs au secteur des télécommunications commerciales tandis que les questions liées à la radiodiffusion relèvent du ministère de l'information et de la radiodiffusion (*Ministry of Information and Broadcasting* ou **MIB**).

Le **DoT** comporte six unités dont la *Wireless Planning & Coordination Wing* (**WPC**) qui joue un rôle important en matière de gestion du spectre. Créée en 1952, le WPC est l'agence de régulation nationale responsable de la gestion du spectre des fréquences, y compris de l'octroi de licences. Ses tâches sont réparties entre ses trois divisions : la division chargée de la régulation et des licences (*Licensing and Regulation* ou **LR**), le groupe chargé des nouvelles technologies (*New Technology Group* ou **NTG**) et le Comité consultatif permanent sur l'attribution de fréquences radio (*Standing Advisory Committee on Radio Frequency Allocation* ou **SACFA**).

L'autorité de régulation des télécommunications indienne, la *Telecom Regulatory Authority of India* (TRAI) est un organe indépendant mis en place par le gouvernement. Elle émet des recommandations pour le DoT et lance des consultations publiques sur les questions politiques importantes puis soumet ses recommandations. Son rôle est surtout consultatif et elle a peu d'influence sur la politique en matière de spectre.

Figure 2 : La gestion du spectre en Inde



Source : Rohit, Sridhar et Bunel [2014]

Suite à une longue période de gestion du spectre marquée par le recours à un modèle de commandement et de contrôle pour l'attribution des fréquences (1995 à 2012), l'Inde s'oriente de plus en plus vers un système axé sur les mécanismes du marché [Rohit, Sridhar et Bunel, 2014]. Cette politique en faveur d'une libéralisation de la ressource spectrale est soulignée par la recherche des objectifs suivants :

- assurer la disponibilité du spectre et sa répartition de manière transparente à travers des processus liés au marché (mettre à disposition 300 MHz de spectre supplémentaires pour les services IMT d'ici 2017 et 200 MHz de plus d'ici 2020),
- promouvoir l'utilisation efficace du spectre par la mise en place de dispositifs de vérification régulière de l'utilisation du spectre;
- encourager la libéralisation du spectre (neutralité technologique, mise en commun du spectre, et partage du spectre).

## I.5. Les missions de l'Agence nationale des fréquences (Article L43 du CPCE)

### Article L43

Modifié par LOI n°2011-1977 du 28 décembre 2011 - art. 90

**I.**-Il est créé, à compter du 1er janvier 1997, une Agence nationale des fréquences, établissement public de l'État à caractère administratif.

L'agence a pour mission d'**assurer la planification, la gestion et le contrôle** de l'utilisation, y compris privative, du domaine public des fréquences radioélectriques sous réserve de l'application de l'article L. 41 ainsi que des compétences des administrations et autorités affectataires de fréquences radioélectriques.

Elle **prépare la position française et coordonne l'action de la représentation française** dans les négociations internationales dans le domaine des fréquences radioélectriques.

Elle **recueille les réclamations et instruit les cas de brouillage** de fréquences radioélectriques qui lui sont signalés. Elle transmet son rapport d'instruction, qui préconise les solutions pour mettre fin à ces perturbations, à l'administration ou autorité affectataire concernée.

Elle **coordonne l'implantation sur le territoire national des stations radioélectriques** de toute nature afin d'assurer la meilleure utilisation des sites disponibles et veille au respect des valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques prévues à l'article L. 34-9-1. A cet effet, les décisions d'implantation ne peuvent être prises qu'avec son accord ou, lorsqu'elles relèvent de la compétence du Conseil supérieur de l'audiovisuel, qu'après son avis. Le conseil est tenu par cet avis lorsqu'il est fondé sur un motif tiré du respect des valeurs limites d'exposition.

Elle **instruit pour le compte de l'État les demandes d'autorisation** présentées en application de l'article L. 97-2.

Un décret en Conseil d'État fixe le délai à l'issue duquel cet avis ou cet accord sont réputés acquis ainsi que, le cas échéant, les catégories d'installations pour lesquelles, en raison de leurs caractéristiques techniques, ils ne sont pas requis.

**I bis.** — Il est institué, au profit de l'Agence nationale des fréquences, une taxe destinée à couvrir les coûts complets engagés par cet établissement pour le recueil et le traitement des réclamations des usagers de services de communication audiovisuelle relatives aux brouillages causés par la mise en service des stations radioélectriques dans la bande de fréquences 790-862 MHz. Ne sont pris en considération que les brouillages causés à la réception de services de communication audiovisuelle diffusés par les stations d'émission prévues dans les autorisations d'usage de la ressource radioélectrique délivrées par le Conseil supérieur de l'audiovisuel antérieurement à la mise en service des stations mentionnées à la première phrase du présent alinéa.

Le montant global de taxe à recouvrer est réparti, dans la limite de 2 millions d'euros par an, entre les titulaires d'autorisation d'utilisation de fréquences de la bande mentionnée au premier alinéa, selon une clef de répartition définie par bloc de fréquences et correspondant à la part des brouillages susceptibles d'être causés par l'utilisation de chacun des blocs qui leur sont attribués. Les redevables acquittent en début d'année la taxe due au titre de l'année civile précédente auprès de l'agent comptable de l'Agence nationale des fréquences, dans un délai de trente jours à compter de l'émission du titre de recettes correspondant à la liquidation de la taxe.

Pour l'application du présent I bis, les titulaires d'autorisation d'utilisation de fréquences mentionnés au deuxième alinéa informent l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Agence nationale des fréquences de la date effective de mise en service de chaque station radioélectrique dans la bande de fréquences 790-862 MHz.

Les modalités d'application du présent article, notamment la clef de répartition entre les titulaires d'autorisation d'utilisation de chacun des blocs de fréquences, sont précisées par décret en Conseil d'Etat.

**II.-**L'Agence nationale des fréquences peut, pour ce qui concerne le contrôle de l'utilisation des fréquences et de manière proportionnée aux besoins liés à l'accomplissement de ses missions :

1° Recueillir, auprès des personnes physiques ou morales exploitant des équipements, des réseaux de communications électroniques, des installations radioélectriques ou fournissant des services de communications électroniques, les informations ou documents nécessaires pour s'assurer du respect par ces personnes des obligations qui leur sont imposées par le présent code ou par les textes pris pour son application ;

2° Procéder auprès des mêmes personnes à des enquêtes.

Ces enquêtes sont menées par des fonctionnaires et agents de l'Agence nationale des fréquences habilités à cet effet par le ministre chargé des communications électroniques et assermentés dans les conditions prévues à l'article L. 40.

Les fonctionnaires et agents mentionnés à l'alinéa précédent ont accès, de 8 heures à 20 heures ou pendant leurs heures d'ouverture au public, pour l'exercice de leurs missions, aux locaux, terrains ou moyens de transport utilisés par les personnes exploitant des réseaux de communications électroniques, des installations radioélectriques ou fournissant des services de communications électroniques et qui sont à usage professionnel, à l'exclusion des parties de ceux-ci affectées au domicile.

Le responsable des lieux est informé de son droit d'opposition à la visite. Lorsqu'il exerce ce droit, la visite ne peut se dérouler qu'après l'autorisation du juge des libertés et de la détention du tribunal de grande instance dans le ressort duquel sont situés les locaux à visiter. Celui-ci statue dans des conditions fixées par décret en Conseil d'Etat. Toutefois, par dérogation, lorsque l'urgence, la gravité des faits justifiant le contrôle ou le risque de destruction ou de dissimulation de documents l'exigent, la visite est préalablement autorisée par le juge des libertés et de la détention du tribunal de grande instance dans le ressort duquel sont situés les locaux à visiter.

La visite s'effectue sous l'autorité et le contrôle du juge qui l'a autorisée, en présence de l'occupant des lieux ou de son représentant, qui peut se faire assister d'un conseil de son choix ou, à défaut, en présence de deux témoins qui ne sont pas placés sous l'autorité des personnes chargées de procéder au contrôle. Le juge peut, s'il l'estime utile, se rendre dans les locaux pendant l'intervention. A tout moment, il peut décider la suspension ou l'arrêt de la visite.

L'ordonnance ayant autorisé la visite est exécutoire au seul vu de la minute. Elle mentionne que le juge ayant autorisé la visite peut être saisi à tout moment d'une demande de suspension ou d'arrêt de cette visite et précise qu'une telle demande n'est pas suspensive. Elle indique le délai et la voie de recours. Elle peut faire l'objet, suivant les règles prévues par le code de procédure civile, d'un appel devant le premier président de la cour d'appel.

Les fonctionnaires et agents mentionnés au quatrième alinéa du II présent peuvent demander communication de tous documents nécessaires à l'accomplissement de leur mission, quel qu'en soit le support, et en prendre copie ; ils peuvent recueillir, sur place ou sur convocation, tout renseignement et toute justification utiles.

Il est dressé contradictoirement procès-verbal des vérifications et visites menées en application du présent article.

L'Agence nationale des fréquences informe le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes des enquêtes portant sur le contrôle de l'utilisation des fréquences dont l'assignation leur est respectivement confiée et leur en communique les résultats.

**III.-**L'agence est administrée par un conseil d'administration composé de représentants des administrations, notamment de celles qui sont attributaires de bandes de fréquences, du Conseil

supérieur de l'audiovisuel et de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, ainsi que, pour au moins un tiers de ses membres, de personnalités choisies en raison de leurs compétences.

Le président du conseil d'administration est nommé par décret. Il ne peut cumuler cette fonction avec celle de président du Conseil supérieur de l'audiovisuel et de président de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes.

**IV.**-Le directeur général de l'agence est nommé par décret après avis du président du conseil d'administration. Il assure la direction technique, administrative et financière de l'agence. Il représente l'établissement en justice.

**V.**-Les ressources de l'agence comprennent la rémunération des services rendus, les revenus du portefeuille, les subventions publiques, le produit de la taxe mentionnée au I bis, ainsi que le produit des dons et legs. L'agence perçoit au bénéfice du fonds de réaménagement du spectre les contributions des personnes publiques ou privées versées à des fins de réaménagement du spectre.

**VI.**-Un décret en Conseil d'Etat fixe les modalités d'application du présent article. Il précise notamment les missions, l'organisation et les conditions du fonctionnement de l'établissement.

Un arrêté interministériel précise les objectifs à atteindre par l'agence dans les circonstances prévues à l'article L. 1111-2 du code de la défense ainsi que les dispositions particulières à prendre en compte pour y parvenir.

**VII.**-Le présent article est applicable en Polynésie française, dans les îles Wallis-et-Futuna, dans les Terres australes et antarctiques françaises et en Nouvelle-Calédonie sous réserve des compétences exercées par ces collectivités en application des statuts qui les régissent.

## **Annexe I.6. L'assignation des fréquences radioélectriques aux utilisateurs**

En vertu de l'article L.41 du Code des communications électroniques et des postes, le Premier ministre confie au Conseil supérieur de l'audiovisuel (CSA) et à l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP), l'assignation de certaines fréquences ou bandes de fréquences radioélectriques.

### **A. L'assignation des autorisations par le CSA**

Le CSA a succédé à la Haute Autorité de la communication audiovisuelle (1982-1986) et à la Commission nationale de la communication et des libertés (1986-1989). La création de cette autorité administrative indépendante en charge de la régulation du secteur audiovisuel date de la loi du 17 janvier 1989<sup>222</sup>. Ses missions, fixées par la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication (Loi Léotard, version consolidée), sont diverses.

#### **Loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication (Loi Léotard)**

##### **Article 1 :**

« La communication audiovisuelle est libre.

L'exercice de cette liberté ne peut être limité que dans la mesure requise, d'une part, par le respect de la dignité de la personne humaine, de la liberté et de la propriété d'autrui, du caractère pluraliste de l'expression des courants de pensée et d'opinion et, d'autre part, par la sauvegarde de l'ordre public, par les besoins de la défense nationale, par les exigences de service public, par les contraintes techniques inhérentes aux moyens de communication, ainsi que par la nécessité de développer une industrie nationale de production audiovisuelle.

Le Conseil supérieur de l'audiovisuel, autorité indépendante, garantit l'exercice de cette liberté dans les conditions définies par la présente loi.

Il assure l'égalité de traitement ; il garantit l'indépendance et l'impartialité du secteur public de la radiodiffusion sonore et de la télévision ; il veille à favoriser la libre concurrence ; il veille à la qualité et à la diversité des programmes, au développement de la production et de la création audiovisuelle nationale ainsi qu'à la défense et à l'illustration de la langue et de la culture française. Il peut formuler des propositions sur l'amélioration de la qualité des programmes. »

Bien que la communication audiovisuelle soit libre, le spectre hertzien est une ressource limitée et il constitue une contrainte technique inhérente à ce moyen de communication.

Le CSA est alors chargé d'autoriser et de contrôler l'usage des bandes de fréquences ou des fréquences attribuées ou assignées à des usages de radiodiffusion (dans le respect des traités et accords internationaux signés par la France). Il attribue des autorisations d'utilisation des

<sup>222</sup> Loi n° 89-25 du 17 janvier 1989 modifiant la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication.

fréquences à des acteurs divers tels que les opérateurs de la radio et de la télévision pour la fourniture de services numériques ou analogiques, terrestres ou mobiles.

L'attribution des fréquences aux opérateurs n'est pas sa seule mission. Le conseil est également chargé de la protection des mineurs, du respect de l'expression pluraliste des courants d'opinion, de l'organisation des campagnes électorales à la radio et à la télévision, du respect de la dignité de la personne humaine, ou encore de la protection des consommateurs.

Les autorisations délivrées par le CSA peuvent être classées en deux catégories :

- les autorisations qui concernent la diffusion de **services de télévision** par voie hertzienne terrestre,
- les autorisations qui concernent la diffusion de **services de radio** par voie hertzienne terrestre.

Le CSA délivre des autorisations d'usage de la ressource radioélectrique pour chaque nouveau service diffusé par voie hertzienne terrestre. En dehors des services délivrés par les sociétés nationales de programme, les autorisations sont subordonnées « à la conclusion d'une convention passée entre le Conseil supérieur de l'audiovisuel au nom de l'État et la personne qui demande l'autorisation » (article 28 de la loi du 30 septembre 1986). Les chaînes audiovisuelles publiques (sociétés nationales de programme<sup>223</sup> et le groupement européen d'intérêt économique Arte) possèdent un droit d'usage sur la ressource assignée pour la diffusion de leurs programmes par voie hertzienne terrestre. Tout ou partie de leurs fréquences, obtenues avant la création du CSA, ne peuvent pas leur être retirées sauf si des contraintes techniques l'exigent. Dans ce cas, le CSA doit veiller à fournir à ces chaînes un accès à la ressource hertzienne de façon à ce qu'elles bénéficient d'une réception de qualité équivalente, sans interruption du service. L'usage de la ressource radioélectrique peut également leur être retiré lorsque que cela s'avère nécessaire dans le cadre du passage de l'analogique au numérique

Les décisions pour l'assignation des autorisations aux candidats pour la diffusion de **services de télévision** par voie hertzienne terrestre, sont régies par les conditions de l'**article 30 de la loi de 1986** pour le mode analogique, et par les conditions de l'**article 30-1** pour le mode numérique.

- Pour la diffusion de services de télévision par voie hertzienne terrestre en **mode analogique**, le CSA publie une liste des fréquences disponibles et un appel à candidatures pour les zones géographiques et les catégories de services préalablement déterminées. Il tient compte des besoins en ressource radioélectrique nécessaires pour

---

<sup>223</sup> France Télévisions (France 2, France 3, France 5 et France 4), Radio France, et RFO.

assurer le développement de la télévision en mode numérique. La déclaration de candidature doit être présentée par une société commerciale.

- Pour la diffusion de services de télévision par voie hertzienne terrestre en **mode numérique**, le CSA définit des catégories de services et lance un appel aux candidatures. Pour les services à vocation nationale, la zone géographique représente l'ensemble du territoire métropolitain, tandis que pour les services à vocation locale, le conseil détermine préalablement les zones géographiques. Le CSA publie la liste de fréquences qui peuvent être attribuées dans une zone considérée.

Le CSA autorise, dans les conditions prévues par l'**article 29**, l'usage des fréquences pour la diffusion de **services de radio** par voie hertzienne terrestre. Il publie une liste de fréquences disponibles et lance des appels à candidatures pour les zones géographiques et les catégories de services préalablement déterminées. Les déclarations de candidature peuvent être présentées par une société, une fondation, ou par une association. La diffusion de services de radio par voie hertzienne terrestre en mode numérique est soumise aux dispositions de l'**article 29-1**. Une part significative des ressources hertziennes disponibles ou rendues disponibles par le passage au numérique est attribuée par le CSA.

La loi du 30 septembre 1986 fixe également les conditions pour l'assignation d'autorisations dans deux cas particuliers:

- le cas des autorisations d'usage de fréquences ou bandes de fréquences (dont l'assignation a été confiée au CSA) pour la diffusion de services de communication audiovisuelle autres que de radio ou de télévision (**article 23** de la loi). Cette autorisation d'usage de la ressource radioélectrique doit être donnée par le conseil qu'après avis conforme de l'ARCEP.
- le cas des autorisations d'usage de fréquences ou bandes de fréquences qui ne relèvent pas des fréquences assignées par le CSA. L'**article 33** fixe les conditions de diffusion de services de radio ou de télévision distribués par les réseaux n'utilisant pas des fréquences assignées par le Conseil supérieur de l'audiovisuel.

Le CSA est organisé en six principales directions : la direction des programmes, la direction des opérateurs audiovisuels, la direction des technologies, la direction juridique, la direction des études et de la prospective, et direction des affaires européennes et internationales. A noter toutefois que sa structure est en train d'être réformée et devrait rapidement être modifiée. Jusqu'à maintenant les décisions et les questions relatives à la planification et à l'usage technique des fréquences sont préparées et traitées par la direction des technologies. L'instruction des demandes d'autorisation et des demandes d'accès des opérateurs de radio et de télévision est faite par la direction des opérateurs audiovisuels. Cette direction est chargée de préparer les décisions du Conseil d'appel à candidatures et d'autorisation.

## B. L'assignation des autorisations par l'ARCEP

L'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP) est l'autorité administrative indépendante chargée de réguler les communications électroniques et les postes en France. Elle a été créée en 1997 et instituée par la loi de réglementation des télécommunications de 1996 sous le nom d'Autorité de régulation des télécommunications (ART). Elle est devenue l'ARCEP suite à la loi du 20 mai 2005 relative à la régulation des activités postales qui a étendu sa compétence au secteur postal.

L'Autorité qui est consultée sur les projets de loi, de décret ou de règlement relatifs au secteur des communications électroniques, est également compétente pour assigner les fréquences radioélectriques destinées à des usages de communications électroniques. En vertu de l'**article L.41** du Code des postes et des communications électroniques, le Premier ministre confie à l'ARCEP l'assignation de certaines fréquences nécessaires aux opérateurs et aux utilisateurs pour exercer leur activité. Les missions de l'autorité sont définies par les articles L36-5 à L36-13 du Code des communications électroniques et des postes. Ses principales missions sont les suivantes<sup>224</sup> :

- veiller à la mise en œuvre du service universel,
- imposer des obligations aux opérateurs puissants dans le cadre d'analyses de marchés,
- participer à l'élaboration du cadre réglementaire,
- attribuer les ressources rares (fréquences et numérotation),
- régler des différends entre opérateurs,
- délivrer des autorisations,
- veiller au respect du cadre réglementaire par l'ensemble des opérateurs et exercer, le cas échéant, son pouvoir de sanction.

L'attribution des autorisations d'utilisation des fréquences n'est qu'une des compétences de l'autorité qui précise « **les conditions d'utilisation des fréquences et bandes de fréquences** » (article L36-6, 3°) et assigne « **aux opérateurs et aux utilisateurs les fréquences nécessaires à l'exercice de leur activité dans les conditions prévues à l'article L. 42-1 et veille à leur bonne utilisation** » (article L36-7, 6°). Toutefois, son rôle va bien au-delà de la simple attribution d'autorisations puisqu'elle est également en charge de la réglementation des fréquences dans les bandes dont elle est affectataire.

Les dispositions spécifiques aux fréquences radioélectriques dont l'assignation est confiée à l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes sont régies par les conditions des articles L42, L42-1, L42-2, L42-3 et L42-4. L'ARCEP fixe les conditions techniques d'utilisation des fréquences qui doivent être respectées par tout utilisateur des fréquences concernées. L'autorité peut également fixer certaines conditions en vue de

---

<sup>224</sup> ARCEP, Rapport d'activités 2013. [http://www.arcep.fr/uploads/tx\\_gspublication/supplement-rapport-activite-2013.pdf](http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/supplement-rapport-activite-2013.pdf)

L'application des principes de neutralité technologique ou relatives aux services. Ces conditions sont précisées par l'**article L. 42** du CPCE.

L'ARCEP détermine si l'utilisation des fréquences est soumise à une « autorisation individuelle » (délivrée par elle-même) ou à un régime « d'autorisation générale » permettant l'établissement libre d'installations radioélectriques sous réserve du respect des conditions techniques fixées par l'ARCEP. Les critères déterminant l'appartenance à l'un ou à l'autre de ces régimes sont précisés dans l'**article L. 41-1** du CPCE. Les fréquences ouvertes à un régime d'autorisation générale ne sont pas soumises au paiement de redevances contrairement aux licences sous autorisation individuelle.

Le cadre général de délivrance des autorisations individuelles par l'ARCEP est défini par l'**article L42-1** du CPCE. Les conditions d'utilisation de la fréquence sont précisées dans l'autorisation et précisent les fréquences et la durée sur lesquelles portent le droit d'utilisation, les conditions techniques spécifiques, les obligations de l'opérateur en matière de couverture du territoire par son réseau, etc.

Le tableau ci-dessous énumère les différents services relevant de la compétence de l'ARCEP, les bandes de fréquences dans lesquels ces services se situent, et leur cadre général d'autorisation.

Le cadre général d'autorisation indique si l'usage des fréquences pour le service considéré est soumis à l'obtention d'une autorisation individuelle ou à un régime d'autorisation général. Dans le cas particulier des autorisations individuelles, il précise également si les autorisations sont attribuées « **au fil de l'eau** » (cas où la demande n'excède pas l'offre), ou par **appel à candidature** (en cas de rareté de la ressource spectrale). Plus précisément, ce cadre indique si les autorisations individuelles sont délivrées pour un « **allotissement** » ou pour une « **assignation** ». La distinction entre ces deux notions est explicitée à l'**article 1 du décret n°2007-1532** relatif aux redevances d'utilisation des fréquences qui entend par assignation « toute autorisation accordée pour l'utilisation d'une fréquence sur un emplacement donné et dans des conditions identifiées », et par allotissement « toute autorisation accordée pour l'utilisation d'un bloc de fréquences sur une zone géographique donnée ».

**Tableau 1: Les services relevant de la compétence de l'ARCEP**

Services	Bandes de fréquences	Cadre d'autorisation
Réseaux mobiles ouverts au public	Bandes : 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2,1 GHz, 2,6 GHz :	Autorisation individuelle <sup>225</sup> par allotissement
Faisceaux hertziens	Bandes : 1,4 GHz, 6 GHz, 8 GHz, 11 GHz, 13 GHz, 18 GHz, 23 GHz, 26 GHz, 32 GHz, 38 GHz, 70/80 GHz :	Autorisation individuelle par assignation ou par allotissement délivrée par l'ARCEP au fil de l'eau
Réseaux mobiles professionnels	Bandes : 50 MHz, 60 MHz, 80 MHz, 160 MHz, 200 MHz, 400 MHz, 900 MHz, bande GSM-R :	Autorisation individuelle par assignation ou par allotissement délivrée par l'ARCEP au fil de l'eau (traitement des demandes délégué à l'ANFR pour le compte de l'ARCEP)
Service fixe par satellite	Bande C, Bande Ku, Bande Ka	Deux autorisations : une autorisation d'exploitation d'une position orbitale accordée par l'UIT, et une autorisation d'utilisation des fréquences sur les territoires nationaux délivrée par l'ARCEP
Service mobile par satellite	Bandes 150 MHz et 400 MHz, Bande L, Bande S	Deux autorisations : une autorisation d'exploitation d'une position orbitale accordée par l'UIT, et une autorisation d'utilisation des fréquences sur les territoires nationaux délivrée par l'ARCEP au fil de l'eau <sup>226</sup>
Boucle locale radio	3,4-3,5 GHz	Autorisation individuelle par allotissements régionaux délivrées au fil de l'eau ou dans le cadre d'appels à candidatures.
Les appareils à faible portée	Cf. Tableau 2 ci-dessous	Autorisation générale, sous réserve du respect des conditions techniques définies par les décisions de l'ARCEP.
Les équipements audio sans fils	Bandes 174 – 223 MHz, 470-789 MHz, 823-832 MHz et 1785 – 1800 MHz	Autorisation générale, sous réserve du respect de conditions techniques
Les liaisons vidéo-mobiles	Voir Annexe 8 du TNRBF	Autorisation individuelle d'utilisation de fréquences délivrée par l'ARCEP par assignation
Les radioamateurs et les équipements CB	Fréquences à quelques kHz ou à plusieurs dizaines de GHz pour les radioamateurs Fréquences autour des bandes 26,960-27,410 MHz pour les équipements CB	Autorisation générale, sous réserve du respect des conditions techniques définies par les décisions de l'ARCEP
Les systèmes à bande ultralarge	Ensemble du spectre radioélectrique de 8,30 kHz à 275 GHz	Autorisation générale, sous réserve du respect des conditions techniques définies par l'ARCEP

Source : Arcep

<sup>225</sup> Ne sont pas concernés les services de communication mobile à bord des aéronefs ou des navires soumis à une autorisation générale.

<sup>226</sup> Sauf pour la bande S où une procédure de sélection européenne a préalablement été mise en place par la Commission Européenne pour sélectionner les opérateurs.

**Tableau 2 : Bandes de fréquences harmonisées en vue de l'utilisation de dispositifs à courte portée**

Type de dispositif à courte portée	Bande(s) de fréquences/fréquences simples
Dispositifs à courte portée non spécifiques	26,957-27,283 MHz
	40,660-40,700 MHz
	433,05-434,79 MHz
	868,0-868,6 MHz
	868,7-869,2 MHz
	869,4-869,65 MHz
	869,7-870 MHz
	2 400-2 483,5 MHz
	5 725-5 875 MHz
Systèmes d'alarme	868,6-868,7 MHz
	869,25-869,3 MHz
	869,65-869,7 MHz
Systèmes d'alarme sociale	869,20-869,25 MHz
Applications inductives	20,05-59,75 kHz
	59,75-60,25 kHz
	60,25-70 kHz
	70-119 kHz
	119-127 kHz
	127-135 kHz
	6 765-6 795 kHz
	13,553-13,567 MHz
Implants médicaux actifs	402-405 MHz
Applications audio sans fil	863-865 MHz

Source : Décision 2006/771/CE de la Commission européenne

**Les principaux articles du Code des postes et des communications électroniques concernant les modes d'assignation des autorisations par l'ARCEP**

**Article L41**

« Le Premier ministre définit, après avis du Conseil supérieur de l'audiovisuel et de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes, les fréquences ou bandes de fréquences radioélectriques qui sont attribuées aux administrations de l'Etat et celles dont l'assignation est confiée au conseil ou à l'autorité. »

**Article L41-1 :**

« Sauf dans les cas mentionnés à l'article L. 33-3, l'utilisation de fréquences radioélectriques en vue d'assurer soit l'émission, soit à la fois l'émission et la réception de signaux peut être soumise à autorisation administrative lorsque cela est nécessaire pour éviter les brouillages préjudiciables, assurer la qualité technique du service, préserver l'efficacité de l'utilisation des fréquences radioélectriques ou pour réaliser l'un des objectifs d'intérêt général mentionnés à l'article L. 32-1 et au III de l'article L. 42.

Est également soumise à autorisation administrative l'utilisation d'une installation radioélectrique en vue d'assurer la réception de signaux transmis sur les fréquences attribuées par le Premier ministre, en application de l'article L. 41, pour les besoins de la défense nationale ou de la sécurité publique.

Conformément à l'article L. 2124-26 du code général de la propriété des personnes publiques, l'utilisation, par les titulaires d'autorisation, de fréquences radioélectriques disponibles sur le territoire de la République constitue un mode d'occupation privatif du domaine public de l'Etat. »

**Article L42 (I) :**

« Pour chacune des fréquences ou bandes de fréquences radioélectriques dont l'assignation lui a été confiée en application de l'article L. 41 en dehors des utilisations à des fins expérimentales, l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes fixe, dans les conditions prévues à l'article L. 36-6 :

- les conditions techniques d'utilisation de la fréquence ou de la bande de fréquences ;
- les cas dans lesquels l'autorisation d'utilisation est subordonnée à la déclaration prévue à l'article L. 33-1 ;
- et les cas dans lesquels l'utilisation des fréquences est soumise à autorisation administrative. »

**Article L42-1 (I) et (II) :**

« **I.**-L'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes attribue les autorisations d'utilisation des fréquences radioélectriques dans des conditions objectives, transparentes et non discriminatoires tenant compte des besoins d'aménagement du territoire. [...] »

« **II.**-L'autorisation précise les conditions d'utilisation de la fréquence ou de la bande de fréquences qui portent sur :

1° La nature et les caractéristiques techniques des équipements, réseaux, technologies et services qui peuvent utiliser la fréquence ou la bande de fréquences ainsi que leurs conditions de permanence, de qualité, de disponibilité, leur calendrier de déploiement et leur zone de couverture, le cas échéant ;

2° La durée de l'autorisation, qui ne peut être supérieure à vingt ans, ainsi que le délai minimal dans lequel sont notifiés au titulaire les conditions de renouvellement ou de prorogation de l'autorisation et les motifs d'un refus de renouvellement ou de prorogation ; ce délai doit être proportionné à la durée de l'autorisation et prendre en compte le niveau d'investissement requis pour l'exploitation efficace de la fréquence ou de la bande de fréquences attribuée ;

3° Les redevances dues par le titulaire de l'autorisation, lorsque celles-ci n'ont pas été fixées par

décret ;

4° Les conditions techniques et opérationnelles nécessaires pour éviter les brouillages préjudiciables et pour limiter l'exposition du public aux champs électromagnétiques ;

5° Les obligations résultant d'accords internationaux ayant trait à l'utilisation des fréquences ;

6° Les critères d'une utilisation effective de la fréquence ou la bande de fréquences attribuée et le délai dans lequel le bénéficiaire de l'autorisation doit l'utiliser sous peine d'une abrogation de l'autorisation ;

7° Le cas échéant, les obligations spécifiques à l'utilisation expérimentale de fréquences ;

8° Les engagements pris par le titulaire dans le cadre de l'appel à candidatures prévu à l'article L. 42-2 ou d'une procédure d'enchères. » [...]

## Annexe I.7. Extrait de l'*Omnibus Budget Reconciliation Act* de 1993

### SEC. 6002. AUTHORITY TO USE COMPETITIVE BIDDING.

**(a) USE OF COMPETITIVE BIDDING.**—Section 309 of the Communications Act of 1934 (47 U.S.C. 309) is amended by adding at the end the following new subsection:

**“(j) USE OF COMPETITIVE BIDDING.—**

**“(1) GENERAL AUTHORITY.**—If mutually exclusive applications are accepted for filing for any initial license or construction permit which will involve a use of the electromagnetic spectrum described in paragraph (2), then the Commission shall have the authority, subject to paragraph (10), to grant such license or permit to a qualified applicant through the use of a system of competitive bidding that meets the requirements of this subsection.

**“(2) USES TO WHICH BIDDING MAY APPLY.**—A use of the electromagnetic spectrum is described in this paragraph if the Commission determines that—

“(A) the principal use of such spectrum will involve, or is reasonably likely to involve, the licensee receiving compensation from subscribers in return for which the licensee—

“(i) enables those subscribers to receive communications signals that are transmitted utilizing frequencies on which the licensee is licensed to operate; or

“(ii) enables those subscribers to transmit directly communications signals utilizing frequencies on which the licensee is licensed to operate; and

“(B) a system of competitive bidding will promote the objectives described in paragraph (3)

**“(3) DESIGN OF SYSTEMS OF COMPETITIVE BIDDING.**—For each class of licenses or permits that the Commission grants through the use of a competitive bidding system, the Commission shall, by regulation, establish a competitive bidding methodology. The Commission shall seek to design and test multiple alternative methodologies under appropriate circumstances. In identifying classes of licenses and permits to be issued by competitive bidding, in specifying eligibility and other characteristics of such licenses and permits, and in designing the methodologies for use under this subsection, the Commission shall include safeguards to protect the public interest in the use of the spectrum and shall seek to promote the purposes specified in section 1 of this Act and the following objectives:

“(A) the development and rapid deployment of new technologies, products, and services for the benefit of the public, including those residing in rural areas, without administrative or judicial delays;

“(B) promoting economic opportunity and competition and ensuring that new and innovative technologies are readily accessible to the American people by avoiding excessive concentration of licenses and by disseminating licenses among a wide variety of applicants, including small businesses, rural telephone companies, and businesses owned by members of minority groups and women;

“(C) recovery for the public of a portion of the value of the public spectrum resource made available for commercial use and avoidance of unjust enrichment through the methods employed to award uses of that resource; and

“(D) efficient and intensive use of the electromagnetic spectrum.

**“(4) CONTENTS OF REGULATIONS.**—In prescribing regulations pursuant to paragraph (3), the Commission shall—

“(A) consider alternative payment schedules and methods of calculation, including lump sums

or guaranteed installment payments, with or without royalty payments, or other schedules or methods that promote the objectives described in paragraph (3)(B), and combinations of such schedules and methods;

“(B) include performance requirements, such as appropriate deadlines and penalties for performance failures, to ensure prompt delivery of service to rural areas, to prevent stockpiling or warehousing of spectrum by licensees or permittees, and to promote investment in and rapid deployment of new technologies and services;

“(C) consistent with the public interest, convenience, and necessity, the purposes of this Act, and the characteristics of the proposed service, prescribe area designations and bandwidth assignments that promote (i) an equitable distribution of licenses and services among geographic areas, (ii) economic opportunity for a wide variety of applicants, including small businesses, rural telephone companies, and businesses owned by members of minority groups and women, and (iii) investment in and rapid deployment of new technologies and services;

“(D) ensure that small businesses, rural telephone companies, and businesses owned by members of minority groups and women are given the opportunity to participate in the provision of spectrum-based services, and, for such purposes, consider the use of tax certificates, bidding preferences, and other procedures; and

“(E) require such transfer disclosures and anti trafficking restrictions and payment schedules as may be necessary to prevent unjust enrichment as a result of the methods employed to issue licenses and permits.

“(5) **BIDDER AND LICENSEE QUALIFICATION.**—No person shall be permitted to participate in a system of competitive bidding pursuant to this subsection unless such bidder submits such information and assurances as the Commission may require to demonstrate that such bidder’s application is acceptable for filing. No license shall be granted to an applicant selected pursuant to this subsection unless the Commission determines that the applicant is qualified pursuant to subsection (a) and sections 308(b) and 310. Consistent with the objectives described in paragraph (3), the Commission shall, by regulation, prescribe expedited procedures consistent with the procedures authorized by subsection (i)(2) for the resolution of any substantial and material issues of fact concerning qualifications.

“(6) **RULES OF CONSTRUCTION.**—Nothing in this subsection, or in the use of competitive bidding, shall—

“(A) alter spectrum allocation criteria and procedures established by the other provisions of this Act;

“(B) limit or otherwise affect the requirements of subsection (h) of this section, section 301, 304, 307, 310, or 706, or any other provision of this Act (other than subsections (d)(2) and (e) of this section);

“(C) diminish the authority of the Commission under the other provisions of this Act to regulate or reclaim spectrum licenses;

“(D) be construed to convey any rights, including any expectation of renewal of a license, that differ from the rights that apply to other licenses within the same service that were not issued pursuant to this subsection;

“(E) be construed to relieve the Commission of the obligation in the public interest to continue to use engineering solutions, negotiation, threshold qualifications, service regulations, and other means in order to avoid mutual exclusivity in application and licensing proceedings;

“(F) be construed to prohibit the Commission from issuing nationwide, regional, or local licenses or permits;

“(G) be construed to prevent the Commission from awarding licenses to those persons who make significant contributions to the development of a new telecommunications service or

technology; or

“(H) be construed to relieve any applicant for a license or permit of the obligation to pay charges imposed pursuant to section 8 of this Act.

“(7) **CONSIDERATION OF REVENUES IN PUBLIC INTEREST DETERMINATIONS.—**

“(A) **CONSIDERATION PROHIBITED.**—In making a decision pursuant to section 303(c) to assign a band of frequencies to a use for which licenses or permits will be issued pursuant to this subsection, and in prescribing regulations pursuant to paragraph (4)(C) of this subsection, the Commission may not base a finding of public interest, convenience, and necessity on the expectation of Federal revenues from the use of a system of competitive bidding under this subsection.

“(B) **CONSIDERATION LIMITED.**—In prescribing regulations pursuant to paragraph (4)(A) of this subsection, the Commission may not base a finding of public interest, convenience, and necessity solely or predominantly on the expectation of Federal revenues from the use of a system of competitive bidding under this subsection.

“(C) **CONSIDERATION OF DEMAND FOR SPECTRUM NOT AFFECTED.**—Nothing in this paragraph shall be construed to prevent the Commission from continuing to consider consumer demand for spectrum-based services.

“ [..]”

Source: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-103hr2264enr/pdf/BILLS-103hr2264enr.pdf>

## Annexe I.8. Les principaux résultats de la théorie des enchères

Les deux grandes catégories de procédures d'enchères sont les enchères orales (enchères anglaises et hollandaise) et les enchères écrites (enchères scellées au premier prix ou second prix). A l'intérieur de ces grandes catégories il existe diverses procédures d'enchères qui peuvent être agrémentées de différents mécanismes (prix de réserve, niveau minimal de renchérissement, règle d'activité, etc.) afin de correspondre à l'environnement et au bien vendu. Dans une situation d'équilibre, le bien qui est mis aux enchères est accordé à l'acheteur qui lui accorde le plus de valeur.

### A. Le théorème d'équivalence des revenus

Le modèle de référence de la théorie des enchères et celui de la vente d'un bien unique à une multitude d'acheteurs. Les hypothèses du modèle sont les suivantes :

- H1 : Les offreurs sont **neutres au risque**.
- H2 : Les agents ont des **valeurs privées indépendantes**.
- H3 : Les agents sont **symétriques**, ils évoluent dans le même environnement informationnel.
- H4 : Le paiement (prix d'adjudication) est uniquement fonction des offres et non d'autres facteurs comme par exemple l'évolution des marchés qui utilisent la ressource.

Sous ces hypothèses, Vickrey [1961] a mis en évidence l'équivalence des procédures d'enchères plus connue sous le nom de **théorème d'équivalence-revenu**. Ce théorème montre qu'en théorie sous ces hypothèses les enchères anglaises, hollandaises ou scellées au premier et second prix conduisent à une allocation optimale identique pour le vendeur, c'est-à-dire qu'elle lui donne un même revenu espéré maximal.

#### Les grands résultats du théorème d'équivalence des revenus :

1. Les stratégies des enchérisseurs sont équivalentes :
  - dans une enchère hollandaise (descendante) et dans une enchère scellée au premier prix
  - dans une enchère anglaise (montante) et dans une enchère scellée au second prix
2. L'allocation est pareto-optimale :
  - les quatre procédures d'enchères classiques mènent à une allocation pareto-optimale, c'est-à-dire que la ressource est attribuée à l'enchérisseur qui en fait l'utilisation la plus efficace (meilleur usage et moindre coût) et qui la valorise le plus.
3. Vérification du théorème d'équivalence du revenu :
  - les quatre procédures d'enchères classiques assurent la même espérance de revenu au vendeur.
4. Le revenu espéré du vendeur est une fonction croissante du nombre d'enchérisseurs.

Ces quatre hypothèses initiales sont en réalité très peu probables dans le contexte réel. Le relâchement d'une d'entre elles remet en cause la robustesse de ces résultats. Dans la pratique le choix du type de l'enchère a de l'importance et les conditions pour obtenir une équivalence du revenu sont rarement réunies. Dès lors que ces hypothèses sont soulevées, le cours et le résultat de l'enchère sont impactés et l'équivalence des procédures n'est plus vérifiée.

### A.1. La neutralité vis-à-vis du risque

Un agent est neutre au risque lorsqu'il est indifférent entre obtenir avec certitude le gain espéré d'un jeu (une loterie) sans y participer et obtenir de façon aléatoire le gain attendu en y participant. L'**aversion vis-à-vis du risque** des participants à un processus d'enchères a un impact sur leurs stratégies : si les participants sont averses au risque ils préféreront agir de manière agressive en proposant des prix plus élevés afin de maximiser leur chance de gagner. Dans ce cas, le vendeur a intérêt d'opter pour une enchère au premier prix qui lui assurera un revenu plus élevé qu'une enchère au second prix [Holt, 1980].

### A.2. Valeurs privées, valeurs communes, et valeurs affiliées

La valeur du spectre a deux composantes :

- une **valeur commune** qui est l'estimation de la valeur commune à l'ensemble des offreurs établie à partir de toute l'information commune,
- une **valeur privée** qui est l'estimation individuelle des offreurs en fonction de leurs caractéristiques propres (possession de technologies différentes, de structures de coûts différentes, etc.).

Dans un **modèle à valeurs privées indépendantes**, chaque participant évalue le bien de manière individuelle et l'évaluation de chacun n'est pas connue des autres enchérisseurs. A l'inverse, dans un **modèle à valeur commune**, la valeur du bien est la même pour tous les enchérisseurs. Le bien mis en vente a une valeur objective pas forcément connue des enchérisseurs qui établissent leur prix en fonction des signaux du marché. Par ailleurs, lorsque l'observation d'une valeur importante chez un enchérisseur augmente la valeur d'un autre enchérisseur, on parle de **modèle à valeurs affiliées**, c'est-à-dire d'un modèle qui englobe le modèle à valeurs privées ainsi que celui à valeurs communes.

Lorsque les éléments de valeur commune sont très présents mais que les agents n'ont pas le même niveau d'accès aux informations et que celles-ci sont affiliées, alors des corrélations entre les évaluations et le risque de « **malédiction du vainqueur** » apparaissent [Milgrom et Weber, 1982]<sup>227</sup>. La malédiction du vainqueur se manifeste par un regret *ex post* du gagnant : en remportant l'enchère, ce dernier se rend compte qu'il n'a pas pris en compte l'information

---

<sup>227</sup> Pour l'analyse de la corrélation entre les évaluations voir Milgrom et Weber [1982].

apportée par ses concurrents au cours de l'enchère. En outre, si la deuxième hypothèse (H2) n'est pas vérifiée, c'est-à-dire si les évaluations des candidats ne sont pas indépendantes mais sont des estimations personnelles aléatoires d'une même valeur commune inconnue, alors les agents sont exposés au phénomène de « malédiction de vainqueur ».

Certains *design* d'enchères permettent d'éviter ce phénomène. Dans une enchère sous pli cacheté les offreurs n'ont pas d'information sur les offres adverses. Si l'enchère est au premier prix, les participants seront alors incités à réduire leur offre de façon à anticiper cette malédiction du vainqueur. Par contre, dans le cas d'une enchère au second prix, les participants savent qu'ils payeront en cas de victoire un prix égal à la première offre rejetée, c'est-à-dire indépendant de leur évaluation, et anticiperont ainsi moins la malédiction. L'enchère ascendante qui autorise un mécanisme de découverte de prix graduée est celle qui transmet aux participants le plus d'information sur les évaluations adverses et qui permet d'éviter la malédiction du vainqueur. Autrement dit, du point de vue de la malédiction du vainqueur, l'enchère ascendante est supérieure à l'enchère au deuxième prix, et l'enchère au deuxième prix est elle-même supérieure à l'enchère au premier prix Milgrom [1985]<sup>228</sup>.

Dans le cas où la valeur commune de l'enchère est « **presque** » **commune**, c'est-à-dire lorsque certains participants disposent par rapport à leurs concurrents d'avantages qui leur assureront un gain plus grand en cas de victoire, alors la malédiction du vainqueur des agents non avantagés est aggravée [Klemperer, 1998]<sup>229</sup>. Dans ce cas, l'enchère au premier prix prime sur l'enchère ascendante puisque le vainqueur sera forcément celui qui a l'évaluation la plus élevée. Lorsqu'il y a une corrélation des informations et des agents averses au risque, le vendeur peut s'approprier la totalité du surplus des acheteurs en exploitant les corrélations existantes entre les évaluations [Myerson, 1981 ; Cremer et Mc Lean, 1985]<sup>230</sup>.

### A.3. Hétérogénéité des agents

Dans certaines procédures d'enchères les concurrents peuvent être **hétérogènes** et l'hypothèse 3 de symétrie entre les agents n'est donc plus vérifiée. Dans ce cas, l'enchère met en concurrence des participants peu semblables. Leurs différences peuvent provenir de la qualité et de la quantité d'informations qu'ils détiennent, de leur taille (opérateurs en place ou nouveaux entrants), ou encore des coûts qu'ils auront à subir pour entrer sur le marché. Cette asymétrie entre les participants les conduit à adopter des stratégies différentes qui peuvent remettre en question l'efficacité d'une procédure d'enchère. La théorie montre que dans une enchère au second prix les stratégies et le résultat restent inchangés tandis que dans une enchère au premier prix le prix sera différent, c'est-à-dire plus bas ou plus élevé en fonction de la nature de l'asymétrie [Vickrey, 1961; Griesmer, Levitan et Shubik, 1967].

<sup>228</sup> Pour la démonstration de ce résultat dans le cas de l'attribution d'un seul objet voir le principe d'association de de Milgrom [1985].

<sup>229</sup> Pour plus de détails sur la valeur « presque commune » voir [Klemperer, 1998].

<sup>230</sup> Pour la démonstration de ce résultat voir Myerson [1981] ainsi que Cremer et Mc Lean [1985].

Myerson [1981] montre que l'enchère optimale est discriminatoire : pour empêcher les agents avantagés d'exploiter leur avantage, le vendeur a intérêt à pénaliser les acheteurs ayant *a priori* l'évaluation la plus haute. McAfee et McMillan [1989] ont montré que la discrimination optimale est similaire à une discrimination au second degré. Dans le cadre des enchères UMTS organisées en Europe, l'asymétrie entre les opérateurs en place et les nouveaux entrants a par exemple joué un rôle important.

Finalement, les éléments clés qui impactent le revenu attendu d'une enchère sont notamment le **niveau d'aversion au risque des acheteurs et du vendeur** et le **niveau et type d'information qu'ils détiennent sur le bien**. Les éléments qui impactent la conception de l'enchère et son efficacité dans le cas du spectre sont le **degré d'hétérogénéité des candidats** et le **mix entre valeur privée et valeur commune**.

## **B. Les différents mécanismes de la théorie des enchères : concepts et définition**

En fonction du contexte de la vente aux enchères (quantité de spectre disponible, nature de la demande, géographie, facteurs administratifs, etc.) mais également des objectifs que cherche à atteindre le gestionnaire du spectre (maximisation des recettes, concurrence effective sur le marché, etc.) le *design* de l'enchère sera différent. Dans le cas de la vente de licences hertziennes, l'autorité régulatrice peut modifier les règles de l'enchère pour accroître son revenu et améliorer l'efficacité de la vente. Pour atteindre ces objectifs, le régulateur a différents mécanismes à sa disposition. Ces mécanismes sont les suivants :

- **Le prix de réserve**

Le prix de réserve est le prix en dessous duquel le contrat n'est pas attribué. Le vendeur en fixant un prix de réserve peut réduire la rente du vainqueur et ainsi accroître son revenu.

- **La règle d'activité**

Une règle d'activité a pour objectif de rythmer l'enchère et d'éviter la présentation de soumissions de dernière seconde. Elle permet de prévenir les comportements stratégiques qui conduiraient les offreurs à rester dans l'ombre le temps de plusieurs rondes successives afin d'accumuler de l'information sur leurs concurrents.

- **La règle d'admissibilité**

Dans les procédures d'enchères à plusieurs rondes une règle d'admissibilité peut être mise en place. Le fonctionnement de la règle d'admissibilité revient à attribuer des « points d'admissibilité » lorsqu'une licence est assignée. Le nombre de points attribué à chaque licence

est fonction de la population couverte par la licence, de la largeur de bande et de la valeur estimée du spectre. L'objectif de cette règle est de :

1. déterminer la valeur du dépôt avant les enchères : le nombre de points d'admissibilité initial d'un offreur est déterminé en fonction du dépôt avant les enchères qu'il a versé. Ce nombre de points fixe ensuite le plafond des licences pour lesquelles l'offreur peut soumissionner (en fonction de la somme de points de soumission attribués aux licences pour lesquelles il soumissionne),
2. établir la règle d'activité fondée sur l'admissibilité. Selon la règle d'activité fondée sur les points d'admissibilité, un offreur ne peut pas présenter une offre pour un ensemble de licences si le nombre de points d'admissibilité attribué à ces licences est supérieur au solde de points d'admissibilité qu'il possède.

Dans les rondes suivantes, le nombre de points d'admissibilité est déterminé par les offres présentées au cours de la ronde précédente. Ainsi, si un offreur souhaite maintenir l'admissibilité voulue pour enchérir aux rondes suivantes, il doit présenter des offres qui correspondent à un certain nombre de points.

- **L'incrément minimum**

L'incrément d'enchère est le montant minimal (incrément de progression) qu'il faut proposer pour pouvoir surenchérir.

- **Les pénalités de retrait**

Les pénalités de retrait peuvent être utilisées dans le cas de procédures d'enchères qui autorisent les soumissionnaires à retirer leur offre la plus élevée ou à se retirer complètement des enchères afin d'atténuer le risque d'exposition. Le risque d'exposition représente le risque qu'un agent n'obtienne pas toutes les licences nécessaires à sa stratégie lorsque les demandes de soumissions ne visent que les licences individuelles<sup>231</sup>. Lorsque le retrait est autorisé, il peut être assorti de pénalités de retrait afin d'éviter que les soumissionnaires ne retirent pas leur offre sans raison valable. Lorsque les enchères sont combinatoires, le risque d'exposition est nul, il n'y a donc pas de pénalité de retrait susceptibles d'être imposées.

---

**Références:**

- Cremer J. et R.P. Mc Lean [1985]. Optimal Selling Strategies under Uncertainty for a Discriminatory Monopolist when Demands are Interdependent. *Econometrica*, 53, pp. 345-61.
- Griesmer J.H., Levitan R.E. and Shubik M. [1967]. Toward a Study of Bidding Processes. Part IV. Games with Unknown Costs. *Naval Research Logistic Quarterly*, vol. 14, n° 4, pp. 415-433.

---

<sup>231</sup> Généralement, les agents cherchent à réunir un groupe de licences adjacentes ou à zones de services multiples.

- Holt C.A. Jr [1980]. Competitive Bidding for Contracts Under Alternative Auction Procedure. *Journal of Political Economy*, vol. 88 (3), pp. 433-445.
- Klemperer P. [1998]. Auctions With Almost Common Values: The Wallet Game and its Applications, *European Economic Review*, 42, pp. 757-769
- Milgrom P. [1985]. The Economics of Competitive Bidding: a Selective Survey, in Hurwicz et al., Ed., *Social Goals and Social Organisation, Essays in Memory of Elisha Pazner*, Cambridge University Press.
- Milgrom P. and Weber R.J. [1982]. A Theory of Auctions and Competitive Bidding", *Econometrica*, vol. 50, pp. 1089-1122.
- Myerson R.B. [1981]. Optimal Auction Design", *Mathematics of Operation Research*, vol. 6, pp. 58-73.
- Vickrey W. [1961]. Conterspeculation, Auctions and Competitive Sealed Tenders", *Journal of Finance*, vol. 16, n° 1, pp. 8-37.
-

## Annexe I.9. Historique des enchères du spectre aux États-Unis

### A. Les enchères sur la période 1994-2014

Year	Auction Name	Licenses auctioned	Licenses won	Net Winning Bids (M)	Rounds
1994	Nationwide Narrowband (PCS)	10	10	\$617.007	47
	Interactive Video and Data Services (IVDS)	594	594	\$213.892	Oral Outcry
	Regional Narrowband (PCS)	30	30	\$392.707	105
1995	Broadband PCS A and B Block	99	99	\$7,019.404	112
1996	Broadband PCS C Block	493	493	\$10,071.709	184
	Multipoint/Multichannel Distribution Services	493	493	\$216.240	181
	900 MHz Specialized Mobile Radio Service	1,02	1,02	\$204.267	168
	Direct Broadcast Satellite 110 Degrees (DBS)	1	1	\$682.500	19
	Direct Broadcast Satellite 148 Degrees (DBS)	1	1	\$52.295	25
	Broadband PCS C Block Reauction	18	18	\$904.607	25
1997	Broadband PCS D, E, & F Block	1,479	1,472	\$2,517.440	276
	Cellular Unserved	14	14	\$1.843	36
	Wireless Communications Service (WCS)	128	126	\$13.639	29
	Digital Audio Radio Service (DARS)	2	2	\$173.235	25
	800 MHz Specialized Mobile Radio Service (SMR)	525	524	\$96.232	235
1998	Local Multipoint Distribution System (LMDS) 220 MHz	986	864	\$578.663	128
		908	693	\$21.650	173
1999	VHF Public Coast	42	26	\$7.459	44
	Location and Monitoring Services (LMS)	528	289	\$3.438	54
	C, D, E, and F Block Broadband PCS	347	302	\$412.841	78
	Local Multipoint Distribution Service (LMDS) Re-Auction	161	161	\$45.064	43
	220 MHz	225	222	\$1.925	71
	Closed Broadcast	118	115	\$57.820	35
2000	929 and 931 MHz Paging Service	2,499	985	\$4.122	28
	Broadcast Auction	1	1	\$0.172	15
	Broadcast Auction	2	2	\$1.210	26
	39GHz	2,45	2,173	\$410.649	73

## Annexe I.9. Historique des enchères du spectre aux Etats-Unis

	Upper 700 MHz Guard Bands	104	96	\$519.893	66
	800 MHz SMR General Category Service	1,053	1,03	\$319.452	76
	800 MHz SMR Lower 80 Channels Service	2,8	2,8	\$28.978	151
	New Analog Television Stations	4	4	\$5.025	13
	Blanco Texas Broadcast	1	1	\$18.798	16
2001	C and F Block Broadband PCS	422	422	\$16,857.046	101
	Upper 700 MHz Guard Bands	8	8	\$20.961	38
	VHF Public Coast and Location and Monitoring Services	257	217	\$1.145	34
	Paging	15,514	5,323	\$12.897	140
	Narrowband PCS	365	317	\$8.285	48
	Multiple Address Systems Spectrum	5,104	878	\$1.203	36
2002	New AM Broadcast Stations	3	3	\$1.520	14
	FM Broadcast	288	258	\$147.876	62
	Multi-Radio Service	27	27	\$1.548	31
	Lower 700 MHz Band	740	484	\$88.652	84
	Cellular RSA	3	3	\$15.871	35
2003	1670-1675 MHz Band Nationwide License	1	1	\$12.628	2
	Lower and Upper Paging Bands	10,202	2,832	\$2.446	56
	Lower 700 MHz Band	256	251	\$56.816	86
	Narrowband PCS	48	48	\$0.429	20
	Regional Narrowband PCS	6	5	\$0.134	3
2004	Closed Broadcast	4	4	\$4.658	28
	Direct Broadcast Satellite Service	3	3	\$12.200	2
	Multichannel Video Distribution & Data Service (MVDDS)	214	192	\$118.722	49
	900 MHz Specialized Mobile Radio Service	55	55	\$4.861	76
	24 GHz Service	880	7	\$0.216	4
	Automated Maritime Telecommunications System	20	10	\$1.057	3
2005	Broadband PCS	242	217	\$2,043.230	91
	Low Power Television (LPTV)	113	90	\$0.835	43
	Multiple Address Systems Spectrum	4,226	2,223	\$3.866	126
	Lower 700 MHz Band	5	5	\$0.305	30
	Automated Maritime Telecommunications System	10	10	\$7.094	116
2006	Multichannel Video Distribution & Data Service (MVDDS)	22	22	\$0.133	3
	FM Broadcast	171	163	\$54.260	61
	Full Power Television Station Construction Permits	11	10	\$23.368	23
	800 MHz Air-Ground	2	2	\$38.339	143

	Radiotelephone Service					
	Advanced Wireless Services (AWS-1)	1,122	1,087	\$13,700.267	161	
2007	FM Broadcast	9	9	\$3.264	23	
	1.4 GHz Bands	64	64	\$123.599	267	
	FM Broadcast	120	111	\$21.301	83	
	Broadband PCS	38	33	\$13.932	21	
	220 MHz	94	76	\$0.185	44	
2008	700 MHz Band <sup>232</sup>	1,099	1,09	\$18,957.582	261	
	Closed Cellular Unserved	1	1	\$0.025	1	
	AWS-1 and Broadband PCS	55	53	\$21.277	38	
	LPTV and TV Translator Digital Companion Channels	43	30	\$0.135	24	
2009	FM Broadcast	122	85	\$5.253	50	
	Broadband Radio Service	78	61	\$19.427	24	
2010	Lower and Upper Paging Bands	9,603	4,714	\$5.400	318	
	Closed Broadcast	13	13	\$1.442	17	
2011	VHF Commercial Television	2	2	\$2.631	14	
	FM Broadcast	144	108	\$8.538	62	
	700 MHz Band	16	16	\$19.770	30	
2012	FM Broadcast	119	93	\$3.826	37	
	Mobility Fund Phase I	14,245	0	\$0.000	1	
2013	FM Broadcast	112	93	\$4.123	47	
	Lower and Upper Paging Bands	5,905	3,104	\$1.659	74	
2014	Closed AM Broadcast Auction	22	10	\$0.598	34	
	H Block	176	176	\$1,564.000	167	
	Tribal Mobility Fund Phase I	1,004	0	\$0.000	1	

Source : FCC, Auctions Summary

## B. Détail et calendrier des enchères PCS

Les enchères des licences hertziennes pour les services de communication personnelle des blocs A, B, C, D, E et F se sont déroulées en plusieurs étapes. Les premières enchères pour chacun des blocs ont été faites entre 1994 et 1997 (soit les « Auctions 4, 5 et 11 » du tableau ci-dessous, ainsi que l'« Auction 10 » qui concernait la remise aux enchères de 18 licences du bloc C pour lesquelles les entreprises gagnantes lors de l'enchère précédent (« Auction 5 ») avaient fait défaut de paiement. Entre 1999 et 2005, ont eu lieu les trois remises aux enchères de chacun des blocs (« Actions 22, 35 et 58 »).

<sup>232</sup> \* « Auction 73 concluded with 1090 provisionally winning bids covering 1091 licenses and totaling \$19,592,420,000, as shown in the Integrated Spectrum Auction System. The provisionally winning bids for the A, B, C, and E Block licenses exceeded the aggregate reserve prices for those blocks. The provisionally winning bid for the D Block license, however, did not meet the applicable reserve price and thus did not become a winning bid. Accordingly, Auction 73 raised a total of \$19,120,378,000 in winning bids and \$18,957,582,150 in net winning bids (reflecting bidders' claimed bidding credit eligibility), as shown above ».

Annexe I.9. Historique des enchères du spectre aux Etats-Unis

	Date	Frequency Block	Number of Licenses <sup>a</sup>	MHz	Small-Bidder Preferences? <sup>b</sup>
<b>Initial Auctions</b>					
Auction 4	December 1994 through March 1995	A	51	30	No <sup>c</sup>
		B	51	30	No
Auction 5	December 1995 through May 1996	C	493	30	Yes
Auction 10	July 1996	C	18	30	Yes
Auction 11	August 1996 through January 1997	D	493	10	No
		E	493	10	No
		F	493	10	Yes
<b>Reactions</b>					
Auction 22	March 1999 through April 1999	C	133	15	Yes
			206	30	Yes
		E	6	10	No
		F	2	10	Yes
Auction 35	December 2000 through January 2001	C	312	10	Yes
			43	15	Yes
		F	67	10	Yes
Auction 58	January 2005 through February 2005	A	2	30	No
		C	168	10	Yes
			20	15	Yes
		D	11	10 <sup>d</sup>	No
		E	20	10 <sup>d</sup>	No
		F	21	10	Yes

« Note: PCS = personal communications services; MHz = megahertz.

(a) In each of the initial PCS auctions (FCC Auctions 4, 5, 10, and 11), licenses were offered for geographically defined markets that together covered the entire United States and its territories. In Auction 4, there were 51 such markets corresponding to major trading areas (MTAs); in Auctions 5, 10, and 11, there were 493 such markets corresponding to basic trading areas (BTAs). The number of licenses offered in the reactions that followed (Auctions 22, 35, and 58) may vary because of availability and license disaggregation—that is, splitting a license’s original spectrum bandwidth into smaller parts.

(b) Preferences offered to eligible small bidders include license set-asides, bidding credits, and installment payment plans. All of those preferences were applicable to bids on C- and F-block licenses in Auctions 5, 10, 11, and 22. In Auctions 35 and 58, only a portion of licenses in those frequency blocks could be won through small-bidder preferences, which were also limited to license set-asides and bidding credits.

(c) Three licenses in frequency block A were awarded outside of the auction through the FCC’s Pioneer Preference Program, which distributed PCS licenses to businesses applying innovative technologies to those wireless services. That preference program was eliminated in 1997.

(d) Includes a handful of licenses of fewer than 10 megahertz. »

Source: Congressional Budget Office based on Federal Communications Commission Auction Factsheets, <http://www.cbo.gov/sites/default/files/10-24-fcc.pdf>

## Annexe I.10. Liste des fréquences ou bandes de fréquences dont l'autorisation d'utilisation peut faire l'objet d'une cession (en métropole).

FRÉQUENCES ou bandes de fréquences	CESSIONS AUTORISÉES
68 MHz-83 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle ou, pour les autorisations délivrées sans précisions sur l'implantation des stations, sur une ou plusieurs des composantes géographique, spectrale et temporelle.
137 MHz-138 MHz 148 MHz-150,05 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle.
406,1 MHz-408 MHz 410 MHz-430 MHz 441 MHz-450 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle ou, pour les autorisations délivrées sans précisions sur l'implantation des stations, sur une ou plusieurs des composantes géographique, spectrale et temporelle.
791 MHz-821 MHz 832 MHz-862 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante spectrale.
1 375 MHz-1 452 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle. Les cessions ne sont autorisées que pour les autorisations délivrées avec précision sur l'implantation des stations.
1 525 MHz-1 559 MHz 1 613,8 MHz-1 626,5 MHz 1 626,5 MHz-1 660 MHz 2 483,5 MHz-2 500 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle.
2 500 MHz-2 570 MHz 2 620 MHz-2 690 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante spectrale.
3 400 MHz-3 800 MHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle ou, pour les autorisations délivrées sans précisions sur l'implantation des stations, sur une ou plusieurs des composantes géographique, spectrale et temporelle.
5 091 MHz-5 250 MHz 5 850 MHz-5 925 MHz 5 925 MHz-6 425 MHz 10,7 GHz-11,7 GHz 12,75 GHz-13,25 GHz 13,75 GHz-14 GHz 17,7 GHz-19,7 GHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle. Les cessions ne sont autorisées que pour les autorisations délivrées avec précision sur l'implantation des stations.
24,5 GHz-26,5 GHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle ou, pour les autorisations délivrées sans précisions sur l'implantation des stations, sur une ou plusieurs des composantes géographique, spectrale et temporelle.
37 GHz-39,5 GHz 42,5 GHz-43,5 GHz 47,2 GHz-50,5 GHz sauf 47,5-47,9 48,2-48,54 49,44-50 GHz	Cessions intégrales. Cessions partielles portant sur la composante temporelle. Les cessions ne sont autorisées que pour les autorisations délivrées avec précision sur l'implantation des stations.

## Annexe II.1. L'occupation du spectre

### Mesure du taux d'occupation du spectre

L'UIT [2012] différencie la mesure de l'occupation de canaux radioélectriques et la mesure de l'occupation d'une bande de fréquences comme suivant :

- Mesure de l'occupation de canaux radioélectriques : « Mesure de différents canaux, de même largeur ou de largeurs différentes, et éventuellement répartis sur diverses bandes de fréquences afin de déterminer le degré (pourcentage) d'occupation de ces canaux. »
- Mesure de l'occupation d'une bande de fréquences : « Mesure d'une bande de fréquences, définie par une fréquence de début et une fréquence de fin, avec une largeur de pas (ou résolution en fréquence) qui est généralement plus petite que l'espacement des canaux, afin de déterminer le degré d'occupation sur la totalité de la bande. »

La mesure d'occupation de canaux (*Frequency Channel Occupancy* FCO) correspond au pourcentage de temps où les canaux sont occupés. Selon l'UIT, un canal radioélectrique est occupé tant que le niveau mesuré est supérieur au seuil. Pour un canal donné, l'occupation FCO est calculée comme suit:

$$FCO = \frac{T_o}{T_i} \quad \text{où:}$$

- $T_o$  : Durée, au cours d'une «durée d'intégration» définie, pendant laquelle le niveau mesuré dans un canal particulier est supérieur au seuil.
- $T_i$  : Durée pendant laquelle une certaine valeur d'occupation est donnée<sup>233</sup>.

Dans l'hypothèse d'une durée d'itération<sup>234</sup> constante, l'occupation FCO peut aussi être calculée comme suit:

$$FCO = \frac{N_o}{N} \quad \text{où:}$$

- $N_o$  : nombre d'échantillons de mesure dans le canal concerné pour lesquels le niveau est supérieur au seuil
- $N$  : nombre total d'échantillons de mesure pris dans le canal concerné pendant la durée d'intégration.

La mesure d'occupation d'une bande fréquence (*Frequency Band Occupancy* FBO) correspond au pourcentage de temps où toutes les fréquences dans une bande sont occupées. Selon l'UIT il faut tenir compte de chaque fréquence mesurée et calculer une valeur totale exprimée en pourcentage de la bande, indépendamment de l'espacement des canaux usuel.

<sup>233</sup> « L'occupation *instantanée* d'un canal ne peut être que de 0 ou de 100%. A un instant donné, un canal est occupé ou ne l'est pas. Pour avoir un sens, toutes les valeurs d'occupation calculées doivent être des moyennes sur une certaine période, appelée durée d'intégration » [ITU-R Report SM.2256]

<sup>234</sup> « Durée nécessaire pour balayer tous les canaux à mesurer (qu'ils soient ou non occupés) et pour revenir au premier canal. Si un seul canal est à mesurer, la durée d'itération est égale à la durée d'observation » [ITU-R Report SM.2256]

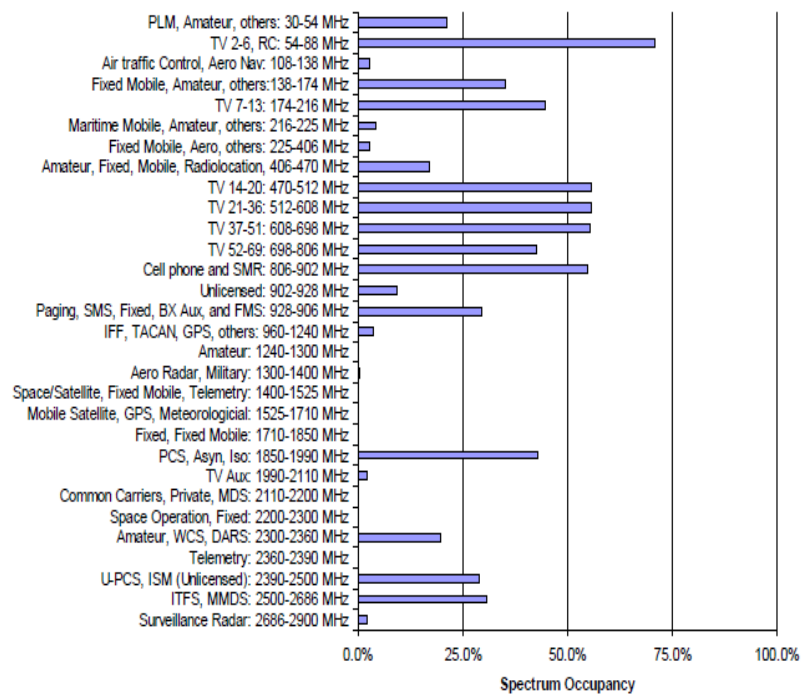
$$FBO = \frac{No}{N} \quad \text{où:}$$

- NO : nombre d'échantillons de mesure pour lesquels le niveau est supérieur au seuil
- N : nombre total d'échantillons de mesure pendant la durée d'intégration.

### Exemples de mesures de taux d'occupation

Les illustrations ci-dessous ne permettent pas de statuer sur une véritable sous-utilisation des bandes de fréquences. Les analyses de taux d'utilisation ont leurs limites et dépendent des paramètres retenus. Toutefois ces mesures peuvent être un indicateur de l'usage d'une bande.

**Figure 1 : Mesures du taux d'occupation du spectre à Chicago en 2005**



Source: M. A. McHenry and D. McCloskey [2005]

**Figure 2 : Mesures faites à Paris par l'Anfr en 2014 (bande 2300-2400 MHz)**



Source : Toledano [2014]

## Annexe II.2. Les réseaux d'accès radio émergents

Aujourd'hui de nouvelles architectures de réseaux et technologies permettent de répondre aux attentes d'un consommateur, qui est devenu ces dernières années, de plus en plus exigeant en matière de services. Des innovations technologiques, telles que l'agrégation de porteuse ou les antennes intelligentes, combinées aux protocoles LTE et LTE-Advanced permettent une meilleure capacité de réseau et de qualité de services. Néanmoins, elles imposent aux architectures de réseaux de supporter des débits plus élevés, et donc en contrepartie, d'accéder à plus de spectre.

### Les réseaux hétérogènes

La densification de réseau par le déploiement de cellules de petite taille (*small cells*<sup>235</sup>) constitue une réponse technologique à l'augmentation des besoins en capacité. Afin de supporter la croissance explosive du trafic mobile, de plus en plus d'équipements sans fil sont placés dans des environnements intérieurs et extérieurs. Ainsi les opérateurs ont commencé à déployer à côté des macro-cellules (stations de base), des petites cellules (*smallcells* ou *femtocells*) qui permettent une extension du réseau dans des zones sans couverture pour des utilisations privées [Hoydis, Couillet, et Debbah, 2010]. Le déploiement de ces différentes stations de base permet de faire évoluer les réseaux cellulaires vers des réseaux hétérogènes, dit *HetNets*, qui sont capables d'acheminer un débit élevé de données, en intérieur comme en extérieur. Les réseaux hétérogènes sont technologiquement et spectralement intéressants. A travers le déploiement de *smallcells* ils conduisent à une meilleure efficacité spectrale par zone de couverture (bps/hz/km<sup>2</sup>).

Un tel déploiement implique que chaque station puisse disposer de son propre lien « *backhaul* » au réseau de télécommunication. Toutefois, le *backhaul*, qui relie la station de base au cœur de réseau, a un coût non négligeable et comme peu de pays disposent d'un réseau en fibre optique suffisant pour faire remonter l'information de la boucle optique vers le cœur de réseau<sup>236</sup>, deux solutions ont été envisagées : (i) exploiter le câble des cabines téléphoniques et positionner la *smallcell* sur celles-ci, (ii) utiliser des bandes de fréquences pour faire du *backhauling*<sup>237</sup>. Les opérateurs déploient déjà des *small cells* sur les piliers électriques, les lampadaires, etc. Cependant le courant porteur en ligne<sup>238</sup> (CPL) n'est pas suffisant en matière

<sup>235</sup> Cellules de petite taille qui permettent d'étendre la couverture réseau d'un opérateur.

<sup>236</sup> Les problèmes qui se posent lors du déploiement de la fibre, à savoir, qui sera l'acteur en charge du financement, ou encore, comment mutualiser les travaux de voirie, retardent son déploiement. Par ailleurs, le coût du déploiement de la fibre en ville ou en zone rurale est élevé et le niveau d'investissements des opérateurs ne permet pas à ce jour de fibrer chaque foyer.

<sup>237</sup> Afin d'éviter des brouillages entre *femtocells* et *macro-cells* certains acteurs réservent une partie de leur bande LTE pour faire du *backhauling*, tandis que d'autres acteurs ont fait le choix de fonctionner dans une logique de *best effort*. La première solution peut être inefficace d'un point de vue de l'usage du spectre car elle conduit à gaspiller une partie de la bande.

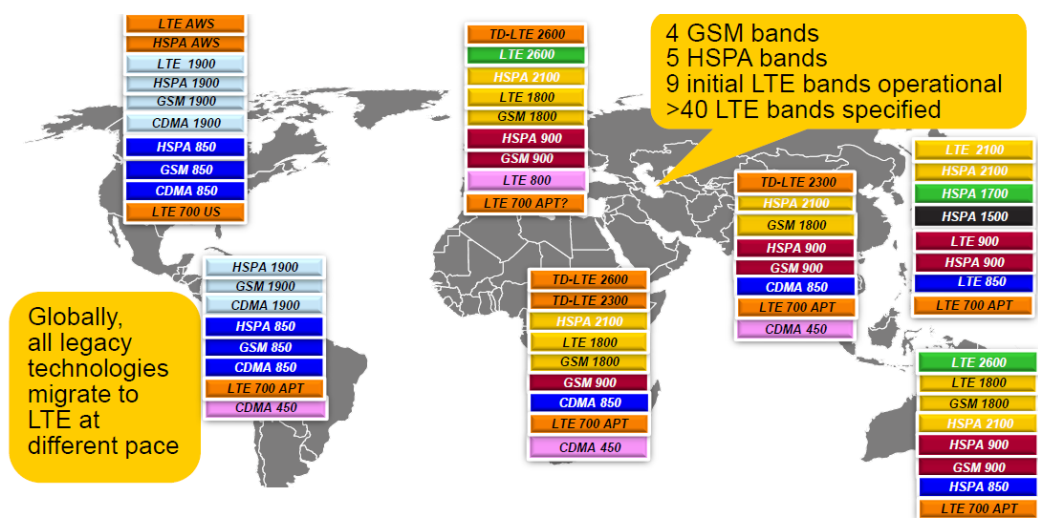
<sup>238</sup> Mais aussi VDSL/ADSL.

de débit. Les opérateurs cherchent alors des bandes de fréquences fournissant suffisamment de capacité pour faire du *backhauling*.

### L'agrégation de porteuse

L'agrégation de porteuse (ou *Carrier Aggregation*) représente les prémices de la possibilité de transmettre sur plusieurs bandes en opérant sur les mêmes technologies<sup>239</sup>. Cette technique est d'autant plus importante que le spectre est fragmenté. Par exemple, du fait de la rareté en spectre et du manque d'une uniformité mondiale du spectre, il existe à ce jour 40 bandes de fréquences différentes utilisables pour la technologie 4G (cf. Figure 13). Le manque de spectre n'a pas permis aux décideurs publics de réunir 100MHz en un seul bloc pour l'attribuer à cette technologie et ils ont dû attribuer des petits morceaux de spectre disponibles. Le LTE-*Advanced* opère ainsi sur 5 bandes séparées pour avoir un agrégat de 100 MHz. Pour le moment en 4G les acteurs ne peuvent pas agréger plus de 100 MHz. La technique *Carrier Aggregation* (CA) permet d'utiliser conjointement 2 à 5 canaux de 20 MHz de bandes continues ou non, et permet dès lors un usage plus efficace de la ressource spectrale. En agrégeant plusieurs porteuses entre elles il devient alors possible d'atteindre jusqu'à plusieurs Gbit/s<sup>240</sup>.

Figure 1 : Les différentes bandes de fréquences supportées par les terminaux



Source: Nokia Solutions and Networks 2014

<sup>239</sup> La radio cognitive permet d'opérer sur plusieurs bandes et également sur différentes technologies. Pour le moment les téléphones fonctionnent sur plusieurs bandes de fréquences, ils utilisent donc plusieurs technologies (2G, 3G, 4G, wifi) mais permutent de l'une à l'autre. La prochaine étape consisterait à faire des téléphones multi-technologies qui utiliseraient simultanément les technologies 2G, 3G, 4G, Wifi, etc.

<sup>240</sup> Par exemple cinq porteuses LTE à 20 MHz peuvent être agrégées avec le LTE-A. L'agrégation de porteuse combinée à la technologie MIMO permet également d'atteindre plusieurs centaines de Gbit/s.

---

## Les antennes intelligentes et antennes MIMO

Pour augmenter les débits de manière importante il existe deux leviers, soit il faut augmenter la puissance en investissant dans le réseau ou dans des technologies plus efficaces spectralement, soit il faut disposer de plus de bandes de fréquences. Au vu de la rareté des fréquences, les opérateurs étudient les solutions techniques. La technique MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) consiste à utiliser plusieurs antennes afin d'augmenter la capacité de transmission d'informations. En mettant des antennes multiples sur les terminaux (récepteur) et stations de bases (émetteur), il est possible de faire du multiplexage spatial<sup>241</sup>. Mais cette technologie a ses limites et n'est pas encore totalement au point<sup>242</sup>. Le seul moyen d'augmenter la capacité à spectre constant est de densifier le réseau.

Finalement, l'agrégation de porteuse permet d'augmenter le trafic de données et les antennes intelligentes permettent une meilleure efficacité spectrale. En augmentant ainsi les débits, ces technologies vont conduire les utilisateurs à multiplier leurs usages. Ainsi ces innovations technologiques bien qu'elles conduisent à une utilisation plus efficace des fréquences ne suffisent pas à elles seules à répondre aux besoins futurs. Il convient alors de trouver de nouvelles fréquences et pas seulement pour les opérateurs de réseaux de télécommunications commerciales et grands publics.

---

<sup>241</sup> La multiplication des antennes dans un terminal permet de multiplier les débits puisque d'un point de vue imagé chaque antenne joue en quelque sorte le rôle d'une fréquence. Lorsque le nombre d'antennes dans un terminal augmente cela complique sa configuration puisqu'une certaine distance est alors nécessaire entre deux antennes pour éviter que celles-ci n'en forment qu'une.

<sup>242</sup> La technologie continue d'évoluer et commence à transiter vers ce que l'on appelle des réseaux MIMO. Ainsi au lieu de d'avoir des antennes co-localisées, un réseau MIMO est composé d'antennes distribuées, permettant à des appareils n'ayant qu'une antenne d'emprunter celle de son voisin afin de transmettre sur une station de base. Cette technique n'est cependant pas encore au point.

## Annexe II.3. Accès dynamique et modalités d'accès au spectre

Les radios intelligentes s'inscrivent dans la catégorie des technologies d'accès dynamique au spectre. L'IEEE [2008] définit l'accès dynamique comme un **ajustement en temps réel de l'utilisation du spectre en fonction des circonstances et des objectifs changeants**. Les circonstances et l'évolution des objectifs tiennent compte de la conservation d'énergie, du changement d'état de la radio (mode de fonctionnement, vie de la batterie, l'emplacement, etc.), de la protection contre les brouillages, des changements dans les contraintes environnementales externes (spectre, propagation, les politiques opérationnelles, etc.), des objectifs d'efficacité d'utilisation du spectre, de qualité de service (QoS pour *Quality of Service*) et des données concernant la durée de vie de la radio. L'accès dynamique aux fréquences conduirait à faire de l'assignation dynamique de fréquences<sup>243</sup>.

En permettant aux utilisateurs d'accéder dynamiquement aux bandes de fréquences et de les utiliser de manière conjointe, les technologies intelligentes et d'accès dynamique au spectre représentent un véritable changement dans l'industrie sans fil. Pour Berlemann et Mangold [2009] leur principal atout est de permettre l'utilisation de bandes de fréquences déjà attribuées et utilisées, sans engendrer de modifications dans le système radio existant. Mais si aucune modification dans le système radio n'est à prévoir, des modifications dans l'attribution existante des droits de propriété sont à envisager.

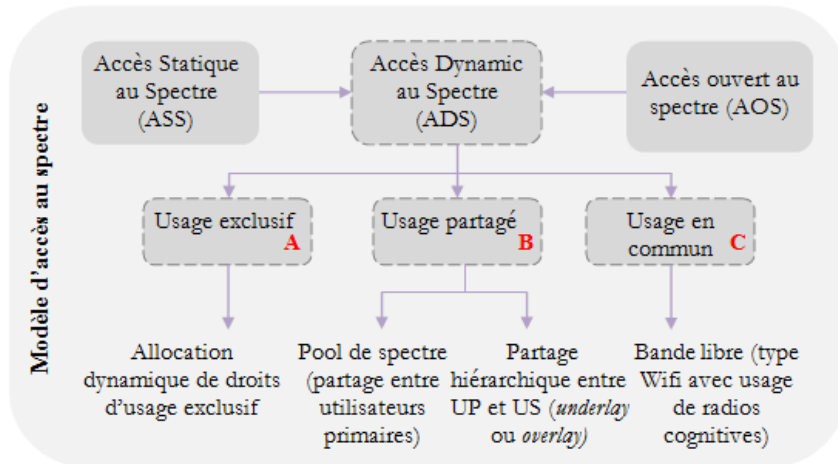
Buddhikot [2007] a développé une taxonomie des différentes formes d'accès au spectre. Selon lui, un usager peut accéder au spectre de quatre manières : (i) soit de façon autoritaire par le système de commandement et contrôle, (ii) soit en recevant un droit d'usage exclusif qui peut être de long terme (marché primaire du spectre) ou qui peut être attribué dynamiquement (attribution dynamique du spectre), (iii) soit par un accès partagé hiérarchique entre des utilisateurs primaires et secondaires, ou encore (iv) par un accès en commun. Les modes de gouvernance hiérarchique (de commandement et de contrôle) et marchand permettant un usage exclusif de long terme, représentent dans le schéma 1 l'accès statique au spectre (ASS). L'accès en commun représente l'accès ouvert au spectre (AOS). Enfin, nous verrons que l'émergence de l'accès dynamique au spectre (ADS) laisse apparaître de nouvelles opportunités d'attribution des fréquences<sup>244</sup> (cf. Schéma 2).

<sup>243</sup> Cette assignation dynamique peut se faire soit à l'intérieur d'un système de radiocommunications dans une portion de bandes désignées pour un service de radiocommunications (ex. radars militaires à sauts de fréquences, Wifi, etc.) ; soit dans des bandes utilisées par plusieurs systèmes de radiocommunications et répartis dans plusieurs types de services de radiocommunications (cas récent des systèmes d'espaces blancs de la télévision TVWS dans la bande UHF).

<sup>244</sup> Buddhikot [2007, p.649] argumente: « The static, command and control management of spectrum has led to barriers to accessing the spectrum in various dimensions. The notion of dynamic spectrum access can break these barriers in one or more of the dimensions ».

L'accès dynamique au spectre peut être envisagé (i) selon une approche basée sur le marché (A), c'est-à-dire avec attribution exclusive du spectre ; (ii) selon une approche de partage du spectre sous licence (B), ou encore (iii) selon un régime d'accès ouvert (C), c'est-à-dire avec un accès au spectre sans licence.

Schéma 1 : Les modèles d'accès au spectre



Source : Auteur

### ***L'accès dynamique au spectre et exclusif***

L'objectif d'un accès dynamique au spectre avec un usage exclusif (A) est de rendre les attributions de spectre plus dynamiques et plus flexibles que sous le modèle statique actuel. Zhao et Swami [2007] et Durantini et Martino [2013] y font référence sous ce qu'ils appellent le modèle d'usage exclusif dynamique : *Dynamic Exclusive Use Model* (DEUM)<sup>245</sup>. L'idée est d'introduire de la flexibilité en permettant aux usagers de s'échanger et de se louer du spectre tout en leur laissant le choix de sélectionner librement la technologie qu'il souhaite utiliser (neutralité technologique).

### ***L'accès dynamique et partagé au spectre***

L'accès dynamique et partagé du spectre (B) se situe entre le modèle de droits de propriété privée et le modèle en commun<sup>246</sup>. Le partage du spectre n'est pas restrictif et offre de nombreuses possibilités. Il est cependant, contrairement au modèle en commun, soumis à l'obtention d'une licence et à certaines conditions établies par l'autorité régulatrice ou par le titulaire de la fréquence et rattachées au droit de propriété. Le partage peut être horizontal ou vertical. Le pool de spectre est un exemple de partage horizontal. Dans ce cas plusieurs utilisateurs primaires (c'est-à-dire titulaires de droits de propriété exclusifs sur une licence)

<sup>245</sup> «This model (Dynamic Exclusive Use Model) maintains the basic structure of the current spectrum regulation policy: spectrum bands DEUM are licensed to services for exclusive use. The main idea is to introduce flexibility to improve spectrum efficiency » [Zao et Swami, 2007].

<sup>246</sup> Durantini et Martino [2013] y font référence sous le nom de régime *Easy property Right* (EPR).

proposant le même service, décideraient de mettre en commun leur licence et de les partager en utilisant des technologies cognitives.

« A group of licensed owners of a piece of spectrum can be allowed to share frequencies horizontally, by forming a pool of them that can be used by all licensees. This form of spectrum pooling can be employed to match the spectrum resources of the different licensees to their actual demand and it proves to be particularly useful in situations where demand varies in time and/or location. » [Durantini et Martino, 2013, p. 91]

Le partage dynamique et hiérarchique, c'est à entre des utilisateurs primaires et secondaires, *via* l'usage de technologies intelligentes, permet à des utilisateurs secondaires d'utiliser les bandes de fréquences d'utilisateurs primaires lorsque ces derniers ne les utilisent pas (partage *overlay*) ou en même temps mais avec de très faibles puissances (partage *underlay*). Sous ce modèle de partage, les utilisateurs secondaires devront donc respecter les services de l'utilisateur primaire et veiller à ne pas le brouiller.

L'approche *overlay* peut conduire à la réalisation d'un **marché spot du spectre** (*real-time spot-market*), ou encore aux concepts d'accès partagé autorisé (ASA pour *Authorised Shared Access*) et d'accès partagé sous licence (LSA pour *Licensed Shared Access*). Le concept ASA a été proposé par Qualcomm et Nokia en 2011 en réponse à une consultation du RSPG sur les technologies cognitives<sup>247</sup>. Il sera repris par le RSPG qui proposera dans son rapport de Novembre 2011 « *Report on CUS and others spectrum sharing approaches* » le concept du LSA. Ces concepts reposent sur le partage du spectre entre un titulaire de licence (*incumbent(s)*) et un ou plusieurs nouveaux utilisateurs (*Incoming users*) selon un ensemble de conditions prédéfinies. L'objectif est d'autoriser le partage du spectre sur les bandes déjà occupées et détenues par un utilisateur primaire mais sous-utilisées. La définition la plus récente du LSA est la suivante:

« Une approche réglementaire visant à faciliter la mise en place de systèmes de radiocommunication exploités par un nombre limité de titulaires de permis en vertu d'un régime de licences individuelles dans une bande de fréquences déjà attribuées ou devant être affecté à un ou plusieurs utilisateurs titulaires. Sous l'approche de l'accès partagé (LSA) sous licence, les utilisateurs supplémentaires sont autorisés à utiliser le spectre (ou une partie du spectre) en conformité avec les règles de partage inclus dans leurs droits d'utilisation du spectre, ce qui permet à tous les utilisateurs autorisés, y compris les titulaires, de fournir une certaine qualité de service (QoS) » [RSPG, 2013b].

Aujourd'hui le type de partage le plus avancé techniquement et réglementairement est celui du LSA. En France, le gouvernement a annoncé le lancement d'une expérimentation LSA dans la bande 2,3-2,4 GHz d'ici mai 2015.

<sup>247</sup> Le concept ASA a été défini comme suit : « A regulatory framework that allows for licensed sharing of underutilized spectrum by a limited number of rights holders, in incumbent bands, through an individual authorization scheme following the terms set forth By Directive 2002/20/EC (Authorization Directive) » [Parcu et al., 2012, p.12].

### *L'accès dynamique et ouvert au spectre*

L'accès dynamique au spectre sous un modèle collectif (C) pourrait permettre à un ensemble d'utilisateurs dotés de radio cognitive d'accéder au spectre sans avoir besoin d'une licence, sous des règles de partage qui seront clairement définies par le régulateur afin d'éviter la création de brouillages. Dans ce cas, cela reviendrait à définir des bandes dédiées, qui seraient l'équivalent des bandes Wi-Fi actuelles, mais au sein desquelles seraient utilisées les radios cognitives (RC). L'autre possibilité est de permettre à des utilisateurs secondaires sans licences d'accéder de façon opportuniste aux bandes de fréquences sous-utilisées d'utilisateurs primaires. C'est-à-dire qu'il serait possible pour des utilisateurs secondaires dotés de radios cognitives d'opérer librement dans une bande de fréquence détenue par un utilisateur primaire, pour autant qu'ils remplissent les conditions techniques définies à l'avance par le régulateur afin d'éviter la création de brouillages nuisibles. Anker et Lemstra [2011] considère que dans le cas où les conditions fixées par le régulateur seraient trop restrictives, alors les gains attendus **d'un partage opportuniste du spectre** seront marginaux, tandis que, dans le cas où elles seraient trop légères, cela pourrait affecter la qualité de service des utilisateurs primaires.

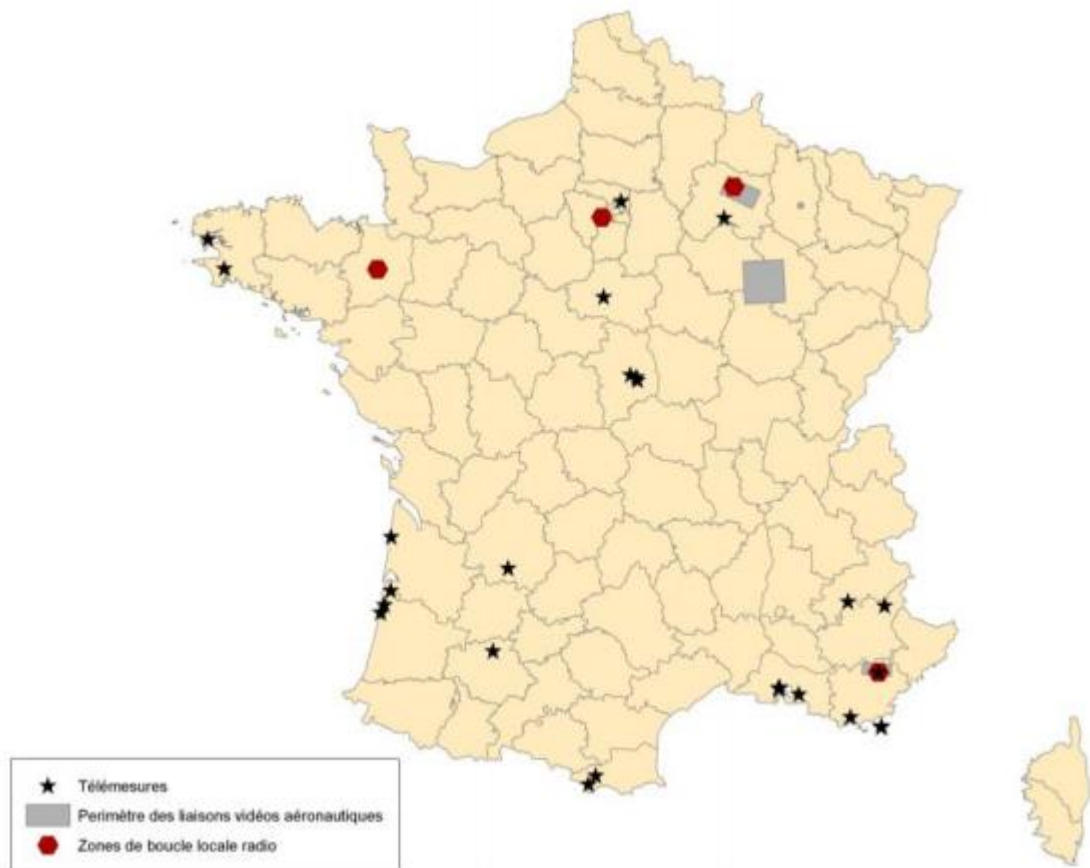
Finalement, toutes ces différentes possibilités de partage dynamique du spectre révèlent l'étendue du partage d'un point de vue théorique. Au regard du droit français le partage n'implique pas de modification et se fera soit dans le cadre d'une utilisation collective du domaine public soit dans le cadre d'une occupation privative du domaine public hertzien<sup>248</sup>. À côté des droits d'usage individuels (*Individual rights of use*) et du sans licence (*Licence-exempt*) de nouvelles licences simplifiées pourront être utilisées (*Light-licensing*) et combiner les avantages des deux modèles existants.

---

<sup>248</sup> Voir Pez [2014] pour une vision juridique du partage.

## Annexe III.1. Les zones de protection et d'exclusion pour la mise en œuvre de l'accès partagé en bande 2,3-2,4 GHz en France

La carte ci-dessous est la carte des sites militaires utilisant actuellement la bande 2,3 GHz en France. Les zones où figurent ces sites demandent une protection par rapport aux émissions mobiles. Afin de protéger les récepteurs de télémesures, une zone d'exclusion d'environ 6 km de rayon (d'après les travaux de la Commission consultative de la compatibilité électromagnétique (CCE) de l'ANFR) et une zone de protection d'environ 2 km de rayon semblent nécessaires. Au sein de la zone de protection, le champ électromagnétique provenant d'une station de base LTE doit rester inférieur à une valeur définie.



Source : ARCEP [2014]

La seconde carte, présentée ci-dessous, est la carte des zones d'émission des applications de télémesures dans la bande 2,3 GHz pouvant potentiellement causer des brouillages sur les réseaux mobiles d'après le CCE.

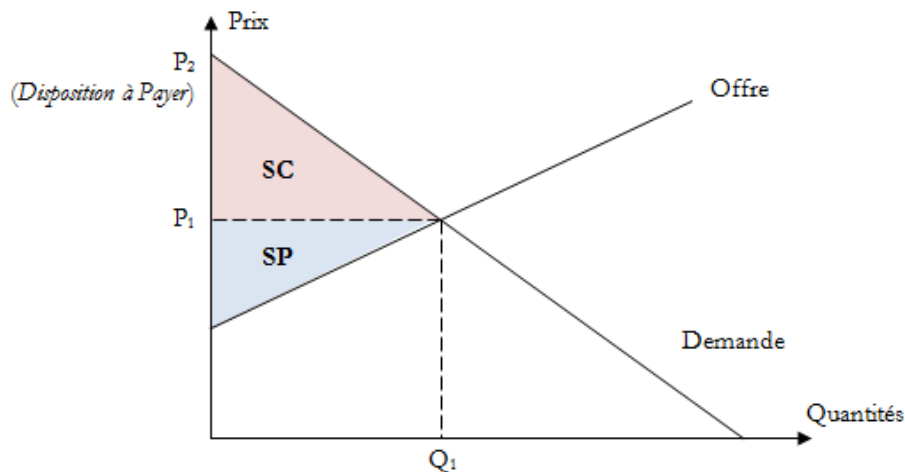


Source : ARCEP [2014]

## Annexe IV. 1. La méthode des surplus

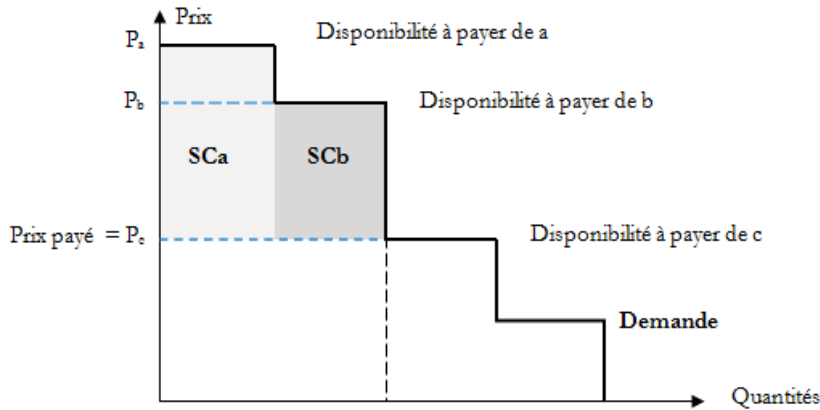
La méthode du surplus du consommateur est un élément d'analyse économique permettant de mesurer la satisfaction que les consommateurs retirent de leur consommation sur un marché donné. La valeur économique du spectre sans licence se mesure en fonction du surplus des consommateurs et des producteurs (surplus total). Le surplus du consommateur est la différence entre le prix qu'un individu est disposé à payer pour acquérir un bien et celui qu'il paye réellement. Le surplus du producteur est le montant dont les producteurs bénéficient lorsqu'ils vendent leur bien à un prix de marché supérieur au prix le plus bas auquel ils sont disposés à vendre. La Figure 1 représente le surplus de consommateur (SC) et celui du producteur (SP).

**Figure 1 : Surplus des consommateurs (SC) et des producteurs (SP)**



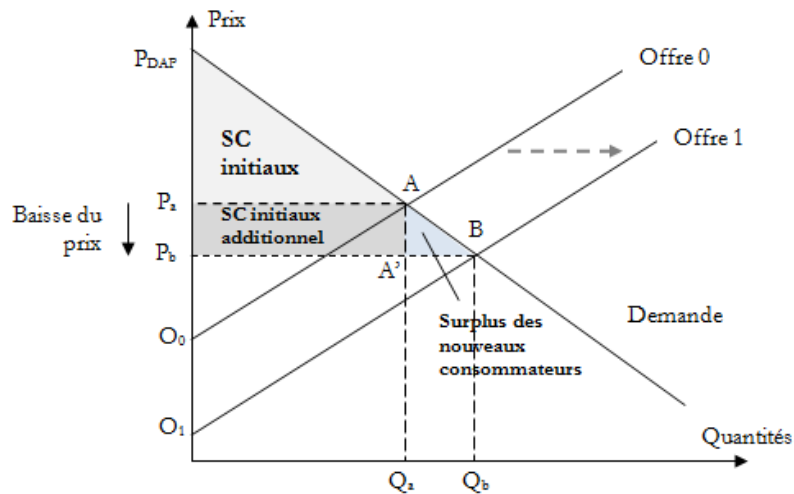
Les courbes de demande et d'offre d'un bien en fonction de son prix unitaire sont représentées en figure 2. Le surplus des consommateurs est représenté par la surface rose clair : il est égal à la surface sous la courbe de demande et au-dessus du prix P<sub>1</sub>. Le surplus varie en fonction du consommateur et de sa disposition à payer. Le surplus total des consommateurs est donc égal la somme des surplus individuels.

Figure 2 : La courbe de demande agrégée



L'adoption et le développement massif de technologies utilisant le spectre sans licence ont un impact sur les courbes d'offre et de demande. Les économies d'échelles réalisées lorsque les technologies sont massivement adoptées ont un impact sur les prix et donc sur le surplus des consommateurs. La figure 3 montre un déplacement de la courbe d'offre vers la droite. La baisse des coûts unitaires de production suite au développement et à l'adoption en masse des technologies utilisant le spectre sans licence, permet au producteur de réaliser des économies d'échelle et de baisser ses prix augmentant ainsi le surplus des consommateurs.

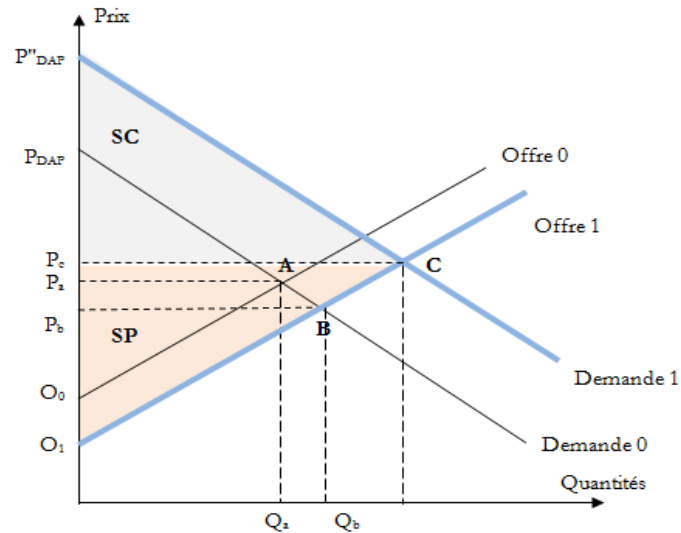
Figure 3 : Le surplus généré par le déplacement de la courbe d'offre



La surface du rectangle  $P_aAP_bA'$  représente le surplus additionnel pour les consommateurs initiaux résultant d'une baisse des prix et du déplacement de la courbe d'offre. La surface triangulaire  $ABA'$  représente le surplus des nouveaux consommateurs qui n'étaient pas disposés le prix  $P_a$  mais qui sont prêts à payer  $P_b$  pour le bien considéré. Le surplus du producteur égal à la surface  $P_aAO_0$  avant le déplacement de la courbe d'offre devient égal à la surface  $P_bBO_1$  après augmentation des quantités offertes et une baisse des prix. La Figure 4 représente le surplus total généré par un déplacement des courbes d'offre et de demande. La

valeur économique est finalement égal au surplus du consommateur et du producteur représentés par l'aire  $P''_{DAP}CO_1$ .

**Figure 4: Le surplus généré par le déplacement de la courbe d'offre et de demande**



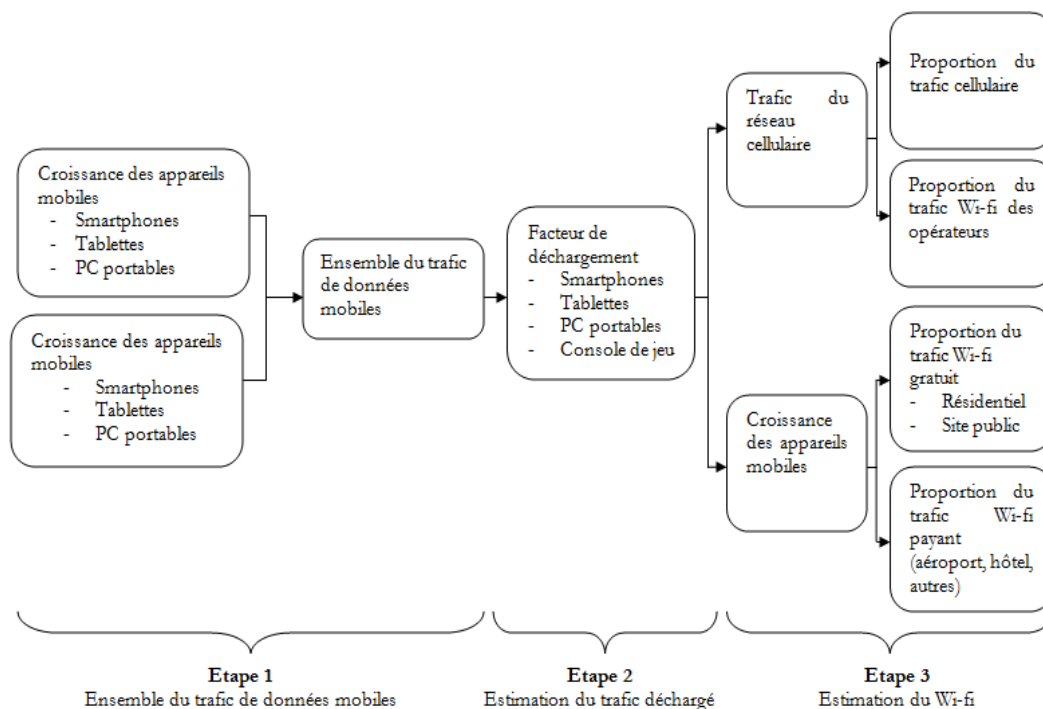
A côté du surplus total, nous verrons que dans certain cas il est possible de calculer la contribution économique d'un bien au produit intérieur brut français (PIB).

## Annexe IV.2. Estimation du surplus des consommateurs généré par les sites Wi-Fi publics gratuits

Cette annexe détaille la méthodologie retenue pour calculer le surplus des consommateurs lié aux connexions Wi-Fi gratuites ainsi que le détail des calculs intermédiaires.

La méthodologie utilisée est celle déployée par [Katz, 2014a]<sup>249</sup>. Elle consiste à estimer dans un premier temps le trafic total de données mobiles (étape 1). Une fois ce montant calculé, le montant total du trafic Wi-Fi pourra être calculé en fonction des facteurs de déchargement pour chaque appareil (étape 2). La dernière étape consiste alors à estimer la part du trafic gratuitement délesté afin d'en définir sa valeur économique (étape 3). Ces trois étapes sont représentées par le Schéma 1 ci-dessous.

Schéma 1 : La méthodologie utilisée pour estimer le déchargement du trafic



Source : Katz [2014a]

<sup>249</sup> Pour calculer le surplus du consommateur dans son étude pour les Ministères britanniques (BIC et DCMS), Kende et al. [2012] utilise une méthodologie similaire consistant à calculer le montant du trafic délesté gratuitement (hotspots Wi-fi public gratuit et/ou invité sur Wi-fi privé) puis à estimer la valeur économique générée en fonction du coût économisé par megabyte déchargé sur le Wi-fi.

### Etape 1. Estimation du trafic total de données mobiles

A partir de données collectées et de nos estimations, nous avons décomposé le trafic de données mobiles en fonction du type d'appareil concerné : smartphones, tablettes ou ordinateurs portables. En disposant du nombre d'appareils et du trafic moyen par appareil nous avons pu estimer la quantité du trafic de données mobiles générée par l'ensemble de chacun de ces appareils par mois. Les données du trafic moyen par appareil (GB par mois) proviennent du Visual Networking Index de Cisco. Cependant, nous n'avons pas retenu, concernant les données du trafic moyen par appareil (mais uniquement pour ces données), les valeurs estimées pour la France, mais celles estimées pour l'Europe. Les valeurs estimées pour la France, jugées trop faibles, ne reflétaient pas la réalité. Au cours d'un entretien réalisé dans le cadre de cette recherche, il a été confirmé que la faiblesse des chiffres français provenait du manque de transparence et de la difficulté à récupérer certaines données auprès des acteurs français. Ainsi nous avons retenu qu'en 2013 le trafic moyen par smartphone en France était de 0,52 GB par mois, le trafic moyen par tablette était de 0,87 GB par mois et que le trafic moyen pour un ordinateur portable était de 2,72 GB par mois.

En multipliant le trafic moyen par appareil par le nombre d'appareil en France, on obtient le trafic total par appareil. Le trafic internet total généré par les trois principaux appareils sans fils (smartphones, tablettes et ordinateurs portables) a également été calculé sur les cinq prochaines années. En 2013, il atteint un total de **105 019 milliers de gigabytes** et un total de **449 684,32 milliers de gigabytes** en 2018, reflétant un taux de croissance annuel de 33,8%. Le tableau 2 ci-dessous correspond donc à l'étape 1 du Schéma 1 et délivre l'ensemble du trafic mobile internet par mois pour l'ensemble des appareils mobiles (smartphones, tablettes, et PC portables).

**Tableau 1 : France, Trafic internet mobile (2013-2018)**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>I. Appareils (en millions)</b>						
Nombre total d'appareil	254,8	284,9	318,5	356,1	398,1	444,6
Nombre total d'appareil par habitant (tous appareils confondus)	4	4,4	4,9	5,5	6,1	6,7
<i>Dont :</i>						
Smartphones	33,2	37,0	41,2	45,9	51,1	57,1
Taux de pénétration des smartphones (%)	50,7%	56,2%	62,3%	69,1%	76,5%	85,1%
Tablettes	7,7	9,8	12,5	16,0	20,3	26,0
Taux de pénétration des tablettes	12,0%	14,9%	18,9%	24,1%	30,0%	38,7%
Ordinateurs portables	29,8	30,1	30,3	30,6	30,9	31,2
Taux de pénétration des ordinateurs portables	45,5%	45,7%	45,8%	46,0%	46,3%	46,5%
<b>Total</b> (Smartphone+Tablettes+ordinateurs portables)	<b>63,6</b>	<b>71,5</b>	<b>80,4</b>	<b>90,3</b>	<b>101,5</b>	<b>114,3</b>
<b>Total par habitant</b> (smartphones, tablettes, PC portables)	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>
<b>II. Trafic moyen par appareil (GB par mois)</b>						
Smartphones	0,52	0,72	1,00	1,40	1,94	2,70
Tablettes	0,87	1,21	1,68	2,34	3,25	4,51
Ordinateurs portables	2,72	3,16	3,66	4,25	4,92	5,71
<b>III. Trafic Total par appareil (en milliers GB par mois)</b>						
Smartphones	17 264	26 743,6	41 393,3	64 100,4	99 193,6	154 068,4
Tablettes	6 699	11 851,14	21 011,6	37 383,82	65 928,7	117 372,6
Ordinateurs portables	81 056	94 971,52	110 898,97	129 916,5	152 180,62	178 243,4
<b>Trafic total</b> (smartphones+tablettes+PCs)	<b>105 019</b>	<b>133 566,3</b>	<b>173 303,9</b>	<b>231 400,7</b>	<b>317 302,9</b>	<b>449 684,32</b>

Données 2013 et 2018 : Cisco VNI 2013, Méthodologie Katz [2014a]

Estimation 2014-2016 Auteur

## Etape 2. Estimation du trafic déchargé sur le Wi-Fi

Pour le montant du trafic Internet, il nous fallait estimer la part de ce trafic qui transite par le Wi-Fi et le spectre sans licence. En moyenne, il est estimé que plus de 60% du trafic de données est acheminé par des bandes sans licence (Wi-Fi). Néanmoins, la part du trafic délesté sur les réseaux Wi-Fi diffère en fonction de l'appareil (smartphones, tablettes, PC portables). Pour calculer et dissocier le trafic Wi-Fi généré par chacun des appareils de l'ensemble du

trafic, il était nécessaire de connaître le pourcentage du trafic total délesté sur les réseaux Wi-Fi pour chacun d'entre eux.

Pour cela, nous avons fait l'hypothèse que les taux de déchargement par appareil en France étaient similaires à ceux des États-Unis. Le choix de cette hypothèse s'explique par les données observées. La France et les États-Unis sont les deux plus grands pays en termes de *hotspots* Wi-Fi publics<sup>250</sup>. Par ailleurs, les résultats d'une récente étude faite par Mobidia illustrant les taux d'adoption du Wi-Fi (public et privé) par les utilisateurs de *smartphone Android* en janvier 2013 dans plusieurs pays, montrent que le taux d'adoption du Wi-Fi public en France est similaire à celui des États-Unis [Mobidia, 2013]. Ainsi, dans les deux pays, le taux d'adoption est élevé que ce soit pour les sites publics comme privés. Faute de disposer des taux propres à la France, nous avons donc repris les taux de déchargement par type d'appareils aux États-Unis estimés par Katz [2014a]. Ainsi, on a retenu qu'en 2013 le Wi-Fi supporte 60% du trafic Internet mobile provenant des smartphones, 77% du trafic Internet mobile généré par les tablettes, et 50% du trafic Internet généré par les ordinateurs portables. Le tableau 3 indique ces pourcentages après avoir rappelé le trafic Internet total par appareil. On en a ensuite déduit le trafic Wi-Fi total par appareil.

**Tableau 2 : Part du trafic internet mobile délesté sur le Wi-Fi**

	2013	2014	2015	2016	2017	2018 <sup>251</sup>
<b>III. Trafic Total par appareil (en milliers de GB par mois)</b>						
<i>Smartphones</i>	17 264	26 743,6	41 393,3	64 100,4	99 193,6	154 068,4
<i>Tablettes</i>	6 699	11 851,14	21 011,6	37 383,82	65 928,7	117 372,6
<i>Ordinateurs portables</i>	81 056	94 971,52	110 898,97	129 916,5	152 180,62	178 243,4
<b>IV. Pourcentage du trafic supporté par le Wi-Fi *</b>						
<i>Smartphones</i>	60%	61%	62%	63%	64%	64%
<i>Tablettes</i>	77%	77%	78%	78%	78%	78%
<i>Ordinateurs portables</i>	50%	54%	58%	62%	62%	62%
<b>V. Trafic Wi-Fi total par appareil (en milliers de GB par mois)</b>						
<i>Smartphones</i>	10 358,4	16 313,6	25 663,9	40 383,23	63 483,9	98 603,75
<i>Tablettes</i>	5 158,23	9 125,4	16 389,1	29 159,4	51 424,4	91 550,6
<i>Ordinateurs portables</i>	40 528	51 284,62	64 321,4	80 548,23	94 352	110 511
<b>Trafic Wi-Fi total</b>	<b>56 044,6</b>	<b>76 723,6</b>	<b>106 374,3</b>	<b>150 090,9</b>	<b>209 260,3</b>	<b>300 665,3</b>

\* Source : Katz [2014a]

Données : Katz [2014a], Cisco VNI 2013-2018, Extrapolation Auteur

### Etape 3. Estimation de la part du trafic gratuitement délesté

En 2013, le trafic Wi-Fi total s'élève donc à plus de 56 milliards de GB par mois et sera de plus de 300 milliards de Gb par mois en 2018. Toutefois, seulement une partie de ce trafic est

<sup>250</sup> <http://www.nextinpact.com/archive/58905-hotspots-wifi-publics-gratuits-payants-france.htm>

<sup>251</sup> On a estimé qu'en 2018 le pourcentage du trafic déchargé était le même qu'en 2017 pour chacun des appareils.

gratuite pour les consommateurs. C'est cette part du trafic qui nous intéresse et que nous devons estimer.

L'étude faite par Mobidia [2013] a estimé que 2,3 % du trafic de smartphone android passait par les réseaux Wi-Fi publics. Ces 2,3% de trafic représenteraient 3% du montant total de trafic Wifi en France. À noter que ces 3% incluent le montant du trafic Wi-Fi provenant de tous les *hotspots* publics (c'est-à-dire également des *hotspots* Wi-Fi publics mais payant). Néanmoins, parmi les 77,1% du trafic passant par les réseaux privés, une partie du trafic est gratuit (délivré par une invitation sur un réseau privé). On a donc fait l'hypothèse que sur ces 3% de trafic Wi-Fi provenant de sites publics, une portion du trafic n'est pas délivrée gratuitement puisqu'il existe des sites communautaires payants (dans les hôtels par exemple). Nous avons également considéré que parmi les 77,1 % de trafic transitant sur des sites privés, une partie du trafic (celui provenant de consommateurs disposant d'une invitation à un réseau privé) était délesté gratuitement. C'est-à-dire que nous avons retenu que 1% du trafic provenant des sites privés était déchargé gratuitement<sup>252</sup> et donc que 3% du trafic Wi-Fi total était totalement gratuit pour le consommateur.

En retenant 3% du trafic Wi-Fi total on obtient le trafic Wi-Fi véritablement gratuit pour le consommateur en gigabyte par mois. Ensuite, comme nous ne disposons pas de la disponibilité des consommateurs à payer pour le Wi-Fi actuellement gratuit pour estimer le surplus du consommateur, nous avons fait l'hypothèse que le prix que le consommateur serait disposé à payer pour acheminer ces gigabytes est équivalent au prix qu'il devrait payer via le réseau cellulaire de l'opérateur. Une étude du cabinet de consulting Rewheel [2013] a estimé le prix moyen d'un gigabyte pour le service de données uniquement, dans plusieurs pays. Le prix moyen du gigabyte en France est de 5,5 euros<sup>253</sup> (cf. Tableau 4).

**Tableau 3 : Prix moyen par gigabyte en France (2013)**

<b>Prix moyen retenu</b> (service de données uniquement)	<b>5,5 euros par GB</b>
--	-------------------------

*Source* : Rewheel [2013]

En multipliant le montant du trafic Wi-Fi totalement gratuit pour le consommateur par le prix moyen par GB de données mobiles pratiqué par les opérateurs, on obtient la valeur économique (surplus du consommateur) généré par le Wi-Fi totalement gratuit.

---

<sup>252</sup> Comme les 77,1% du trafic mobile total représentent 97% du trafic mobile Wifi total, on estime donc que 1% du trafic mobile Wi-fi total est délivré gratuitement via des réseaux privés.

<sup>253</sup> Une autre étude d'Hussain et *al.* [2013] annonce que le prix pratiqué par SFR pour 3 GB est de 17,43 dollars, soit 4,5 euros le GB.

## Annexe IV.3. La valeur économique provenant uniquement du Wi-Fi des tablettes

Pour estimer la valeur économique générée par le Wi-Fi résultant uniquement des tablettes on calcule le surplus du producteur et le surplus du consommateur. Le surplus du producteur est estimé à partir de la différence entre le coût de production et le prix de vente. Pour estimer le surplus des consommateurs, on a retenu l'hypothèse faite par Milgrom et *al.* [2011] dans leur estimation de la valeur économique provenant uniquement du Wi-Fi des tablettes aux États-Unis afin de rester dans l'alignement des estimations à l'étranger et faciliter ainsi la comparaison. Cette hypothèse revient à considérer que le surplus du consommateur est équivalent à celui du producteur. On a donc estimé dans un premier temps le surplus des producteurs. Pour estimer ce surplus, nous avons également retenu l'hypothèse que la marge d'un producteur est en moyenne de 50%, ce qui représente une hypothèse plutôt basse (cf. Tableau 1).

**Tableau 1: Valeur économique générée en France par le Wi-Fi via les tablettes uniquement**

	2010	2011	2012	2013	2014
Vente de Tablettes (en unités)	400 000	1 450 000	3 600 000	6 200 000	7 500 000
Prix moyen d'une tablette (en euro)	539	417	325	240	240
Hypothèse : marge de 50 % (en euro)	269,5	208,5	162,5	120	120

Pour calculer la valeur économique générée en France, il est nécessaire de dissocier les tablettes produites en France de celles des producteurs étrangers. Le tableau 2 donne la répartition en part de marché de la tablette en France en 2012. Le concepteur en tête des ventes est Apple qui détient 46% de part de marché et devance Samsung (13%). On trouve en troisième position le producteur français Archos avec 11% de part de marché.

**Tableau 2 : Répartition du marché de la tablette en France (2012)**

Concepteur	Part de marché
Apple	46%
Samsung	13%
Archos	11%
Acer	4%
Asus	2%
HP	2%
Toshiba	2%
Kindle fire	1%
HTC	1%
Autres	11%

Source : Deloitte

Ainsi 11% des ventes de tablettes en France sont des tablettes de concepteurs français. En multipliant le nombre de tablettes françaises par la marge du producteur, on a obtenu une estimation du surplus du producteur.

Notre hypothèse selon laquelle la valeur du consommateur est la même que celle du producteur n'est pas directement applicable pour le cas de la France car le surplus du producteur ne tient compte que des tablettes vendues par le concepteur français Archos. Or, les deux principaux concepteurs en part de marché (Apple et Samsung) ne sont pas français mais contribuent tout de même au surplus du consommateur. Pour évaluer le surplus du consommateur, on a donc estimé d'abord le surplus du producteur en faisant l'hypothèse que toutes les tablettes vendues étaient françaises. Ensuite, en considérant que la valeur pour le consommateur est équivalente à celle du producteur on a pu obtenir un ordre de grandeur du surplus du consommateur

---

---

# Bibliographie

---

## A

- Agence Nationale des Fréquences, ANFR [2007]. Les enjeux et l'organisation de la gestion du spectre en France. François Rancy, 12 décembre 2007. Présentation COLIDRE.
- Agence Nationale des Fréquences, ANFR [2010]. Rapport Annuel 2010.
- Agence Nationale des Fréquences, ANFR [2011]. Rapport Annuel 2011.
- Agence Nationale des Fréquences, ANFR [2012]. Rapport Annuel 2012.
- Agence Nationale des Fréquences, ANFR [2013]. Rapport Annuel 2013.
- Akalu, R. [2010]. Why there have been so few spectrum trades in the UK: lessons for Europe. *info*, 12(1), 10-17.
- Alcatel Lucent, [2014]. APT700 – An effective band for global harmonization. Strategic white paper.
- Alchian A.A et Demsetz H. [1973]. The Property Right Paradigm. *Journal of Economic History* 33(1):16-27.
- Alchian, A. A. [1984]. Specificity, specialization, and coalitions. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 34-49.
- Altamaimi, M., Weiss, M. B., et McHenry, M. [2013]. Enforcement and spectrum sharing: Case studies of federal-commercial sharing.
- Anker, P., et Lemstra, W. [2011]. Chapter 10. The governance of radio spectrum: licence-exempt devices. In *The Innovation Journey of Wi-Fi: The Road to Global Success*, 288.
- ARCEP [2005]. Rapport au Ministre chargé des communications électroniques sur le choix des bandes de fréquences pour un marché secondaire des autorisations d'utilisation de fréquences.
- ARCEP [2012]. Réseaux mobiles professionnels. Etat des lieux et besoins futurs en fréquences. Consultation publique du 8 octobre au 30 novembre 2012. [http://www.arcep.fr/uploads/tx\\_gspublication/consult-PMR-oct2012.pdf](http://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/consult-PMR-oct2012.pdf)
- ARCEP [2014a]. Observatoire des services de communications électroniques au 4ème trimestre 2013.
- ARCEP, [2014b]. Utilisation de fréquences sur des « bandes libres » et projet de décision de l'ARCEP relatif aux dispositifs à courte portée. Consultation publique du 25 juillet au 15 octobre 2014

- 
- Arrow, K. J. [1969]. The organization of economic activity: issues pertinent to the choice of market versus nonmarket allocation. The analysis and evaluation of public expenditure: the PPB system, 1, 59-73.
- Arrow, K. J., & Fisher, A. C. [1974]. Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility. *The Quarterly Journal of Economics*, 312-319.
- Ashenfelter, O. [1989]. How auctions work for wine and art.. *The Journal of Economic Perspectives*, 3[3], 23–36.
- Attar, A., Ghorashi, S. a., Sooriyabandara, M., et Aghvami, A. H. [2008]. Challenges of real-time secondary usage of spectrum. *Computer Networks*, 52[4], 816–830.
- Ausubel, L. M. et Baranov, O. V. [2014a]. Market Design and the Evolution of the Combinatorial Clock Auction. *The American Economic Review*, 104(5), 446-451.
- Ausubel, L. M. et Baranov, O. V. [2014b]. A Practical Guide to the Combinatorial Clock Auction. Working paper.
- Ayres, I. et Cramton, P. [1996]. Deficit Reduction Through Diversity: How Affirmative Action at the FCC Increased Auction Competition. Faculty Scholarship Series. Paper 1521.

## B

- Bae et al., [2008]. Spectrum markets for wireless services. In *Third IEEE symposium on new frontiers in dynamic spectrum access networks, DYSPAN*. pp. 1–10.
- Baldini, G., Holland, O., Stavroulaki, V., Tsagkaris, K., Demestichas, P., Polydoros, A., Karanasios, S., Allen, D. [2013]. The evolution of cognitive radio technology in Europe: Regulatory and standardization aspects. *Telecommunications Policy*, Volume 37, Issues 2–3, March–April 2013, Pages 96–107.
- Ballon, P. et Delaere, S. [2009]. Flexible spectrum and future business models for the mobile industry. *Telematics and Informatics*, 26, pp. 249–258
- Barrie, M., Delaere, S., Anker, P., Ballon, P. [2012]. Aligning technology, business and regulatory scenarios for cognitive radio. *Telecommunications Policy Elsevier Science*, 36 (7), pp. 546–559
- Barua, A., Mani, D., et Whinston, A. [2006]. Assessing the financial impact of RFID Technologies on the retail and healthcare sectors. Austin, TX: The University of Texas at Austin, Center for research in electronic commerce, Working paper.
- Barzel, Y. [1997]. *Economic analysis of property rights*. Cambridge University Press.
- Baumol, Wi. J. Robyn, D. [2006]. *Toward an Evolutionary Regime for Spectrum Governance Licensing or Unrestricted Entry?* Brookings Press.
- Bazon, C. et McHenry, G. [2013]. Spectrum Value. *Telecommunications Policy* 37 (2013), pp.737–747.
- Benham, A., et Benham, L. [2001]. The costs of exchange. *Institutions, Contracts and Organizations: Perspectives from New Institutional Economics*, Edward Elgar, Cheltenham, 367-375.
- Benkler, Y. [2003]. The Political Economy of the Commons. *Upgrade: The European Journal for the Informatics Professional* IV/3 (June): 6-10.

- Benkler, Y. [2006]. *The wealth of networks: How social production transforms markets and freedom*. Yale University Press.
- Benkler, Y. [2012]. Open Wireless vs. Licensed Spectrum: Evidence from Market Adoption, 26 *Harv JL & Tech* 69, 72 (2012).
- Benmamar, B. et Armaoui, A. [2012]. Réseaux de radio cognitive : Allocation des ressources radio et accès dynamique au spectre. hal-00738289, version 1 - 4 Oct 2012.
- Benzoni, L. [2005]. Fréquences: à la recherche de l'optimum économique. La lettre de l'Autorité de l'ARCEP.
- Berg, K., Uusitalo, M.A., Wijting, C. [2012]. Spectrum access models and auction mechanisms, *Dynamic Spectrum Access Networks, DYSPAN*, 2012 IEEE International Symposium, pp.97-104, 16-19 Oct. 2012.
- Berlemenn, L., et Mangold, S. [2009]. *Radio Spectrum Tomorrow – Dynamic Spectrum Access and Spectrum Sharing*. In *Cognitive Radio and Dynamic Spectrum Access*. A John Wiley and Sons, Ltd, Publication.
- Berresford J. W. [2005]. *The Scarcity Rationale For Regulating Traditional Broadcasting : An Idea Whose Time has passed* », FCC, Media Bureau Staff Research Paper.
- Berry, R., Honig, M. L., et Vohra, R. [2010]. Spectrum markets: motivation, challenges, and implications. *Communications Magazine, IEEE*, 48(11), 146-155.
- Bohlin, E., Rohman, I.K. [2012]. Does Broadband Speed Really Matter for Driving Economic Growth? Investigating OECD Countries (April 4, 2012).
- Brian, X.C. [2012]. *The New York Time*, April 17, 2012. Carriers Warn of Crisis in Mobile Spectrum.
- Brito, J. [2007]. *The Spectrum Commons in Theory and Practice*. Stanford Technology Law Review.
- Brousseau, E. [1989]. L'approche néo institutionnelle des coûts de transaction. In: *Revue française d'économie*. Volume 4 N°4, 1989. pp. 123-166
- Brousseau, E. [2008]. Contracts: From Bilateral Sets of Incentives to the Multi-Level Governance of Relations. Dans Brousseau Eric, Glachant Jean-Michel (dir.), *New Institutional Economics: A Guidebook*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 37-66.
- Buchanan et Stubblebine [1962]. « Externality ». *Economica*, 11/1962.
- Bunel, A. et Lescop, D. [2014]. How Spectrum Policy Could (or Could Not) Achieve a Single Market for Electronic Communications (March 31, 2014). *Communications & Strategies*, No. 93, 1st Quarter 2014, pp. 81-97.
- Bykowsky, M. [2003]. A secondary market for the trading of spectrum: Promoting market liquidity. *Telecommunications Policy*, 27, pp. 533–541.

## C

- Cave, M. [2010]. Anti-competitive behaviour in spectrum markets: Analysis and response. *Telecommunications Policy*, 34[5-6], 251–261.
- Cave, M. et Webb, W. [2012]. The unfinished history of usage rights for spectrum. *Telecommunications Policy*, 36(4), 293-300.

- 
- Cave, M., Doyle, C., et Webb, W. [2007]. *Essentials of modern spectrum management*. Cambridge: Cambridge University Press.
- CEPT [2008]. Report CE from CEPT to the European Commission in response to the mandate on: Technical considerations regarding harmonisation options for the digital dividend. Electronic Communications Committee [ECC], European Conference of Postal and Telecommunications Administrations [CEPT], Copenhagen [2008].
- Chaduc, J.M. [2005]. *La gestion des fréquences*. Editions Lavoisier, Collection technique et scientifique des télécommunications, Paris, 2005.
- Chapin, J.M. et Lehr, W.H. [2007]. Cognitive radios for dynamic spectrum access—The path to market success for dynamic spectrum access technology. *IEEE Communications Magazine*, 45 [5] [2007], pp. 96–103.
- Cisco [2013]. *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018*.
- CNC [2013]. *Centre national du cinéma de l'image animée. L'économie de la télévision financements, audience, programmes*.
- CNRFID [2012]. *Pourquoi le commerce adopte la RFID ? Stratégies de compétitivité et clés de succès*.
- Coase, R. H. [1937]. The nature of the firm. *Economica*, 4(16), 386-405.
- Coase, R. H. [1959]. The Federal Communications Commission. *Journal of Law and Economics*, 2, 1–40.
- Coase, R. H. [1959]. The federal communications commission. *Journal of law and economics*, 1-40.
- Coase, R. H. [1960]. Problem of social cost, the. *Journal of Law and Economics*, 3, 1.
- Coase, R. H. et Sommer, T. [1994]. Faut-il vendre les fréquences ? *Réseaux*, 1994, volume 12 n°64. pp. 137-161.
- Commission Européenne [2004]. COM (2004) 288 final. Rapport de la commission au conseil et au parlement européen premier rapport sur la mise en œuvre de la directive 1999/5/ce (directive R&TTE).
- Commission Européenne [2009]. COM(2009) 278 final. Communication de la Commission au Parlement Européen, au Conseil, au Comité Économique et Social Européen et au Comité Des Régions. *L'internet des objets – Un plan d'action pour l'Europe*.
- Commission Européenne [2012]. COM(2012) 478 final [2012]. Promoting the shared use of radio spectrum resources in the internal market, Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the European economic and social Committee and the Committee of the regions, Brussels, September 2012.
- Commission Européenne [2013a]. COM(2013) 627. Proposition de Règlement du Parlement Européen et du Conseil établissant des mesures relatives au marché unique européen des communications électroniques et visant à faire de l'Europe un continent connecté, et modifiant les directives 2002/20/CE, 2002/21/CE et 2002/22/CE ainsi que les règlements(CE) n° 1211/2009 et (UE) n° 531/2012.
- Commission Européenne [2013b]. Speech/13/622: A Telecoms Single Market: Building a Connected Continent.

- 
- Commission Européenne [2013c]. MEMO/13/799. Commission adopts regulatory proposals for a Connected Continent.
- Cooper, M., In Brian, X.C. [2012]. The New York Time, April 17, 2012, "Carriers Warn of Crisis in Mobile Spectrum"
- Cooper, M. [2012]. Efficiency gains and consumer benefits of unlicensed access to the public airwaves: The dramatic success of combining market principles and shared access. Boulder, Co: University of Colorado.
- Cramton, P. [1995]. Money out of Thin Air : The Nationwide Narrowband PCS Auction. *Journal of Economics and Management Strategy*, 4, 267-343.
- Cramton, P. [1997]. The FCC Spectrum Auctions: AN Early Assessment. *Journal of Economics and Management Strategy*, 6(3), 431-495.
- Cramton, P. [2000]. In Testimony, In the Matter of: Secondary Market Reform; Proceedings. FCC, May 31, 2000. Transcript available at [www.fcc.gov/realaudio/tr053100.pdf](http://www.fcc.gov/realaudio/tr053100.pdf).
- Cramton, P. [2001]. Lessons Learned from the UK 3G Spectrum Auction. University of Maryland May 5, 2001
- Cramton, P. [2008a]. Innovation and Market Design. *Innovation Policy and the Economy*. Ed. Josh Lerner and Scott Stern. Chicago: National Bureau of Economic Research, 2008. 113-137.
- Cramton, P. [2013]. Spectrum Auction Design. *Review Of Industrial Organization*, 42(2), 161-190.
- Cramton, P., et Schwartz, J. A. [2000]. Collusive Bidding : Lessons from the FCC Spectrum Auctions Collusive. *Journal of Regulatory Economics*, 17, 229–252.
- Cramton, P., Ingraham, A.T. et Singer, H.J. [2008]. The Effect of Incumbent Bidding in Set-Aside Auctions: An Analysis of Prices in the Closed and Open Segments of FCC Auction 35. *Telecommunications Policy* 32:273–290
- Cramton, P., Kwerel, E., Rosston, G., et Skrzypacz, A. [2011]. Using Spectrum Auctions to Enhance Competition in Wireless Services. *Journal Of Law & Economics*, 54[4], S167-S188.
- Crandall, R.W. et Ingraham, A.T. [2007]. The Adverse Economic Effects of Spectrum Set-Asides. *Canadian Journal of Law & Technology*, Vol. 6, November 2007, 131–140, n°19.
- Crandall, R., Lehr,W. et Litan,R. [2007]. The effects of broadband deployment on output and employment: Across-section analysis of US data. *Issues in economic policy*, 6(July).
- CREDOC [2013]. Bigot, R., Croutte, P., Daudey, E. La diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française (2013) étude réalisée à la demande du Conseil Général de l'Économie, de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies (CGEIE'T) et de l'Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP).
- Crocioni, P. [2009]. Is allowing trading enough? Making secondary markets in spectrum work. *Telecommunications Policy*, 33[8], 451–468.
- Cui, L., Gomez, M. M., et Weiss, M. B. [2014]. Dimensions of cooperative spectrum sharing: Rights and enforcement. In *Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN)*, 2014 IEEE International Symposium on (pp. 416-426). IEEE.

## D

- Das, R. et Harrop, P. [2013]. RFID Forecasts, Players and Opportunities 2014-2024. IDTechEx, 2013. [http://www.centrenational-rfid.com/docs/users/file/RFID\\_Forecasts\\_2014\\_2024.pdf](http://www.centrenational-rfid.com/docs/users/file/RFID_Forecasts_2014_2024.pdf)
- DCMS, [2014]. UK Spectrum Strategy. Delivering the best value from spectrum for the UK
- De Vany, A. [1996]. Property rights in the electromagnetic spectrum. California Irvine-School of Social Sciences.
- De Vany, A. [1998]. Implementing a Market-Based Spectrum Policy\*. The Journal of Law and Economics, 41(S2), 627-646.
- De Vany, A. S., Eckert, R. D., Meyers, C. J., O'Hara, D. J., et Scott, R. C. [1969]. A property system for market allocation of the electromagnetic spectrum: A legal-economic-engineering study. Stanford Law Review, 1499-1561.
- De Vries, J. P., et Weiser, P. J. [2014]. Unlocking Spectrum Value through Improved Allocation, Assignment, and Adjudication of Spectrum Rights. Assignment and Adjudication of Spectrum Rights (March 24, 2014).
- Décision 2002/622/CE: Décision de la Commission du 26 juillet 2002 instituant un groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique.
- Décision 2009/978/UE de la Commission du 16 décembre 2009 modifiant la décision 2002/622/EC instituant un groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique.
- Décision 243/2012/UE Du Parlement Européen et du Conseil du 14 mars 2012 établissant un programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique.
- Décision 676/2002/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mars 2002 relative à un cadre réglementaire pour la politique en matière de spectre radioélectrique dans la Communauté européenne (décision «spectre radioélectrique»).
- Décision du Conseil Constitutionnel du 28 décembre 2000 [Décision n°2000-442 DC]
- Décret 2006-1016 du 11 août 2006 relatif aux cessions d'autorisation d'utilisation des fréquences.
- Deloitte [2013]. Etude sur les usages mobile 2013. Focus sur le marché français des télécommunications.
- Deloitte [2014]. The impact of licensed shared use of spectrum. A report for the GSM Association | 23 January 2014
- Demsetz, H. [1968]. The Cost of Transacting. Harold Demsetz. The Quarterly Journal of Economics, Vol. 82, No.1, pp.33-53.
- Department of Defense [2013]. Electromagnetic Spectrum Strategy.
- Dippon, M. [2009]. Regulatory Policy Goals and Spectrum Auction Design Lessons from the Canadian AWS Auction A Statement by Christian Michael Dippon 14 July 2009.
- Directive 1999/05/CE Parlement européen et du Conseil du 9 mars 1999 concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité (Directive R&TTE).

- 
- Directive 2002/19/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mars 2002 relative à l'accès aux réseaux de communications électroniques et aux ressources associées, ainsi qu'à leur interconnexion (directive «accès»).
- Directive 2002/20/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mars 2002 relative à l'autorisation de réseaux et de services de communications électroniques (directive "autorisation").
- Directive 2002/21/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mars 2002 relative à un cadre réglementaire commun pour les réseaux et services de communications électroniques (directive "cadre").
- Directive 2002/22/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mars 2002 concernant le service universel et les droits des utilisateurs au regard des réseaux et services de communications électroniques (directive "service universel").
- Directive 2009/140/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009 modifiant les directives 2002/21/CE relative à un cadre réglementaire commun pour les réseaux et services de communications électroniques, 2002/19/CE relative à l'accès aux réseaux de communications électroniques et aux ressources associées, ainsi qu'à leur interconnexion, et 2002/20/CE relative à l'autorisation des réseaux et services de communications électroniques.
- Directive 87/372/CEE du Conseil concernant les bandes de fréquence à réserver pour l'introduction coordonnée de communications mobiles terrestres publiques cellulaires numériques paneuropéennes dans la Communauté.
- Directive 96/19/CE de la Commission, du 13 mars 1996, modifiant la directive 90/388/CEE en ce qui concerne la réalisation de la pleine concurrence sur le marché des télécommunications.
- Directive 98/34/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 juin 1998 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques.
- Directive 91/287/CEE du Conseil, du 3 juin 1991, concernant la bande de fréquences à désigner pour l'introduction coordonnée des télécommunications numériques sans fil européennes (DECT) dans la Communauté.
- Dirk-Oliver Von der Emden, [2010]. Réaménagement du spectre. Considérations théoriques. Forum régional de l'IUT-D sur le développement pour la région Afrique. Banjul, 14-16 juillet 2010.
- Durantini, A., Martino, M., [2013]. The spectrum policy reform paving the way to cognitive radio enabled spectrum sharing. *Telecommunications Policy*, Volume 37, Issues 2–3, March–April 2013, Pages 87–95.
- Dutz, M., Orszag, J. et Willig, R. [2009]. The substantial consumer benefits of broadband connectivity for US households. *Internet Innovation Alliance* (2009).

## E, F

- Eggertsson, P. [1990]. *Economic behavior and institutions: Principles of Neoinstitutional Economics*. Cambridge University Press.
- Electronic Communication Commission [2005]. *Draft ECC Report 205* (October 2013). Licensed shared access.

- 
- Electronic Communication Commission [2011]. ECC REPORT Description of practices relative to trading of Spectrum Rights of Use. Paris, May 2011. ECC Report 169.
- Epstein, R. A., [2007]. « Introduction », in R. A. Epstein (Ed.), *Economics of Property Law*, Cheltenham, Royaume-Uni, Northampton, États-Unis, Edward Elgar, 2007, p. xviii
- ETSI, [2013]. Early Draft TR 103 113. SRDoc on Mobile broadband services in the 2300-2400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime.
- Evans D. [2002]. *The Antitrust Economics of Two-sided Markets*, AEI-Brookings Joint center for Regulatory Studies
- Faulhaber G. R. [2006]. The future of wireless telecommunications: Spectrum as a critical resource. *Information Economics and Policy*, pp. 256–271
- Faulhaber, G. R., et Farber, D. J. [2003]. Spectrum management: Property rights, markets, and the commons. *Rethinking rights and regulations: institutional responses to new communication technologies*, 193-226.
- Federal Aviation Administration [2011]. LightSquared Aviation Impacts 6, Press Release (July 12, 2011).
- Federal Communication Commission [1985]. First Report and Order. In the Matter of Authorization of spread spectrum and other wideband emissions not presently provided for in the FCC Rules and Regulations. Gen Docket No. 81-413. Release-Number: FCC 85-245. May 24, 1985.
- Federal Communication Commission [1988]. FCC, 1988, Amendment of Parts 2 and 22 of the Commission's rules, 3 FCC Rcd. Voir Electronic Code Of Federal Regulations.
- Federal Communication Commission [2000]. FCC-00-401. In the Matter of Principles for Promoting the Efficient Use of Spectrum by Encouraging the Development of Secondary Markets. Policy Statement.
- Federal Communication Commission [2002a]. Spectrum Policy Task Force Report of the Spectrum Efficiency Working Group.
- Federal Communication Commission [2002b]. Spectrum policy task force report of the spectrum rights and responsibilities working group. ET Docket No. 02-135, Nov.2002.
- Federal Communication Commission [2002c]. First Report and Order, FCC 02-48.
- Federal Communication Commission [2002d]. Spectrum policy task force report, FCC 02-155.
- Federal Communication Commission [2003]. Promoting Efficient Use of Spectrum Through Elimination of Barriers to the Development of Secondary Markets, Report And Order And Further Notice Of Proposed Rulemaking, WT Docket No. 00-230, Oct 2003.
- Federal Communication Commission [2004a]. Notice of proposed rulemaking, in the matter of unlicensed operation in the TV broadcast bands [ET Docket no. 04-186] and additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz band [ET Docket no. 02-380]. FCC 04-113.
- Federal Communication Commission [2004b]. Promoting efficient use of spectrum through elimination of barriers to the development of secondary markets. Second report and order on reconsideration and second further notice of proposed rule making. FCC 04-167, WT Docket No. 00-230.

- Federal Communication Commission [2007]. Promoting Efficient Use of Spectrum Through Elimination of Barriers to the Development of Secondary Markets Third Report And Order (FCC 07-52).
- Federal Communication Commission [2010a]. Mobile Broadband: The Benefits of Additional Spectrum.
- Federal Communication Commission [2010b]. Connecting America: The National Broadband Plan, Mar. 16, 2010.
- Federal Communication Commission [2012]. Notice of Proposed Rulemaking and Order, Enabling Innovative Small Cell Use in 3.5 GHz Band, FCC 12-148, Dec. 12, 2012.
- FICAM [2013]. Livre Blanc sur la réallocation de la bande 700 mhz : conséquences sur les productions culturelles et d'information.
- Flacher D., Jennequin H. [2007]. Réguler le Secteur des Télécommunications ? Enjeux et perspectives, Paris, ECONOMICA.
- Forge, S., Horvitz, R., et Blackman, C. [2012]. Perspectives on the value of shared spectrum access-Final report for the European Commission. SCF Associates, February.
- Furubotn E. et Richter R. [1997]. Institutions and Economic Theory, Ann Arbor : University of Michigan Press.
- Furubotn, E. G., et Pejovich, S. [1972]. Property rights and economic theory: a survey of recent literature. *Journal of economic literature*, 10(4), 1137-1162.
- G, H**
- Gandhi, S., Buragohain, C., Cao, L., Zheng, H., & Suri, S. [2008]. Towards real-time dynamic spectrum auctions. *Computer Networks*, 52(4), 879-897.
- Gao, L., Huang, J., Chen, Y.-J., et Shou, B. [2012]. ContrAuction: An integrated contract and auction design for dynamic spectrum sharing. 2012 46th Annual Conference on Information Sciences and Systems [CISS] [pp. 1–6]
- Gatignon, H. et E. Anderson [1988]. The multinational corporation's degree of control over foreign subsidiaries: an empirical test of a transaction cost explanation. *Journal of Law, Economics and Organization*, 4, p. 305-335.
- Gillett, S., Lehr, W.H., Osorio, C., & Sirbu, M. [2006]. Measuring broadband's economic impact. Final Report, prepared for the US Department of Commerce, Economic Development Administration, February.
- Glachant, J. M. [2002]. L'approche néo-institutionnelle de la réforme des industries de réseaux. *Revue économique*, 53(3), 425-435.
- Glachant, J.-M. [2005]. Les nouvelles analyses économiques de la régulation des marchés. Dans G. Marcou. F. Moderne, [2005] *Droit de la régulation, service public et intégration régionale*, Tome 1 Comparaisons et commentaires. Paris, L'Harmattan, « Logiques juridiques », pp. 259-276.
- Glachant, J.-M., Perez Y., [2007]. « Institutional Economics and Network Industry Deregulation Policy », working paper, 2007.
- Goldberg, V. P. [1976]. Regulation and administered contracts. *the Bell journal of economics*, 426-448.

- 
- Goldsmith, A., Jafar, S., Maric, I. et Srinivasa, S. [2009]. Breaking spectrum gridlock with cognitive radios: An information theoretic perspective. *Proceedings of the IEEE*, 97(5):894-914.
- Gorenberg, M.P. [2012], In Markoff, J. [2012]. *The New York Time*, May 25, 2012, Presidential Panel Urges More Flexible Use of Spectrum.
- Government Accountability Office (GAO) [2013]. Testimony Before the Subcommittee on Strategic Forces, Committee on Armed Services, U.S. Senate. *Spectrum Management, Preliminary Findings on Federal Relocation Costs and Auction Revenues*.
- Greenstein, S. et McDevitt, R. [2009]. *The broadband bonus : Accounting for broadband Internet's impact on US GDP*. Working Paper, Northwestern University Kellogg School of Management, January.
- Greenstein, S. et McDevitt, R. [2012]. *Measuring the Broadband Bonus in Thirty OECD Countries*. OECD Digital Economy Papers, No. 197, OECD Publishing.
- Hardgrave, B.C, Miles, R.S., et Yana, M. [2009]. *Item-Level RFID for Apparel: The bloomingdale's RFID Initiative*
- Hardin, G. [1968]. The tragedy of the commons. *science*, 162(3859), 1243-1248.
- Hardin, G. [1991]. *The Tragedy of the Unmanaged Commons: Population and the Disguises of Providence*, in Andelson, R.V. (ed.), *Commons Without Tragedy*, Savage (MD), Barnes and Noble.
- Hatfield, D. and Ax, E. [1988]. *The Opportunity Costs of Spectrum Allocated to High Definition Television,* presented at the 16th Annual Telecommunications Policy Research Conference.
- Hayek, F. V. [1980]. *Droit, législation et liberté*
- Hazlett, T. W., et Munoz, R. E. [2009]. *Spectrum allocation in Latin America: an economic analysis*. *Information Economics and Policy*, 21(4), 261-278.
- Hazlett, T. W., et Skorup, B. [2013]. *Tragedy of the Regulatory Commons: LightSquared and the Missing Spectrum Rights*. *Duke Law & Technology Review* (forthcoming 2013).
- Hazlett, T.W, Porter, D., and Smith, V. [2011]. *Radio Spectrum and the Disruptive Clarity of Ronald Coase*. *Journal of Law and Economics* Vol. 54, No. 4, *Markets, Firms, and Property Rights: A Celebration of the Research of Ronald Coase* (November 2011), pp. S125-S165.
- Hazlett, T.W. [2001]. *The Wireless Craze, The Unlimited Bandwidth Myth, The Spectrum Auction Faux Pas, and the Punchline to Ronald Coase's*. *AEI-Brookings Joint Center Working Paper*, (01-2).
- Hazlett, T.W. [2005]. *Spectrum Tragedies - Avoiding a Tragedy of the Telecommons: Finding the Right Property Rights Regime for Telecommunications*. *Yale Journal on Regulation* Summer 2005.
- Hazlett, T.W. [2014]. *Efficient Spectrum Reallocation with Hold-Ups and Without Nirvana* (June 10, 2014). *George Mason Law & Economics Research Paper* No. 14-16.
- Hazlett, T.W. et Boliek, B. [1999]. *Use of Designated Entity Preferences in Assigning Wireless Licenses*. *Federal Communications Law Journal* 51, 640.

- 
- Hazlett, TW., et Oh, S. [2012]. Exactitude in Defining Rights: Radio Spectrum and the "Harmful Interference" Conundrum.
- Heller, M. A. [1998]. The tragedy of the anticommons: property in the transition from Marx to markets. *Harvard law review*, 621-688.
- Herzel, L. [1951]. Public Interest and the Market in Color Television Regulation. *University of Chicago Law Review*, 18(4), 802-816.
- Holland, O., De Nardis, L., Nolan, K., Medeisis, A., Anker, P., Minervini, L. F., ... et Sydor, J. [2012]. Pluralistic licensing. In *Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN)*, 2012 IEEE International Symposium on (pp. 33-41). IEEE.
- Hotelling, H. [1931]. The Economics of Exhaustible Resources. *The Journal of Political Economy*, 39[2], 137-175.
- House, B., [2011]. BRAC the Spectrum, Illinois Republicans Suggest. *National Journal* (14 October).
- Hoydis, J., Couillet, R., et Debbah, M. [2010]. Les Réseaux à Petites Cellules économes en énergie. *La Revue de l'Electricité et de l'Electronique*, (11), 51-55.
- Hussain, H., Kehl, D., Lucey, P., Russo, N. [2013]. The Cost of Connectivity 2013. Data Release: A comparison of high-speed Internet prices in 24 cities around the world. Octobre 2013
- Hwang, J., et Yoon, H. [2008]. Dynamic spectrum management policy for cognitive radio: An analysis of implementation feasibility issues. In *DySPAN '08: 3rd IEEE symposium on new frontiers in dynamic spectrum access networks* [pp. 1-9].

### I, J, K

- IDA Science & Technology Policy Institute [2014]. A Review of Approaches to Sharing or Relinquishing Agency-Assigned Spectrum
- IEEE, [2008]. IEEE standard definitions and concepts for dynamic spectrum access: Terminology relating to emerging wireless networks, system functionality, and spectrum management. *IEEE Std 1900.1-2008*, c1-48.
- Industrie Canada, [2013]. Cadre de délivrance de licences pour les services mobiles à large bande (SMLB) - bande de 700 MHz
- Journal officiel de la République Française, [2006]. JORF n°186 du 12 août 2006 page 12003 Texte n°12.
- Kalman, E. [1993]. L'analyse économique du spectre hertzien. Thèse pour le Doctorat en Sciences économiques, Paris, 1993.
- Katz, R. [2014a]. Assessment of the economic value of unlicensed spectrum in the United States
- Katz, R. [2014b]. Assessment of the future value of unlicensed spectrum in the United States.
- Katz, R., & Suter, S. [2009]. Estimating the economic impact of the broadband stimulus plan (February).
- Kende, M., Bates, P., Stewart, J., Vroobel, V. [2012]. Final Report for Department for Business, Innovation and Skills and Department for Culture, Media and Sport. Impact of radio spectrum on the UK economy and factors influencing future spectrum demand. Analysis Mason

- Kirk, M. & Kinzinger, A. [2011]. Letter to Senator Patty Murray and Representative Jeb Hensarling [proposing a BRAC-like Commission for increased spectrum efficiency] (13 October)
- Klemperer, P. [2002]. What really matters in auction design. *The Journal of Economic Perspectives*, 16(1), 169-189.
- Kroes, N. [2012]. SPEECH/12/459 Date de l'événement: 19/06/2012. Finding the spectrum to power the wireless revolution.

### L, M, N

- Lehr, W.H. [2005]. *The Role of Unlicensed in Spectrum Reform*. Massachusetts Institute of Technology, USA, March.
- Lemstra, W., et Marcus, M. [2011]. Chapter 2 NCR: taking the cue provided by the FCC. *The Innovation Journey of Wi-Fi: The Road to Global Success*, 21.
- Lemstra, W., Hayes, V., et Groenewegen, J. (Eds.), [2011]. *The innovation journey of Wi-Fi: The road to global success*. Cambridge University Press.
- Lenard, T.M., White, L.J. & Riso, J.L. [2010]. *Increasing Spectrum for Broadband: What Are the Options*. Technology Policy Institute (2010), [http://www.techpolicyinstitute.org/files/increasing\\_spectrum\\_for\\_broadband1.pdf](http://www.techpolicyinstitute.org/files/increasing_spectrum_for_broadband1.pdf)
- Lessig, L. [2001]. *The future of ideas: The fate of the commons in a connected world*. New-York Random House.
- Lévêque F. [2004]. *Economie de la réglementation*, Paris, La découverte, « Repères », 2004.
- Levin, H.J. [1968]. The Radio Spectrum Resource. *The Journal of Law and Economics*, Vol. II, pp. 433-501, pages 433-501 ; October 1968.
- Levin, H.J. [1971]. *The Invisible Resource*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Lewin, D., Marks, P., et Nicoletti, S. [2013]. *Valuing the use of spectrum in the EU. An independant assessment for the GSMA*. PLUM Consulting
- Libecap, G. D. [1989]. *Contracting for Property Rights*. New York: Cambridge University Press.
- Loi n° 2004-669 du 9 juillet 2004 relative aux communications électroniques et aux services de communication audiovisuelle.
- Loi de réglementation des télécommunications n° 96-659 du 26 juillet 1996.
- Luther, G. [2008]. New directions for spectrum management: An international perspective. *Telecommunications Journal of Australia*, 58(2/3).
- Mackie-Mason, J.K, and Wellman, M.P. [2006]. Chapter 28: Automated Markets and Trading Agents, from *Handbook of Computational Economics Volume 2* de Kenneth J. Arrow Et Michael D. Intriligator.
- Madden, G., Bohlin, E., Tran, T., et Morey, A. [2014]. Spectrum licensing, policy instruments and market entry. *Review of Industrial Organization*, 44(3), 277-298.
- Malisuwan, S., Sivaraks, J., Nandhabiwat, T., Madan, N. et Laokulrat, L. [2014]. Estimation of Commercial Value of Spectrum: The Approach Adopted in Thailand. *Journal of Economics, Business and Management*, Vol. 2, No. 2, May 2014

- 
- Mangold, S., et al. [2005]. Cognitive Radio – Trends and Research Challenges. Swisscom Comtec Magazine 03/2005, 6–9.
- Marcus, J.S. et Burns, J. [2012]. Study on Impact of traffic off-loading and related technological trends on the demand for wireless broadband spectrum. FINAL REPORT: A study prepared for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology
- Marcus, M.J. [2005]. Real time spectrum markets and interruptible spectrum: new concepts of spectrum use enabled by cognitive radio. First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. [pp. 512–517]. IEEE.
- Markoff, J. [2012]. The New York Time, May 25, 2012, Presidential Panel Urges More Flexible Use of Spectrum.
- Matheson, R., et Morris, A. C. [2012]. The technical basis for spectrum rights: Policies to enhance market efficiency. Telecommunications Policy, 36(9), 783-792.
- Mayo, J. W., et Wallsten, S. [2010]. Enabling efficient wireless communications: The role of secondary spectrum markets. Information Economics and Policy, 22(1), 61-72.
- McAfee, R. P., & Mcmillan, J. [1987]. Auctions and Bidding. Journal of Economic Literature, 15, 699–738.
- McAfee, P. et McMillan, J. [1996]. Analyzing the Airwaves Auctions. Journal of Economic Perspective, 10, 159-175.
- McHenry, M. A., McCloskey, D., Roberson, D., et Macdonald, J. T. [2005]. Spectrum Occupancy Measurements Chicago, Illinois. Shared Spectrum Company IIT Wireless Interference Lab, Illinois Institute of Technology.
- McHenry, M.A. [2005]. NSF spectrum occupancy measurements project summary. Shared Spectrum Company [2005].
- McMillan, J. [1994]. Selling spectrum rights. The Journal of Economic Perspectives, 145-162.
- Melody, W.H. [1980]. Radio Spectrum Allocation: Role of the Market. The American Economic Review Vol. 70, No. 2, Papers and Proceedings of the Ninety-Second Annual Meeting of the American Economic Association (May, 1980), pp. 393-397.
- Ménard, C. [1997]. Le pilotage des formes organisationnelles hybrides. Revue économique, 741-750.
- Ménard, C. [2004]. L'économie des organisations. La Découverte, Collection Repères, Paris, 123 pages
- Ménard, C., [2003]. L'approche néo-institutionnelle: des concepts, une méthode, des résultats. Cahiers d'économie politique, no 44. Paris: L'Harmattan.
- Milgrom, P. et Roberts, J. [1992]. Economics, Organization and Management, Prentice Hall International editions.
- Milgrom, P. R., et Weber, R. J. [1982]. A theory of auctions and competitive bidding. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1089-1122.
- Milgrom, P., Levin, J., et Eilat, A. [2011]. The case for Unlicensed Spectrum. Stanford Institute for Economic Policy research. SIEPR Discussion Paper No. 10-036

- 
- Minasian, J. R. [1975]. Property rights in radiation: An alternative approach to radio frequency allocation. *Journal of Law and Economics*, 221-272.
- Mitola III, J., Maguire Jr. G.Q. [1999]. Cognitive radio: Making software radios more personal *IEEE Personal Communications*, 6 [4] [1999], pp. 13–18.
- Mobdia, [2013]. Understanding the Role of Managed Public Wi-Fi in Today's Smartphone User Experience: A global analysis of smartphone usage trends across cellular and private and public Wi-Fi networks Sponsored
- Morand, Mougeot, et Naegelen. [2001]. UMTS : Fallait-il choisir un concours de beauté ? *Revue d'économie politique*, 111[5], 669–682.
- Mougeot, M. [2001]. Enchères, gestion publique et concurrence pour le marché. *Enchères et gestion publique*, 25-142.
- Mwangoka, J.W., Marques, P., Rodriguez, J., [2013]. TV white spaces exploitation through a bicameral geo-location database. *Telecommunications Policy*, Volume 37, Issues 2–3, March–April 2013, Pages 116–129.
- Nelson, P. [1970]. Information and Consumer Behavior. *Journal of Political Economy*, 78 (2), p. 311-329.
- Newbery, D. [2009]. Refining market Design, in J.-M. Glachant, F. Lévêque (dirs.), *Electricity Reform in Europe. Towards a Single Energy Market*, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA, Edward Elgar, 2009, p. 35.
- Nicita, A. et Parcu, P.L. [2013]. Spectrum Sharing : the case for Authorised Shared Access. *Network industries Quaterly*, vol 15, n°3, 2013.
- Noam, E. [1997]. Beyond spectrum auctions. Taking the next step to open spectrum access. *Telecommunications Policy*, 21(5), 461-475.
- Noam, E. [1998]. Spectrum auctions: Yesterday's heresy, today's orthodoxy, tomorrow's anachronism. Taking the next step to open spectrum access. *The Journal of Law and Economics*, 41(S2), 765-790.
- North, D. [1981], *Structure and Change in Economic History*, New York: W.W. Norton & Co.
- North, D. [1990], *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, Cambridge: Cambridge University Press.
- North, D. [1991]. *Institutions*. *The Journal of Economic Perspectives*, Vol. 5, No. 1. (Winter, 1991), pp. 97-112.
- North, D. [2005], *Understanding the process of economic change*. Princeton: Princeton University Press.
- NTIA, 2014. Manual of regulations and procedures for federal radio frequency management. [http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/redbook/2014-05/Manual\\_2014\\_Revision.pdf](http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/redbook/2014-05/Manual_2014_Revision.pdf)

## O, P

- OCDE [1997]. Manuel d'Oslo. La mesure des activités scientifiques et technologiques principes directeurs proposés pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation technologique.

- 
- OCDE [2005]. Secondary Markets for Spectrum: Policy Issues. OECD Digital Economy Papers, No. 95, OECD Publishing.
- OCDE [2006]. Pearce, D; Atkinson, G.; Mourato, S. Analyse coûts-bénéfices et environnement. Développements récents. <http://tbauler.pbworks.com/f/OECD-Pearce+et+al-2006.pdf>
- OCDE [2008]. RFID Identification par Radiofréquence. Orientations de l'OCDE. Sécurité de l'information et Protection de la vie privée. Applications, Impacts et Initiatives Nationales.
- OCDE [2014]. New Approaches to Spectrum Management. OECD Digital Economy Papers, No. 235, OECD Publishing.
- OFCOM [2003]. Spectrum trading consultation. Disponible à : [http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spec\\_trad/summary/pdf\\_version.pdf](http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spec_trad/summary/pdf_version.pdf)
- OFCOM [2007]. Digital Dividend Review: a statement on our approach. Disponible à : <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/ddr/statement/statement.pdf>
- OFCOM [2009]. Digital Dividend: Geolocation for Cognitive Access. A discussion on using geolocation to enable licence exempt access to the interleaved spectrum. Disponible à : <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/cogaccess/summary/cogaccess.pdf>
- OFCOM [2012]. TV white spaces. A consultation on white space device requirements. Disponible à : <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/whitespaces/summary/condoc.pdf>
- OFCOM [2013a]. Spectrum pricing for terrestrial broadcasting. Disponible à : <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/aip13/summary/aip.pdf>
- OFCOM [2013b]. Spectrum attribution metrics. Disponible à : [http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spectrum-management-strategy/annexes/Spectrum\\_attribution\\_metrics.pdf](http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/spectrum-management-strategy/annexes/Spectrum_attribution_metrics.pdf)
- OFCOM [2015]. Implementing TV White Spaces. Disponible à : <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/white-space-coexistence/statement/tvws-statement.pdf>
- Ostrom, E. [1990]. Governing the commons: The evolution of institutions for collective action. Cambridge university press.
- Parcu, P.L, Nicita, A., Corda, G., et Ferrari Bravo, L. [2012]. Authorized Shared Access [ASA]. An innovative model of pro-competitive spectrum management.
- Pareto, V. [1909]. Manuel d'économie politique.
- Park, J. M., Reed, J. H., Beex, Clancy, T. C., Kumar, V., et Bahrak, B. [2014]. Security and Enforcement in Spectrum Sharing. Proceedings of the IEEE, 102(3), 270-281.
- PCAST [2012]. Report by the President's Council of Advisors on Science and Technology [PCAST] "Realizing the Full Potential of Government-Held Spectrum to Spur Economic Growth," USA, July 2012.
- Peha, J.M. [2005]. Approaches to Spectrum Sharing. IEEE Communications, Vol. 43, No. 2.

- Peha, J.M. [2007]. "Emerging Technology and Spectrum Policy Reform," Proceedings of United Nations International Telecommunication Union [ITU] Workshop on Market Mechanisms for Spectrum Management, Geneva, Switzerland, January 2007.
- Peha, J.M., et Panichpapiboon, S. [2004]. Real-time secondary markets for spectrum. *Telecommunications Policy*, 28(7-8), 603–618.
- Pez, T. [2011]. Le domaine public hertzien (attribution et exploitation des fréquences radioélectriques), L.G.D.J., Lextenso éditions, coll. Systèmes, août 2011, 209 pages.
- Pez, T. [2014]. L'incidence du partage du spectre sur le droit français applicable aux fréquences radioélectriques. Dans *Une gestion dynamique du spectre pour l'innovation et la croissance*, Rapport de la Mission ministérielle sur le spectre hertzien confiée au professeur Joëlle Toledano, 31 mars 2014.
- Pigou, A.C. [1920]. *The economics of welfare*. Macmillan, London.
- Plum [2011]. *Methodologies for Valuing Spectrum: Review of the Experts' Report*. A report for Vodafone, March 2011
- Plum [2013]. *The economic benefits of LSA in 2.3 GHz in Europe* A report for Ericsson, NSN and Qualcomm December 2013.
- Pogorel, G. et Bohlin, E. [2014]. *Valuation and Pricing of Licensed Shared Access: Next Generation Pricing for Next Generation Spectrum Access*. Preliminary version 30/06/2014.
- Presidential Memorandum [2010]. *Unleashing the Wireless Broadband Revolution*, June 28, 2010.
- Presidential Memorandum [2013]. *Expanding America's Leadership in Wireless Innovation*, rel. June 14, 2013.

## Q, R

- Rajbanshi, R. [2007]. OFDM-based cognitive radio for DSA networks. *Dissertation Abstracts International*, 68(03).
- Radio Spectrum Policy Group [2013a]. RSPG13-521 : RSPG Opinion on Strategic Challenges facing Europe in addressing the Growing Spectrum Demand for Wireless Broadband.
- Radio Spectrum Policy Group [2013b]. RSPG13-538. RSPG Opinion on Licensed Shared Access.
- Reed, D.P. [2012] In Brian, X.C. [2012]. *The New York Time*, April 17, 2012, Carriers Warn of Crisis in Mobile Spectrum.
- Rewhell [2013]. *EU27 mobile data cost competitiveness report – May 2013*
- Robin, S. et Staropoli, C. [2013]. La contribution de l'économie expérimentale à l'analyse de l'efficacité des marchés. *Revue Française d'Economie*, 28 (2), pp.91-120.
- Rosston, G., Savage, S.J., Waldman, D.M. [2010]. *Household Demand for Broadband Internet Service*. Final report to the Broadband.gov Task Force. Federal Communications Commission
- Rosston, L.G. [2013]. *Increasing Wireless Value: Technology, Spectrum, and Incentives*. Stanford Institute for Economic Policy Research.

- Roth, A. E. [2002]. The Economist as Engineer: Game Theory, Experimentation, and Computation as Tools for Design Economics. *Econometrica*, vol. 70, n° 4, juillet, pp. 1341-1378.
- Radio Spectrum Policy Group (RSPG) [2004]. RSPG 04-54. The RSPG opinion on secondary trading of rights to use radio spectrum. Report on the Joint RSPG/ERG activity on New competition challenges resulting from a more flexible management of spectrum.
- Radio Spectrum Policy Group (RSPG) [2008]. RSPG08-244 Final. Radio Spectrum Policy Group Opinion on Aspects of a European Approach to ‘Collective Use Of Spectrum.
- Radio Spectrum Policy Group (RSPG) [2011]. RSPG11-392 Final. Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and other spectrum sharing approaches.
- Radio Spectrum Policy Group (RSPG) [2013a]. RSPG13-521 : RSPG Opinion on Strategic Challenges facing Europe in addressing the Growing Spectrum Demand for Wireless Broadband.
- Radio Spectrum Policy Group (RSPG) [2013b]. RSPG13-538. RSPG Opinion on Licensed Shared Access.
- Radio Spectrum Policy Group (RSPG) et Groupe des Régulateurs Européen (GRE) [2009]. Report on radio spectrum competition issues. ERG-RSPG report on the management of radio spectrum in order to avoid anticompetitive hoarding.

### S, T, U

- Saussier S. et Yvrande-Billon A., [2007]. *Économie des coûts de transaction*, Paris, La découverte, « Repères », 2007
- Shapiro , C. et Varian, H.H. [1998]. *Information rules: A strategic guide to the network economy*. Harvard Business School Press, Boston, MA, USA.
- Shirley, M. M. et Ménard, C. (Eds.). [2005]. *Handbook of new institutional economics*. Springer.
- Simon, H.A. [1961]. *Administrative behavior*, 2nd Edition, Mc Milan, New York.
- Skorup, B. [2013]. Getting away from gosplan. A BRAC-like effort is needed to repurpose federal spectrum. *Regulation*, Winter 2013-2014.
- Smith, A. [1976]. *Essai sur la nature et les causes de la richesse des nations*.
- Smythe, W.D. [1952]. Facing Facts about the Broadcast Business », *University of Chicago Law Review*. 96.
- Spectrum Bridge [2008]. Analysis of FCC Secondary Spectrum Markets Positions, Policies and Comment.  
[http://spectrumbridge.com/Libraries/White\\_Papers/Analysis\\_of\\_the\\_FCC\\_s\\_Positions\\_Policies\\_and\\_Comments\\_on\\_Secondary\\_Markets.sflb.ashx](http://spectrumbridge.com/Libraries/White_Papers/Analysis_of_the_FCC_s_Positions_Policies_and_Comments_on_Secondary_Markets.sflb.ashx)
- Stanforth, P. [2010]. Why haven't Secondary Markets been Successful ? Spectrum Bridge.
- Staple, G., et Werbach, K. [2004]. The end of spectrum scarcity [spectrum allocation and utilization]. *Spectrum*, IEEE, 41(3), 48-52.
- Tableau National de Répartition des bandes de Frequences, [2013]. ANFR/DR-02.
- Taparia, A., Casey, T.R., and Hämmäinen, H. [2012]. Towards a market mechanism for heterogeneous secondary spectrum usage: An evolutionary approach, in *Proceedings of the*

- 6th IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, Washington, USA, October 2012.
- Thanki, R. [2009]. The economic value generated by current and future allocations of unlicensed spectrum. Final report, Perspective Associates, 2009.
- Thanki, R. [2012]. The Economic Significance of Licence-Exempt Spectrum to the Future of the Internet. White Paper.
- Toledano, J. [2014]. Une gestion dynamique du spectre pour l'innovation et la croissance, Rapport de la Mission ministérielle sur le spectre hertzien confiée au professeur Joëlle Toledano, 31 mars 2014.
- Tonmukayakul, A., et Weiss, M. B. [2004]. Secondary use of radio spectrum: A feasibility analysis. In Presented at the telecommunications policy research conference TPRC'04. Arlington, VA, October.
- Union Internationale des Télécommunications [2003]. Recommandation UIT-R SM.1603. Redéploiement du spectre en tant que méthode de gestion nationale du spectre. [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1603-0-200302-S!!PDF-F.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1603-0-200302-S!!PDF-F.pdf)
- Union Internationale des Télécommunications [2009a]. ITU-R report SM.2152: Definitions of Software Defined Radio [SDR] and Cognitive Radio System [CRS].
- Union Internationale des Télécommunications [2009b]. Gestion du spectre radioélectrique, Module 5, Kit d'aide sur la réglementation des TIC, p.19 [www.ictregulationtoolkit.org/Documents/Document/Document/3791](http://www.ictregulationtoolkit.org/Documents/Document/Document/3791)
- Union Internationale des Télécommunications [2010]. Recommandation UIT-R F.240-6. Rapport de protection signal/brouillage pour diverses classes d'émission dans le service fixe sur des fréquences inférieures à 30 mhz environ
- Union Internationale des Télécommunications [2011]. ITU-R M.2242. [2011]. Cognitive radio systems specific for IMT systems.
- Union Internationale des Télécommunications [2012]. Exploring the Value and Economic Valuation of Spectrum. Telecommunication Development Bureau, International Telecommunications Union, Switzerland, Apr 2012.
- Union Internationale des Télécommunications [2012]. Résolution 9. Participation des pays, en particulier des pays en développement, à la gestion du spectre radioélectrique. rapport final UIT-D Commission d'études 2.
- Ustundag, A. [2013]. The Business Value of RFID. In The Value of RFID, Benefits vs. Costs. Ustundag, Alp (Ed.) 2013, VIII, p.176.

## V, W

- Valenta et al. [2010]. Survey on Spectrum Utilization in Europe : Measurements , Analyses and Observations. 5th International ICST Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, Cannes : France [2010].
- Valletti, T. M. [2001]. Spectrum trading. Telecommunications Policy, 25[10-11], 655–670.
- Walras, L. [1874]. Eléments d'économie politique pure ou théorie de la richesse sociale (Elements of Pure Economics, or the theory of social wealth). Lausanne, Paris, 1899.

- Weiss, M. B., et Cui, L. [2012]. Spectrum trading with interference rights. In *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM)*, 2012 7th International ICST Conference on (pp. 135-140). IEEE.
- Weiss, M., et Lehr, W. [2009]. Market Based Approaches for Dynamic Spectrum Assignment.
- Weiss, T. A., et Jondral, F. K. [2004]. Spectrum pooling: an innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency. *Communications Magazine, IEEE*, 42(3), S8-14.
- Wen, Y., Chao-HSsien, C. et Zang, L. [2010]. The use of RFID in healthcare: Benefits and barriers. In: *RFID-Technology and Applications (RFID-TA)*, 2010 IEEE International Conference on, 17-19 June 2010 2010. 128-134
- Werbach, K. [2011]. The wasteland: Anticommons, white spaces, and the fallacy of spectrum. *Arizona law review*, 53[213], 214-254.
- Williamson, O. E. [1975]. *Markets and hierarchies*. New York, 26-30.
- Williamson, O. E. [1985]. *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets and Relational contracting*, The Free Press, a Division of Macmillan, Inc., New York, traduit en français (1994) *Les institutions de l'économie*, InterEdition, Paris.
- Williamson, O. E. [1991]. Comparing Economic Organizations : The Analysis of Discrete Structural Analysis. *Administrative Science Quaterly*, 36 (2), p. 269-296.
- Williamson, O. E. [1994]. *Les institutions de l'économie*. InterEditions, Paris.
- Williamson, O. E. [1996]. *The mechanism of governance*. New York : Oxford University Press
- Williamson, O. E. [1998]. The institutions of governance. *American Economic Review*, 75-79.
- Williamson, O. E. [1999]. Strategy Research : Governance and competence perspectives. *Strategic Management Journal*. Vol. 20 ; p.1087-1108.
- Williamson, O. E. [2002]. The theory of the firm as a governance structure: From choice to contract. *Journal of Economic perspective*, 16 (Summer), pp.171-195
- Williamson, O. E. [2005]. *Transaction Cost Economics*. Dans C. Ménard, M. Shirley (dirs.), *Handbook of New Institutional Economics*, Netherlands, Springer, 2005
- Wilson, R., [2002]. *Market Architecture*.

### X, Y, Z

- Xavier, P. et Ypsilanti, D. [2006]. Policy issues in spectrum trading. *info*, Vol. 8 Iss: 2, pp.34 – 61.
- XERFI, [2014]. *Le marché des objets connectés. Prévisions pour 2016 et perspectives à moyen terme - Paysage concurrentiel et mutations de l'offre*
- Yoon, H., Hwang, J., et Weiss, M. B. [2010]. Research on secondary spectrum trading mechanisms based on technical and market changes. In *New Frontiers in Dynamic Spectrum*, 2010 IEEE Symposium on (pp. 1-12). IEEE.
- Yvrande-Billon A. [2002]. *Choix contractuels et performances, Le cas des chemins de fer britanniques*. Thèse pour le Doctorat en Sciences économiques, Paris 1, 2002
- Zhao, Q., et Swami, A. [2007]. A survey of dynamic spectrum access: signal processing and networking perspectives. *California univ davis dept of electrical and computer engineering*.

Zhou, X., Gandhi, S., Suri, S., & Zheng, H. [2008]. eBay in the sky: strategy-proof wireless spectrum auctions. In Proceedings of the 14th ACM international conference on Mobile computing and networking (pp. 2-13). ACM.

<b>PRESENTE PAR</b>	
<b>REMERCIEMENTS</b>	
<b>RESUME</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>LISTE DES ENCADRES</b>	
<b>LISTE DES SCHEMAS</b>	
<b>LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES</b>	
<b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I .....</b>	<b>11</b>
<b>LES CARACTERISTIQUES ET GRANDES MODALITES D'ATTRIBUTION DU SPECTRE HERTZIEN .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCTION AU PREMIER CHAPITRE .....</b>	<b>13</b>
<b>SECTION 1. L'ENVIRONNEMENT INSTITUTIONNEL.....</b>	<b>15</b>
1.1. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES, TECHNIQUES, ET ECONOMIQUES DU SPECTRE .....	15
1.1.1. <i>Les caractéristiques physiques du spectre .....</i>	<i>15</i>
1.1.2. <i>Les caractéristiques techniques .....</i>	<i>17</i>
1.1.3. <i>Les caractéristiques économiques .....</i>	<i>21</i>
1.1.3.1. Une ressource publique et rare .....	21
1.1.3.2. Un bien rival dans l'usage : l'existence de brouillages .....	21
1.1.3.3. Maximisation des économies d'échelles et de l'interopérabilité des terminaux .....	25
1.2. LA GOUVERNANCE MULTI-NIVEAUX DE LA GESTION DU SPECTRE.....	26
1.2.1. <i>Le cadre institutionnel supranational.....</i>	<i>27</i>
1.2.1.1. L'organisation interne de l'UIT .....	27
1.2.1.2. La gestion du spectre par l'UIT.....	29
1.2.2. <i>La gouvernance régionale européenne.....</i>	<i>37</i>
1.2.3. <i>La gestion du spectre en France .....</i>	<i>38</i>
1.3. CONCLUSION DE LA PREMIERE SECTION. <i>LE SPECTRE UNE RESSOURCE PUBLIQUE, RARE ET REGLEMENTEE.....</i>	<i>42</i>
<b>SECTION 2. LES MODES DE GOUVERNANCE POUR L'ATTRIBUTION DES FREQUENCES</b>	<b>43</b>
2.1. L'ENCASTREMENT DES TRANSACTIONS DANS LEUR ENVIRONNEMENT INSTITUTIONNEL.....	43
2.2. LA CREATION DE MARCHES REGULES DES FREQUENCES.....	46
2.2.1. <i>Un mouvement aux origines économiques : retour sur le plaidoyer de Ronald Coase .....</i>	<i>46</i>
2.2.2. <i>L'utilisation de mécanismes axés sur le marché : le cas des attributions concurrentielles .....</i>	<i>49</i>
2.2.2.1. Les États-Unis pionniers de la libéralisation.....	49
2.2.2.2. Le cas de l'Europe.....	55
2.2.2.3. « Market Design » et politique de concurrence .....	60
2.2.3. <i>L'assouplissement des contraintes liées à l'utilisation du spectre : le cas des marchés secondaires .....</i>	<i>66</i>
2.2.3.1. Les différentes expériences du marché secondaire.....	67
2.2.3.2. Les marchés secondaires : quel bilan ?.....	75
2.3. L'OUVERTURE DES FREQUENCES.....	78
2.3.1. <i>Un mouvement permis par la technique existante.....</i>	<i>78</i>
2.3.2. <i>Les débats sur la création de bandes ouvertes, gratuites et sans attributaire exclusif.....</i>	<i>80</i>
2.3.3. <i>La régulation technique du spectre : une approche de co-régulation.....</i>	<i>84</i>
2.3.3.1. Le cas européen .....	85

2.3.3.2.	Le cas des États-Unis.....	90
2.4.	CONCLUSION DE LA DEUXIEME SECTION. SORTIR DE LA VISION TELECOM <i>STRICTO SENSU</i> .....	92
	<b>CONCLUSION DU CHAPITRE 1 .....</b>	<b>93</b>
	<b>CHAPITRE II.....</b>	<b>95</b>
	<b>L'ACCES PARTAGE ET DYNAMIQUE AUX FREQUENCES : UN NOUVEAU CYCLE DANS L'ATTRIBUTION DES FREQUENCES.....</b>	<b>95</b>
	<b>INTRODUCTION AU DEUXIEME CHAPITRE .....</b>	<b>97</b>
	<b>SECTION 1. L'ORIGINE DE LA REFORME .....</b>	<b>99</b>
1.1.	L'ÉPINEUSE QUESTION DE L'UTILISATION ET DE LA GESTION EFFICACE DU SPECTRE .....	99
1.1.1.	<i>Utilisation et gestion efficace du spectre .....</i>	99
1.1.2.	<i>De la tragédie des communs à celle des anti-communs : le besoin de réformer la gestion du spectre .....</i>	101
1.1.2.1.	Espaces blancs et sous-utilisation du spectre.....	101
1.1.2.2.	La tragédie des anti-communs .....	103
1.1.3.	<i>Comportement anticoncurrentiel et thésaurisation du spectre.....</i>	105
1.1.4.	<i>Un système rigide : des droits de propriété jugés de trop long terme et trop exclusifs.....</i>	107
1.2.	L'AUGMENTATION DES BESOINS EN FREQUENCES .....	108
1.2.1.	<i>La demande en fréquence pour les réseaux de télécommunications commerciaux et grand public.....</i>	109
1.2.2.	<i>La demande en fréquence pour les réseaux radioélectriques indépendants et pour les réseaux de sécurité et de secours</i> 110	
1.2.2.1.	La demande des acteurs PPDR étatiques .....	111
1.2.2.2.	La demande des acteurs privés PMR et des opérateurs d'importances vitales (OIV).....	111
1.2.3.	<i>La demande en fréquences pour les événements temporaires et généralement localisés .....</i>	112
1.2.4.	<i>Vers de nouveaux usages : l'ère de l'Internet des objets .....</i>	113
1.3.	L'ÉMERGENCE DE TECHNOLOGIES DE PARTAGE ET D'ACCES DYNAMIQUE AU SPECTRE .....	114
1.3.1.	<i>L'émergence de la radio cognitive et de la radio logicielle.....</i>	115
1.3.2.	<i>Pourquoi prendre en compte les technologies cognitives et d'accès dynamique au spectre ?.....</i>	117
1.3.3.	<i>Le spectre : une commodité ? .....</i>	119
1.4.	CONCLUSION DE LA PREMIERE SECTION. <i>LE BESOIN DE RATIONALISATION DU SYSTEME ACTUEL</i> .....	125
	<b>SECTION 2. CHANGEMENT INSTITUTIONNEL : VERS UNE UTILISATION COLLECTIVE DU SPECTRE .....</b>	<b>126</b>
2.1.	LA REFORME EUROPEENNE POUR UNE UTILISATION PARTAGEE DU SPECTRE .....	126
2.1.1.	<i>L'immixtion de la Commission européenne en matière de régulation du spectre .....</i>	127
2.1.2.	<i>Une action institutionnelle forte en faveur de l'utilisation partagée des fréquences.....</i>	128
2.2.	LE PARTAGE : UNE SOLUTION DE PREMIER RANG .....	134
2.2.1.	<i>Le partage: une nouvelle option face au réaménagement du spectre.....</i>	134
2.2.1.1.	Réaménagement vs. Partage .....	134
2.2.1.2.	Les différentes options pour le gestionnaire .....	136
2.2.2.	<i>Valorisation des bandes de fréquences : Réaménagement vs. Partage.....</i>	141
2.3.	CONCLUSION DE LA DEUXIEME SECTION. <i>LA RARETE SE PILOTE, LA PENURIE SE SUBIT</i> .....	143
	<b>CONCLUSION DU CHAPITRE 2.....</b>	<b>144</b>
	<b>CHAPITRE III .....</b>	<b>145</b>
	<b>LE CHOIX DU MODE D'ORGANISATION COMME GOUVERNANCE DES TRANSACTIONS : LE CAS DE L'UTILISATION PARTAGEE DU SPECTRE. ....</b>	<b>145</b>
	<b>INTRODUCTION AU TROISIEME CHAPITRE.....</b>	<b>147</b>
	<b>SECTION 1. UNE APPROCHE CONTRACTUELLE DU PARTAGE.....</b>	<b>149</b>
1.1.	L'UNITE D'ANALYSE : LE TRANSFERT DE DROITS DE PROPRIETE ENTRE USAGERS .....	149

1.1.1.	<i>Le système de droits de propriété</i> .....	150
1.1.2.	<i>L'attribution des droits de propriété</i> .....	151
1.1.3.	<i>L'échange de droits de propriété dans le cadre d'un partage dynamique</i> .....	156
1.2.	L'APPROCHE PAR LES COÛTS DE TRANSACTION .....	158
1.2.1.	<i>Les coûts associés aux transactions sur le spectre</i> .....	158
1.2.1.1.	Les coûts ex ante .....	159
1.2.1.2.	Les coûts ex post .....	161
1.2.1.3.	Les coûts de transaction indirects .....	162
1.2.2.	<i>La source des coûts de transaction</i> .....	164
1.2.2.1.	Les hypothèses comportementales .....	165
1.2.2.2.	Les attributs des transactions .....	167
1.3.	LES CARACTERISTIQUES CONTRACTUELLES ET DISPOSITIFS DE COORDINATION DES UTILISATEURS .....	172
1.3.1.	<i>Les quatre mécanismes de coordination</i> .....	172
1.3.2.	<i>Les structures de gouvernance pour le partage du spectre entre utilisateurs primaires et secondaires</i> .....	174
1.3.2.1.	Le modèle ouvert .....	175
1.3.2.2.	Le contrat classique et le marché spot du spectre .....	177
1.3.2.3.	Les structures hybrides de gouvernance .....	178
1.3.2.4.	Le contrat de subordination et la structure de gouvernance hiérarchique .....	181
1.3.3.	<i>L'impact des technologies d'accès dynamique et l'altération des caractéristiques des transactions</i> .....	183
1.4.	CONCLUSION DE LA SECTION. <i>DES TRANSACTIONS DIVERSES, EVOLUTIVES ET VARIEES DE DROITS D'USAGE DU SPECTRE</i> .....	186
<b>SECTION 2. DECRYPTAGE D'UN FUTUR ARRANGEMENT INSTITUTIONNEL : L'ACCES PARTAGE SOUS LICENCE (LSA)</b> .....		<b>187</b>
2.1.	DES TRANSACTIONS AUX INTERETS MACRO-ECONOMIQUES .....	188
2.1.1.	<i>Le cas européen</i> .....	188
2.1.2.	<i>Le cas américain</i> .....	190
2.2.	LES MICRO-DETERMINANTS DE LA TRANSACTION .....	192
2.2.1.	<i>Les vœux du titulaire (le ministère de la Défense)</i> .....	194
2.2.2.	<i>Les vœux des utilisateurs secondaires (opérateurs commerciaux)</i> .....	195
2.3.	À LA RECHERCHE DE LA STRUCTURE DE GOUVERNANCE LA MIEUX ALIGNEE AUX ATTRIBUTS DE LA TRANSACTION .....	198
2.3.1.	<i>Le LSA : une forme hybride</i> .....	198
2.3.2.	<i>Le choix de la tierce partie</i> .....	199
2.3.3.	<i>Le LSA : un partage efficace ?</i> .....	200
2.4.	CONCLUSION DE LA DEUXIEME SECTION. <i>LE LSA UN PREMIER MODELE DE PARTAGE COMPLEXE</i> .....	201
<b>SECTION 3. LE PARTAGE EFFICACE: UN PROBLEME D'INCITATION</b> .....		<b>202</b>
3.1.	LES FREINS A UN PARTAGE DYNAMIQUE EFFICACE DU SPECTRE .....	202
3.1.1.	<i>Les perdants de la réforme</i> .....	203
3.1.2.	<i>Le risque d'une fragmentation excessive</i> .....	203
3.2.	LES MECANISMES INCITATIFS .....	204
3.2.1.	<i>Système des prix</i> .....	205
3.2.2.	<i>Réduction des redevances</i> .....	205
3.2.3.	<i>Mécanismes institutionnels</i> .....	206
3.2.4.	<i>Taxe incitative</i> .....	207
3.3.	CONCLUSION DE LA SECTION 3. <i>DES MECANISMES INCITATIFS POUR UN PARTAGE EFFICACE</i> .....	207
<b>CONCLUSION DU TROISIEME CHAPITRE</b> .....		<b>208</b>
<b>CHAPITRE IV</b> .....		<b>211</b>
<b>LA VALORISATION ECONOMIQUE DES FREQUENCES DANS UN MONDE DE PARTAGE</b> .....		<b>211</b>

<b>INTRODUCTION AU QUATRIEME CHAPITRE.....</b>	<b>213</b>
<b>SECTION 1. PRINCIPES DE VALORISATION DU SPECTRE HERTZIEN .....</b>	<b>214</b>
1.1. LA VALEUR ECONOMIQUE DU SPECTRE HERTZIEN.....	214
1.1.1. Comparaisons des valeurs économiques générées par les différents services .....	214
1.1.2. Les limites de la valeur économique du spectre comme outil de valorisation.....	219
1.1.2.1. Vers un système de pondération .....	219
1.1.2.2. Un compromis permanent entre fréquences basses et fréquences hautes .....	220
1.2. LE SPECTRE : UN ENJEU MAJEUR DE DEVELOPPEMENT DE L'INNOVATION.....	221
1.2.1. L'écosystème du spectre sans licence.....	221
1.2.1.1. Valeur économique intrinsèque du spectre sans licence .....	222
1.2.1.2. Valeur économique dérivée du spectre sans licence .....	224
1.2.2. La valeur économique du spectre sans licence .....	226
1.2.2.1. Les résultats des différentes estimations aux États-Unis .....	227
1.2.2.2. Une estimation pour la France.....	228
1.2.2.3. Récapitulatif de l'ensemble des résultats pour la France (2013).....	242
1.3. CONCLUSION DE LA PREMIERE SECTION. <i>AU DELA DE L'ASPECT FINANCIER</i> .....	243
<b>SECTION 2. PARTAGE ET VALORISATION DU SPECTRE : REFLEXIONS ECONOMIQUES</b>	<b>244</b>
2.1. LES DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION.....	244
2.1.1. Les méthodes d'évaluation pour estimer la valeur commerciale du spectre.....	244
2.1.2. Les méthodes d'évaluation pour estimer la valeur sociale du spectre .....	246
2.1.3. Mesurer la valeur totale du spectre dans un monde de partage.....	247
2.2. LES FACTEURS DE VALORISATION DU SPECTRE .....	250
2.2.1. Les facteurs économiques .....	251
2.2.1.1. Harmonisation.....	251
2.2.1.2. Régulation .....	251
2.2.1.3. Favoriser l'innovation .....	252
2.2.1.4. Préserver les services publics et les activités de recherche et développement .....	252
2.2.2. Les facteurs intrinsèques.....	252
2.2.3. Les facteurs financiers .....	253
2.3. CONCLUSION DE LA SECTION 2. <i>VERS UNE VALORISATION EFFICACE DE LA RESSOURCE SPECTRALE.</i> ..	253
<b>CONCLUSION DU DERNIER CHAPITRE .....</b>	<b>254</b>
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>255</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>261</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>327</b>



