



RAPPORT

**UNE GESTION DYNAMIQUE DU SPECTRE
POUR L'INNOVATION ET LA CROISSANCE**

Joëlle Toledano

Synthèse

En France, l'économie numérique, qui représente 5% du PIB, irrigue et transforme 80% de l'économie. Les fréquences radioélectriques sont indispensables à de nombreux secteurs : les communications et l'audiovisuel, tous les modes de transports, les réseaux satellites, les réseaux d'énergie et les compteurs intelligents, la sécurité privée ou publique, la défense nationale...

L'augmentation des besoins en spectre fait consensus. Elle a deux sources principales. D'une part, l'augmentation du trafic mobile qui devrait être multiplié par un facteur compris entre 13 et 25 entre 2011 et 2017 et, d'autre part, le développement de nouveaux services innovants comme l'Internet des objets avec ses applications multiples (villes intelligentes, e-santé...) qui pourraient se traduire par cinquante milliards d'objets connectés à l'horizon 2020.

Il n'existe aujourd'hui plus de fréquences disponibles dans les gammes les plus aisément exploitables. En outre, il va devenir de plus en plus difficile de recourir aux méthodes classiques de libération de bande de fréquences. Le recours accru au partage, et en particulier au partage dynamique, constitue ainsi une réserve de spectre importante. Une forme particulière de partage, l'usage de bandes de fréquences gratuites, ouvertes à tous, sans licence a connu ces dernières années avec le Wifi un développement important. Il permet de délester 68% de trafic mobile et de baisser les barrières à l'entrée pour de nombreuses PME qui contribuent à l'innovation.

Le présent rapport appelle à un développement du partage, et en particulier du partage dynamique, pour plusieurs raisons. D'un point de vue économique, il permettrait un usage plus efficace des fréquences et un accès simplifié et moins coûteux à la ressource spectrale pour des entreprises innovantes. Il constitue ainsi un vecteur de croissance économique important. D'un point de vue technique, les technologies permettant sa mise en œuvre semblent porteuses de progrès à moyen ou long terme et constituent des éléments essentiels de la 5G. Enfin, d'un point de vue juridique, le cadre réglementaire français s'adapte aisément à son développement.

En matière de partage dynamique et d'accès au spectre sans licence, le Royaume-Uni et les Etats-Unis apparaissent comme des précurseurs et leur démarche a fait l'objet d'une étude approfondie. En particulier, la mission s'est nourrie des nombreux rapports et débats publics récents. Elle a également analysé et tiré les leçons des résultats des pratiques et des expérimentations, en particulier pour l'utilisation des espaces blancs de la télévision.

Afin de promouvoir le partage dynamique du spectre et stimuler la croissance et l'innovation, la mission formule trois niveaux de propositions (détaillées dans la partie 6) :

- des propositions concrètes susceptibles d'être mise en œuvre rapidement, sans modification législative ni réglementaire ;
- une proposition pour définir une stratégie de l'Etat en matière de spectre en concertation avec les affectataires et les acteurs économiques ;
- des propositions de mesures législatives ou réglementaires visant **1/** à améliorer la transparence de la gestion des fréquences, la prise en compte des besoins et la connaissance des usages ; **2/** à favoriser l'innovation dans la gestion des fréquences, encourager les expérimentations en matière de gestion dynamique du spectre et **3/** à améliorer la prévention et la résolution des brouillages dans un contexte de partage accru du spectre.

Table des matières

1	Le contexte et les enjeux de la mission	8
1.1	Les fréquences au cœur des usages de l'économie numérique	8
1.1.1	L'économie numérique au centre de l'ensemble des secteurs économiques	8
1.1.2	Le spectre un pilier de l'économie numérique et de l'innovation	8
1.2	Le consensus sur l'augmentation des besoins et la diversification des usages	10
1.3	Le risque de pénurie de fréquences	12
1.4	Les deux niveaux de réponse à l'augmentation des besoins	13
1.4.1	Les réponses des utilisateurs fondées sur des innovations technologiques et réglementaires	13
1.4.2	Les réponses structurelles de l'Etat	14
2	La diversification des modèles économiques de gestion du spectre	16
2.1	Les régimes exclusifs d'accès au spectre	16
2.2	La valeur du régime ouvert d'accès au spectre	17
2.3	Des régimes d'accès complémentaires voués à l'hybridation	19
3	Les nouvelles techniques d'usage dynamique du spectre	22
3.1	Une technologie en mutation pour un spectre partiellement sous-utilisé	22
3.2	Les prémices d'une radio plus intelligente	22
3.3	Le futur de la radio cognitive	23
3.3.1	La connaissance de l'environnement radio	23
3.3.2	La radio logicielle	23
3.4	Les nouveaux régimes d'accès rendus possibles à terme	24

4	Les aspects juridiques du partage dynamique du spectre	26
4.1	Le cadre international	26
4.2	Le cadre européen.....	27
4.3	Le cadre français.....	28
5	Les exemples américain et britannique en matière de partage dynamique	32
5.1	Les Etats-Unis, précurseurs du partage dynamique.....	32
5.1.1	Une gouvernance stratégique au niveau de la Maison Blanche	32
5.1.2	La gestion opérationnelle des fréquences	33
5.1.3	Une gestion des fréquences en mutation	33
5.2	Le Royaume-Uni, <i>leader</i> européen du partage dynamique	35
5.2.1	La gestion du spectre au Royaume-Uni.....	35
5.2.2	L'action de l'Ofcom en faveur du partage dynamique du spectre.....	35
5.2.3	L'action de l'Ofcom en faveur de l'utilisation des espaces blancs	36
6	Des propositions pour l'innovation et la croissance.....	39
6.1	Les principaux enseignements des auditions.....	39
6.2	L'état des lieux en France.....	40
6.3	Les propositions pour l'innovation et la croissance	41
6.3.1	Les propositions susceptibles d'être mises en œuvre rapidement, sans modification législative ni réglementaire	41
6.3.2	Une proposition pour définir la stratégie de l'Etat en matière de spectre	44
6.3.3	Les propositions de mesures législatives ou réglementaires pour l'innovation et la croissance	46
	<i>Améliorer la transparence de la gestion des fréquences.....</i>	<i>46</i>
	<i>Favoriser l'innovation dans le domaine du spectre</i>	<i>47</i>
	<i>Améliorer le contrôle des interférences dans un contexte de partage accru du spectre</i>	<i>47</i>

7	Les annexes	50
7.1	La lettre de mission	50
7.2	L'équipe de la mission	52
7.3	La liste des personnes auditionnées	53
7.3.1	France	53
7.3.2	Bruxelles	60
7.3.3	Etats-Unis.....	61
7.3.4	Finlande	63
7.3.5	Royaume-Uni	63
7.4	La synthèse des auditions.....	64
7.5	La bibliographie	66
7.6	Une brève synthèse des travaux d'origine académique ou institutionnelle sur la gestion efficace des fréquences.....	71
7.7	Les bandes de fréquences étudiées et l'état des négociations internationales	73
7.8	L'occupation du spectre	74
7.9	La disponibilité théorique des espaces blancs de la télévision	80
7.10	L'étude juridique sur le partage du spectre par Thomas Pez.....	93
7.11	Le point de vue technique par Mérouane Debbah	119
7.12	Le glossaire	126

Madame Fleur Pellerin, Ministre déléguée chargée des PME, de l'Innovation et l'Economie numérique a souhaité que soient identifiées des bandes de fréquences qui pourraient faire l'objet de partage dynamique bénéficiant aux usages innovants, et que soient proposés des outils permettant une gestion plus innovante du spectre. L'objectif est d'améliorer la gestion du spectre en France, tout en protégeant les acteurs existants et futurs des brouillages qui rendraient inutilisables ces fréquences (cf. lettre de mission en annexe 1).

Pour cela, l'écoute des acteurs (cf. liste des personnes auditionnées en annexe 3) a été primordiale. Certains ont soulevé des problèmes plus ou moins structurants liés à la gestion actuelle des fréquences. Le présent document cherche à prendre en compte leurs préoccupations, même si une solution ne peut être apportée à chacun d'entre eux.

Conformément à la lettre de mission, un groupe de travail avec les affectataires a été réuni les 15 janvier et 25 mars 2014.

La gestion du spectre est un sujet très technique. Cette barrière intellectuelle à l'entrée réserve ce domaine à un public de spécialistes alors que les fréquences constituent aussi un sujet politique et économique. Ce rapport n'a pas l'ambition de la technicité mais de l'accessibilité.

Remerciements

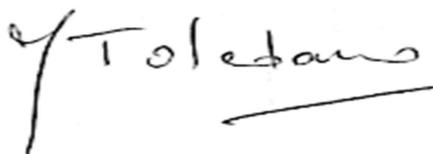
Je tiens à remercier très sincèrement l'ensemble des personnes qui ont répondu favorablement à mes demandes d'auditions et qui nous ont communiqué des informations de très grande qualité indispensables à l'élaboration du présent rapport.

Je voudrais remercier chaleureusement les équipes de l'ANFR qui nous ont apporté tout au long des six mois de la mission leur expertise technique et internationale, avec une mention particulière à Jean-Pierre Le Pesteur, Gilles Brégant et Eric Fournier.

Un merci tout particulier à Mérouane Debbah, professeur à Supélec, pour ses éclairages techniques et scientifique précieux.

Les erreurs ou omissions éventuelles me sont bien sûr imputables.

Fait à Paris le 31 mars 2014

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Y. Toledano', with a horizontal line underneath the name.

Le contexte et les enjeux de la mission

1 Le contexte et les enjeux de la mission

L'économie numérique est une des priorités du gouvernement et repose pour beaucoup sur l'utilisation des fréquences radioélectriques (1.1). Celles-ci sont déjà largement occupées par les services existants et la demande de fréquences pour des nouveaux services croît rapidement. Il apparaît donc nécessaire d'encourager un usage plus intensif de cette ressource rare (1.2). Le risque d'une pénurie de fréquences (1.3) conduit les utilisateurs du spectre à chercher des solutions techniques et l'Etat soit à changer l'usage des bandes de fréquences, soit à utiliser de manière plus dynamique des fréquences, notamment en les partageant (1.4).

1.1 Les fréquences au cœur des usages de l'économie numérique

L'économie numérique irrigue la plupart des secteurs économiques (1.1.1) et s'appuie dans de très nombreux cas sur l'accès au spectre radioélectrique (1.1.2).

1.1.1 L'économie numérique au centre de l'ensemble des secteurs économiques

L'économie numérique, dans son acception la plus restreinte, représente plus de 5% du PIB français et de l'ordre de 4% des emplois. Au-delà de ce noyau central constitué principalement par les télécommunications et l'informatique, c'est près de 80% de l'économie française qui est concernée. En analysant en détail les statistiques de 2009, une mission de l'Inspection générale des finances (IGF) et de l'INSEE a évalué à 12% du PIB le poids des secteurs qui, comme l'édition, la musique, les voyages, la publicité, ont été profondément transformés par le numérique. L'IGF a également évalué à 60% supplémentaires les secteurs qui ont dégagé des gains de productivité significatifs grâce à l'intégration des technologies de l'information et de la communication. L'impact positif des technologies numériques sur la croissance et la productivité a fait l'objet de nombreux travaux. Les évaluations disponibles en matière de haut débit fixe¹ semblent transposables en matière de sans fil.

Parallèlement, les dépenses des consommateurs pour le numérique sont importantes et tendanciellement en hausse. Ainsi, en 2012, les ménages français ont dépensé 67 milliards d'euros en « *produits de l'économie de l'information* » selon l'Insee, soit 6% de leur budget.

1.1.2 Le spectre un pilier de l'économie numérique et de l'innovation

Les applications en mobilité, qu'elles nécessitent l'accès à Internet ou fassent intervenir la transmission d'informations à partir de capteurs plus ou moins sophistiqués, disséminés partout sur le territoire, transforment non seulement le cœur même de l'économie numérique mais s'infiltrant dans presque toutes les industries et les services. Cette ubiquité implique souvent la nécessité d'une transmission des informations sans fil, par un canal radioélectrique.

De façon plus prospective, le McKinsey Global Institute a étudié, en 2013, les douze technologies potentiellement les plus disruptives d'ici 2025. Classées par ordre d'impact décroissant, l'Internet mobile et l'Internet des objets sont respectivement premier et troisième². L'impact cumulé est évalué entre 6 400 et 17 000 milliards de dollars en 2025, soit entre le tiers et la moitié de l'impact cumulé des douze technologies mise en avant.

¹ 10% de taux de pénétration supplémentaire permet environ 1% de croissance supplémentaire.

² La deuxième technologie la plus disruptive du classement est le logiciel.

Parmi les 34 plans français de reconquête industrielle, lancés en septembre 2013 sous l'égide du président de la République et du ministre du redressement productif, 18 dépendent directement ou indirectement d'un accès au spectre : énergies renouvelables³, voiture pour tous consommant moins de deux litres aux 100 km, bornes électriques de recharge, véhicules à pilotage automatique, avions électriques et nouvelle génération d'aéronefs, dirigeables et charges lourdes, TGV du futur, navires écologiques, industries du bois, réseaux électriques intelligents, qualité de l'eau et gestion de la rareté, hôpital numérique, dispositifs médicaux et nouveaux équipements de santé, *Big data* et *Cloud computing*, souveraineté télécoms, objets connectés, services sans contact, usine du futur. Selon le cas, le rôle des fréquences peut être majeur ou de deuxième ordre. Il n'en reste pas moins qu'elles sont indispensables à la réalisation de ces projets.

Des secteurs économiques entiers reposent aujourd'hui sur l'accès au spectre alors qu'il y a une trentaine d'années, les fréquences radioélectriques étaient essentiellement consacrées à des usages non marchands ou de sécurité. L'importance de cette ressource est bien entendu connue pour les services de communications mobiles, de télévision et de radio. Dans la vie quotidienne, l'accès au haut débit mobile (grâce aux *smartphones* et tablettes notamment) est fréquemment mis en avant.

D'autres utilisateurs de fréquences sont moins connus du grand public, c'est le cas des réseaux satellites (comme le GPS aujourd'hui et demain Galileo), des réseaux de sécurité (utilisés par la sécurité civile, la Police ou la Défense) ou encore des radars météorologiques... Les secteurs des transports (radars anti-collision...), de la santé (implants médicaux...), de l'énergie, de l'environnement ou de la recherche sont également de plus en plus dépendants des fréquences.

A côté des acteurs traditionnels des secteurs cités ci-dessus, tels que les fabricants d'équipements (Alcatel-Lucent, NSN, Qualcomm, Airbus Group, Thalès...) ou les opérateurs (Orange, SFR, Bouygues Telecom, Free), apparaissent, dans le débat public, de grands acteurs internationaux de réseaux et de services (Google, Microsoft, CISCO, IBM...) pour qui la croissance des usages en mobilité et l'hyper connectivité constituent de nouvelles opportunités.

L'écosystème de demain doit faire une place aux nouveaux acteurs innovants. En France, il convient ainsi notamment penser aux drones de Parrot qui utilisent les bandes Wifi, à Sigfox, pionnier de l'Internet des objets à partir d'une technologie propriétaire à bas coût, à Netatmo, Withings et Kolibree, Imedipac qui préfigurent l'e-santé et la maison intelligente, à M2oCity ou Ondeo Systems acteurs des compteurs intelligents. Ce sont de même des usages nouveaux qu'envisagent villes et administrations à travers des projets de *smart city* ou ville intelligente.

En parallèle de ces considérations économiques, l'importance de la valeur sociale du spectre doit être soulignée, même si elle est moins facilement quantifiable.

³ La plupart des *smartgrid* impliquent le relevé ou la commande à distance de nombreux dispositifs (électrovannes, compteurs...) et donc le recours aux fréquences radioélectriques.

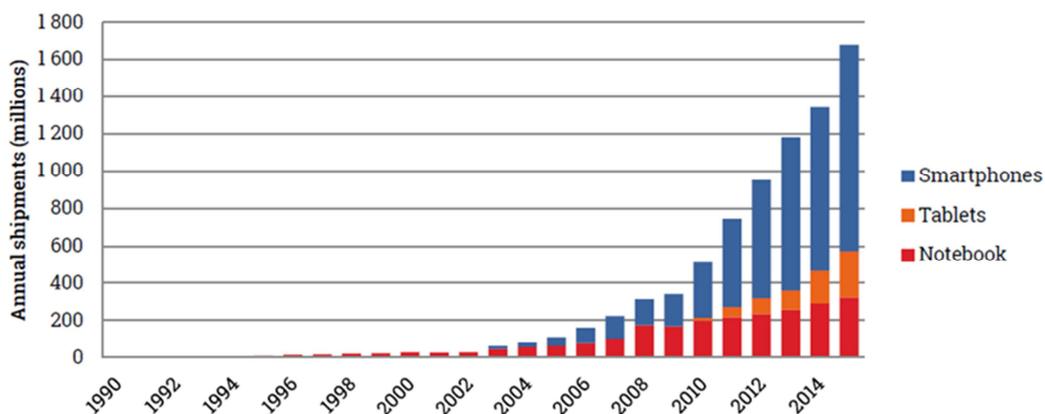
1.2 Le consensus sur l'augmentation des besoins et la diversification des usages

L'augmentation des besoins en spectre a pour première source l'augmentation des besoins de bande passante des services existants.

Une des questions rencontrée lors de cette mission a été celle de la quantification des besoins en fréquences au regard des prévisions de demande, des progrès techniques et de la densification des réseaux. Certaines entreprises auditionnées ont souhaité que les pouvoirs publics disposent d'analyses indépendantes. La mission appuie largement cette demande. Faute de tels outils indépendants, les travaux se sont appuyés sur des sources variées. Cela peut parfois faire apparaître certaines différences, même si la tendance est partagée par tous.

Le trafic mobile devrait selon les sources être multiplié par un facteur compris entre 13 et 25 entre 2011 et 2017. Ericsson prévoit une multiplication par 10 entre 2013 et 2019. Les hypothèses les plus prudentes retiennent une multiplication du trafic par 30 et les plus optimistes par 300 en 2030. Ce trafic serait dû à une augmentation forte de l'utilisation de l'Internet mobile, celui-ci devrait croître de l'ordre de 70% en 2014. En 2016, 430 millions de personnes dans le monde auraient un abonnement 4G selon certains analystes. Les opérateurs qui disposent aujourd'hui de 100 MHz de spectre pourraient avoir besoin de 1 GHz dans 10 ans pour atteindre des débits plus élevés.

Au niveau mondial, la croissance des données transmises en mobilité sera forte, non seulement parce que la consommation individuelle augmente mais aussi parce que la marge d'adoption est encore grande. Il y a plus de 1,5 milliard d'utilisateurs de *smartphones* et 5 milliards d'abonnés au téléphone mobile et, déjà aujourd'hui, environ la moitié des nouveaux appareils de téléphonie mobiles sont des *smartphones*. Quant à la croissance du parc de tablettes, il suit un cheminement voisin.



Source : Thanki (2013)

La quantité de fréquences assignées aux opérateurs de téléphonie mobile va augmenter, il en sera de même pour celles utilisées par le Wifi puisque plus de la moitié du trafic Internet global passera par lui en 2016, selon Cisco, qui estime qu'en Europe, 68% du trafic mobile serait délesté grâce à lui.

Le succès du Wifi

En 1985, la FCC a autorisé, dans des bandes de fréquence industrielles, scientifiques et médicales (ISM) et pour des services de communication, l'usage d'une technologie jusqu'à lors utilisée par la Défense. Ces trois bandes de fréquences (902-928 MHz, 2 400-2 483,5 MHz et 5 725-5 850 MHz) ont été les premières bandes de fréquences ouvertes à tous les utilisateurs qui respecteraient des conditions techniques précisément définies.

Une quinzaine d'années a ensuite été nécessaire aux ingénieurs dans le cadre de l'IEEE pour que soit définie et testée la norme Wifi adaptée à ces bandes de fréquences. Apple a été le premier sur le marché grand public à équiper ses micro-ordinateurs et les autres constructeurs ont progressivement suivi. La croissance du Wifi a d'abord été tirée au début des années 2000 par le développement du haut débit. Le premier usage a consisté à partager à domicile un accès haut débit fixe. L'immense succès mondial résulte de l'ouverture à tous de bandes de fréquences exemptes de licence, gratuites et harmonisées au niveau mondial (sur la bande 2,4 GHz) et dont les utilisateurs doivent respecter des règles visant à minimiser les risques d'interférence.

Les bandes Wifi actuelles en France sont les suivantes : la bande 2,4 GHz (2 400-2 483,5 MHz) et la bande 5 GHz (5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz, 5 470-5 725 MHz). Ces bandes sont toutes partagées avec des utilisateurs primaires.

Les contenus audiovisuels tirent la croissance des usages en mobilité. La vidéo représente déjà de l'ordre de 70% du trafic Internet fixe ou mobile et pourrait en représenter jusqu'à 90% d'ici deux ans. Les services audiovisuels sollicitent également de la ressource spectrale pour des chaînes en ultra haute définition ou en 3D par exemple. La demande en fréquences des ministères de la Défense et de l'Intérieur ou de l'administration de l'Aviation civile pourraient croître avec l'intensification de l'usage de la vidéo, fortement consommatrice de bande passante. Les champs de bataille numériques l'illustrent.

L'augmentation des besoins en spectre a pour deuxième source le développement de nouveaux services innovants.

Les nouveaux usages du spectre seront variés, même s'il est délicat de les décrire précisément.

Les déclinaisons de l'Internet des objets apparaissent aujourd'hui comme potentiellement les plus disruptives. Elles concernent notamment la santé, le bien-être et la *silver économie*⁴, la ville intelligente, la gestion environnementale (notamment énergétique) et les transports. Sur le plan technique, ces applications utilisent souvent des fréquences sans licence en recourant notamment aux protocoles Wifi, Bluetooth, voire NFC, interconnectés éventuellement à des réseaux filaires ou mobiles.

⁴ La *silver économie* regroupe l'ensemble des opportunités de croissance économique liées au vieillissement de la population. Cette économie au service des plus âgés inclut un volet numérique important.

L'Internet des objets

Selon l'Idate, en 2012, avec 5 milliards d'objets connectés, le chiffre d'affaires mondial de ces objets était de 22 milliards d'euros. Avec potentiellement 15 milliards d'objets en 2016, ce chiffre d'affaires pourrait atteindre 35,6 milliards d'euros à cette date. Plusieurs acteurs auditionnés estiment que 50 milliards d'objets seront connectés en 2020. D'après certains analystes, les objets connectés se développeront principalement dans trois secteurs : la santé, la gestion environnementale et les transports. Ces secteurs sont solvables, présentent des besoins avérés, et ne posent pas de problème d'alimentation énergétique. La question de l'alimentation énergétique des objets connectés, souvent disséminés et de petite taille, parfois difficilement accessibles, est primordiale.

Plusieurs solutions technologiques sont envisageables en fonction de la nature des objets à connecter : les réseaux mobiles (2G/3G ou 4G), les réseaux dédiés utilisant des fréquences basses ouvertes, des liaisons Wifi ou Bluetooth.

De nombreuses entreprises innovantes sont actives dans ce secteur en France, en particulier Aldebaran Robotics, Delta Drone, Medissimo, MyFox, Netatmo, Parrot, Sen.se, Sigfox, Withings, M2oCity. Elles s'appuient le plus souvent sur des fréquences ouvertes à tous.

L'ensemble des acteurs auditionnés s'accorde pour affirmer que l'augmentation des besoins est forte, réelle, et qu'elle ne pourra pas être absorbée seulement par le spectre qui leur est alloué aujourd'hui. Ainsi, il apparaît nécessaire de trouver de nouvelles capacités.

1.3 Le risque de pénurie de fréquences

Les fréquences sont une ressource rare. Bien qu'instantanément renouvelables, elles ne sont disponibles qu'en quantité limitée à un moment donné. A l'instar des terres agricoles qui ne disparaissent pas par leur usage, les fréquences ne peuvent être attribuées et utilisées, avec plus ou moins d'intensité, que par un nombre limité d'utilisateurs. Le spectre réglementé est constitué des fréquences allant de 9 kHz à 300 GHz car, à l'instar des terrains qui peuvent être constructibles ou non, toutes les fréquences ne sont pas aujourd'hui utilisables. Ces fréquences « utiles » ne sont pas équivalentes, interchangeable, car elles n'ont notamment pas les mêmes qualités de propagation et donc de couverture géographique. Plus les fréquences sont élevées dans le spectre hertzien, moins la portée des ondes est étendue mais plus la bande passante qu'elles offrent est élevée.

Alors que les usages du numérique, et en particulier les transferts de données et d'images par des réseaux sans fil, se généralisent à la quasi-totalité de l'activité économique et qu'ils sont en forte croissance, le mode actuel d'utilisation du spectre fondé principalement sur une utilisation exclusive des bandes de fréquences fait craindre une pénurie.

Si la gestion de la rareté a toujours sous-tendu la gestion des fréquences entre utilisateurs d'un même bien, le risque de pénurie est aujourd'hui plus prégnant car les utilisateurs actuels sont plus nombreux avec des besoins en croissance. Le nombre de nouveaux entrants et leurs besoins sont sans précédent, alors qu'il n'existe plus aujourd'hui de fréquences disponibles dans les gammes les plus aisément exploitables, typiquement entre 400 MHz et 6 GHz. En outre, il devient de plus en plus compliqué de dégager de nouvelles bandes pour des usages exclusifs.

1.4 Les deux niveaux de réponse à l'augmentation des besoins

Si, la gestion des fréquences est d'abord une gestion collective faisant intervenir des organisations internationales et des Etats, l'action des acteurs économiques est importante. Ils interviennent en particulier dans les organismes de normalisation, dans la définition des nouvelles architectures de réseaux ainsi que dans le choix des technologies permettant une utilisation plus intensive des fréquences (1.4.1). Le recours à des bandes exclusives doit être combiné à un accès partagé au spectre (1.4.2).

1.4.1 Les réponses des utilisateurs fondées sur des innovations technologiques et réglementaires

Le secteur recherche des solutions techniques, compatibles avec la dynamique et la contrainte de temps du secteur privé. Or la mise à disposition de nouvelles bandes de fréquences pour les activités reposant sur les fréquences est une décision que seuls les Etats peuvent prendre en fonction du contexte et des technologies disponibles. Les négociations internationales s'inscrivent dans le long terme alors que les perspectives des acteurs économiques sont plutôt de court-moyen terme. Face à ce constat, à fréquences égales, la capacité supplémentaire peut être apportée en améliorant l'efficacité spectrale des équipements, c'est-à-dire en permettant d'acheminer une même quantité d'information en utilisant moins de fréquences, ou en densifiant les réseaux.

Les nouvelles technologies mobiles comme le LTE (et pour tous les termes techniques à suivre, cf. glossaire en annexe 12), y compris avec les nouveaux multiplexages TDD et SDL et le mode de diffusion mobile eMBMS, mais aussi le Bluetooth avec le standard BLE sont plus économes en matière d'utilisation des fréquences que leurs prédécesseurs comme la 2G et la 3G. Au niveau de la diffusion de la télévision, la norme de diffusion DVB-T2 notamment est spectralement plus efficace que le DVB-T. Le remplacement des systèmes de sécurité analogiques par des technologies numériques a aussi permis une plus grande efficacité spectrale. Les réseaux professionnels et de sécurité publique cherchent également à utiliser les technologies les plus efficaces spectralement afin de minimiser leurs coûts relatifs à l'utilisation de la ressource et envisagent également la mutualisation des infrastructures et des fréquences pour plus d'efficacité.

Toutefois, l'amélioration de l'efficacité spectrale des équipements ne suffirait pas à répondre à la hausse de la demande. L'une des réponses des opérateurs mobiles à la forte croissance du trafic de données a consisté à décharger une partie de ce trafic vers les réseaux fixes grâce au Wifi.

Le délestage conjugué à la densification du réseau caractérisera l'architecture des prochaines années. Les réseaux dits macro seront complétés par de nombreuses petites cellules, créant des réseaux dits hétérogènes. En utilisant des fréquences plus hautes permettant des débits plus élevés dans des cellules plus petites, les opérateurs de communications électroniques espèrent pouvoir répondre à la croissance des usages en mobilité.

Ces réponses bien que nécessaires, ne seront, selon les acteurs, vraisemblablement pas suffisantes. D'autres réponses doivent être apportées.

1.4.2 Les réponses structurelles de l'Etat

L'Etat doit pallier la pénurie annoncée de fréquences. L'exigence d'une vision stratégique et prospective doit être présente lors des processus, parfois longs, de régulation.

La première solution consiste à trouver de nouvelles bandes de fréquences pour ces nouveaux usages. Au niveau européen, le RSPP (programme pluriannuel de politique du spectre) a établi un objectif de 1 200 MHz de bandes ouvertes aux services mobiles en 2015. Dans la mesure où n'existe plus aujourd'hui de fréquences disponibles dans les gammes les plus aisément exploitables, il est nécessaire d'opérer des transferts de bandes entre utilisateurs. Les réseaux mobiles se sont créés dans le passé par transfert de fréquences précédemment utilisées par le Ministère de la Défense (2G, 3G, premier dividende numérique) ou l'audiovisuel. A l'heure actuelle, il est notamment question de transférer la bande 700 MHz, de la TNT aux services de communications mobiles.

Toutefois, la difficulté croissante et les coûts induits par ces transferts indiquent qu'il va devenir de plus en plus complexe et onéreux de libérer des bandes de fréquences utiles et déjà occupées. Cette méthode, qui reste efficace, doit être couplée à de nouveaux modes de gestion du spectre.

La deuxième solution consiste, en parallèle à la précédente solution, à partager les bandes de fréquences. L'augmentation de la demande ne se fait pas toujours au détriment d'utilisations qui seraient devenues obsolètes ou qui pourraient migrer vers d'autres bandes de fréquences. Le recours au partage apparaît donc indispensable.

La ressource spectrale est déjà aujourd'hui partiellement partagée entre différents utilisateurs (partage géographique, temporel...). Le Wifi est l'exemple le plus connu du partage de fréquences entre des utilisateurs qui respectent des règles préétablies pour éviter les interférences. Un autre exemple est celui des microphones sans fil et liaisons de retransmission vidéo (généralement appelés PMSE pour *Program making and special events applications*). Ils nécessitent des fréquences attribuées par l'ARCEP, le plus souvent de manière temporaire (reportages, compétitions sportives, défilé du 14 juillet, théâtres...). Sont utilisées, avec l'accord des affectataires, des bandes dont les affectataires principaux sont selon le cas l'ARCEP, le CSA ou la Défense. D'autres exemples de partage concernent les réseaux de sécurité qui sont installés dans des bandes de la Défense.

Pour favoriser l'innovation et assurer la croissance des secteurs liés aux fréquences, il faut aujourd'hui penser le partage de demain tout en accommodant l'existant et en anticipant les besoins des entreprises innovantes. Sans fréquences adaptées, disponibles et harmonisées en France et en Europe, les entreprises nationales ne pourront se développer d'une manière satisfaisante faute d'une assise suffisante sur le marché domestique.

Libérer des bandes de fréquences, comme la bande 700 MHz, participe à cette réponse tout en permettant innovation et croissance. D'autres initiatives doivent également être explorées. Rendre l'usage du spectre plus dynamique et faire évoluer la gestion du spectre en ce sens est également un moyen de stimuler la croissance et de conserver ses atouts dans l'économie numérique.

L'utilisation croissante et innovante des fréquences en partage conduit à repenser leur gestion, d'un point de vue économique (2), technique (3) et juridique (4). Si certains pays ont déjà tenté de traduire sur le terrain ces orientations politiques de partage dynamique (5), la France est en mesure de relever ce défi (6).

La diversification des modèles économiques de gestion du spectre

2 La diversification des modèles économiques de gestion du spectre

Les régimes d'accès au spectre ont évolué parallèlement aux débats économiques sur l'utilisation de cette ressource (2.1), notamment concernant les bandes ouvertes qui ont permis le développement de nouveaux services (2.2). L'innovation et la croissance dans ce secteur nécessitent toutes ces modalités d'accès qui sont complémentaires et l'invention de nouvelles modalités prenant le meilleur de ces deux mondes (2.3).

Il convient de distinguer ce qui relève de l'affectation des bandes de fréquences qui est une procédure administrée le plus souvent au niveau international, et ce qui relève de l'assignation des fréquences qui peut faire l'objet de plusieurs modalités⁵. La typologie proposée dans les développements qui suivent reprend les catégories du débat académique et ne prétend pas correspondre de façon pointilliste à la réalité du terrain.

2.1 Les régimes exclusifs d'accès au spectre

L'attribution dite *command and control* des fréquences radioélectriques conduit à un usage peu efficace du spectre pour la plupart des économistes. Le prix Nobel d'Economie Ronald Coase a été, dès 1959, très critique sur les méthodes de la FCC. Il est la figure emblématique d'un mouvement de contestation, qui s'est largement développé ensuite, des méthodes d'attribution discrétionnaires, arbitraires et pas toujours désintéressées d'attribution des fréquences à des opérateurs privés. Des fréquences acquises dans le cadre de procédures mises en place pour faire de la radio, de la télévision ou des télécommunications ont permis à certains de réaliser des profits considérables à partir d'actifs publics. Devant l'incapacité des pouvoirs publics américains à gérer efficacement l'accès des entreprises au spectre, la mise en place de droits de propriété valorisables et transférables sur le marché a eu la préférence de nombreux économistes. Les procédures d'enchères (depuis 1993 aux Etats-Unis) ont été ainsi le moyen de garantir un usage plus efficace du spectre et de mieux valoriser un bien public.

Le débat qui a jadis opposé les tenants d'une attribution des fréquences par des procédures administratives plutôt que par des mécanismes de marché est assez largement derrière nous, dans le secteur des communications électroniques en particulier dans les pays industrialisés.

Depuis la fin du XX^{ème} siècle, les procédures d'enchères se sont largement diffusées, essentiellement pour les usages de communications mobiles et cohabitent maintenant avec les approches plus qualitatives prenant en principe en considération des dimensions non économiques d'intérêt général telles que la sécurité publique, la recherche, la culture... L'attribution payante de licences exclusives sur une longue période permet à la fois de favoriser la révélation de la valeur économique des fréquences, bien public qui appartient à la collectivité, de favoriser et de sécuriser l'investissement.

⁵ Voir glossaire pour la définition d'affectation et d'assignation.

Certes, la question de l'efficacité des attributions administratives persiste, à la fois pour des raisons d'asymétrie d'information, d'absence d'incitation à un usage efficace du spectre et de risque de capture de l'autorité qui attribue les fréquences. Pour autant, personne n'envisage de laisser au seul marché le soin de décider de toutes les attributions. Si dans la littérature académique certains estiment que le paradigme a évolué du *command and control* à des procédures de marché, cette évolution ne concerne presque uniquement que les communications électroniques et en aucun cas les fréquences utilisées par les administrations pour leurs propres activités.

Les méthodes dites de « *concours de beauté* » qui existent parfois dans l'audiovisuel et dans les communications électroniques sont à certains égards à cheval entre les deux systèmes.

Inciter les administrations à partager les bandes de fréquences qui leur ont été historiquement affectées, ou à les transférer, est au cœur des préoccupations de la gestion du spectre aux Etats-Unis et au Royaume-Uni, afin de favoriser la croissance et l'innovation. Les solutions envisagées vont de la mise en place d'incitations financières pour que les administrations utilisatrices transfèrent leurs fréquences pour d'autres usages, à la mise en place d'une tarification à l'usage qui forcerait à limiter les usages inefficaces.

En tout état de cause, procédures d'attribution administrative et mécanismes de marchés vont continuer à coexister dans les années à venir. Si les modalités d'attribution sont différentes, elles ont en commun de bénéficier d'une forme d'exclusivité, ou à tout le moins de priorité dans l'usage de la ressource. Tel n'est pas le cas de la troisième forme d'accès au spectre dont l'usage a explosé ces dix dernières années. L'utilisation collective, gratuite et ouverte à tous, de certaines bandes à la condition expresse de respecter des règles techniques qui évitent les interférences, constitue un mode d'accès innovant. Toutefois, ce succès mériterait d'être mieux reconnu. En effet, l'attribution payante de licences exclusives sur une longue période est une priorité politique et économique, dont l'intérêt n'est plus à démontrer tant en matière de croissance que de nouveaux services. En revanche, ce n'est pas le cas, dans le débat politique en France, de l'utilisation collective, gratuite et sans licence de bandes de fréquences. Ce régime d'accès a pourtant une valeur certaine.

2.2 La valeur du régime ouvert d'accès au spectre

Si l'importance du Wifi et du spectre ouvert dans la vie quotidienne apparaît comme une évidence partagée, les conditions de ce succès ne bénéficient pas de la même notoriété. Le paragraphe suivant résume quelques-uns des arguments qui justifient l'intérêt économique de ce modèle d'accès aux fréquences et son rôle très significatif dans l'innovation.

Le développement du Wifi reste à ce jour le meilleur exemple des bénéfices apportés par une politique d'ouverture des fréquences.

L'existence de bandes de fréquences partagées et accessibles sans licence présente de nombreux avantages. Perceptibles dans la vie de tous les jours, leur quantification n'est toutefois pas immédiate, comme peuvent l'être la prise en compte des résultats d'enchères ou le chiffre d'affaires et les investissements réalisés à partir de bandes exclusives. Des travaux aux Etats Unis et en Europe commencent à explorer ces nouveaux champs d'analyse et ont déjà mis en évidence plusieurs considérations qui permettent de prendre conscience de la considérable valeur ajoutée apportée par le Wifi, quand il est associé aux services de haut débit fixe comme mobile. Ces évaluations n'épuisent ni le sujet de la valorisation économique et sociale du Wifi, puisqu'il est utilisé dans d'autres cas (liaisons directionnelles sans fil, *hotspot*, drones...), ni celui de tous les autres services s'appuyant sur des bandes partagées sans licence. Mais elles donnent un premier aperçu des ordres de grandeurs concernés.

Une de ces considérations concerne l'amélioration du service haut débit fixe. Non seulement le Wifi apporte de la mobilité à l'ordinateur fixe connecté à l'intérieur du domicile, mais de plus il permet aisément de connecter simultanément plusieurs utilisateurs sur le même abonnement. Ces connexions supplémentaires concernent les ordinateurs mais également les nouveaux terminaux mobiles, *smartphones* ou tablettes, dont la croissance est loin d'être achevée. Aujourd'hui, le Wifi est très présent et très utilisé en France. Il est utilisable par plus de 70% des foyers (Wik pour la Commission européenne, 2013), et d'après une étude récente, les particuliers se connectent davantage à Internet en Wifi chez eux avec leur ordinateur connecté, leur *smartphone* ou leur tablette (CREDOC, 2013).

Du point de vue du consommateur, les services rendus par l'accès au haut débit fixe sont démultipliés et l'usage augmenté. La traduction quantifiée sur le surplus du consommateur est délicate dans la mesure où le plus souvent cette augmentation des usages se fait sans surcoût. Une étude a toutefois estimé l'augmentation du surplus du consommateur au niveau mondial entre 52 et 93 milliards de dollars par an (OCDE, 2013 ; Thanki, 2012). Une seconde quantification évalue la baisse potentielle du taux de pénétration entre 10% et 25% du parc fixe en l'absence de l'ubiquité apportée par le Wifi. Ces différents chiffres mériteraient d'être affinés mais ils indiquent une direction.

Le deuxième axe d'évaluation des effets du Wifi concerne les communications mobiles utilisant des fréquences exclusives. Sans Wifi et donc sans fréquences partagées et ouvertes, entre 150 000 et 450 000 stations de bases supplémentaires auraient été nécessaires aux États-Unis pour supporter le trafic actuel. Le coût évité par les opérateurs mobiles grâce au transfert d'une partie de leur trafic a été estimé à 26 milliards de dollars par an (Cooper, 2012) et pourrait atteindre 250 milliards de dollars d'ici quatre ans (Thanki, 2013). Pour les opérateurs mobiles, les bandes exemptes de licence ont contribué à renforcer la valeur de leur licence exclusive car elles permettent d'avoir plus de clients avec un niveau d'investissement moindre.

L'apport des fréquences accessibles sans licence ne se réduit pas au seul effet du Wifi. De nombreuses auditions ont mis en évidence la nécessité de disposer, pour développer de nouveaux usages, de davantage de spectre ouvert et harmonisé tant dans les bandes basses inférieures à 1 GHz que dans les bandes plus hautes comme le 5 GHz. Le potentiel de l'Internet des objets présenté au chapitre précédent explique que de nouveaux acteurs utilisent ces fréquences pour proposer de nouveaux services. Alors que les caractéristiques techniques des bandes basses permettent de déployer des réseaux à moindre coût, l'intérêt des bandes hautes réside dans la disponibilité de largeurs de bandes suffisantes pour accompagner en mobilité les débits de la fibre optique.

Ainsi, cette troisième forme d'accès au spectre joue un rôle majeur dans le développement des usages et de l'innovation. Du point de vue de l'économie publique, ces bandes peuvent être analysées comme des biens publics.

2.3 Des régimes d'accès complémentaires voués à l'hybridation

Ces dix dernières années, face à l'émergence de nouvelles technologies d'accès dynamique au spectre, à la congestion de certaines bandes de fréquences ouvertes (2,4 GHz) et à la sous-utilisation de certaines bandes sous licences, un débat a opposé frontalement les tenants d'un spectre ouvert à ceux d'un régime exclusif basé sur des droits de propriété. Avec le succès incontestable des bandes ouvertes et le poids économique considérable des opérateurs de réseaux, les uns comme les autres semblent considérer aujourd'hui que les deux modèles sont appelés à cohabiter. Il est toutefois intéressant de revenir sur les argumentaires.

Plusieurs arguments sont avancés en faveur d'un spectre plus ouvert.

Premièrement, pour certains tenants d'un spectre partagé sans licence, le modèle administratif de gestion du spectre a été créé à une période où il n'y avait pas d'intelligence dans les récepteurs, et les évolutions rapides de la technique rendent possible aujourd'hui une certaine flexibilité dans l'utilisation du spectre.

Deuxièmement, il s'avère que certains modèles d'affaires n'ont pas besoin du même type ni de la même qualité de service que celle proposée par les titulaires de fréquences exclusives rendant ainsi un modèle *best effort* suffisant. En effet, aujourd'hui certains marchés et services (Internet des objets, liaisons point-à-point...) cherchent à bénéficier d'un accès au spectre rapide et peu cher, sans nécessiter de grands volumes de transmission ni une qualité garantie. De nombreuses auditions ont mis en évidence la nécessité de disposer, pour développer de nouveaux usages, de davantage de spectre ouvert et harmonisé tant dans les bandes basses inférieures à 1 GHz que dans les bandes plus hautes comme le 5 GHz. De nouveaux acteurs tels que les villes, les sociétés de transports, les sociétés actives dans le domaine de l'énergie ou de la santé, utilisent ces fréquences pour proposer de nouveaux services gratuits ou payants.

Les partisans du spectre exclusif considèrent qu'il s'agit du meilleur moyen pour déployer des infrastructures qui couvrent l'ensemble du territoire avec une bonne qualité de service. De plus ces infrastructures permettent le développement de services innovants, comme par exemple les écosystèmes d'applications tirés par la croissance de la 3G et aujourd'hui de la 4G. Ce qui ne les empêche pas de proposer à leurs clients de compléter l'accès au réseau mobile par l'accès aux services Wifi.

A côté de la complémentarité entre un modèle ouvert et un modèle exclusif, une autre forme de complémentarité liée à l'innovation peut être mise en évidence. Les bandes sans licence permettent à de jeunes entreprises innovantes de développer, tester et mettre rapidement et à moindre coût sur le marché, de nouveaux produits et services. En revanche, l'utilisation payante de licences exclusives constitue une barrière à l'entrée pour ces entreprises. La complémentarité vient ainsi du fait qu'une entreprise peut commencer son activité en se fondant sur des fréquences ouvertes avant de migrer sur des licences exclusives.

A titre d'exemple, la société Eblink, active dans le domaine du *fronthaul* sans fil a développé ses produits sur les fréquences 2,4 GHz et 5,8 GHz afin de pouvoir construire rapidement et à moindre coût des équipements mais n'exclut pas la possibilité de recourir à des bandes exclusives.

Aujourd'hui, il ne s'agit pas de remettre en cause ni le modèle de licence exclusive ni celui de l'accès à des bandes ne nécessitant pas de licence, et pas plus le modèle d'attribution administrée. Pour autant, la nécessité d'améliorer l'utilisation du spectre et les progrès technologiques permettant d'opérer un partage dynamique du spectre en fonction de l'utilisation effective (voir le chapitre suivant) va conduire à rechercher des régimes hybridés d'accès.

Les régimes d'accès fondés sur le *light licensing* ou le concept de l'Union de *Spectrum Shared Access Rights* (SSAR) font figure de compromis entre les régimes traditionnels, en alliant la facilité et le dynamisme d'accès des bandes ouvertes à la qualité de service des bandes exclusives. Rendus possibles par les avancées techniques, les régimes d'accès, évoqués plus loin, tels le LSA (*Licensed shared access*) ou l'utilisation des espaces blancs de la télévision sont précurseurs de ces nouvelles formes d'accès partagé.

Les nouvelles techniques d'usage dynamique du spectre

3 Les nouvelles techniques d'usage dynamique du spectre⁶

Aujourd'hui, les technologies disponibles et matures couplées à un spectre partiellement sous-utilisé (3.1) permettent déjà de faire un premier pas vers une gestion plus dynamique du spectre (3.2), avant d'expérimenter une réelle radio cognitive (3.3) sur laquelle sont en partie basés de nouveaux régimes d'accès (3.4). L'ambition n'est encore une fois pas d'entrer dans les détails et les débats techniques mais d'esquisser un panorama des technologies à ce jour accessibles ou envisagées.

3.1 Une technologie en mutation pour un spectre partiellement sous-utilisé

La puissance de calcul et les algorithmes associés, couplés à l'électronique devraient permettre ce qui n'était pas encore possible hier : une radio intelligente, définie par logiciel, rapidement et facilement reconfigurable et réduisant les brouillages entre utilisateurs.

L'idée du partage d'une même fréquence entre plusieurs utilisateurs, fortement ancrée dans les principes d'utilisation collective du spectre, a été confortée par la mesure des taux d'utilisation du spectre dans plusieurs grandes villes. Un exercice similaire a été réalisé par les agents de l'Anfr (cf. annexe 8). Il a montré l'absence de signaux détectables par le dispositif de mesure dans certaines bandes. La notion de taux d'utilisation a pourtant ses limites : une partie du spectre peut être très utilisée sans pour autant qu'on puisse en détecter l'usage par un dispositif de mesure simple : services passifs (radioastronomie, exploration de la terre), signaux très faibles (service fixe par satellite, GPS, équipements de faible puissance). Cependant, l'analyse de ces mesures et la connaissance fine de l'utilisation de ces bandes permet de confirmer que certaines d'entre elles pourraient être partagées avec de nouveaux utilisateurs.

Le partage de spectre serait également plus communément admis dans le futur dans la mesure où les réseaux avec interférence seront plus acceptés pour certains usages. En effet, la notion de qualité de service peut être moins stricte pour la consommation des données que pour la voix. L'*offload* Wifi, qui fait passer la communication du consommateur d'une logique opérée de qualité de service à un monde de *best effort*, pourrait être généralisée dans des réseaux plus hétérogènes, plus partagés, offrant des niveaux de service différents.

3.2 Les prémices d'une radio plus intelligente

Différentes technologies permettent de tendre à terme vers une radio de plus en plus intelligente.

Le partage entre appareils de faible portée et utilisateurs primaires du spectre (par exemple, les équipements ultra large bande ou UWB) constitue déjà les prémices d'une radio intelligente.

L'utilisation d'une même technologie sur des bandes disjointes sera une première étape vers une radio plus intelligente. L'agrégation de porteuse dans le cadre du LTE est un pas vers cet objectif. En effet, la possibilité de communiquer avec un terminal simultanément sur plusieurs bandes de fréquences non adjacentes, afin de créer artificiellement une bande large et donc un débit important, demande déjà beaucoup d'intelligence dans le réseau et les terminaux.

⁶ Cette synthèse s'appuie notamment sur une note détaillée de Mérouane Debbah (cf. annexe 11)

La gestion des débits asymétriques avec l'utilisation conjointe de bandes « traditionnelles » et de bandes de fréquences SDL (*supplemental downlink*), dédiées uniquement au téléchargement de contenu et l'utilisation du FDD ou du TDD sur différentes bandes participent également aux prémices d'une radio plus intelligente.

L'utilisation de plusieurs technologies sur plusieurs bandes sans licence participera de même à cette dynamique. Le développement des petites cellules mêlant LTE et Wifi pour une densification des réseaux va dans ce sens.

La gestion de plusieurs technologies sur plusieurs bandes serait la dernière étape de la radio cognitive.

3.3 Le futur de la radio cognitive

La radio cognitive permettrait à terme un partage réellement dynamique associé à une qualité de service. Terme défini par Joseph Mitola dès 1995, le concept a été soutenu au départ par la Défense américaine. Récemment, l'impulsion des groupes informatiques a été décisive dans la convergence du monde radio et de l'informatique logicielle. Selon le RSPG (*Radio Spectrum Policy Group*, groupe des régulateurs européens qui conseille la Commission en matière de spectre), la radio cognitive est la réunion de techniques permettant une connaissance accrue de l'environnement radio (3.3.1) et de la radio logicielle (3.3.2).

3.3.1 La connaissance de l'environnement radio

La connaissance de l'environnement radio peut reposer sur deux techniques (alternativement ou cumulativement) : le *sensing*, d'une part, et les bases de données géolocalisées, d'autre part. Le *sensing* consiste à observer un signal radioélectrique dans une zone donnée pour en déduire la présence d'un utilisateur existant, cette technique est utilisée par le Wifi dans la bande 5 GHz où les radars météo sont utilisateurs primaires. Les bases de données de fréquences disponibles permettent quant à elles de disposer d'une vision de l'ensemble de l'usage du spectre. Cette dernière technique, plus fiable et plus aisée à mettre en place aujourd'hui, est testée dans plusieurs pays.

3.3.2 La radio logicielle

La capacité des réseaux et des terminaux à ajuster les paramètres de transmission de manière dynamique est possible tout d'abord grâce à l'agilité en fréquence des émetteurs et des récepteurs, qui peuvent alors se déplacer et transmettre de façon dynamique sur les bandes non occupées par un utilisateur existant. La radio logicielle avec des circuits radio dynamiquement configurables et des systèmes de télécommunications pouvant être mis à jour par des changements logiciels sera l'ultime révolution technologique.

La radio cognitive, réunion de la connaissance de l'environnement radio et de la radio logicielle, est une technologie clé de la future 5G en cours de discussion. Celle-ci devrait être conçue d'ici 2017-2018 et déployée en 2020.

3.4 Les nouveaux régimes d'accès rendus possibles à terme

Aujourd'hui ces techniques constituent une première génération de radio cognitive et ont vocation à être utilisées dans les nouvelles solutions de partage techniques et réglementaires tels le LSA, les espaces blancs de la télévision et d'une manière générale dans le cadre du *light licensing*.

L'approche LSA vise à mettre en place un cadre de partage pérenne entre des utilisateurs existants et de nouveaux utilisateurs opérant sous régime de licence individuelle. Elle prévoit des mécanismes de partage dynamique avancés à l'aide d'une base de données géolocalisée. Ce modèle préconisé initialement par les équipementiers et limité au spectre affecté aux administrations (ministère de la Défense notamment) a été repris et élargi par le RSPG et la CEPT à tout spectre sous-utilisé (voir le chapitre suivant).

En Europe, la bande qui semble se prêter le plus rapidement à l'expérimentation de ces nouvelles technologies et de ce nouveau régime d'accès est la bande 2,3-2,4 GHz aujourd'hui utilisée par le ministère de la Défense pour des usages de télémétrie et attribuée par l'Union Internationale des Télécommunications (UIT) à des usages de communications mobiles.

Le principe de l'utilisation des espaces blancs de la télévision constitue en premier lieu un partage entre la télévision (service primaire de la radiodiffusion) et des utilisateurs sans licence. L'utilisation de bases de données géolocalisées est considérée comme la solution la plus pertinente dans ces espaces entre 470 et 694 MHz non utilisés par la diffusion hertzienne. Dans la majorité des cas, une même fréquence ne peut pas être utilisée dans deux zones de couverture adjacentes de la télévision, créant ainsi des espaces blancs. Les espaces blancs pourraient, par exemple, être utilisés pour répondre à certains besoins de *backhauling* qui ne peuvent être satisfaits par les moyens traditionnels ou bien pour les objets connectés.

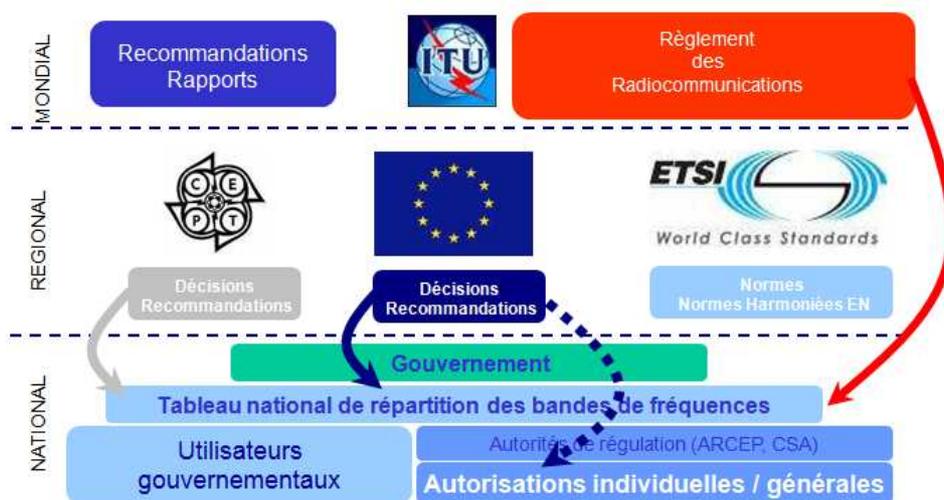
Les aspects juridiques du partage dynamique du spectre

4 Les aspects juridiques du partage dynamique du spectre

Le partage est présent dans tous les modèles d'accès. Il est également rendu possible par tous les échelons du cadre réglementaire appliqué à cette ressource, que ce soit au niveau international (4.1), européen et de l'Union (4.2) et même français (4.3).

4.1 Le cadre international

Figure 1 : Le cadre réglementaire



Source : ANFR

Le spectre est une ressource rare et limitée. Le cadre international reflète cette exigence de gestion collective d'une ressource mondiale commune. L'UIT, organisation de l'ONU, a pour mission notamment d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable et économique des fréquences par tous les services de radiocommunication, ainsi que des positions orbitales.

Les membres de l'UIT s'accordent tous les trois ou quatre ans lors de Conférences mondiales des radiocommunications sur une révision du Règlement des Radiocommunications (RR). Il s'agit d'un traité international qui régit l'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques. Il ménage une certaine liberté aux Etats dans le choix des services pouvant être exploités dans une bande de fréquences donnée, dans un double objectif d'accès équitable au spectre et de protection contre les brouillages provoqués par les pays voisins.

Le RR attribue les bandes de fréquences à des services selon les trois zones géographiques, suivant les exigences d'efficacité spectrale et de non brouillage entre Etats-membres. Les attributions de bandes de fréquences évoluent à chaque Conférence et cherchent à répondre aux besoins de la société en rendant possible l'introduction de nouvelles techniques et de nouvelles technologies.

Les administrations des Etats-membres doivent se conformer au RR lorsqu'elles assignent des fréquences aux stations qui peuvent causer des brouillages préjudiciables aux services assurés par les stations des autres pays. Elles peuvent déroger au RR sous réserve que la station ne cause aucun brouillage frontalier et qu'elle ne demande pas de protection.

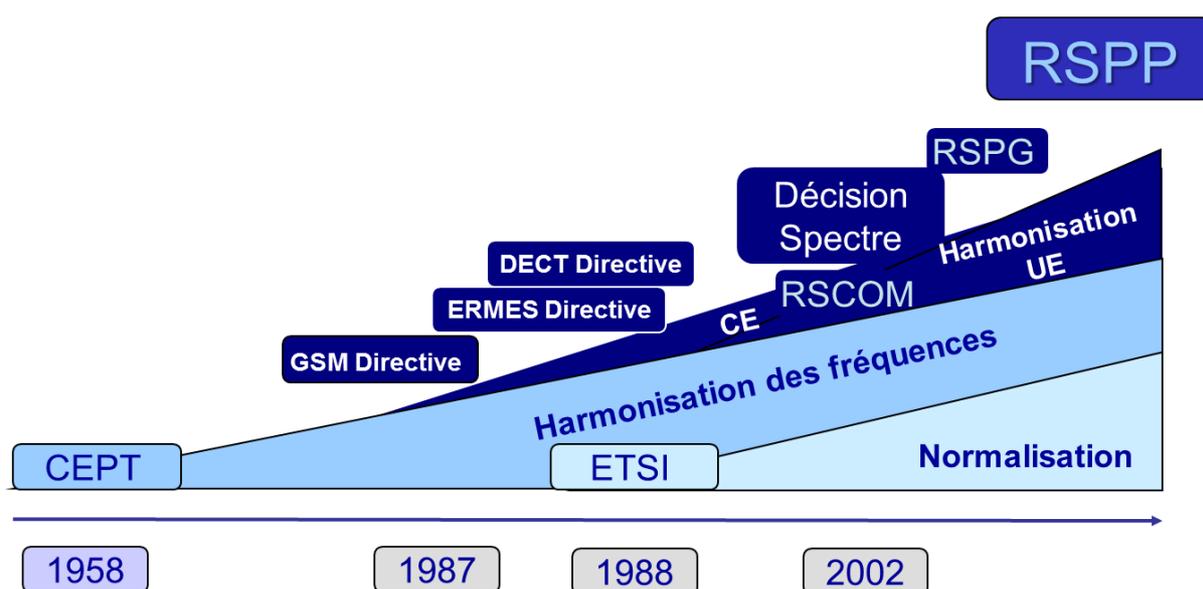
Le RR est donc par essence un traité régissant le partage entre régions du monde et permettant le partage par plusieurs services, de manière conforme au RR ou dérogatoire, d'une même bande de fréquences.

4.2 Le cadre européen

Alors que le cadre international repose sur l'exigence de non brouillage causé par les installations d'un pays avec un autre pays, le cadre européen est sous tendu par une logique d'harmonisation. Celle-ci a été initialement effectuée par la Conférence européenne des postes et télécommunications (CEPT) créée en 1958. Elle conduit les études techniques et adopte le tableau européen des fréquences. Elle est assistée dans ses travaux par l'ECC (*Electronic Communications Committee*), comité de la CEPT qui définit en particulier les conditions harmonisées d'utilisation des fréquences en Europe sur la base des allocations du Règlement des Radiocommunications.

A partir des années 1990, les différentes parties prenantes, administrations, opérateurs et industriels ont également créé l'Institut européen de normalisation des télécommunications (ETSI), qui produit les normes permettant d'assurer notamment la conformité avec la Directive R&TTE régissant la mise sur le marché commun des transmetteurs radio électriques.

Figure 2 : L'environnement européen et la montée en puissance de l'échelon communautaire



Source : ANFR

A l'harmonisation des fréquences menées par les Etats au sein de la CEPT et la normalisation au sein de l'ETSI, s'est adjoint au niveau de l'Union un nouvel échelon d'harmonisation à partir de 1987 et la Directive GSM. Alors que la CEPT peut simplement inciter les Etats à l'harmonisation, l'échelon de l'Union a une portée normative. Cet échelon est depuis monté en puissance, avec les directives DECT, ERMES, mais surtout à partir de 2002 avec la décision Spectre. Celle-ci a notamment permis à la Commission de confier des mandats à la CEPT. Ces dernières années, la Commission a confié de nombreux mandats à la CEPT pour définir les conditions de partage du spectre. Les principaux figurent en annexe 7 au présent rapport.

Au niveau de l'Union, les initiatives politiques sur le partage de spectre s'inscrivent alors dans le prolongement de la directive Spectre. Depuis, la Commission est assistée par le RSPG (*Radio Spectrum Policy Group*) sur les questions de politique du spectre, de coordination et de conditions d'harmonisation. Créé par la décision 2002/622/EC, le RSPG a publié, en 2008, un rapport sur l'utilisation collective du spectre (RSPG08-244). Des travaux sur la radio cognitive et le partage de spectre ont été initiés en 2009 par une directive du Parlement et du Conseil (2009/140/EC) et suivis par un rapport du RSPG en 2010 (RSPG10-306). En 2011, le RSPG a publié un rapport rapprochant enfin utilisation collective du spectre et partage. Sur un plan technique, l'ECC a publié dès 2008 un rapport sur l'ultra wide band (UWB) et un rapport technique sur l'utilisation des espaces blancs de la télévision en 2010 (ECC 159).

Ces travaux ont été accélérés par le Programme pluriannuel de politique du spectre (RSPG ou *Radio Spectrum Policy Program*) de 2012 qui enjoint les Etats membres de rendre disponible 1 200 MHz de spectre pour le très haut débit mobile. A la suite de ce plan pluriannuel, la Commission a rendu publique une communication visant à promouvoir un accès partagé au spectre. Le RSPG a publié en 2013 une opinion sur le *Licensed Shared Access* (LSA) ainsi qu'une opinion sur les défis stratégiques auxquels est confrontée l'Europe dans sa réponse à la demande croissante de spectre pour le haut débit. Dans cette opinion, le RSPG souligne l'importance de l'accès partagé au spectre selon différentes modalités, notamment un accès sans licence au spectre.

Les opinions du RSPG et les communications de la Commission n'ont pas de valeur juridique contraignante pour les Etats membres. En revanche, le RSPG est une décision ayant une portée normative. Il prévoit que les Etats membres coopèrent avec la Commission et favorisent le cas échéant l'utilisation collective et l'utilisation partagée du spectre, en encourageant l'utilisation de technologies existantes ou nouvelles comme la radio cognitive, y compris les espaces blancs de la télévision. Cette coopération portera également sur l'utilisation partagée et sans licence du spectre pour fournir une base à des réseaux sans fils hétérogènes. Enfin, les Etats membres doivent établir un inventaire du spectre, notamment pour identifier les bandes de fréquences qui pourraient se prêter à des possibilités de partage du spectre, tout en tenant compte de l'existant.

4.3 Le cadre français⁷

En France, les fréquences radioélectriques appartiennent au domaine public de l'Etat comme le prévoit la loi du 26 juillet 1996 de réglementation des télécommunications. La qualification de domaine public du spectre permet l'application aux fréquences des principes d'inaliénabilité et d'imprescriptibilité, ainsi que la perception de redevances pour occupation du domaine public en plus de la subordination de son utilisation à une autorisation administrative.

Dans un premier temps, l'accès au domaine public hertzien est arrêté par le Premier ministre qui attribue les bandes de fréquences qui s'étendent de 9 kHz à 275 GHz. Cet arrêté porte le nom de tableau national de répartition des bandes de fréquences ou TNRBF. L'influence du RR explique le rôle central de l'Etat et du Premier ministre qui dispose de l'administration, seul organe à même d'autoriser les stations des services auxquels le RR attribue des bandes.

⁷ Cette synthèse s'appuie sur une note détaillée de Thomas Pez. Cette note figure en annexe 10.

Dans un second temps, les fréquences font l'objet d'une autorisation accordée pour leur utilisation à des utilisateurs, c'est la phase de l'assignation des fréquences. Les onze affectataires autorisent les utilisations de fréquences pour les services de radiocommunications qui les concernent : les neuf administrations pour leurs propres usages et les deux autorités indépendantes pour les fréquences de la radiodiffusion (CSA) et des réseaux de communications électroniques (ARCEP).

L'accès aux fréquences des affectataires est conditionné par les missions qui leur sont confiées. Cependant, le partage existe déjà à ce niveau puisque certaines administrations mettent à disposition leurs fréquences pour des usages de tiers. Le Ministère de la Défense, le plus important utilisateur avec plus d'un tiers du spectre après négociations a accepté des accords de « mises à disposition » de ses fréquences, avec des « notes de bas de page » dans le TNRBF.

Les autorités indépendantes confèrent le droit d'utilisation des fréquences aux exploitants des installations privées (opérateurs de communications électroniques, opérateurs de multiplex) sous la forme d'autorisations individuelles. En contrepartie de l'utilisation du domaine public, ces exploitants versent une redevance d'utilisation des fréquences ou se soumettent au respect de certaines conditions et/ou obligations.

Le partage de fréquences est déjà possible en droit français. Soit dans le cadre d'une occupation privative du domaine public hertzien par plusieurs titulaires d'autorisations, soit dans le cadre d'une utilisation qu'il est possible de qualifier de collective de ce domaine public par l'ensemble des usagers sans autorisation.

Le mécanisme d'autorisations individuelles permet déjà des formes de partage dans certaines bandes. C'est le cas par exemple des liaisons vidéo dans certaines bandes affectées à la Défense.

Le mécanisme de l'« autorisation générale » peut correspondre à l'occupation collective du domaine public hertzien. Le droit de l'Union est le seul qui définit l'autorisation générale dans la directive 2002/20/CE dite « Autorisation ». Le droit français, contrairement à la pratique, n'emploie pas l'expression d'« autorisation générale » mais préfère parler des cas dans lesquels l'utilisation des fréquences n'est pas soumise à une autorisation administrative. L'utilisation des fréquences est alors libre sous réserve du respect des conditions techniques et réglementaires fixées par décision de l'ARCEP et soumises à homologation par arrêté du ministre chargé des communications électroniques. L'utilisation des fréquences concernées n'est alors ni soumise à autorisation individuelle ni au paiement d'une redevance, elle ne bénéficie en revanche pas de protection contre les brouillages préjudiciables, si les équipements en cause respectent les limites fixées pour les conditions techniques.

Ce mécanisme permet le partage de certaines bandes par plusieurs utilisateurs comme c'est le cas pour le Wifi. Les bandes 2 400-2 483,5 MHz et de larges sous bandes dans la bande 5 GHz peuvent être utilisées sans autorisation sous réserve du respect des conditions d'utilisation.

Aujourd'hui, les réflexions européennes s'articulent autour d'une idée de régime supplémentaire : le *light licensing* qui prévoit une utilisation collective avec ou sans autorisation. Une telle proposition n'est pas incompatible avec le droit français de la domanialité publique hertzienne. L'autorisation individuelle n'est pas antagonique de l'autorisation collective. Une même autorisation administrative peut conférer des droits à plusieurs destinataires en même temps. Des autorisations de fréquences attribuées à plusieurs titulaires et qui détermineraient les conditions du partage du spectre entre ces différents co-titulaires sont concevables en droit français. Ces différentes modalités permettent d'envisager une utilisation du domaine public hertzien qui ferait apparaître une échelle de la protection des utilisateurs de fréquences.

Le cadre légal français s'accommode alors du partage dynamique de spectre, que ce soit à travers des autorisations individuelles qui peuvent être collectives, ou bien en ne soumettant pas certaines fréquences à une autorisation.

Le partage est donc présent et rien ne s'oppose au développement du partage dynamique.

Les exemples américain et britannique en matière de partage dynamique

5 Les exemples américain et britannique en matière de partage dynamique

Les approches internationales en matière de partage du spectre plus dynamique traduisent la prise en compte grandissante du sujet dans le monde. A ce titre, les Etats-Unis, conscients du levier de croissance que représente un accès rapide et simplifié aux fréquences, entendent apparaître comme leader en matière de stratégie de partage dynamique (5.1).

La situation européenne est paradoxale. D'un côté la Commission, le Parlement et les organismes européens en charge de ces sujets (voir le 4.2) ont également fait des propositions ambitieuses visant à promouvoir le partage dynamique du spectre avec un double objectif : augmenter un peu plus l'offre de spectre disponible et rendre l'accès à celui-ci plus simple. Pour autant, seuls les Britanniques ont explicité une véritable stratégie en ce sens (5.2).

5.1 Les Etats-Unis, précurseurs du partage dynamique

Les Etats-Unis se placent en *leader* stratégique et technologique sur les questions de partage dynamique du spectre. Sous l'impulsion de la Maison Blanche (5.1.1) et dans le cadre d'un consensus politique peu fréquent ces dernières années, les régulateurs (5.1.2) s'investissent activement dans le développement du partage dynamique des fréquences (5.1.3).

5.1.1 Une gouvernance stratégique au niveau de la Maison Blanche

Deux rapports économiques de la Maison Blanche ont souligné l'importance du spectre pour la croissance et l'innovation⁸. Le président Obama a rendu public un memorandum en 2010 sur l'avènement d'une révolution haut débit mobile où il appelait de ses vœux la libération de 500 MHz de spectre supplémentaire pour cette utilisation. Cette première phase sous-tendue par la nécessité de libérer de nouvelles fréquences pour un usage exclusif a été traduite par le *Spectrum Act* de 2012 et les enchères incitatives sur la bande UHF⁹.

Dans un deuxième temps, le constat a été fait qu'il devenait de plus en plus coûteux et de plus en plus difficile de déplacer les utilisateurs fédéraux, et donc de dégager des bandes larges de fréquences. Le PCAST, cellule des conseillers du président sur les sciences et les technologies, s'est penché sur le sujet du partage dynamique¹⁰. En juillet 2012, le PCAST, notamment sur les questions de spectre public, a recommandé au président d'entamer une transition vers une nouvelle gestion du spectre : l'objectif de spectre à libérer passerait de 500 MHz à 1 000 MHz et le partage dynamique devrait être la norme au lieu de l'exception. Cette réflexion s'est traduite par le *memorandum* de 2013 du président Obama, feuille de route opérationnelle du partage dynamique, et par les travaux en cours dans la bande 3,5 GHz.

⁸ http://www.whitehouse.gov/assets/documents/SEPT_20_Innovation_Whitepaper_FINAL.pdf
<http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/uploads/InnovationStrategy.pdf>

⁹ Les enchères incitatives se composent de deux enchères : une enchère à l'envers (les propriétaires de stations de télévisions indiquent un prix auquel ils acceptent de libérer les fréquences) et une enchère classique (les opérateurs mobiles achètent la plage de fréquences contiguë en haut du spectre libéré).

¹⁰ Parmi les conseillers qui sont pour la plupart d'éminents scientifiques, on note aussi la présence du directeur général de Google et le responsable de la R&D et la stratégie de Microsoft.

Cette gouvernance stratégique des fréquences est nouvelle et s'explique par plusieurs facteurs. Les premiers sont consensuels et concernent la nécessité de faire face à la future pénurie de fréquences, la sous-utilisation de certaines fréquences allouées, ainsi que l'intérêt économique du numérique. Mais il ne faut pas occulter, en particulier chez les démocrates, la situation concurrentielle américaine. Le marché mobile 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. Sur le fixe, des milliers de fournisseurs d'accès locaux, les câblo-opérateurs et les opérateurs de télécommunications se partagent le marché. Cependant, les deux plus gros acteurs du câble (52% des parts de marché cumulées de l'accès internet haut débit) avec les deux plus gros opérateurs de télécommunications (Verizon et AT&T) totalisent les deux tiers des abonnements au haut débit fixe.

Le spectre sans licence constitue alors 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. Le spectre sans licence et le partage dynamique, soutenus par le PCAST, sont alors des outils potentiels de diversification de l'accès à Internet, ce qui explique aussi en partie l'importance des questions liées au spectre aux Etats-Unis.

5.1.2 La gestion opérationnelle des fréquences

Aux Etats-Unis, les fréquences sont gérées par la NTIA (*National Telecommunications and Information Administration*) et la FCC (*Federal Communications Commission*). La première est en charge de la coordination des utilisations gouvernementales du spectre comme la Défense, alors que la seconde gère les fréquences affectées aux communications électroniques et audiovisuelles dont elle est le régulateur. Cette gestion est toutefois suivie de près par le Congrès.

Le Congrès peut ainsi intervenir dans la gestion des enchères de la FCC en lui demandant de libérer certaines fréquences et/ou d'en soumettre aux enchères. Cependant, en l'absence de loi, la FCC peut décider seule de l'avenir d'une bande de fréquence. Concernant le partage dynamique, il convient de noter que la Défense, la FCC et la NTIA présentent chaque mois l'avancée des chantiers en cours au Comité sur l'Energie et le Commerce de la Chambre des Représentants.

5.1.3 Une gestion des fréquences en mutation

Alors que le partage dans les espaces blancs de la télévision faisait figure de pionnier en la matière (5.1.3.1), il apparaît aujourd'hui que l'attention des acteurs est tournée vers le partage dynamique entre des utilisateurs sous licence et sans licence dans de nouvelles bandes (5.1.3.2).

5.1.3.1 Un système en avance en matière d'expérimentation sur les espaces blancs

Dès 2008, des mesures réglementaires visant à simplifier l'accès au spectre ont été prises, avec l'objectif d'une utilisation plus efficace de la ressource. Une des premières impulsions est venue de la FCC qui a décidé d'ouvrir les espaces blancs de la télévision pour une utilisation sans licence. L'idée a été poussée par les acteurs de l'Internet afin de proposer des services de haut débit en zones rurales.

En 2010, la FCC a défini les règles permettant aux appareils d'exploiter les espaces blancs de la télévision. En 2012, la FCC y a accordé deux licences expérimentales en attendant les résultats de la vente aux enchères incitatives récemment repoussé en 2015. Les enchères incitatives doivent pousser les diffuseurs de la télévision à rendre du spectre contre une rémunération indirecte versée par les opérateurs mobiles, ce qui concentrera leur utilisation des bandes de fréquences restantes et donc automatiquement modifiera et réduira l'amplitude des espaces blancs disponibles.

Aujourd'hui, certains usages commerciaux existent sur ces espaces blancs mais l'explosion industrielle que les plus grands annonçaient n'est toujours pas une réalité. Différentes hypothèses ont été formulées pour expliquer ce retard ou cet échec : enchères incitatives retardées, absence de normalisation, manque d'appétence des constructeurs et équipementiers... Dans tous les cas, l'exploration des scénarios de partage des espaces blancs de la télévision a été l'occasion pour les acteurs, privés et publics, d'expérimenter les technologies de partage dynamique du spectre, notamment l'utilisation des bases de données. Depuis, quatre bases de données ont été approuvées par la FCC. Cependant le modèle d'affaire de ces bases de données n'existe pas à ce jour, pas plus que les grands équipementiers américains n'ont encore développé un écosystème avec en particulier des puces adaptées et peu coûteuses pour équiper les terminaux.

5.1.3.2 Le partage dynamique entre utilisateurs sous licence et sans licence

Aujourd'hui, l'initiative de partage dynamique sur le devant de la scène est celle de la bande 3,5 GHz. Cette bande utilisée par les radars maritimes de la Défense américaine devrait faire l'objet d'un partage dynamique entre la Défense, des opérateurs sous licences et des utilisateurs sans licence. Pour l'instant, les modalités de partage dynamique envisagées sont plus complexes et plus ambitieuses que celles envisagées en Europe avec le LSA. Afin de préserver les radars des interférences et de rendre utilisable la plupart des fréquences restantes, il a été décidé d'ouvrir la bande à des petites cellules et des appareils de faible puissance gérés par des bases de données.

Tom Wheeler, le nouveau président de la FCC, a rappelé l'importance économique et sociale du spectre sans licence, les avantages liés au Wifi notamment. Il a confirmé que la libération de spectre ouvert dans la bande des 5 GHz, afin de dédier presque 100 MHz supplémentaires au Wifi, était une priorité de la FCC.

Alors que par le passé, seules les bandes non entièrement libérables étaient abandonnées au sans licence, aujourd'hui le régulateur américain, soutenu par les démocrates, se pose la question d'allouer des fréquences complètement libres à une utilisation sans licence. Certains souhaiteraient, après les enchères et la réorganisation de la bande UHF, que les bandes de gardes, éventuellement élargies, de la bande 600 MHz puissent être utilisées sans licence. Ces nouvelles bandes sans licence ne seront acceptables par le Congrès que si le produit des enchères de la bande UHF est suffisant pour couvrir toutes les dépenses gagées dans la loi de 2012.

Que ce soit en matière d'espaces blancs de la télévision ou concernant la prochaine utilisation partagée de la bande 3,5 GHz, la FCC réunit régulièrement les acteurs lors de *workshop* techniques. Il convient aussi de noter qu'aujourd'hui tous les acteurs, qu'ils soient fédéraux ou commerciaux, parlent de partage dynamique et ont surmonté, au moins en apparence, leurs réticences passées. L'attitude volontariste de l'exécutif, des parlementaires globalement sur la même ligne malgré des différences et des régulateurs a permis d'atteindre un consensus partagé par tous les acteurs sur la nécessité d'organiser aujourd'hui une utilisation plus partagée du spectre.

5.2 Le Royaume-Uni, *leader* européen du partage dynamique

Assez largement en ligne avec les travaux européens l'Ofcom est un régulateur très actif en termes de partage dynamique du spectre (5.2.1), surtout en ce qui concerne l'utilisation des espaces blancs de la télévision (5.2.2).

5.2.1 La gestion du spectre au Royaume-Uni

Le spectre hertzien ne fait pas partie, comme en France, du domaine public britannique. L'Ofcom est le régulateur du spectre affecté à des usages privés au Royaume-Uni. Le transfert du spectre public au secteur privé est du ressort de l'UK SSC (*Spectrum Strategy Committee*) qui donne notamment mandat à l'Ofcom dans les instances internationales.

Le rôle politique et stratégique joué par le Département de la Culture, des Médias et du Sport (*Department for Culture, Media and Sport* ou DCMS) est à souligner. Equivalent d'un ministère en France, il définit la stratégie de long terme du spectre. Dans un document récent¹¹, il décrit la manière dont le Royaume-Uni répondra aux demandes croissantes de spectre, du secteur public comme du secteur privé, dans la prochaine décennie et comment les fréquences contribueront à l'économie du pays en 2025. Ce document fait suite au rapport de 2011 dans lequel le DCMS appelait à libérer 500 MHz de spectre d'ici 2020 pour favoriser la croissance économique¹².

La préparation de la politique et la gestion des fréquences relève dans les faits en grande partie de la compétence de l'Ofcom dont les agents possèdent l'expertise et représentent le gouvernement britannique dans les instances européennes et internationales.

L'Ofcom gère le tableau national des fréquences et les fréquences attribuées à certains ministères (par exemple, celui de l'Intérieur). Le ministère de la défense et l'aviation civile gèrent leur propre spectre. Les fréquences pour les PMSE et celles utilisées dans le secteur de l'énergie sont gérées par des entités indépendantes de l'Ofcom. La BBC est aussi responsable de ses propres fréquences.

5.2.2 L'action de l'Ofcom en faveur du partage dynamique du spectre

Les premières réflexions de l'Ofcom sur les problématiques d'espaces blancs et de partage dynamique du spectre datent de 2009 avec l'impulsion américaine. L'intérêt pour ces problématiques s'est intensifié en 2011 compte tenu de la hausse de la demande de spectre, de la multiplication des services et de l'amélioration de la technologie. La stratégie de l'Ofcom consiste à envisager toutes les solutions permettant un usage plus efficace du spectre. En un peu plus d'un an une vingtaine de consultations publiques ont été lancées par l'Ofcom.

¹¹https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287994/UK_Spectrum_Strategy_FINAL.pdf

¹²https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/77429/Spectrum_Release.pdf

Dans sa récente consultation d'octobre 2013 sur sa nouvelle stratégie en matière de gestion du spectre, l'Ofcom établit une revue du spectre service par service. Cette consultation permet alors de disposer, dans un même document, de l'ensemble des politiques de l'Ofcom en matière de spectre et en rappelle les grands axes :

- Favoriser une meilleure efficacité spectrale ;
- Améliorer des récepteurs ;
- Favoriser la densification à travers le déploiement de *small cells* ;
- Réaffecter dans la mesure du possible du spectre vers les utilisations dont la valeur économique est la plus élevée ;
- Partager le spectre, y compris en utilisant les espaces blancs ;
- Favoriser la migration vers des bandes de fréquences les plus élevées.

Outre les espaces blancs de la télévision dont il est souvent question, l'Ofcom étudie d'autres opportunités de partage. Ainsi, des discussions avec les utilisateurs gouvernementaux ont été lancées. Elles concernent la bande 3,4 GHz (*Ministry of Defense* ou MoD) qui est déjà disponible en France (bande ARCEP), la bande 2,3 GHz (MoD) qui est aussi à l'étude en France, et la bande 2,7-2,9 GHz (Aviation civile, *MetOffice*) pour laquelle l'idée serait de concentrer les radars sur une partie de la bande¹³.

L'Ofcom a par ailleurs décidé d'ouvrir sans licence les bandes 870-876 MHz et 915-921 MHz pour les appareils à faibles puissances (AFP) et les puces RFID, en étant parmi les premiers à suivre le plan proposé par la CEPT. Il s'agit de bandes très intéressantes pour l'Internet des objets. Préalablement, les bandes 870-872 MHz et 915-917 MHz avaient été transférées du MoD à l'Ofcom après avis de l'UK SCC.

5.2.3 L'action de l'Ofcom en faveur de l'utilisation des espaces blancs

En septembre 2013, l'Ofcom a lancé une consultation publique afin d'analyser la façon dont de nouveaux services diffusés dans les espaces blancs de la télévision pourraient coexister avec les services TNT actuellement diffusés dans la bande UHF. Elle intègre dans ses projets la possibilité de transfert de la bande 700 MHz aux communications mobiles.

L'Ofcom estime que l'appétence des parties prenantes ne suffit pas au succès des espaces blancs. En effet, il faut également une réglementation qui aille dans ce sens et une technologie qui le permette. Le gouvernement doit être proactif pour simplifier la situation des parties prenantes intéressées.

L'Ofcom a lancé deux vagues d'expérimentations : une première à Cambridge en juin 2011, et une deuxième plus récente dans plusieurs villes britanniques qui a débuté en octobre 2013¹⁴. Chacune de ces expérimentations vise à étudier la faisabilité d'une utilisation des espaces blancs.

¹³ En France, il est envisagé d'utiliser les espaces blancs des radars pour les liaisons vidéo de reportage.

¹⁴ http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/spectrum/whitespaces/1124340/TVWS_Coex_Workshop_presentation_FINAL.pdf

A travers la seconde encore en cours, l'Ofcom cherche, d'une part, à tester commercialement un grand nombre d'applications, et d'autre part à renforcer la compréhension technique de la coexistence. Le régulateur a retenu, comme cela a été prévu par les groupes techniques européens, l'approche de partage des espaces blancs à travers l'exploitation de bases de données. Les paramètres retenus pour cette expérimentation sont plus souples que ceux retenus aux Etats-Unis.

De ce fait, de nombreux fournisseurs de bases de données ont rapidement exprimé leur intérêt de tester la conception de ces bases permettant l'utilisation des espaces disponibles tout en évitant de causer des brouillages préjudiciables aux autres services. Les fournisseurs de ces bases de données sont les suivants : Google, Nominet, LS Telcom, iconectiv, Key Bridge, Fairspectrum et Spectrum Bridge.

**Des propositions
pour l'innovation et la croissance**

6 Des propositions pour l'innovation et la croissance

Il va devenir de plus en plus difficile de recourir aux méthodes classiques de libération de bandes de fréquences. Le recours accru au partage, et en particulier au partage dynamique, constitue une réserve de spectre et une incitation à l'innovation dont l'exploitation devient nécessaire à côté des fréquences exclusives.

Le partage dynamique présente plusieurs caractéristiques. Du point de vue économique, il permet un usage plus efficace du spectre. Du point de vue juridique, le cadre français semble adapté à son développement. Du point de vue technique, certaines technologies envisagées semblent très porteuses de progrès à moyen ou long terme. Les fréquences libres de droit, partagées par tous ceux qui respectent des conditions techniques limitatives, sont des vecteurs essentiels de l'innovation.

Au niveau international, plusieurs pays, comme les Etats-Unis ou le Royaume-Uni, ont pris des initiatives en matière de partage dynamique et de fréquences ouvertes qui méritent d'être prises en considération. Si ces initiatives sont appelées à se développer, la France doit faire partie des acteurs en pointe sur ce sujet.

6.1 Les principaux enseignements des auditions

La mission a procédé à plus de 80 auditions d'organisations publiques et privées, en majorité françaises. Une grande diversité d'acteurs a été auditionnée :

- les principaux affectataires, autorités de régulations ou administrations ;
- des PME comme des « start-up » ou des grandes entreprises, industriels ou de services, des communications électroniques, de l'audiovisuel ou de l'informatique, actives dans les communications sans fil ou l'Internet des Objets ;
- des associations représentant des entreprises, des sociétés savantes ou la société civile ;
- les organismes publics internationaux : UIT, Ofcom, Commission Européenne, OCDE.

Les principaux sujets sur lesquels portent les demandes ou les attentes des acteurs sont en ligne avec celles d'acteurs étrangers comparables. Il s'agit de préoccupations qu'on retrouve aussi dans les travaux européens (ECC, RSPG, CEPT, ETSI) :

- ouverture de nouvelles bandes de fréquences aux appareils à faibles puissances (AFP dans les bandes basses) et au Wifi, ou augmentation des puissances d'émission identifiées ;
- premières implémentations de gestion dynamique du spectre (espaces blancs de la télévision, LSA dans la bande 2,3-2,4 GHz qui serait partagée entre les forces armées, utilisatrices actuelles, et des services de télécommunications en 4G) ;
- évolutions des services de réseaux radio professionnels et en particulier des réseaux de sécurité (PPDR) ;
- évolution des microphones sans fils et des liaisons radio de vidéo reportage (PMSE).
- respect des conditions techniques issues de la normalisation et permettant d'éviter les brouillages préjudiciables.

Dans tous les cas, le principe du partage dynamique et d'un usage plus efficace du spectre n'est jamais remis en cause. Les problèmes sont assez précisément identifiés par les acteurs auditionnés. En revanche, ils ont proposé ou même suggéré peu de solutions.

De plus, les auditions démontrent l'attente forte d'un certain nombre d'acteurs pour la mise en place d'une politique du spectre qui s'inscrit dans une vision stratégique globale et transparente, plus orientée vers l'innovation¹⁵.

6.2 L'état des lieux en France

La gestion du spectre repose sur la nécessité de minimiser le nombre de brouillages. Dans ce paradigme, la gestion française du spectre a jusqu'à présent permis de faire face à la demande. Le partage est déjà une réalité dans de nombreuses bandes de fréquences : usage partagé de la bande UHF par la télévision et les microphones sans fils, usage partagé de certaines bandes affectées à la Défense avec des appareils civils de faible portée, cohabitation du Wifi et des radars de la météorologie et de la défense, cohabitation entre catégories d'appareils de faible puissance ou bien encore partage temporel avec les autorisations temporaires lors de grands événements notamment. Il ne s'agit toutefois pas de partage dynamique.

En effet, l'organisation de la gestion du spectre radioélectrique, qui repose sur les affectataires et l'Anfr qui en assure la cohérence, est d'autant plus efficace que chacun a les moyens d'exercer ses seules responsabilités. En revanche, les limites apparaissent dans le contexte d'une augmentation substantielle des besoins, à la nécessité de laisser ouverte la porte à des initiatives d'acteurs nouveaux, à l'introduction de technologies toujours plus sophistiquées et à la recherche d'une meilleure efficacité globale. Il est en effet difficile d'imaginer une coordination, sur une même bande, de deux régulateurs, ayant par nature des objectifs différents, qui devraient réguler au jour le jour les modalités d'un partage qui évoluerait avec l'usage.

Le partage dynamique du spectre augmente potentiellement les risques d'interférences. La détection et la résolution des brouillages est en l'occurrence intégrée non pas dans la gestion du spectre, mais dans l'intelligence des terminaux. Les dysfonctionnements rencontrés par la cohabitation entre les radars météo et le Wifi dans la bande 5 GHz montrent la nécessité de définir et de se donner les moyens de vérifier les conditions techniques d'utilisation des bandes accessibles à tous.

Au niveau international, l'Anfr qui représente la France participe activement aux travaux sur le partage dynamique. En outre, depuis 2012, le RSPG et l'ECC, institutions engagées en faveur d'un spectre plus partagé et plus ouvert, sont dirigées par des Français. Pourtant, au niveau national, jusqu'à présent, le partage dynamique s'est peu développé et on peut penser que l'organisation institutionnelle explique cette situation.

Ainsi, le CSA et l'ARCEP n'ont autorisé, au cas par cas, que les trois expérimentations dans les espaces blancs de la télévision dont elles ont été saisies. La première, menée par la société Infosat, a pour but de réaliser des liaisons radioélectriques pour des applications très haut débit en zone rurale. La deuxième, à l'initiative de HubOne, teste dans les bandes 400 MHz et 700 MHz des équipements LTE pour les communications professionnelles dans les aéroports. La troisième, menée par le CEA-Leti, a testé des services vidéo pour les pompiers sur son site de Grenoble.

¹⁵ Une synthèse des auditions figure en annexe 4.

Le faible développement du partage dynamique a pour conséquence de limiter l'innovation tant en matière de nouveaux systèmes techniques que de services innovants. En effet, les entreprises innovantes utilisatrices de spectre nécessitent des bandes de fréquences peu coûteuses, facilement accessibles avec de bonnes conditions de propagation. En contrepartie, ces bandes ne sont pas exclusives. L'intérêt de ces bandes est souvent mal appréhendé et peu pris en compte.

6.3 Les propositions pour l'innovation et la croissance

Plusieurs obstacles sont susceptibles d'entraver l'action de l'Etat. D'abord, l'organisation institutionnelle ne semble pas permettre de hiérarchiser et de consolider la vision stratégique. Ensuite, la régulation technico-économique apparaît complexe, s'agissant des bandes partagées entre plusieurs affectataires. L'action des pouvoirs publics français semble caractérisée par une prise en compte insuffisante des nouveaux usages innovants et de l'écosystème associé. Enfin, le contrôle du spectre n'est, aujourd'hui, qu'imparfaitement adapté à la multiplication et à la dissémination des émetteurs susceptible de se produire avec le développement des objets connectés. En revanche, le cadre juridique français actuellement en vigueur ne semble pas poser de difficulté dans la mesure où il est aisément adaptable à l'évolution de la gestion des fréquences.

Les enjeux, pour les pouvoirs publics, sont nombreux. Il s'agit de disposer d'une stratégie du spectre et de la répartition des usages, régulièrement actualisée, en tenant compte des objectifs politiques, économiques, sociaux et culturels à atteindre. Il s'agit également d'intensifier l'usage du spectre, de promouvoir le partage dynamique et de mettre en place les mécanismes incitatifs adaptés. Il s'agit enfin d'augmenter la capacité disponible pour les usages innovants et d'accroître, lorsque cela est possible, les puissances autorisées pour améliorer les couvertures et les débits. L'Etat doit en outre veiller à ce que les utilisateurs existants ne soient pas brouillés. D'un autre point de vue, un des objectifs est de maîtriser les techniques de partage dynamique du spectre qui sont susceptibles de se développer à moyen et long terme.

6.3.1 Les propositions susceptibles d'être mises en œuvre rapidement, sans modification législative ni réglementaire

Face aux besoins de court terme, plusieurs chantiers peuvent être lancés dès à présent. Ils sont susceptibles de constituer des leviers de croissance et des facteurs d'innovation. Ils contribuent en partie à la préparation de la 5G. En outre, ils semblent globalement consensuels.

Ces chantiers sont de deux ordres, dans la continuité des travaux européens actuels :

- **mettre à disposition du secteur davantage de spectre ouvert, sans licence.** Il s'agit d'une condition indispensable au développement de l'innovation et à la compétitivité des entreprises innovantes utilisatrices de spectre. Ce spectre joue, de plus, un rôle essentiel dans le développement des usages du très haut débit fixe et mobile ;
- **faciliter et susciter des expérimentations à dimensions technique et réglementaire de différents dispositifs de partage dynamique du spectre.** Comme cela a été démontré dans l'ensemble des développements qui précèdent, le partage dynamique du spectre est stratégique. Il est au cœur de projets structurants permettant d'accroître l'efficacité spectrale aux Etats-Unis, pays dans lequel le sujet du partage dynamique était encore conflictuel il y a ne serait-ce qu'un an.

Concernant la mise à disposition de davantage de spectre harmonisé sans licence

1^{ère} proposition

Rendre accessible, sans licence, en tenant compte des contraintes existantes, une partie du spectre dans les bandes 870-876 MHz et 915-921 MHz pour des appareils à faible puissance.

Etudier la faisabilité d'une amélioration des conditions d'utilisation de la bande 863-870 MHz par les appareils de faible puissance, tout en veillant à la protection des autres utilisateurs de la bande.

2^{ème} proposition

Afin de faire face à l'augmentation anticipée des besoins Wifi :

- **augmenter, dans certaines conditions, la puissance d'émission autorisée dans la bande existante 5 470-5 725 MHz, en veillant à la protection des autres utilisateurs de la bande ;**
- **mener les travaux susceptibles de conduire à élargir les bandes mises à disposition, pour des services de type Wifi, en complément du très haut débit fixe, dans la bande des 5 GHz, en prenant en considération les enjeux économiques sous-jacents et la protection des autres utilisateurs ;**
- **promouvoir l'utilisation de la bande des 60 GHz pour ce type de services.**

Pour ces deux propositions, l'Anfr pourrait mener les discussions avec les affectataires actuels et l'Arcep et proposer les évolutions du TNRBF. Parallèlement, il serait important de mettre en place un observatoire de l'utilisation et des usages des bandes sans licence (cf. 6.3.3).

Concernant les expérimentations de dispositifs de partage dynamique du spectre

3^{ème} proposition

Expérimenter la méthode de partage dynamique du spectre dite de LSA (*Licensed shared access*) dans la bande 2 300-2 400 MHz.

L'objectif est double. Il s'agit, d'une part, d'optimiser l'usage de la bande 2 300-2 400 MHz et de sécuriser les usages actuels et, d'autre part, de tester non seulement les technologies de radio cognitive envisagées pour mettre en place une méthode dynamique de partage du spectre mais aussi les modalités à la fois protectrices et incitatives de régulation d'un spectre partagé.

L'Arcep, affectataire pour les communications électroniques, devrait être le chef de file de l'expérimentation. Elle devrait associer le Ministère de la Défense, qui resterait affectataire et utilisateur de la bande, et l'Anfr, qui a largement participé à la définition du LSA dans les organisations internationales où elle représente la France et a initié les premiers travaux sur ce sujet. A cette expérimentation devraient participer au moins un opérateur de communications mobile, des fabricants de matériel et prestataires de services (fournisseur de bases de données géolocalisées...).

Selon les estimations, le coût d'une expérimentation serait de l'ordre d'une centaine de milliers d'euros. Cet ordre de grandeur tient compte de l'adaptation nécessaire des technologies développées (bases de données, plateforme de démonstration, interface avec les réseaux mobiles...) aux caractéristiques concrètes d'une expérimentation de terrain.

La mise en œuvre de cette expérimentation devrait être riche d'enseignements sur les modalités techniques et réglementaires d'une gestion dynamique du spectre mettant en œuvre des outils nouveaux (par exemple : les bases de données) et des modèles d'organisation financiers et techniques nouveaux (relations entre les utilisateurs et le régulateur)¹⁶.

4^{ème} proposition

Afin d'expérimenter l'utilisation des espaces blancs de la télévision sur les plans technique et commercial, tout en veillant à la protection de la diffusion de la télévision numérique terrestre, mettre en place un guichet d'expertise et de conseil permettant de recueillir et d'étudier les premiers projets visant à l'utilisation de ces fréquences. En fonction des demandes, son champ d'intervention pourrait être élargi à d'autres fréquences.

Ce guichet serait piloté par l'Anfr, dans le cadre de ses responsabilités en matière de police du spectre. Il nécessitera des moyens humains et budgétaires adaptés. Dans le cas des espaces blancs de la télévision, le CSA et l'ARCEP devraient donner leur accord.

Des simulations de l'évaluation de l'espace disponible ont été réalisées par l'Anfr, en collaboration avec le CSA (cf. annexe 9). Les premiers résultats montrent que dans la seule bande 470-694 MHz plusieurs canaux seraient disponibles, y compris dans les zones urbaines. La disponibilité est naturellement plus importante quand la télévision occupe toute la bande 470-798 MHz.

Plusieurs applications pourraient être déployées sur ces fréquences mais dépendent bien entendu de la zone géographique concernée, il s'agit de haut débit rural et de *backhaul*, des applications Internet des objets, des points d'accès Wifi intérieurs et extérieurs.

En tout état de cause, les usages à envisager pour l'instant sont des applications à durée limitée puisqu'il est impossible de s'engager sur l'avenir précis de la bande. Il s'agit donc d'usages temporaires, qui pourraient durer jusqu'à quelques années et dont il serait dommage de se priver si des acteurs en expriment le souhait. Or la démarche à suivre actuellement est à la fois complexe (avis positif du CSA et de l'Arcep), coûteuse (les licences expérimentales de l'Arcep sont actuellement payantes) et suppose une maîtrise certaine de l'organisation des AAI, ce qui n'est pas nécessairement à la portée de toutes les petites entreprises innovantes.

La question des espaces blancs et de leurs usages est un sujet d'autant plus polémique qu'il oppose schématiquement les acteurs des télécoms à ceux de l'informatique et des services.

Aujourd'hui, on a pu observer qu'il existait des usages dont la solvabilité reste à démontrer. Aux Etats-Unis où les enchères à venir sur la bande UHF semblent geler toute initiative de grande ampleur, leur succès apparaît pour l'heure limité à des applications de type Internet rural et point d'accès Wifi.

¹⁶ Cela inclut la question du coût de cette gestion dynamique et de son financement, qui pourrait rendre nécessaire la création d'un fonds abondé par les opérateurs bénéficiant de l'accès dynamique aux bandes concernées.

Les premiers déploiements souffrent notamment d'une absence de récepteurs normalisés à un tarif attractif. Par ailleurs, certaines auditions ont mis en évidence des réserves sur l'utilisation des espaces blancs. Certaines d'entre elles semblent s'appliquer aux projets envisagés par d'autres pays, notamment africains, où la question du déploiement du haut débit est au cœur des préoccupations. La situation qui prévaut en France est très différente et, en tout état de cause, ces réserves ne s'appliqueraient pas à des usages temporaires.

Plusieurs demandes ont été formulées par les acteurs auditionnés pour recourir aux espaces blancs de la télévision, en particulier pour du très haut débit rural. Il est nécessaire que ces porteurs de projets potentiellement innovants et intéressants pour l'aménagement du territoire puissent bénéficier de conditions techniques et économiques compatibles avec leurs moyens financiers.

Sans préjuger de la capacité des espaces blancs à présenter des modèles économiques viables, ils peuvent être utilisés dans les cinq années à venir pour participer au déploiement des réseaux très haut débit en zone rurale, à servir de zones d'expérimentation, et plus généralement, à favoriser tout usage innovant qui aurait besoin de disposer momentanément de fréquences¹⁷.

Un tel usage nécessite la connaissance fine de l'utilisation du spectre dans la zone considérée que seule le CSA, pour l'audiovisuel, et l'Anfr sont en mesure de produire. Ces informations devraient être stockées et validées dans des bases de données géolocalisées.

Enfin, les espaces blancs de la télévision pourraient constituer des espaces d'expérimentations sur les fréquences pour les scientifiques ou les entreprises innovantes, à l'instar de ce qui se pratique en Allemagne. Ces expérimentations pourraient être l'occasion de tester des méthodes innovantes de détection des brouillages permettant d'envisager un traitement rapide et peu coûteux.

6.3.2 Une proposition pour définir la stratégie de l'Etat en matière de spectre

Plusieurs propositions peuvent être formulées afin que le spectre constitue un des leviers stratégiques majeurs au bénéfice de la croissance et de l'innovation.

La stratégie du spectre relève aujourd'hui de la responsabilité du premier ministre et sa traduction doit se retrouver dans le TNRBF qui doit être l'affirmation d'une vision commune sur les besoins respectifs de chaque utilisateur et non la traduction de la protection des situations acquises.

La définition de la stratégie au regard de ces objectifs doit également s'ancrer dans un contexte d'harmonisation internationale en raison des brouillages induits par la non coordination et de l'impératif économique d'harmonisation qui permet à la fois de diminuer le coût des équipements et des terminaux en s'appuyant sur les économies d'échelle et de donner accès à nos entreprises à des marchés mondiaux. A titre d'exemple on peut noter que la partie radio d'un terminal représente un tiers de son coût¹⁸.

La gestion quotidienne des fréquences doit s'inscrire dans une vision plus large, qui prenne en compte les intérêts de toutes les parties, l'innovation et la gestion durable d'une ressource limitée. Cette vision doit aussi intégrer une réflexion sur les modes d'incitation pour une utilisation plus efficace du spectre par les utilisateurs gouvernementaux, permettant ainsi de libérer de la ressource.

¹⁷ Toutefois, à ce jour, les expérimentations sur les espaces blancs sont peu concluantes. En France, les premiers résultats de l'expérimentation d'Infosat ne permettent pas de conclure au succès de ce modèle économique.

¹⁸ Source Orange Labs (Ecoterm)

Il s'agit alors de réfléchir à l'implémentation d'une vision stratégique politique et économique plus large pour le spectre : en plus de sa dimension technique, le spectre doit aussi être traité du point de vue politique et économique dans la mesure où il constitue un actif stratégique de l'Etat.

5^{ème} proposition

Afin de mieux mettre les fréquences au cœur de la politique numérique du gouvernement, en concertation avec les affectataires et les acteurs économiques du secteur :

- **Nommer, auprès du premier ministre, un commissaire du spectre en charge d'élaborer et tenir à jour un plan stratégique en associant le Parlement. Son mandat serait de 3 ans. Il devrait s'appuyer notamment sur l'Anfr, le CGEJET.**
- **Le plan stratégique :**
 - **intégrerait les impératifs d'efficacité spectrale et d'incitation au partage dynamique, de croissance économique, d'innovation, de redressement industriel, de pluralisme des médias, de sécurité publique, de recherche scientifique, des transports... et préparerait les grandes évolutions du TNRBF ;**
 - **pourrait être élaboré lors de chaque CMR et révisé annuellement ;**
 - **tirerait les leçons des expérimentations en matière de partage dynamique et les conséquences sur la régulation technico-économique.**
- **Tous les acteurs des fréquences, publics et privés, grandes entreprises et start up innovantes pourraient faire valoir leur point de vue. Les questions des PMSE, des PMR, qui doivent prendre en compte des problématiques techniques, économiques et juridiques, sont incluses dans les sujets que le commissaire aurait à traiter. D'autres sujets, comme celui du futur réseau de sécurité publique pourraient l'être en partie.**

Le commissaire, nommé auprès du Premier ministre, exercerait ses fonctions pour une durée limitée, par exemple de trois ans. Il aurait pour mission d'aider le gouvernement à définir une politique publique du spectre en prenant mieux en compte l'innovation. Pour mener à bien sa mission, il devrait s'appuyer principalement sur les compétences de l'Anfr et également celles du CGEJET.

Le commissaire aurait pour mission l'élaboration d'un plan stratégique. Aujourd'hui de nombreux pays se sont dotés d'un plan stratégique en matière de gestion des fréquences, c'est le cas par exemple du Royaume-Uni, de la Suède, de la Finlande, ou des Etats-Unis.

Ce plan devrait notamment intégrer les problématiques des PMSE, des réseaux PMR et une partie de celles du futur réseau de sécurité publique (PPDR). Elles doivent être incluses dans la réflexion sur la gestion stratégique du spectre dans la mesure où elles nécessitent la prise en compte de considérations techniques, économiques, juridiques et politiques.

Les PMSE sont confrontés à une disponibilité en fréquence en diminution avec le possible transfert de la bande 700 MHz vers le très haut débit mobile et la nécessité de migrer vers d'autres bandes de fréquences. Ils doivent parallèlement faire face à l'augmentation de leurs besoins en spectre (hausse du nombre d'évènements dans les domaines de la culture et de la communication). Il apparaît ainsi nécessaire que leurs problématiques (besoins en fréquences, migration...) soient incluses dans une stratégie globale du spectre.

De même, la diversité des besoins en fréquence des 25 000 réseaux professionnels radio (PMR) français nécessite une analyse approfondie au regard de l'évolution des technologies numériques et en particulier des usages possibles du LTE. Ces réseaux doivent être pris en compte dans l'élaboration de la stratégie d'utilisation des fréquences, *a fortiori* dans la mesure où plusieurs d'entre eux, qualifiés de réseaux d'importance vitale, sont primordiaux pour le pays (EDF/ERDF, SNCF, RFF...) et ont besoin eux aussi de disposer de services incluant vidéo et données.

Enfin, le sujet du réseau national de sécurité devrait également être inclus dans les travaux du commissaire. Bien que l'évaluation des spécifications du réseau ne relève probablement pas de sa compétence, les besoins en fréquence de ce réseau devraient être pris en compte dans le plan stratégique.

6.3.3 Les propositions de mesures législatives ou réglementaires pour l'innovation et la croissance

Améliorer la transparence de la gestion des fréquences

6^{ème} proposition

Afin de permettre d'améliorer la transparence de la gestion opérationnelle du spectre et de permettre à plus d'acteurs d'y contribuer :

- **organiser des consultations publiques régulières sur les sujets structurants relatifs à la gestion des fréquences ;**
- **mener des études technico-économiques et de prospective sur l'utilisation et les besoins en ressource spectrale ;**
- **favoriser la production d'informations indépendantes de nature économique et stratégique, notamment en améliorant la disponibilité des informations techniques des gestionnaires de sites radioélectriques, dans le respect des secrets protégés par la loi ;**
- **publier de manière régulière et accessible l'état des négociations internationales sur le spectre ;**
- **mettre en place un observatoire de l'utilisation et des usages des bandes sans licence.**

La gestion des fréquences sera plus transparente si tous les acteurs des secteurs concernés peuvent se prononcer sur les sujets en débats aux niveaux national et international.

La transparence passera aussi par la production d'informations indépendantes et accessibles en matière d'économie des fréquences et d'objectifs des négociations internationales.

En matière de prévision de l'usage du spectre, les analyses reposent souvent sur les chiffres publiés par une poignée d'entreprises, souvent directement intéressées à la croissance du marché. Certaines entreprises auditionnées ont souhaité que les pouvoirs publics disposent d'analyses indépendantes afin de s'assurer que les données ne soient pas orientées par certains intérêts commerciaux. Ces analyses ne seront réellement pertinentes qu'avec le concours des acteurs qui pourraient fournir des informations techniques sur l'utilisation réelle des fréquences qui leurs sont allouées.

Il convient également de rendre accessibles au plus grand nombre le contenu et les objectifs des négociations internationales en cours.

La mise en place d'un observatoire de l'utilisation et des usages des bandes sans licence pourrait être confiée à l'ARCEP.

Favoriser l'innovation dans le domaine du spectre

7^{ème} proposition

Inscrire dans la loi la nécessité pour le CSA, l'Arcep et l'Anfr de considérer l'innovation comme un des objectifs de leur gestion des fréquences.

Légitimer et favoriser l'usage des fréquences accessibles sans licence.

Favoriser l'innovation et le développement du partage des fréquences en rendant possibles des expérimentations « au fil de l'eau » et gratuites, sur les espaces blancs de la bande UHF et sur toute autre bande où des espaces sont disponibles, pour une durée limitée.

Au regard des enjeux économiques et sociaux, l'innovation doit constituer un des objectifs de la gestion des fréquences par le CSA et l'ARCEP. Plusieurs auditions ont montré qu'il était parfois compliqué et coûteux aujourd'hui d'expérimenter sur les bandes de fréquences. Afin de d'encourager les entreprises à tester les technologies et services innovants, il est nécessaire que cela se fasse à moindre coût.

Afin d'encourager l'innovation et le partage des fréquences, il conviendrait de prévoir une exception au caractère payant des utilisations du domaine public hertzien. L'affirmation législative de la gratuité des usages partagés quand il s'agit de bandes sans licence dont les conditions d'utilisation sont définies de façon à rendre possible la cohabitation en limitant les interférences ou d'utilisations qui n'ont d'autres fins qu'expérimentales faciliterait les projets innovants.

Améliorer le contrôle des interférences dans un contexte de partage accru du spectre

L'utilisation de plus en plus intensive des fréquences et le recours à des techniques de partage dynamique du spectre, ainsi que le probable développement de l'Internet des objets, doivent inciter les pouvoirs publics à garantir un contrôle du spectre strict (cf. annexe 10).

8^{ème} proposition

Renforcer la fonction de prévention et de résolution des brouillages de l'Anfr dans la perspective d'une multiplication des objets connectés :

- **conduire une étude sur l'évolution des méthodes de résolution des brouillages à l'heure de l'Internet des objets ;**
- **renforcer, le cas échéant, les pouvoirs de l'Anfr en matière de résolution des brouillages ;**
- **conduire les études techniques adaptées afin d'identifier des réponses aux nouvelles situations de brouillages résultant du développement de l'Internet des objets et plus généralement du partage dynamique.**

Les milliards d'objets connectés annoncés pourraient constituer une source sans précédent d'interférences. Aujourd'hui, les agents de l'Anfr interviennent en priorité sur les brouillages subis par des utilisateurs sous licence et plus marginalement sur les bandes sans licence (pour m2ocity, Sigfox...). L'évolution des usages pourrait entraîner une évolution des méthodes de contrôle du spectre qu'il faut anticiper.

Le renforcement des pouvoirs de police de l'Anfr est la contrepartie nécessaire à un usage du spectre où le partage et l'efficacité spectrale augmentent. L'Anfr doit être dotée des moyens techniques et humains adaptés.

Les annexes

7 Les annexes

7.1 La lettre de mission



MINISTÈRE DÉLÉGUÉ CHARGÉ DES PME, DE L'INNOVATION ET DE L'ÉCONOMIE NUMÉRIQUE

LA MINISTRE

Paris, le 27 SEP. 2013

Chère Madame la Professeur,

Les fréquences radioélectriques constituent une ressource rare qui nécessite une gestion efficace. Il s'agit d'un actif stratégique pour le développement économique des États. Des secteurs entiers reposent sur l'accès à cette ressource, qu'il s'agisse des communications mobiles, de l'audiovisuel hertzien, des satellites, des systèmes de détection ou de navigation, des infrastructures de transports ou de pans entiers de l'industrie et de la sécurité nationale. Ces secteurs contribuent également à l'innovation et à la création de nombreux emplois.

Les fréquences disponibles dans les gammes les plus aisément exploitables sont aujourd'hui très rares ; or, le besoin pour ces fréquences demeure en forte croissance. D'ici 2030, le trafic mobile devrait être multiplié de 30 à 300 fois suivant les sources. En particulier, l'internet des objets est appelé à se développer rapidement. Il pourrait avoir besoin de fréquences spécifiques.

Le mode de gestion actuel des fréquences en France repose sur l'attribution à un service donné d'une bande de fréquences spécifique. Il s'est révélé adapté dans un contexte de récepteurs et d'émetteurs à faible coût et relativement simples du point de vue électronique (récepteurs radio, récepteurs de télévision...). Or, les progrès techniques permettent aujourd'hui la généralisation d'équipements radioélectriques intelligents, capables de sélectionner de manière dynamique les bandes de fréquences dans lesquelles ils émettent et qu'ils peuvent recevoir. La gestion du spectre pourrait dès lors être améliorée pour prendre en compte les nouvelles technologies d'optimisation de l'usage des fréquences et en favoriser l'usage.

Madame Joëlle TOLEDANO
Professeure des Universités en Sciences économiques
Ecole Supérieure d'Électricité (Supélec)
Plateau du Moulon
3, avenue Joliot-Curie
91192 Gif-sur-Yvette cedex

Dans ces circonstances, je souhaite que vous établissiez un rapport identifiant les leviers organisationnels, institutionnels, législatifs et réglementaires permettant la mise en œuvre d'une politique du spectre plus ouverte et plus simple, susceptible de favoriser l'innovation et la croissance, dans la continuité des travaux européens récents, en particulier ceux du Groupe des Etats membres pour la politique en matière de spectre radioélectrique (RSPG) et le programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique (RSPP).

Je souhaite que vos travaux vous amènent à identifier des politiques publiques favorables à l'innovation. Deux axes seront privilégiés. D'une part, vous identifierez les bandes de fréquences susceptibles de présenter des possibilités de partage bénéfique et d'être utilisées pour des usages innovants. D'autre part, après avoir analysé les différentes formes de partage du spectre et le cadre juridique dans lequel elles pourraient s'opérer, vous proposerez une « boîte à outils » de gestion innovante du spectre, qui pourrait inclure notamment les droits d'accès partagé au spectre (« *Licensed shared access* »).

Vous veillerez tout particulièrement à ce que vos propositions préservent les droits des utilisateurs actuels du spectre et notamment le maintien sous contrôle des brouillages, l'exigence de continuité des missions régaliennes s'appuyant sur le spectre radioélectrique ou la prise en compte d'objectifs d'intérêt général comme les enjeux de sécurité et de défense.

Vous procéderez aux auditions que vous estimerez nécessaires, qu'il s'agisse de départements ministériels, de régulateurs, d'acteurs économiques ou scientifiques ou d'associations représentant la société civile. Vous pourrez également vous appuyer sur une comparaison avec la situation qui prévaut dans quelques pays représentatifs, par exemple les Etats-Unis, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

Vous disposerez du soutien technique et logistique de l'Agence nationale des fréquences. Vous associerez les affectataires à vos travaux. A cet effet, vous réunirez de manière régulière un groupe de travail incluant le ministère de la défense et le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie ainsi que, si ces autorités le souhaitent, le conseil supérieur de l'audiovisuel et l'autorité de régulation des communications électroniques et des postes.

Je souhaite pouvoir prendre connaissance de vos premières pistes de réflexion le 15 janvier 2014 et disposer de vos recommandations complètes avant le 31 mars 2014.

Bien cordialement,



Fleur PELLERIN

7.2 L'équipe de la mission

Joëlle Toledano, Professeur des Universités en Sciences Economiques (Supélec)

Bernard Celli, rapporteur, Directeur de la Stratégie, Anfr

Alison Bunel, Doctorante en économie, Institut Mines-Télécom

Lison Jullien, Economiste, Anfr

Thomas Pez, Professeur des Universités en Droit public (Université de Versailles Saint Quentin-en-Yvelines)

7.3 La liste des personnes auditionnées

7.3.1 France

Agence Nationale des Fréquences (Anfr)

Gilles Brégant, Directeur Général

Eric Fournier, Directeur de la planification du spectre et des affaires internationales

Nicolas Spanjaard, Directeur de la direction technique du contrôle du spectre

Florence Erpelding, Chef du service de gestion des réseaux professionnels

Jean-Jacques Guitot, Chef du département études et prospectives et économique

Cédric Perros, Chef du département négociations des accords aux frontières

Fabien Descourtieux, Responsable du service régional de Villejuif

Agurre

Thomas Hervieu, Représentant délégué d'Agurre

Stéphane Chouet, RATP, Opérateur de services de communication

Olivier Goncalves, EDF, Pilote opérationnel de service, administrateur national des fréquences

Eric Le Moal, Réseau Ferré de France, Chef du service ERTMS et Télécom

Christian Régnier, Air France, Direction générale des systèmes d'information Air France

Alcatel-Lucent

Gabrielle Gauthey, Vice-Présidente Affaires publiques et gouvernementales Groupe

Mirela Doicu, Director Public Affairs Wireless Policies

Alsatis

Romain Bucelle, Directeur associé

Altitude Infrastructure

David El Fassy, Président

Airbus Group

Daniela Genta, VP Radio Regulatory Affairs and Policy

Jean-Claude Domien, Director Regulator Matters

Claude Pichavant, Senior Expert Communication & Surveillance Engineering – Communication Systems

Pierre Force, Senior Expert

Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP)

Philippe Distler, Membre du Collège

Jacques Stern, Membre du Collège

Isabelle Caron, Directrice des affaires juridiques depuis le 27 janvier 2014

Stéphane Hoynck, Directeur général adjoint et directeur des affaires juridiques

Rémi Stefanini, Directeur de l'accès mobile et des relations avec les équipementiers

Thomas Gouzènes, Réglementation, stratégie et relations avec les équipementiers

Antonin Augier, Direction des affaires juridiques

Avicca

Patrick Vuitton, Délégué général

BoC

Emmanuel Seurre, Directeur marketing

Jean-Marc Hanriot, Conseiller scientifique

Bouygues Télécom

Didier Casas, Secrétaire général

Jean-Philippe Desreumaux, Directeur des fréquences et protection

Canal+ Groupe

Grégoire Castaing, Directeur financier Groupe

Frédéric Vincent, Directeur des technologies et systèmes d'information

CEA Leti

Dominique Noguét, Chef du service technologies de la communication et de la sécurité

Cisco

Christopher Gow, Senior Manager Government Affairs

Frederic Géraud de Lescazes, Head of Government Affairs France

Luc Imbert, Senior Manager Défense et Sécurité

Commissariat Général à la stratégie et à la prospective

Joël Hamelin, Conseiller scientifique

Conseil supérieur de l'audiovisuel (CSA)

Emmanuel Gabla, Membre du Collège

Franck Lebeugle, Directeur des technologies

Sabrina Saudai, Adjointe au chef du département services numériques

Julien Paulet, Chargé de mission pour les télévisions locales au département diffusion télévisuelle de la direction des technologies

Délégation aux usages de l'Internet (DUI)

Bernard Benhamou, Délégué aux Usages de l'Internet

Demand Side Instruments

Frédéric Villain, Président directeur général

Direction générale de la compétitivité, de l'industrie et des services (DGCIS)

Cécile Dubarry, Chef du service des technologies de l'information et de la communication

Blaise Soury-Lavergne, Chef du bureau des fréquences et des ressources immatérielles

Direction générale des médias et des industries culturelles (DGMIC)

Frédéric Bokobza, Sous-directeur du développement de l'économie culturelle

Bénédicte De Boisgelin, Chargée de mission

Philippe de Cuetos, Chargé de mission au bureau des technologies et des réseaux

Direction générale de l'Outre-Mer (DGOM)

Marc del Grande, Directeur du Service des politiques publiques

Guillaume Gibert, Chargé de mission économie numérique

E-Blink

Alain Rolland, Président directeur général

Laurent Bellot, Directeur technique

EDF/ERDF

Jean-Pierre Bourbigot, Chargé de Mission Sénior à la Direction des Systèmes d'Information du Groupe EDF

Pierre Magniez, Chargé de missions conseil SI télécom et maîtrise d'ouvrage à la direction production ingénierie

Didier Hingant, Directeur de missions, schéma directeur télécom à ERDF

Olivier Goncalves, Pilote de la gestion des fréquences radioélectriques à la Direction des services partagés

Eutelsat

Michel Azibert, Directeur général délégué

Jean-François Bureau, Directeur des affaires institutionnelles et internationales

Marion Petitjean, Responsable des affaires réglementaires

FICAM

Pierre Barbier, AMP VISUAL

Olivier Binet, TAPAGES

Marc Bourhis, FICAM

FNCCR

Daniel Belon, Directeur adjoint, Délégué au développement durable des territoires

Jean-Luc Sallaberry, Chef du service des Communications Electroniques

Fournisseurs d'accès associatifs

Benjamin Bayart, Quadrature du Net

Laurent Guerby, Tetaneutral

Free

Maxime Lombardini, Directeur général

Laurent Laganier, Directeur de la réglementation et des relations avec les collectivités

Google

Aparna Sridhar, Policy Counsel Legal department on Spectrum Issue and Internet Governance

Olivier Esper, Director

Francis Donnat, Senior Policy Counsel

HD Forum

Régis Saint Girons, Président directeur général, HTTP

Phillipe Lucas, Président de la Commission Innovation & Normalisation de la Fédération Française des Télécoms

Véronique Demilly, Directrice adjointe Radiodiffusion, France Télévisions

Huawei

Pablo Brito, Vice Director for Wireless Marketing – Europe

Laurent Dolizy, Responsable du spectre

Michael Jolly, Directeur solutions France

Pierre-Frédéric Degon, Public affairs manager

HubOne

Patrice Bélie, Directeur général
Soline Olsznaski, Directeur stratégie et innovation

IBM

Thierry Miléo, Executive Partner, Director Telecom Media, Energy & Utilities, Public Sectors

Idate

Vincent Bonneau, Responsable de l'unité Internet
Frédéric Pujol, Chef Business Unit Spectre

Infosat

François Hedin, Directeur

Intel

Reza Arefi, Director of Spectrum Strategy
Markus Mueck, Manager Standardization
Claude Pin, Greater Europe Global Public Policy Manager

M2Ocity

Christian Gacon, Directeur technique et opérations

Microsoft

Andrew Stirling, Senior Policy Adviser EU/UK for Microsoft

Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Michel Imart, Chargé de mission fréquences, CETMEF

Ministère de la Défense

Général Favreau, Général fréquences
Colonel Cibiel, Chef de bureau fréquences
Lieutenant-Colonel Quemerais, Bureau des fréquences international
Lieutenant-Colonel Pisol, Bureau des fréquences national

Ministère de l'Intérieur

Alain Fernandez-Gauthier, Directeur adjoint Direction des systèmes d'information et de communication

Patrice Juillard, Direction des systèmes d'information et de communication

Vincent Niebel, Direction des systèmes d'information et de communication

Motorola Solutions

Vincent Kennedy, EMEA Strategy Director

Guy Mans, Directeur secteur public

Philippe Piémont, Pre-sales Technical Architect

Valérie Berrivin, Senior Communication Manager EMEA

Nomotech

Philippe Legrand, Vice-président

OCDE

Agustin Diaz-Pines, Policy analyst, STI Directorate

Rudolf van der Berg, Economist/Policy Analyst, Information, Communications and Consumer Policy Division

Orange

Eric Debroeck, Directeur des affaires réglementaires

Jean Mahé, Directeur réglementation audiovisuel et contenus

Alain Maloberti, Senior Vice President Orange Labs Networks

Michaël Trabbia, Directeur des affaires publiques

Parrot

Henri Seydoux, Président directeur général

Qualcomm

Isabella de Michelis di Slonghello, Vice-présidente affaires publiques

Wassim Chourbaji, Directeur affaires publiques

Guillaume Lebrun, Affaires publiques

RadioCoop

François Jaquin, Fondateur

Laurent Bouillot, Président de Siradel

Pierre Montel, Délégué général du SNRL

Red Technologies

Pierre-Jean Muller, Président
Mickaël Abitbol, Directeur général

SEINEP

Stella Morabito, SEINEP
Rodolphe Fabbri, AEI – Wisycom
Alain Richer, SENNHEISER
Christophe Tartavez, SENNHEISER

SFR

Olivier Henrard, Secrétaire général
Marie-Georges Boulay, Directeur des affaires publiques
Loïc Taillanter, Responsable des affaires réglementaires et de la concurrence
Thomas Welter, Chief Frequency Officer

Sigfox

Ludovic Le Moan, Président directeur général

Simavelec

Pascal Chevallier, Délégué général adjoint

Skyrock

Pierre Bellanger, Directeur général
Marc Augis, Directeur technique et informatique
Sylvain Anichini, Directeur **Lab Radio**

Tactis

Stéphane Lelux, Président

TDF

Arnaud Lucaussy, Directeur régulation et affaires publiques
Gaëlle Kaminsky, Responsable du service fréquences
Jean-Pierre Faisan, Politique fréquences

Thalès

Jean-François Migeon, Chief Officer Spectrum Management

Gilbert Multedo, Vice-président directeur technique, Thales Communications & Security
Emmanuel Sprauel, Directeur du Business Development, Thales Communications & Security
Yvon Livran, Responsable de la réglementation du spectre, Thales Communications & Security

Union Internationale des Télécommunications (UIT)

François Rancy, Directeur du bureau des radiocommunications

URSI France

Frédérique de Fornel, Présidente URSI-France
Alain Sibille, Secrétaire général
Michel Terré, Président commission C
Jacques Palicot, Vice-président

Personnalités

Mérouane Debbah, Professeur , titulaire de la chaire Alcatel-Lucent (Flexible Radio)
Jean-Michel Hubert, Ingénieur des télécommunications, ancien président de l'ART
Jean-Dominique Pit, Ancien directeur de la stratégie de SFR
Alain Pouyat, Président du comité des travaux de l'Académie des technologies, Directeur général Informatique et Technologies nouvelles du groupe Bouygues
Guy Roussel, Président Fondation Télécom
Catherine Trautman, Présidente de la délégation socialiste française au Parlement européen

7.3.2 Bruxelles

Direction générale Entreprises et industries de la Commission européenne (DG INDUS)

Luis-Filipe Girao, Head of Unit Engineering Industries
Javier Arregui-Alvarez, Team Leader Electrical & Electronic Product Regulation
Birgit Weidel, Deputy Head of Unit Engineering Industries
Dorota Papiewska, EMC Desk Officer

Direction générale Réseaux de communications, contenus et technologie de la Commission Européenne (DG CONNECT)

Roberto Viola, Directeur adjoint de la Direction générale Réseaux de communications, contenus et technologie, Commission Européenne
Peter Stuckmann, Head of Sector, Unit Spectrum
Jiri Pilar, Policy Officer and Desk Officer for France, Unit Regulatory Coordination & Business
Gerasimos Sofianatos, Policy Officer, Unit Regulatory Coordination & Business
Martin Bailey, Assistant to Deputy Director-General Roberto Viola
Daniel Kitscha, Assistant to Director Anthony Whelan, Directorate B Electronic Communications, Networks & Services

7.3.3 Etats-Unis

Ambassade de France aux Etats-Unis

François Delattre, Ambassadeur de France
Philippe Bouyoux, Chef du service économique
Annie Biro, Chef du secteur économie numérique

Cisco

Mary L. Brown, Managing Director

Energy and Commerce Committee of the House of Representatives

David Redl, Counsel on the majority staff
Shawn Chang, Senior Democratic Counsel

Federal Communications Commission (FCC)

Mindel de la Torre, Chief of the International Bureau
Ira Keltz, Deputy Chief, Office of Engineering and Technology
Jamison S. Prime, Chief Spectrum Policy Branch
Walter D. Strack, Assistant Bureau Chief for Economics

Google

Alan Norman, Access Principal
Aparna Sridhar, Counsel

Intel

Peter K. Pitsch, Executive Director Communication Policy & Associate General Counsel

ITIF

Robert D. Atkinson, President
Doug Brake, Telecom Policy Analyst

Microsoft

Paula Boyd, Director Government and Regulatory Affairs, USGA Policy
Paul W. Garnett, Director Technology Policy, Technology Policy Group

Morgan Stanley

Simon Flannery, Managing Director

National Telecommunications & Information Administration (NTIA)

Karl Nebbia, associate administrator of the Office of Spectrum Management

New America Foundation

Michael Calabrese, Director of the Wireless Future Project

Office of Science & Technology Policy – Executive Office of the President

Thomas C Power, Deputy Chief Technology Officer for Telecommunications

Orange North America

Philippe Andres, Vice President, Mobile, Group Marketing

Alexandre Giess, Directeur du pôle wireless

Senate Commerce Committee

David Quinalty, Policy Director for Communications and Technology for Senator John Thune

Silver Spring Network

James Pace, Managing Director

Telecommunications Industry Association

Danielle Coffey, Vice President and General Counsel, Government Affairs

Représentants des entreprises membres de l'Association

Texas Instrument

Peter Flynn, Business Development Manager Communication Infrastructure

UBS

John C. Hodulik, Chief Financial Analyst

Verizon

Charla Rath, Vice President Wireless Policy Development

Jacquelynn Ruff, Vice President International Public Policy and Regulatory Affairs

White Space Alliance

Apurva N. Mody, Chairman

7.3.4 Finlande

Fair Spectrum

Heikki Kokkinen, Président directeur général
Olli Luukkonen, Recherche et développement

Ficora

Tapio Penkkala, Deputy Director Spectrum Management
Jan Engelberg, Senior Specialist Spectrum Management
Tom Wikström, Radio Network Specialist

NSN

Lauri Oksanen, Vice President Research and Technology
Ulrich Rehfuess, Head of Spectrum Policy
Laurent Levy, Head of Customer Marketing, West Europe & Orange Group
Seppo Yrjola, Principal Innovator

7.3.5 Royaume-Uni

Neul

James Collier, Co-fondateur de Neul
Glenn Collinson, Co-fondateur de Neul
William Webb, Président directeur general de Weightless SIG

Ofcom

Steve Unger, Group Director, Strategy, International, Technology, Economics (SITE Group)
David Harisson, Director of Technology Strategy and Broadcast Radio, principal advisor digital media technology
Chris Woolford, Director of International Affairs
Stephen McConnell, International Team

7.4 La synthèse des auditions

Les auditions menées au cours de la mission ont couvert l'ensemble des grandes catégories d'acteurs concernés directement ou indirectement par les enjeux de partage du spectre et ont mis en évidence différentes positions sur la question. Sans prétendre à l'exhaustivité et de façon très synthétique, plusieurs tendances lourdes ont émergé.

Les **opérateurs mobiles** sont en faveur du modèle de gestion actuel du spectre. Ils souhaitent conserver les autorisations individuelles comme régime d'autorisation principal et considèrent que le partage de bandes de fréquences entre plusieurs services est déjà une réalité (services fixes, faisceaux hertziens (FH) ou satellite en partage géographique sur la même bande, différentes chaînes d'un multiplex TNT en partage temporel, bandes mobiles sous licences en partage avec les dispositifs UWB, bande Wifi...). Ils souhaiteraient en outre disposer de plus de prévisibilité quant à l'évolution de la gestion du spectre et des fréquences disponibles pour les services mobiles. Afin de répondre à une asymétrie grandissante entre les débits transmis vers les terminaux (*smartphones*, tablettes) et ceux envoyés, les opérateurs mobiles ont marqué un intérêt à la technologie SDL (*Supplemental Downlink*). Certains acteurs souhaitent une généralisation de l'usage asymétrique du spectre. Parmi eux certains **créateurs et diffuseurs de médias audiovisuels** demandent une régulation adaptée.

Les **PME et start-up** recourent majoritairement aux bandes ouvertes, gratuites et sans attributaires exclusifs pour fournir leur service. Elles souhaitent, d'une part, que la police du spectre soit renforcée et, d'autre part, plus d'harmonisation internationale afin de simplifier la conception et faciliter la commercialisation de leurs produits.

Les **fournisseurs de services (de type Neul, Sigfox, m2ocity...)** sont attentifs aux développements de l'Internet des objets, des villes intelligentes ou des *smartgrids*. Ils souhaitent que les réseaux qui seront utilisés par les objets connectés puissent opérer dans différentes bandes de fréquences, notamment celles qui ne sont pas utilisées par les opérateurs mobiles. Certains d'entre eux testent des solutions Internet à bas coût sur les espaces blancs de la télévision. Pour ces fournisseurs de services, l'absence de sécurité juridique et réglementaire et l'absence de normalisation freinent les financements en recherche et développement et l'appétence des industriels pour ces sujets.

Les **équipementiers des réseaux de télécommunications** sont ouverts aux nouvelles méthodes de partage du spectre, tel que le LSA, qu'ils considèrent particulièrement intéressants pour le déploiement de petites cellules. Ils s'intéressent également aux autres technologies permettant une meilleure efficacité spectrale (LTE, agrégation de porteuses, SDL, e-MBMS) et à l'évolution vers des réseaux hétérogènes. Les équipementiers sollicitent des bandes harmonisées afin de réaliser des économies d'échelle. Les **fabricants de matériel et les fournisseurs de services Internet** ont exprimé leur désir de disposer de davantage de bandes sans licence, afin de proposer des débits élevés susceptibles de compléter la fibre optique pour la couverture du territoire en très haut débit.

Les **institutions européennes** ont souligné l'importance de coordonner la politique de spectre en Europe afin que celle-ci ne se limite pas au niveau national (DG Connect). Elles insistent sur l'importance du partage dynamique et de l'usage collectif des fréquences pour augmenter l'efficacité spectrale. Elles prennent en considération le fait que le partage réduit les barrières à l'usage mais qu'il nécessite *a contrario* plus de contrôle *ex post* et de contrôle du niveau de la conformité des équipements (DG Industrie).

Pour les **institutions internationales (UIT)**, l'absence de brouillage reste le principal objectif. De ce fait, l'utilisation des espaces blancs doit faire l'objet de discussions aux plans technique, économique, et réglementaire, notamment au sein des commissions d'étude de l'UIT chargées des questions de gestion du spectre avant toutes décisions au niveau national.

En France, les **affectataires de fréquences** considèrent le partage du spectre comme un moyen technique d'améliorer l'efficacité spectrale. Il nécessite néanmoins de résoudre certaines problématiques (régulation, partage d'information...). Certains affectataires estiment qu'avant de développer le partage dynamique, il convient d'améliorer la situation actuelle s'agissant de la résolution des brouillages. En revanche, plusieurs affectataires sont favorables à des expérimentations.

Les **consultants auditionnés** s'accordent sur le fait qu'à l'horizon 2020, l'Internet des objets représentera environ 80 milliards d'objets (en majorité des puces RFID pour des boîtes de médicament, pour le textile/chaussure, pour le réassort). Pour les autres objets (terminaux connectés et M2M) l'ouverture de fréquences en bandes basses peut être une solution bien qu'ils considèrent que les technologies s'adaptent de plus en plus à la faible capacité réseau (Idate, Tactis). Il a notamment été rappelé que certains objets n'ont pas vocation à être introduits dans des réseaux cellulaires mais plutôt sur des fréquences ouvertes, puisqu'une grande partie de ces objets seront de faible consommation et transféreront des données non critiques. Le marché de masse existera si les prix de ces objets restent relativement faibles et si la durée de vie des objets est élevée.

Les **associations professionnelles** se sont montrées favorables au partage et à une utilisation plus efficace du spectre mais en veillant à un traitement équitable des utilisateurs de la ressource (URSI, HD Forum). D'autres associations appellent de leurs vœux une information plus transparente sur l'usage du spectre.

7.5 La bibliographie

- **Les rapports**

Agence nationale des fréquences (ANFR), Rapport annuel, 2012.

http://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/organisation/ANFR_RA2012.pdf

Blank, R., & Strickling, L. E. (2013). Third Interim Progress Report on the Ten-Year Plan and Timetable.

http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/third_interim_progress_report_final.pdf

Cisco Systems Inc., Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2012-2017, at 1, 3 (February 6, 2013), available at http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html

Credoc, La diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française (2013). Etude réalisée à la demande du Conseil Général de l'Économie, de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies (CGEIET) et de l'Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP). <http://www.credoc.fr/pdf/Rapp/R297.pdf>

Department of Defense (2013). Electromagnetic Spectrum Strategy.

<http://www.defense.gov/news/dodspectrumstrategy.pdf>

Electronic Communication Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 2009, ECC Report 132, "Light licensing, Licence exempt and Commons", <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/Pdf/ECCRep132.pdf>

Electronic Communication Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 2011, ECC Report 169, "Description of Practices relative to Trading of Spectrum Rights of Use".

<http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ECCRep169.pdf>

FICAM (2013), Livre Blanc sur la réallocation de la bande 700 mhz : conséquences sur les productions culturelles et d'information. <http://www.ficam.fr/infos-innovation-recherche-et/documents-et-recommandations/public-36/article/livre-blanc-sur-la-reallocation-de>

Forge, Simon, Robert Horvitz, and Colin Blackman. Perspectives on the value of shared spectrum, 2012.

http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/radio_spectrum/document_storage/studies/shared_use_2012/scf_study_shared_spectrum_access_20120210.pdf

IDA, Science & Technology Policy Institute, (2013). A Review of Approaches to Sharing or Relinquishing Agency-Assigned Spectrum <https://www.ida.org/upload/stpi/pdfs/p5102final.pdf>

International Telecommunications Union (ITU), (2012), Exploring the value and economic valuation of spectrum.

International Telecommunications Union (ITU), Report SM.2012-3, 2010, Economic aspects of spectrum management

International Telecommunications Union (ITU), Report SM.2152 (2009), <http://www.itu.int/pub/R-REPSM.2152>

Lévy, M., & Jouyet, J. P. (2006). L'économie de l'immatériel: la croissance de demain. La Documentation française.

Meeker, M., & Wu, L. Internet Trends D11 Conference. <https://www.kpcb.com/insights/2013-internet-trends>

- Meeker, M., & Wu, L.** (2013). 2013 internet trends. Kleiner Perkins Caufield & Byers, Technical Report.
- Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012**, Pub. L. 112-96, § 6407, 126 Stat. 156, 231 (enacted February 22, 2012 and codified in scattered sections of 47 U.S.C.), available at <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/PLAW-112publ96/pdf/PLAW-112publ96.pdf>
- Nokia Siemens Networks**, 2020: Beyond 4G Radio Evolution for the Gigabit Experience, http://www.nokiasiemensnetworks.com/sites/default/files/document/nokia_siemens_networks_beyond_4g_white_paper_online_20082011_0.pdf
- Notice of Proposed Rulemaking and Order**, Enabling Innovative Small Cell Use in 3.5 GHz Band, FCC 12-148, Dec. 12, 2012, available at <http://www.fcc.gov/document/enabling-innovative-small-cell-use-35-ghz-band-nprm-order>
- National Telecommunication and Information Administration (NTIA)**, 2008, “Spectrum Policy For The 21st Century, Improving International Spectrum Management Policies And Framework”, March 2008. <http://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/federalstrategicspectrumplan2008.pdf>
- Ofcom (2009)**, “Digital dividend: cognitive access. Statement on licence-exempting cognitive devices using interleaved spectrum”. <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/cognitive/statement/statement.pdf>
- OECD (2011)**, “National Broadband Plans”, OECD Digital Economy Papers, 15 June 2011 http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/national-broadband-plans_5kg9sr5fmqwd-en
- OECD (2013)**. New approaches to spectrum policy.
- Ofcom (2009)**, “Digital dividend: cognitive access. Statement on licence-exempting cognitive devices using interleaved spectrum”. <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/cognitive/statement/statement.pdf>
- Ofcom (2013)**. Spectrum Management strategy. Ofcom's approach to and priorities for spectrum management over the next ten years. <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/spectrum-management-strategy/>
- Ofcom (2013)**. The future role of spectrum sharing for mobile and wireless data services. Licensed sharing, Wifi, and dynamic spectrum access. <http://stakeholders.ofcom.org.uk/consultations/spectrum-sharing/>
- PCAST**, Designing a Digital Future: Federally Funded Research and Development in Networking and Information Technology, Dec. 2010, available at <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-nitrd-report-2010.pdf>
- Presidential Memorandum**, Unleashing the Wireless Broadband Revolution, June 28, 2010, available at <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/presidentialmemorandum-unleashing-wireless-broadband-revolution>
- Presidential Memorandum**, Expanding America’s Leadership in Wireless Innovation, rel. June 14, 2013, available at <http://www.whitehouse.gov/the-pressoffice/2013/06/14/presidential-memorandum-expanding-americas-leadership-wireless-innovation>
- Qualcomm**, *1000x — More Spectrum, Especially for Small Cells, Including ASA — A New License Model to Access Underutilized, High Quality Spectrum*, <http://www.qualcomm.com/media/documents/files/wireless-networks-1000x-more-spectrum-especially-for-small-cells.pdf>
- Rapport Huet**, Rapport sur l’organisation de la gestion des fréquences radioélectriques, Pierre Huet, Conseil d’Etat, 1994 <http://www.anfr.fr/fr/l-anfr/organisation/le-rapport-huet.html>

Rapport d'information de M. Bruno RETAILLEAU, fait au nom de la commission des affaires économiques, (2007). Dix ans après, la régulation à l'ère numérique. n° 350 (2006-2007) - 27 juin 2007.
<http://www.senat.fr/notice-rapport/2006/r06-350-notice.html>

RSPG, 2011. Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and Other Spectrum Sharing Approaches. Radio Spectrum Policy Group of the European Commission, November 2011.
http://rspg.ec.europa.eu/documents/documents/meeting/rspg26/rspg11_392_report_CUS_others_approaches_final.pdf

4G America Meeting the 1000x Challenge: The need for Spectrum, Technology and Policy Innovation.
http://www.4gamericas.org/documents/2013_4G%20Americas%20Meeting%20the%201000x%20Challenge%2010%204%2013_FINAL.pdf

Report Series, New America Foundation, Michael Calabrese, 2013. Solving the "Spectrum Crunch": Unlicensed Spectrum on a High-Fiber Diet.
http://www.twcresearchprogram.com/pdf/TWC_Calabrese.pdf

Second Memorandum Opinion and Order, Unlicensed Operations in the TV Broadcast Bands, FCC 10-174, Sep. 23, 2010 ("FCC White Spaces Order"), available at
http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-10-174A1.pdf

Williamson et al. Future Proofing Wi-Fi – the Case for More Spectrum, 2013.
http://www.plumconsulting.co.uk/pdfs/Plum_Jan2013_Future_proofing_Wifi.pdf

- **Les articles académiques**

Benkler, Y., (1998). Overcoming agoraphobia: building the commons of the digitally networked environment. Harvard Journal of Law and Technology 11, 287–399.

Benkler, Y., (2003). Some economics of wireless communications. In: Cranor, L.F., Wildman, S.S. (Eds.), Rethinking Rights and Regulations: Institutional Responses to New Communication Technologies. MIT Press, Cambridge, MA.

Benkler, Y. (2012). Open Wireless vs. Licensed Spectrum: Evidence from Market Adoption. Harvard Law Review.

Buddhikot, B.B. (2007). Understanding Dynamic Spectrum Access: Models, Taxonomy and Challenges," in Proceedings of IEEE DySpan Conference, Dublin, 2007, pp. 649-663.

Cave, M., [2002]. Review of Radio Spectrum Management. For Department of Trade and Industry Her Majesty's Treasury. Retrieved from: http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/spectrum-review/2002review/1_whole_job.pdf

Cave, M., Doyle, C., Webb, W., (2007). Essentials of Modern Spectrum Management. Cambridge University Press.

Coase, R. (1959). The Federal Communication Commission. Journal of Law and Economics, Vol. 2, (Oct., 1959), pp. 1-40.

Cramton, P. (1997). The FCC spectrum auctions: An early assessment. Journal of Economics & Management Strategy, 6(3), 431-495.

Cramton, P., & Schwartz, J. A. (2000). Collusive bidding: Lessons from the FCC spectrum auctions. Journal of regulatory Economics, 17(3), 229-252.

De Vany, A. S., Eckert, R. D., Meyers, C. J., O'Hara, D. J., & 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 Vany, A. (1998).** Implementing a Market-Based Spectrum Policy*. *The Journal of Law and Economics*, 41(S2), 627-646.
- Hatfield D., Weiser,P. (2005).** Property rights in spectrum: taking the next step. In: Proceedings of the first IEEE symposium on new Frontiers in dynamic spectrum access networks.
- Hazlett, T. W. (2008).** Optimal abolition of FCC spectrum allocation. *The Journal of Economic Perspectives*, 103-128.
- Hazlett, T. (2011).** Tragedy TV: Rights Fragmentation and the Junk Bank Problem. *ARIZONA LAW REVIEW*, 53[83]. Retrieved from <http://www.arizonalawreview.org/2011/53-1/hazlett>
- Hazlett & Al. (2012).** What Really Matters in Spectrum Allocation Design. *Northwestern Journal of Technology and Intellectual Property*, 10[3].
- Hazlett, T. W., Iburguen, G., & Leighton, W. (1997).** Property Rights to Radio Spectrum in Guatemala and El Salvador : An Experiment in Liberalization.
- Hazlett, T. W., & Michaels, R. J. (1993).** The Cost of Rent-Seeking: Evidence from Cellular Telephone License Lotteries. *Southern Economic Journal*, 59[3].
- Lemstra, W., Anker, P., & Hayes, V. (2011).** Cognitive Radio: Enabling technology in need of coordination. *Competition and Regulation in Network Industries*, 12(3), 210-235.
- Lemstra, W., Hayes, V., & Groenewegen, J. (Eds.). (2011).** The innovation journey of Wifi: The road to global success. **Cambridge University Press.**
- Locke, G., & Strickling, L. E. (2010).** Plan and timetable to make available 500 Megahertz of spectrum for wireless broadband
- McMillan, J. (1995).** Why auction the spectrum?. *Telecommunications Policy*, 19(3), 191-199.
- Milgrom, P. (2000).** Putting auction theory to work: The simultaneous ascending auction. *Journal of Political Economy*, 108(2), 245-272.
- Milgrom, P., Levin, J., & Eilat, A. (2011).** The Case for Unlicensed Spectrum. *Policy Analysis*.
- Mitola J. III (1995).** The software radio architecture. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33, pp. 26-37, May 1995
- Mitola III J. (1999).** Cognitive Radio Model-Based Competence for Software. Licentiate Thesis, 1999
- Noam , E., (1998).** Spectrum Auctions: Yesterday's Heresy, Today's Orthodoxy, Tomorrow's Anachronism. Taking the Next Step to Open Spectrum Access, *Journal of Law & Economics*, 1998, vol. 41, p. 768 in fine
- Noam , E., (1995).** Taking the Next Step Beyond Spectrum Auctions: Open Spectrum Access, *IEEE Communications Magazine*, 10 octobre 1995, vol. 33, n°12, pp. 66 à 73
- Thanki, R.** The Economic Value Generated by Current and Future Allocations of Unlicensed Spectrum. Perspective Associates, 2009. <http://apps.fcc.gov/ecfs/document/view?id=7020039036>
- Thanki, R. (2012).** The Economic Significance of Licence-Exempt Spectrum to the Future of the Internet.
- Thanki, R. (2013).** The case for permissive rule-based Dynamic Spectrum Access http://research.microsoft.com/en-us/projects/spectrum/case-for-permissive-rule-based-dynamic-spectrum-access_thanki.pdf

Yang, L., & Giannakis, G. B. (2004). Ultra-wideband communications: an idea whose time has come. Signal Processing Magazine, IEEE, 21(6), 26-54

- **Les autres sources**

FCC, White Space Database Administrators' Guide, <http://www.fcc.gov/encyclopedia/whitespace-database-administrators-guide>

White House, Fact Sheet: Administration Provides Another Boost to Wireless Broadband and Technological Innovation, rel. June 14, 2013, available at http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/spectrum_fact_sheet_final.pdf

White House, Fact Sheet: President Obama's Plan to Win the Future through the Wireless Innovation and Infrastructure Initiative, FY 2012, available at <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/Wi3-fs.pdf>

- **Les directives, décisions, recommandations**

European Commission (2011). Radio Spectrum, a Vital Resource in a Wireless World. Retrieved from http://ec.europa.eu/information_society/policy/ecomm/radio_spectrum/index_en.html

European Commission (2012). Décision 243/2012/EC établissant un programme pluriannuel en matière de spectre radioélectrique

European Union (2002). Directive 2002/21/EC of the European Parliament and of the Council of 7 March 2002 on a common regulatory framework for electronic communications networks and services (Framework Directive)

European Union (2002). Décision n° 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")

European Union (2009a). Décision 2009/978/UE modifiant la décision 2002/622/EC instituant un groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique.

European Union (2009b). Directive 2009/140/EC of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009

European Union (2012). MEMO/12/636 Digital Agenda: Maximising radio spectrum efficiency by sharing it. Brussels, 3 September 2012. http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-636_en.html

International Telecommunications Union (ITU), Radio Regulations (2012), <http://www.itu.int/pub/R-REGRR-2012>

International Telecommunications Union (ITU), 2013, ITU-R Recommendation ITU-R M.1768-1, <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1768-1-201304-l/fr>

International Telecommunications Union (ITU), 2012, ITU-R Recommendation ITU-R M.1036. <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-4-201203-l/en>

International Telecommunications Union (ITU), 2012, ITU-R Recommendation ITU-R M.2078, <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2078>

7.6 Une brève synthèse des travaux d'origine académique ou institutionnelle sur la gestion efficace des fréquences

Le système de gestion du spectre doit être en mesure de maximiser l'efficacité spectrale, l'efficacité technique et l'efficacité économique (Objectif 1). Il doit reposer sur une politique conciliant les intérêts des services commerciaux et gouvernementaux de manière à tenir compte de la valeur sociale et privée de ces services pour le consommateur (Objectif 2). Enfin, la politique du spectre doit comporter une vision stratégique de long terme, assez flexible pour s'adapter aux évolutions technologiques (Objectif 3). Face à ces évolutions, la gestion des fréquences doit être en mesure de s'adapter et de créer des innovations réglementaires conduisant les titulaires à utiliser leur spectre le plus efficacement afin de se rapprocher de l'optimalité (fonds de réaménagement du spectre (FRS) en France, enchères incitatives, tarification incitative...).

Objectif 1 : Maximisation de l'efficacité spectrale, technique et économique

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 (*output*/quantité de spectre utilisée).

L'efficacité technique revient à transmettre un maximum d'information au moindre coût, le coût incluant le coût de tous les *inputs*, c'est-à-dire du facteur travail, capital, des équipements et se traduit donc par le nombre de bits transmis par euro investi (*output*/coûts de tous les inputs).

L'efficacité économique cherche à maximiser la valeur du service final fourni pour le consommateur au coût le plus faible (valeur de l'*output*/coûts des inputs). Elle tient compte des efficacités suivantes :

- l'efficacité allocative qui consiste à assigner le spectre aux utilisateurs qui le valorisent le mieux ;
- l'efficacité productive qui vise à fournir un service de qualité équivalente à celui recherché au coût le plus bas ;
- l'efficacité dynamique qui revient à prendre en compte les innovations technologiques et réglementaires pour un usage plus efficace du spectre.

Il est difficile pour la puissance publique de satisfaire à toutes ces efficacités lorsqu'il s'agit d'assigner une bande de fréquences, d'une part, parce que les fréquences ne sont pas homogènes et n'ont donc pas la même valeur, et d'autre part, parce que le spectre doit permettre la fourniture de services variés ayant une valeur sociale et privée différente.

Le spectre assigné par un système d'enchères permet de maximiser l'efficacité allocative en attribuant celui-ci aux utilisateurs qui le valorisent le plus. Le montant des enchères, si elles sont bien conçues, permettent de satisfaire la condition d'équilibre budgétaire. Cependant le rôle de la puissance publique est également celui d'assigner du spectre pour des services ayant une valeur sociale plus élevée que leur valeur privée, c'est le cas par exemple des différents services régaliens.

Objectif 2 : Maximiser la valeur sociale et privée des usages

La valeur du spectre se mesure par son coût d'opportunité, c'est-à-dire la valeur des usages alternatifs auxquels il faut renoncer lorsqu'un usage donné est choisi. Son objectif doit être de maximiser le surplus social, c'est-à-dire de maximiser à la fois le surplus des producteurs et le surplus des consommateurs.

Dans le cas de services régaliens tels que les services de sécurité ou de défense, le surplus des producteurs est relativement faible. Toutefois, le surplus social est maximisé par le surplus des consommateurs. Dans le cas de services commerciaux, une partie du surplus des producteurs peut être captée par l'Etat si le mécanisme d'attribution de la licence est bien choisi.

Objectif 3 : Veiller à une utilisation efficace du spectre

Finalement en plus de promouvoir *ex ante* une allocation optimale et un usage efficace du spectre, une gestion efficace des fréquences se fait également *ex post*. Une fois le spectre assigné, il s'agit de créer un environnement qui incite les titulaires à utiliser efficacement la ressource spectrale qui leur est attribuée. La puissance publique joue un rôle déterminant. D'une part, elle peut significativement augmenter l'efficacité dynamique en tenant compte des innovations technologiques et en créant les conditions adéquates à leur émergence. D'autre part, elle peut créer des mécanismes incitatifs qui conduisent les utilisateurs existants à faire un usage plus efficace de leurs fréquences *ex post*.

Sources :

Cave, M. (2002). Review of radio spectrum management. An independent review for Department of Trade and Industry and HM Treasury (www.spectrumreview.radio.gov.uk).

Cave, M., Doyle, C., & Webb, W. (2007). Essentials of modern spectrum management. Cambridge: Cambridge University Press.

Federal Communications Commission. (2002). Spectrum policy task force report, FCC 02-155.

Freyens, B. P., & Yerokhin, O. (2011). Allocative vs. technical spectrum efficiency. Telecommunications Policy, 35(4), 291-300.

Freyens, B. P., & Yerokhin, O. (2009). Allocative vs productive spectrum efficiency. In Communications Policy and Research Forum, Sydney (pp. 19-20).

NTIA (2008). Definitions of efficiency in spectrum use

OCDE (2002). Groupe de travail sur les politiques en matière de télécommunications et de services d'information. Allocation du spectre : enchères et procédures de soumission comparative

Union International des Télécommunications. Recommandation ITU-R SM.1046-1. Definition of spectrum use and efficiency of a radio system

7.7 Les bandes de fréquences étudiées et l'état des négociations internationales

Bandes	Situation et enjeux	Réglementation	Normalisation ETSI
		Travaux CEPT / RSPG (CE)	
Bande UHF	<ul style="list-style-type: none"> - Bande utilisée par l'audiovisuel et les PMSE - Question du transfert de la bande 700 MHz aux communications électroniques 	<p>RSCOM12-37 rev3 Mandate to CEPT to develop harmonized technical conditions for the 694-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives</p> <p>Groupe CEPT/ECC TG6 : travaux sur le future de la bande UHF</p>	
870 MHz	<ul style="list-style-type: none"> - Bande 863-870 MHz ouverte avec un partage entre AFP générique faible puissance et RFID 2 watts dans la bande 863-868 MHz et une segmentation dans la bande 868-870 MHz - Au niveau européen, selon le questionnaire de la CEPT de 2012, les bandes 870-876 MHz et 915-921 MHz sont libres dans les deux tiers des pays et utilisées pour la sécurité (drones et relais tactiques) pour le dernier tiers 	<p>Mandat permanent sur les SRD RSCOM13-78rev1 Discussion document on the focus and timeframe for the sixth update of the SRD Decision</p> <p>ECC Report 189 (02/2014) Future Spectrum Demand for Short Range Devices in the UHF Frequency Bands</p> <p>ECC Report 200 (09/2013) Co-existence studies for proposed SRD and RFID applications in the frequency band 870-876 MHz and 915-921 MHz</p> <p>Harmonisation CEPT pour une harmonisation «flexible» de ces bandes pour les AFP incorporée dans ERC/REC 70-03 (février 2014)</p>	
2,3-2,4 GHz	<ul style="list-style-type: none"> - En France, bande Défense - 27 pays de la CEPT utilisent tout ou partie de la bande pour des applications "PMSE" (caméras de vidéo reportage,...) et d'autres utilisations existent également dans plusieurs pays européens telles que des télémesures aéronautiques (France), des utilisations gouvernementales (dont militaires), des applications mobiles (accès sans fil, IMT), des liaisons fixes hertziennes, ou encore des services amateurs - L'harmonisation CEPT en cours pour une approche LSA devrait prendre fin en juin 2014 	<p>ECC Report 205 (02/2014) Licensed Shared Access (LSA)</p> <p>Draft ECC Dec(14)BB (02/2014) Harmonised technical and regulatory conditions for the use of the band 2300-2400 MHz for MFCN</p> <p>Draft ECC Rec(14)04 (02/2014) Cross-border coordination for MFCN and between MFCN and other systems in the frequency band 2300-2400 MHz</p> <p>RSPG13-538 (12/2013) RSPG Opinion on Licensed Shared Access</p> <p>RSCOM13-73rev (11/2013). Draft Mandate to CEPT to develop harmonised technical conditions for the 2300-2400 MHz ('2.3 GHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband</p> <p>RSPG11-392 (11/2012) Report on CUS and other spectrum sharing approaches</p>	<p>ETSI TR 103 113 (V1.1.1, 07/2013) Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference document (SRdoc); Mobile broadband services in the 2 300 MHz - 2 400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime</p> <p>ETSI TS 103 154 (V0.3, Draft 09/2013) System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2300 MHz - 2400 MHz band under Licensed Shared Access</p>
5350-5470 MHz et 5725-5925 MHz	<ul style="list-style-type: none"> - Extension des bandes RLAN 5 GHz en discussion et en débat à l'IUT - Les parties de la bande déjà ouvertes aux RLAN suite aux Décisions 2005/513/EC et 2007/90/CE sont les suivantes : 5470 - 5725 MHz, 5150-5250 et la bande 5250-5350 MHz. 	<p>RSCOM13-32rev3 Mandate to CEPT to study and identify harmonised compatibility and sharing conditions for Wireless Access Systems including Radio Local Area Networks in the bands 5350-5470 MHz and 5725-5925 MHz ('WAS/RLAN extension bands') for the provision of wireless broadband services</p>	

7.8 L'occupation du spectre

A la demande de la mission, les agents de la Direction Technique du Contrôle du Spectre de l'Anfr ont réalisé des mesures de taux d'occupation du spectre. L'objectif est de pouvoir disposer de nos propres mesures. Il ne s'agit en aucun cas de statuer sur une éventuelle sous-utilisation de certaines bandes de fréquences. L'occupation du spectre peut être un indicateur de l'usage d'une bande, toutefois les analyses de taux d'utilisation ont leurs limites, les deux principales étant les suivantes :

- une partie du spectre peut-être très utilisée sans pour autant qu'on puisse en détecter l'usage par un dispositif de mesure simple, c'est le cas pour des services passifs (radioastronomie, exploration de la terre) ou des signaux très faibles (service fixe par satellite, GPS, équipements de faible puissance) ;
- une bande de fréquence peut être très occupée sans pour autant que l'usage soit efficace ou valorisable.

L'analyse de ces mesures et la connaissance de l'utilisation de ces bandes permet de confirmer que certaines d'entre-elles pourraient être partagées avec de nouveaux utilisateurs. Ainsi, l'utilisation avec précaution de ces outils démontre quand même la nécessité de partager certaines bandes.

Les graphiques présentés ci-dessous sont illustratifs et non démonstratifs.

1. Les taux d'utilisation des bandes Wifi

Les mesures suivantes concernent les bandes 2,4 GHz (2 400-2 483,5 MHz) et 5 GHz (5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz, 5 470-5 725 MHz). Les mesures ont principalement été faites dans la commune de Rungis dans le département du Val-de-Marne et dans la zone résidentielle de Chevilly.

Figure 1 : Taux d'occupation de la bande 2400-2500 MHz en zone résidentielle (Chevilly) avec l'application Android Wifi Analyser

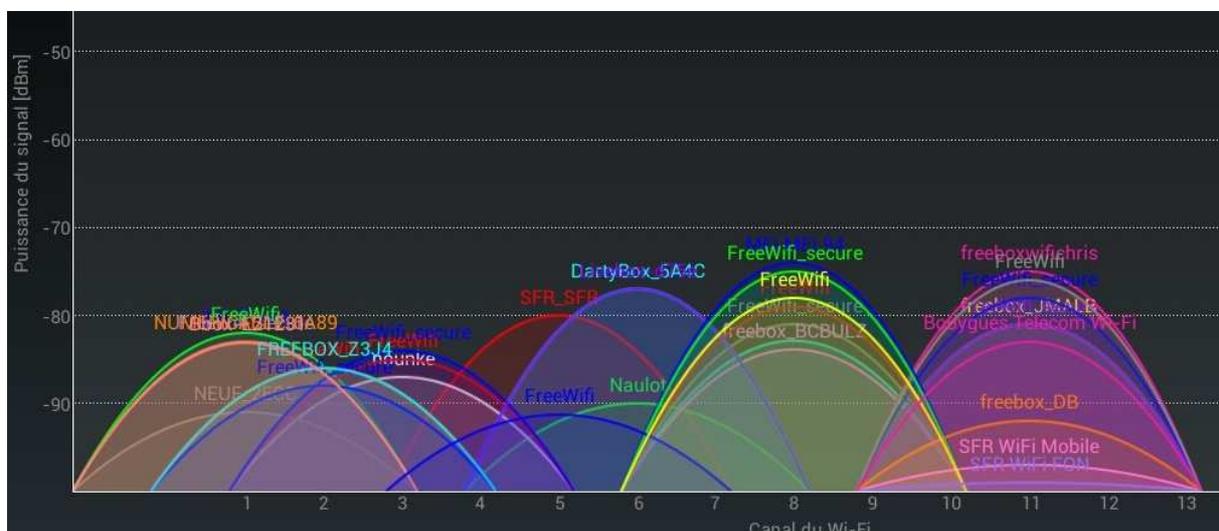


Figure 2 : Taux d'occupation de la bande 2400-2500 MHz en zone résidentielle (Chevilly)

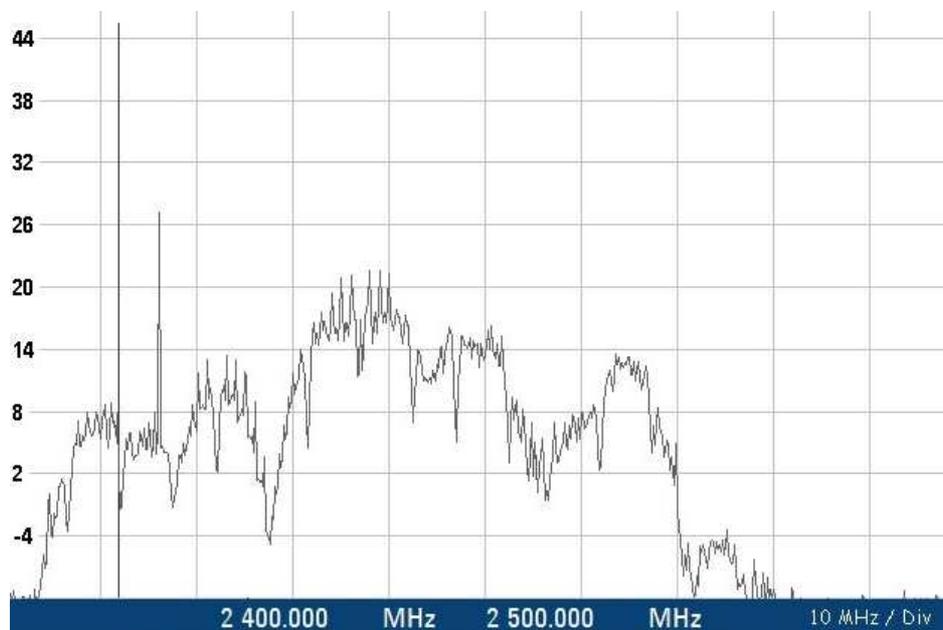
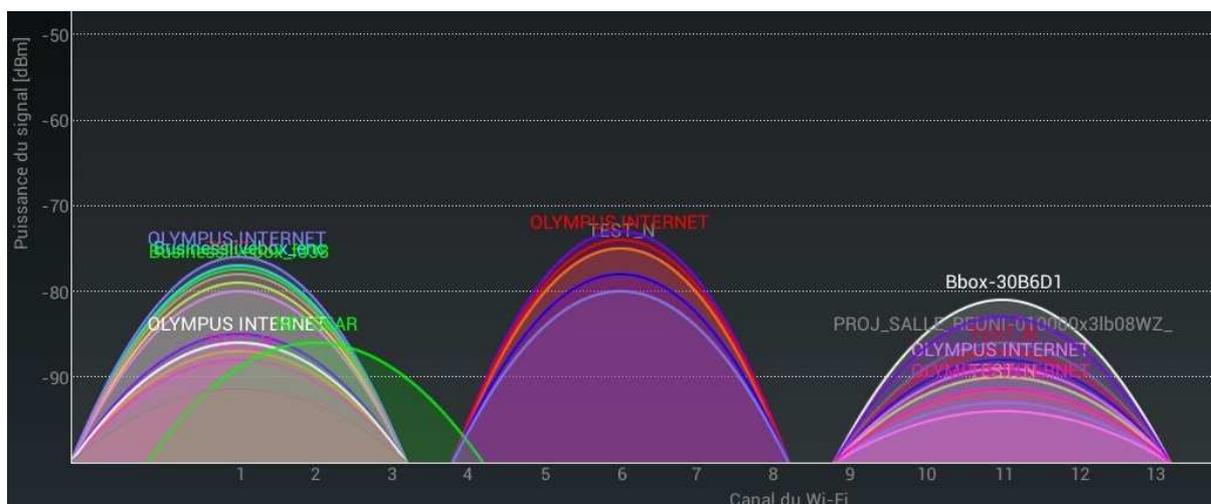
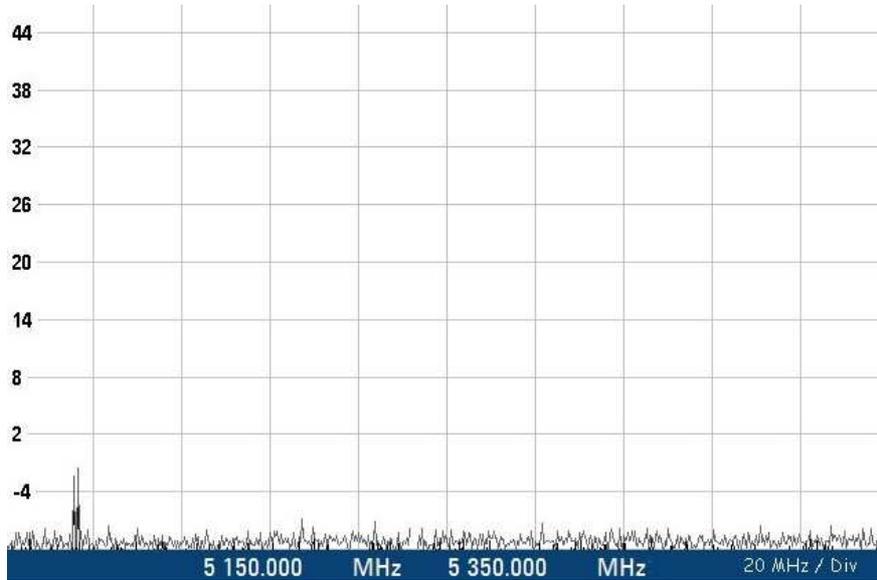


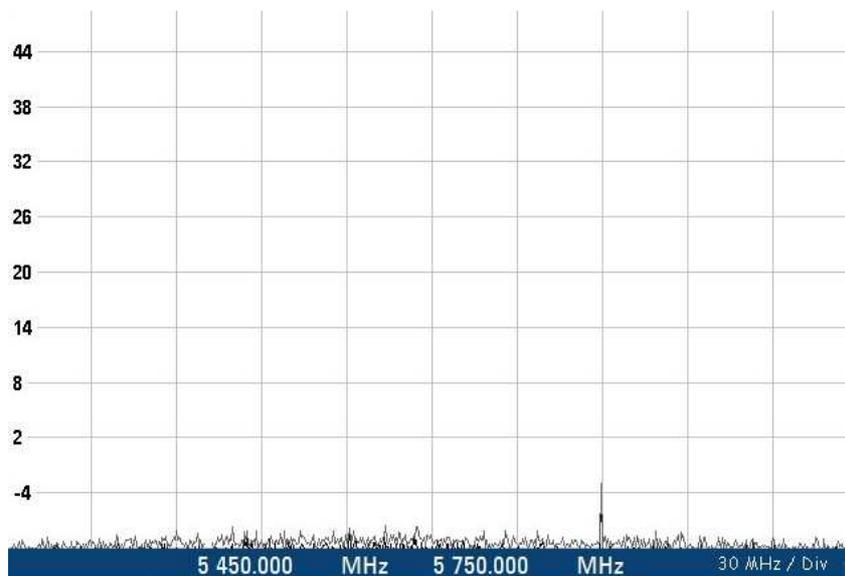
Figure 3 : Taux d'occupation de la bande 2 400-2 500 MHz avec l'application Adroid Wifi Analyser (Rungis ZA, Rue d'Arcueil, Face Helsinki Iena)



**Figure 4 : Taux d'occupation de la bande 5150-5350 MHz
(Rungis ZA, Rue d'Arcueil, Face Helsinki Iena)**



**Figure 5 : Taux d'occupation de la bande 5450-5750 MHz
(Rungis ZA, Rue d'Arcueil, Face Helsinki Iena)**



2. Les taux d'utilisation pour les bandes SRD actuelles et futures

Figure 6 : Taux d'occupation de la bande 863-868 MHz (Villejuif, Anfr)



Figure 7 : Taux d'occupation de la bande 868-870 MHz (Villejuif, Anfr)



Figure 8 : Taux d'occupation de la bande 870-876 MHz (Villejuif, Anfr)

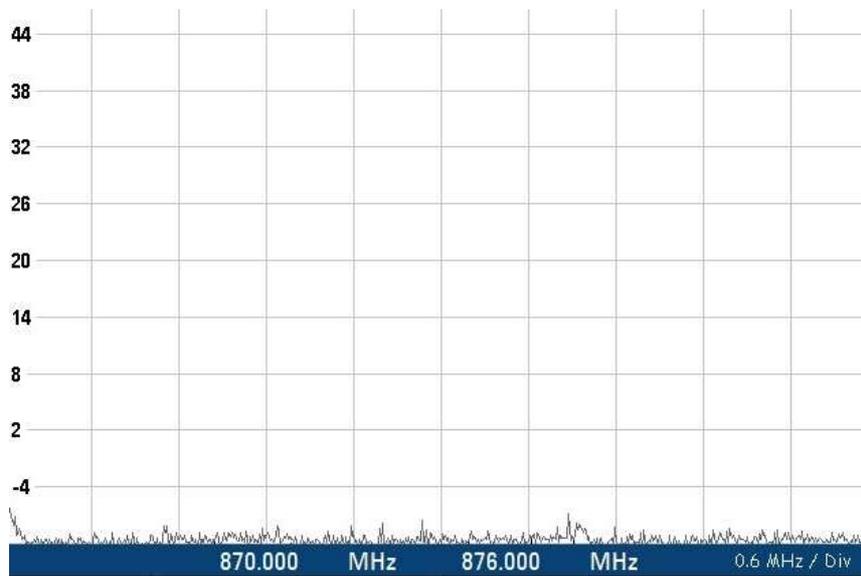
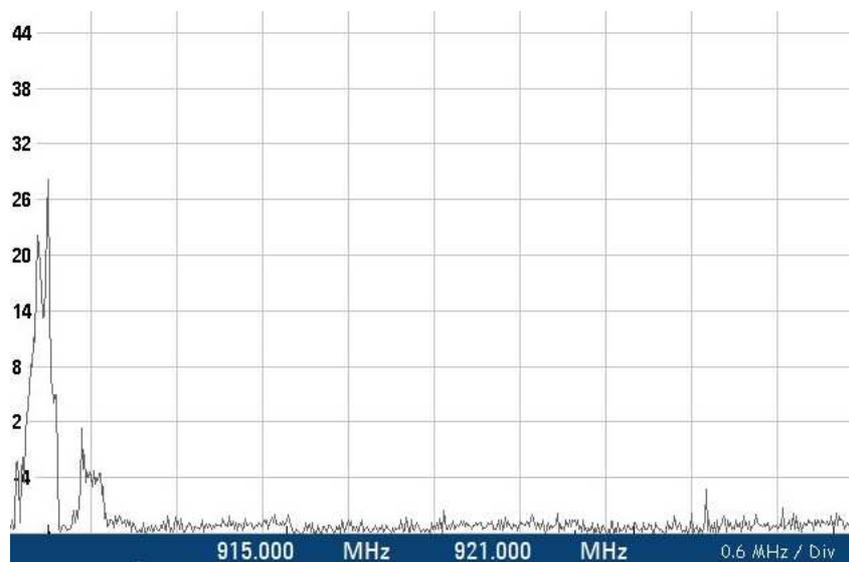
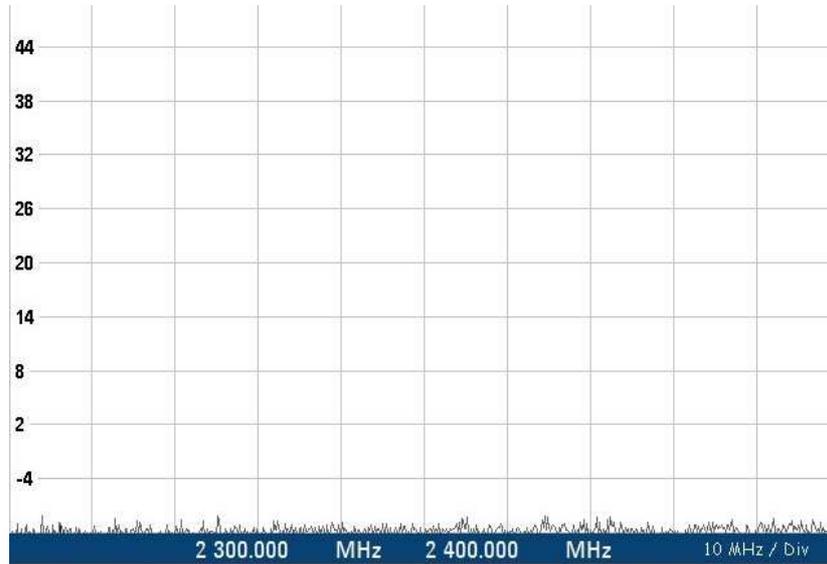


Figure 9 : Taux d'occupation de la bande 915-921 MHz (Villejuif)



3. Le taux d'utilisation pour la future bande LSA

Figure 4 : La bande 2300-2400 MHz (Villejuif)



Cette bande de fréquence est la bande susceptible d'être utilisée pour expérimenter le LSA. L'occupation réelle de cette bande dépend en pratique du temps et de la zone géographique dans laquelle l'analyse est effectuée.

7.9 La disponibilité théorique des espaces blancs de la télévision

1. Le contexte de l'analyse et les principaux résultats

Dans le cadre de cette mission, l'Anfr a réalisé une analyse sur la disponibilité des espaces blancs avant et après mise à disposition de la bande 700 MHz (694-790 MHz) pour les services mobiles. Le but de cette étude est de fournir des cartes graphiques de la disponibilité du spectre sur quatre départements ou régions françaises (Ile-de-France, Morbihan, Creuse, Vosges) pour deux types d'utilisations d'appareils d'espaces blancs : l'utilisation par des appareils mobiles et par des appareils fixes. Le choix des départements a été fait en fonction de leur géographie et de leur environnement. L'objectif est de disposer de mesures de disponibilité des espaces blancs sur des zones géographiques et environnementales sensiblement différentes afin de disposer d'un échantillon représentatif du territoire français.

- L'Ile-de-France est caractérisée par un relief relativement plat, elle est très urbaine et sa population est importante. Néanmoins, étant donné qu'une part importante de ce territoire régional est recouvert de forêts ou de terres agricoles, les simulations sont faites sur la région mais les résultats entre Paris et les départements d'Ile-de-France (moins urbanisés que Paris) sont détaillés et comparés (Seine-et-Marne, Yvelines, Essonne, Val-d'Oise).
- Les Vosges sont un département plutôt montagneux à l'Est et vallonné à l'Ouest dont la population est concentrée le long des vallées et qui bénéficie d'un bon développement industriel (exploitation forestière et industries dérivées).
- Le Morbihan est un département dont le relief est très plat sur le littoral, 16% de sa superficie totale est constituée de forêts (au nord du département et au centre).
- La Creuse est un département peu dense et vallonné.

Tableau 1 : Superficie totale et population totale des départements/régions retenues pour les simulations

Valeur de 2010	Ile-de-France	Vosges	Creuse	Morbihan
Superficie totale (km ²)	11 973	5 807	5 581	6 870
Population totale (hab)	11 593 746	378 737	123 654	702 478

Les valeurs du tableau ci-dessus ont été utilisées dans les simulations.

Deux scénarios ont été retenus. La disponibilité des espaces blancs a été évaluée avant le transfert de la bande 700 MHz¹⁹ et après²⁰. Dans le premier scénario, les simulations sont faites avec des appareils d'espaces blancs mobiles tandis que, dans le second scénario, elles sont faites avec des appareils d'espaces blancs fixes (voir ci-dessous les paramètres techniques retenus).

Les appareils utilisant les espaces blancs seront appelés plus loin dans ce document *White Space Devices* ou WSD.

¹⁹ avec le réseau de TNT actuel à 8 multiplex.

²⁰ en simulant un plan à 6 multiplex entre 470 et 694 MHz (la base du CSA ayant été utilisée pour faire cela).

Les tableaux suivants donnent le pourcentage de la population ayant accès à 2, 8, 15 ou 30 canaux (de 8 MHz chacun) d'espaces blancs, d'une part, dans le cas d'appareils mobiles (scenario 1, voir tableau 2) et, d'autre part, dans le cas d'appareils fixes (scenario 2, voir tableau 3). Les graphiques statistiques disponibles à la suite de ces tableaux illustrent l'ensemble des résultats par commune et en population et par nombres de canaux (allant de 1 à 40).

Tableau 2 : Les principaux résultats issus des simulations dans le cadre du scénario 1

Scenario 1 : Appareils d'espaces blancs mobiles	Nombres de canaux espaces blancs théoriquement disponibles (canaux de 8 MHz)	X% de la population (ayant accès aux canaux d'espaces blancs) en fonction de quatre Régions/Départements			
		Ile-de- France	Vosges	Morbihan	Creuse
Avant attribution bande 700 (8 MUX)	2 canaux / 16 MHz	93%	86%	82%	66%
	8 canaux / 64 MHz	87%	73%	92%	52%
	15 canaux / 120 MHz	71%	58%	64%	46%
	30 canaux / 240 MHz	60%	16%	46%	27%
Après attribution bande 700 (6 MUX)	2 canaux / 16 MHz	87%	67%	75%	52%
	8 canaux / 64 MHz	80%	52%	64%	39%
	15 canaux / 120 MHz	71%	37%	54%	28%
Remarques : Comme indiqué dans la description des scénarios ci-dessous, la différence de hauteur d'antenne entre les WSD (1,5 m en Wifi et 30 m en fixe) et les antennes de réception TV (10 m) risque d'être plus faible qu'en région rurale. Par exemple, sur une grande ville, on peut imaginer des scénarios avec un WSD fixe sur un toit face à une antenne de télévision, ou bien encore un Wifi en étage élevé. La façon d'intégrer ces scénarios dans une simulation serait complexe, mais leur prise en compte réduirait considérablement la disponibilité					

Dans le cas d'appareils d'espaces blancs fixes les principaux résultats observés sont les suivants :

- le changement d'affectation de la bande 700 MHz conduit à une réduction des canaux espaces blancs disponibles. Ainsi, en Ile-de-France, dans le cas où la bande 700 MHz reste affectée aux services audiovisuels, 87% de la population a accès à 8 canaux de 8 MHz, tandis que 80% de la population y aura accès une fois le changement effectué ;
- plus on est proche de l'émetteur TNT plus il y a de disponibilité ;
- les résultats observés ne permettent pas de conclure sur la capacité des appareils d'espaces blancs à utiliser ces fréquences car ils pourraient être eux-mêmes perturbés par la TNT.

Tableau 3 : Les principaux résultats issus des simulations dans le cadre du scénario 2

Scenario 2 : Appareils d'espaces blancs fixes	Nombres de canaux espaces blancs théoriquement disponibles (canaux de 8 MHz)	X% de la population (ayant accès aux canaux d'espaces blancs) en fonction de quatre Régions/Départements			
		Ile-de-France	Vosges	Morbihan	Creuse
Avant attribution bande 700	2 canaux / 16 MHz	100%	90%	87%	73%
	8 canaux / 64 MHz	95%	77%	77%	60%
	15 canaux / 120 MHz	90%	62%	67%	49%
	30 canaux / 240 MHz	71%	18%	49%	34%
Après attribution bande 700	2 canaux / 16 MHz	93%	74%	83%	68%
	8 canaux / 64 MHz	85%	60%	71%	51%
	15 canaux / 120 MHz	73%	38%	62%	31%

Remarques : Comme indiqué dans la description des scénarios ci-dessous, la différence de hauteur d'antenne entre les WSD (1,5 m en Wifi et 30 m en fixe) et les antennes de réception TV (10 m) risque d'être plus faible qu'en région rurale. Par exemple, sur une grande ville, on peut imaginer des scénarios avec un WSD fixe sur un toit face à une antenne de télévision, ou bien encore un Wifi en étage élevé. La façon d'intégrer ces scénarios dans une simulation serait complexe, mais leur prise en compte réduirait considérablement la disponibilité

Les résultats des simulations dans le cas du scénario 2, c'est-à-dire avec des appareils d'espaces blancs fixes, conduisent aux mêmes conclusions que dans le scénario 1.

Enfin, la comparaison des résultats des deux scénarios montre qu'il y a plus de canaux disponibles lorsque les appareils d'espaces blancs sont fixes (scénario 2) que lorsqu'ils sont mobiles (scénario 1). En effet, le système de filtrage des émissions hors bande est meilleur pour une station fixe (qui peut intégrer des filtres plus encombrants) que pour une station mobile. De même, le système antenne a un impact direct sur la valeur des pertes du scénario (voir paramètre *coupling loss* ci-dessous). Comme indiqué dans les tableaux, la différence de hauteur d'antenne entre les WSD (1,5 m en Wifi et 30 m en fixe) et les antennes de réception TV (10 m) risque d'être plus faible qu'en région rurale. Par exemple, sur une grande ville, on peut imaginer des scénarios avec un WSD fixe sur un toit face à une antenne de télévision, ou bien encore un Wifi en étage élevé. La façon d'intégrer ces scénarios dans une simulation serait complexe, mais leur prise en compte réduirait considérablement la disponibilité, notamment pour le scénario 2.

**Tableau 4 : Les principaux résultats issus des simulations
dans le cadre du scénario 1 pour les départements d'Ile de France**

Scénario 1 : Appareils d'espaces blancs mobiles	Nombres de canaux espaces blancs théoriquement disponibles (canaux de 8 MHz)	X% de la population (ayant accès aux canaux d'espaces blancs) en fonction des départements							
		Paris (75)	Seine et Marne (77)	Yvelines (78)	Essonne (91)	Hauts de Seins (92)	Seine Saint Denis (93)	Val de Marne (94)	Val d'Oise (95)
Avant attribution bande 700 (8 MUX)	2 canaux / 16 MHz	100%	74%	82%	89%	100%	99%	100%	91%
	15 canaux / 120 MHz	83%	35%	54%	75%	97%	69%	94%	69%
	30 canaux / 240 MHz	83%	22%	28%	55%	91%	61%	88%	54%
Après attribution bande 700 (6 MUX)	2 canaux / 16 MHz	91%	58%	74%	88%	100%	93%	100%	80%
	15 canaux / 120 MHz	91%	32%	47%	66%	97%	69%	94%	53%

Remarque : Comme indiqué dans la description des scénarios ci-dessous, la différence de hauteur d'antenne entre les WSD (1.5 m en Wifi et 30 m en fixe) et les antennes de réception TV (10 m) risque d'être plus faible qu'en région rurale. Par exemple, sur une grande ville, on peut imaginer des scénarios avec un WSD fixe sur un toit face à une antenne de télévision, ou bien encore un Wifi en étage élevé. La façon d'intégrer ces scénarios dans une simulation serait complexe, mais leur prise en compte réduirait considérablement la disponibilité

Ces résultats confirment les précédents : plus on est proche de l'émetteur TNT (fixé sur la tour Eiffel) plus il y a de disponibilité, c'est pourquoi 100% de la population a accès à 16 MHz de canaux d'espaces blancs sur Paris contre 74% de la population en Seine-et-Marne.

**Tableau 5 : Les principaux résultats issus des simulations
dans le cadre du scénario 2 pour les départements d'Ile de France**

Scénario 2 : Appareils d'espaces blancs fixes	Nombres de canaux espaces blancs théoriquement disponibles (canaux de 8 MHz)	X% de la population (ayant accès aux canaux d'espaces blancs) en fonction des départements							
		Paris (75)	Seine et Marne (77)	Yvelines (78)	Essonne (91)	Hauts de Seines (92)	Seine Saint Denis (93)	Val de Marne (94)	Val d'Oise (95)
Avant attribution bande 700 (8 MUX)	2 canaux / 16 MHz	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	15 canaux / 120 MHz	91%	68%	81%	91%	100%	96%	100%	84%
	30 canaux / 240 MHz	91%	37%	48%	69%	97%	69%	96%	52%
Après attribution bande 700 (6 MUX)	2 canaux / 16 MHz	100%	74%	82%	95%	100%	100%	100%	89%
	15 canaux / 120 MHz	91%	38%	56%	69%	97%	69%	96%	62%

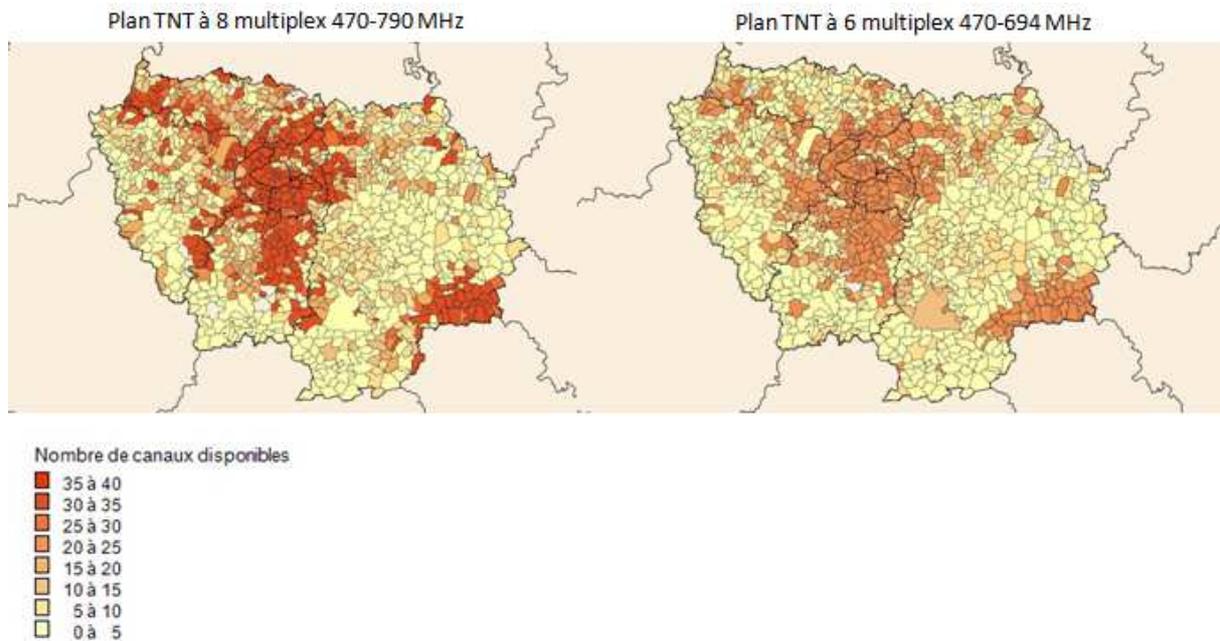
Remarques : Ibid tableau 4

Les résultats du tableau 5 confirment également qu'il y a plus de canaux disponibles lorsque les appareils d'espaces blancs sont fixes (scénario 2) que lorsqu'ils sont mobiles (scénario 1).

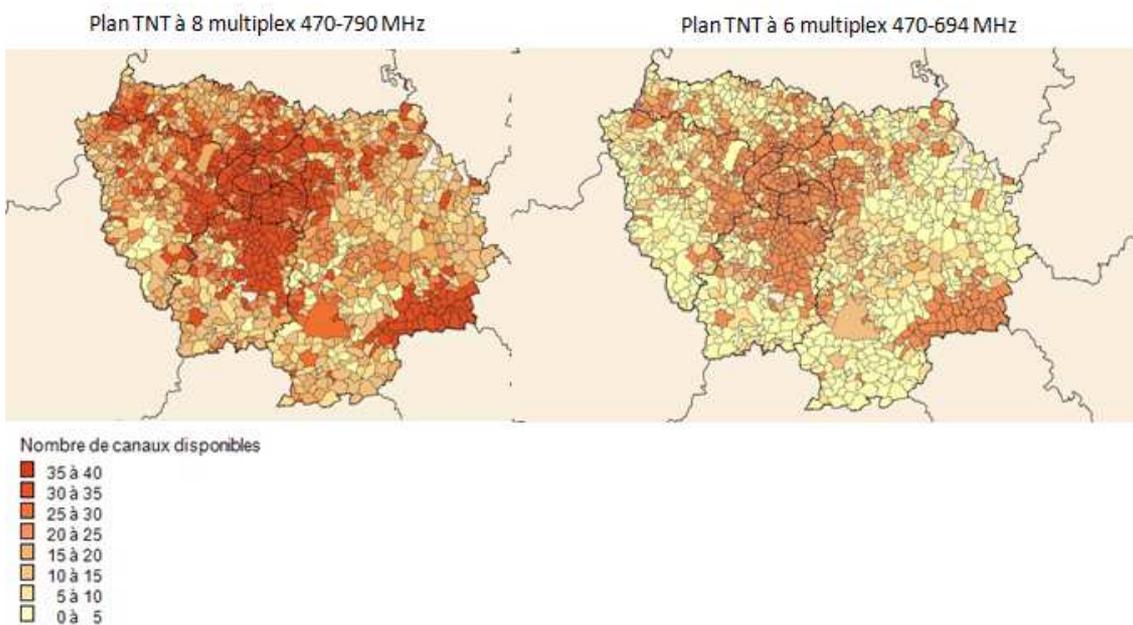
2. Les cartes et statistiques

2.1. Résultats pour l'Île-de-France

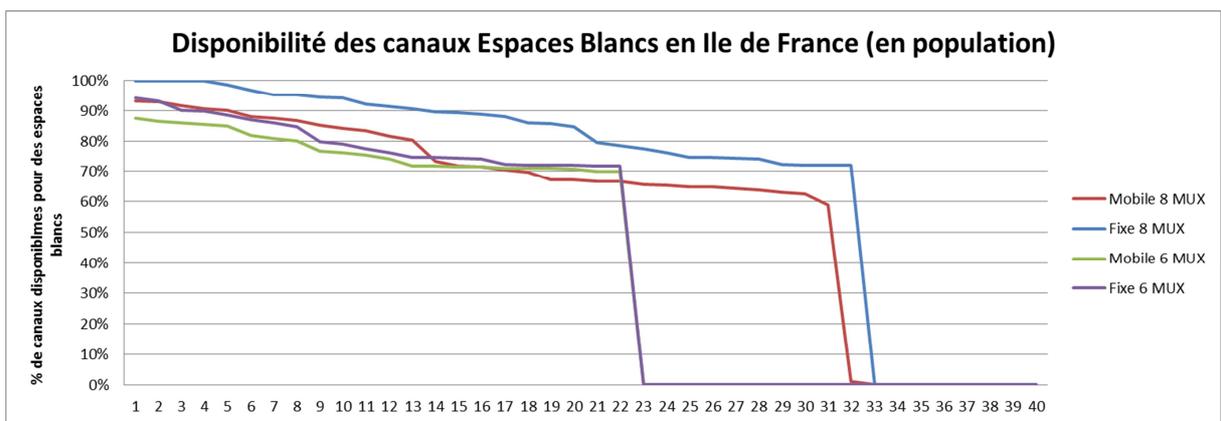
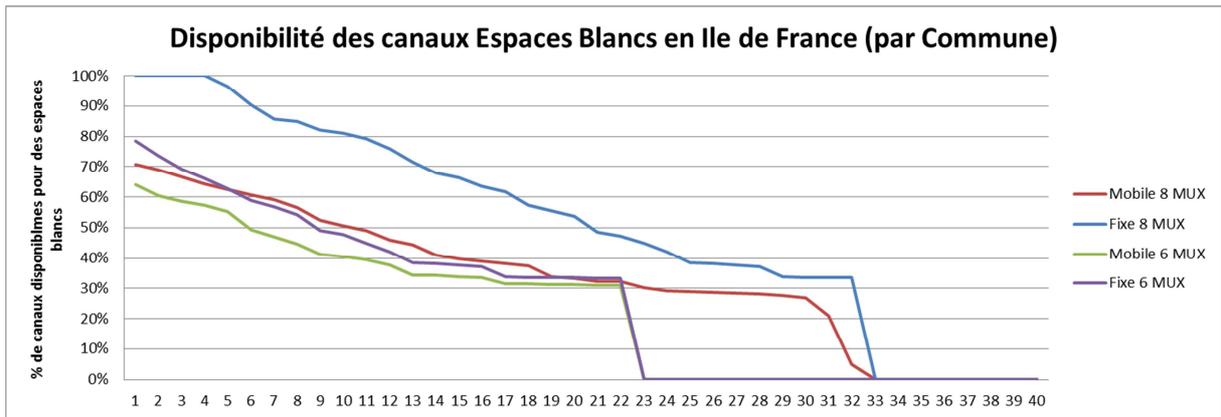
Pour le Scenario 1 : Pour des appareils d'espaces blancs mobiles (type Wifi, smartphone...)



Pour le Scenario 2 : Les appareils d'espaces blancs fixes (location fixe)



Les statistiques pour l'Ile-de-France

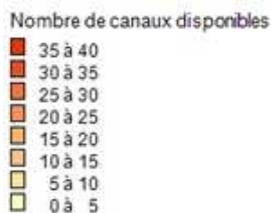
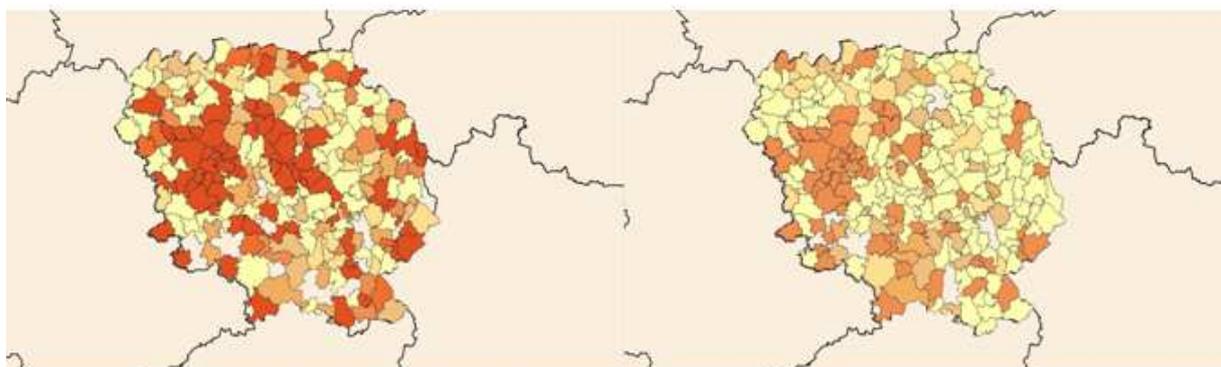


2.2. Les résultats pour la Creuse

Pour le Scenario 1 : WSD mobile

Plan TNT à 8 multiplex 470-790 MHz

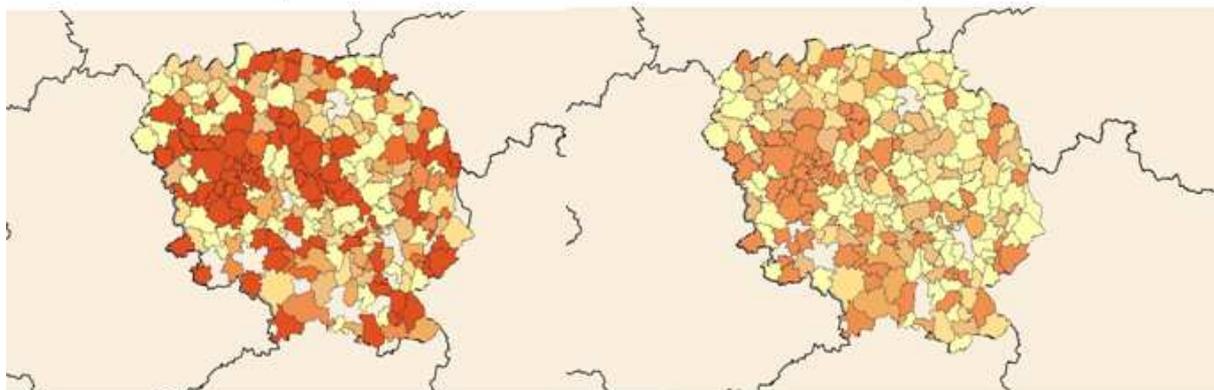
Plan TNT à 6 multiplex 470-694 MHz



Pour le Scenario 2 : WSD fixe

Plan TNT à 8 multiplex 470-790 MHz

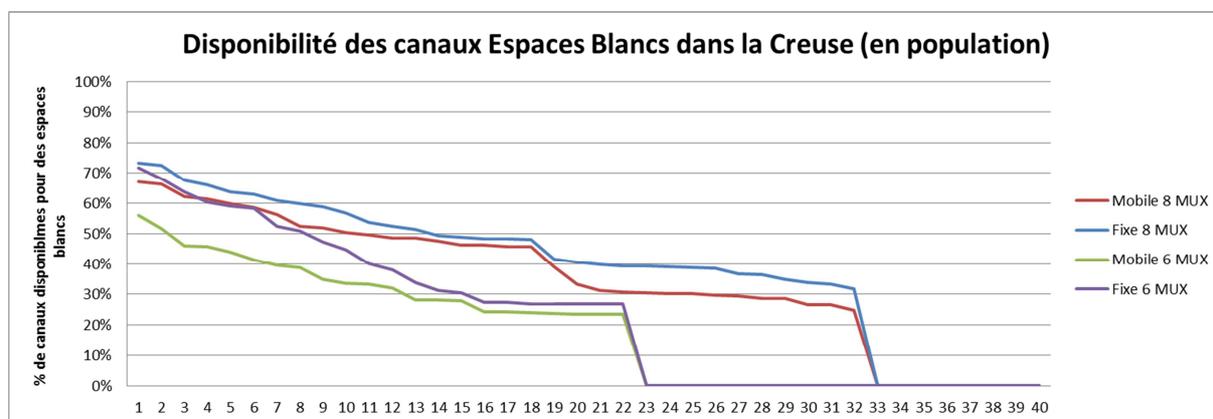
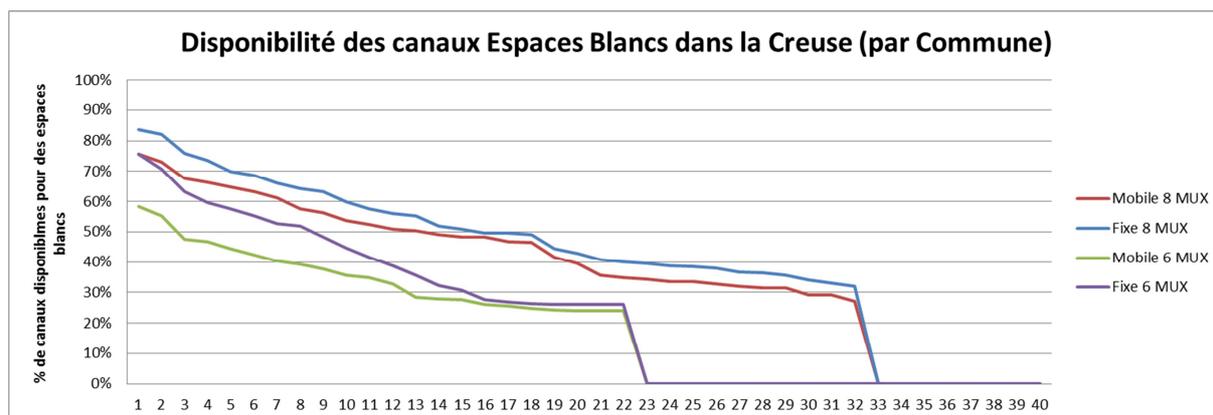
Plan TNT à 6 multiplex 470-694 MHz



Nombre de canaux disponibles

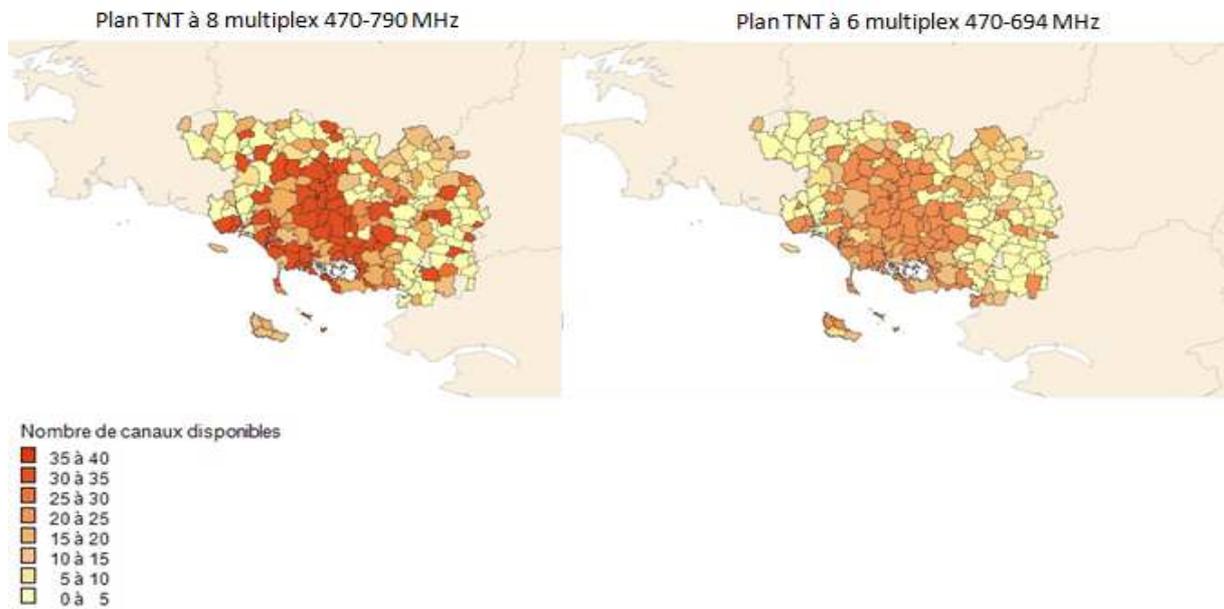


Les statistiques pour la Creuse

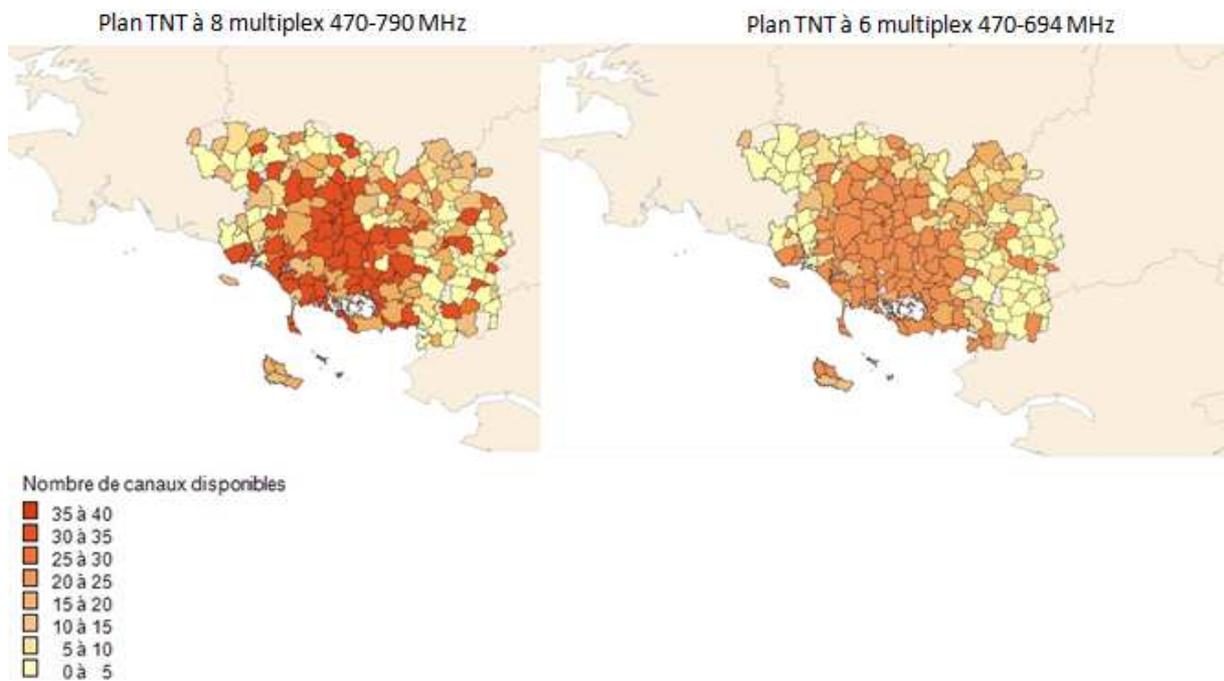


2.3. Les résultats pour le Morbihan

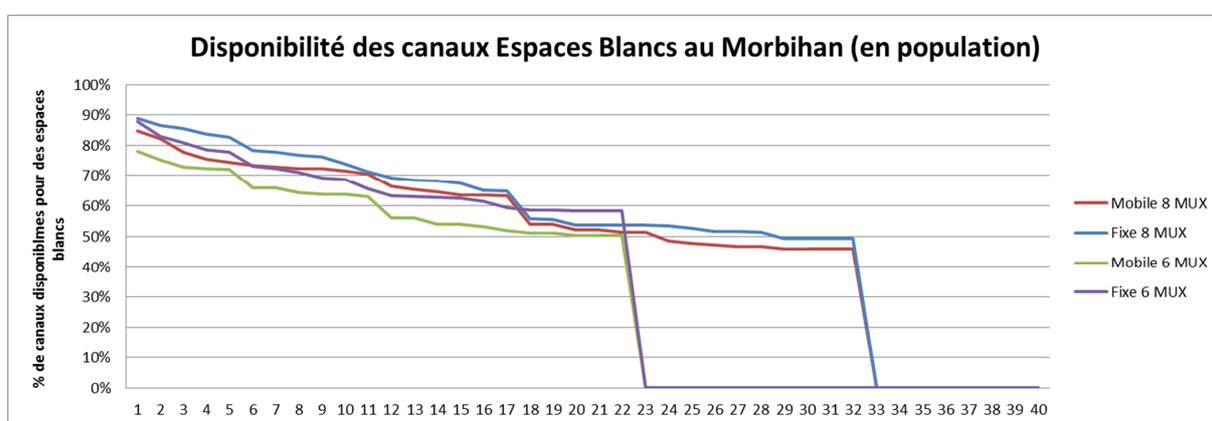
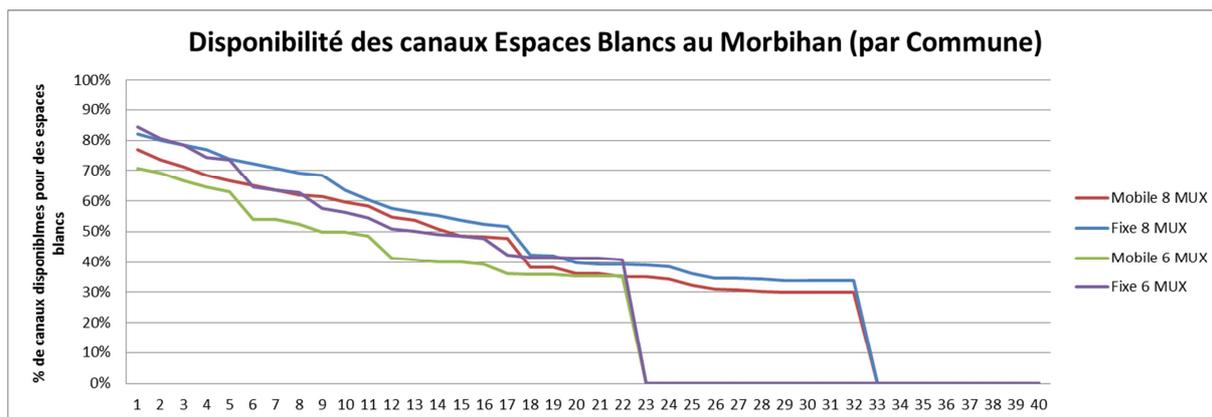
Pour le Scenario 1 : WSD mobile



Pour le Scenario 2 : WSD fixe

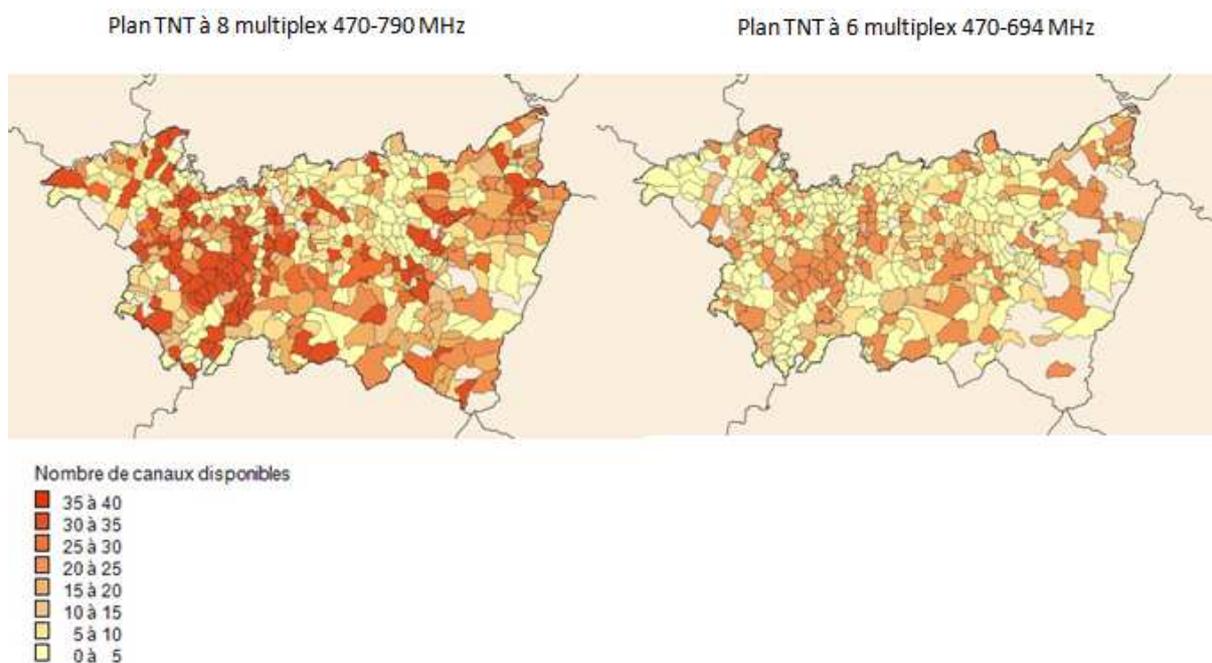


Les statistiques pour le Morbihan



2.4. Les résultats pour les Vosges

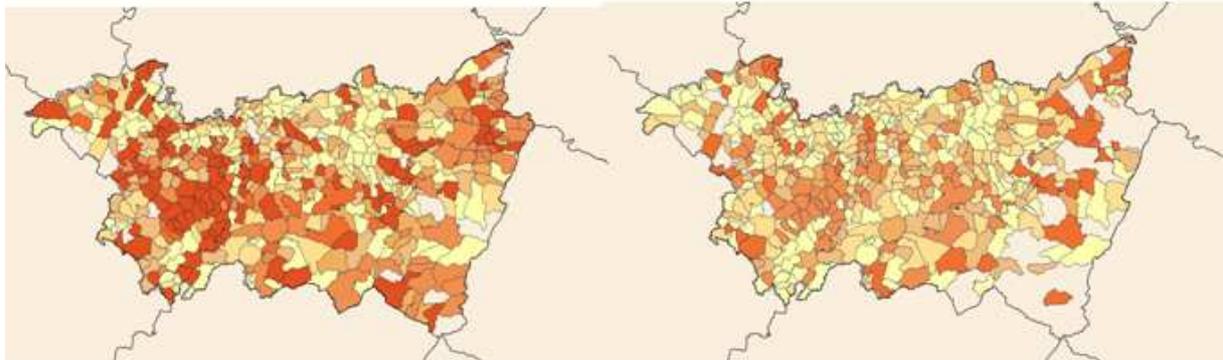
Pour le Scenario 1 : WSD mobile



Pour le scenario 2 : WSD fixe

Plan TNT à 8 multiplex 470-790 MHz

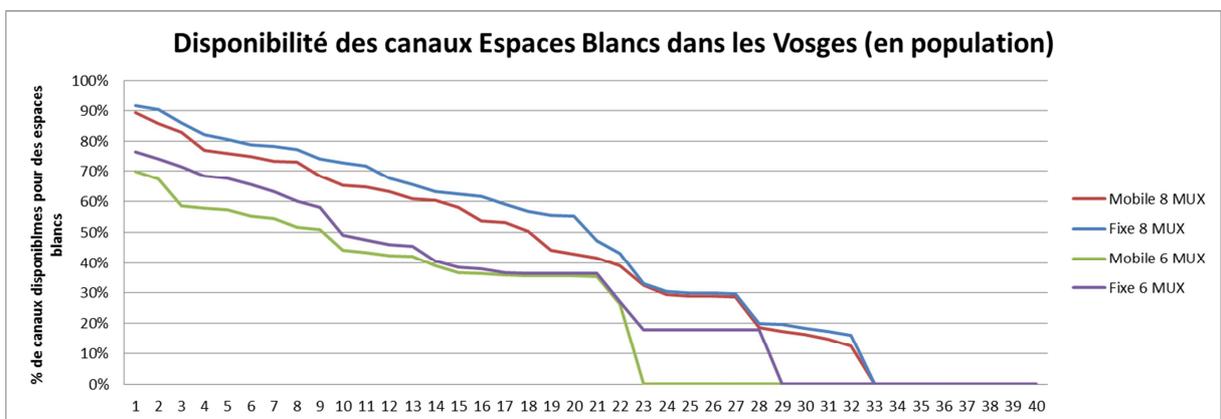
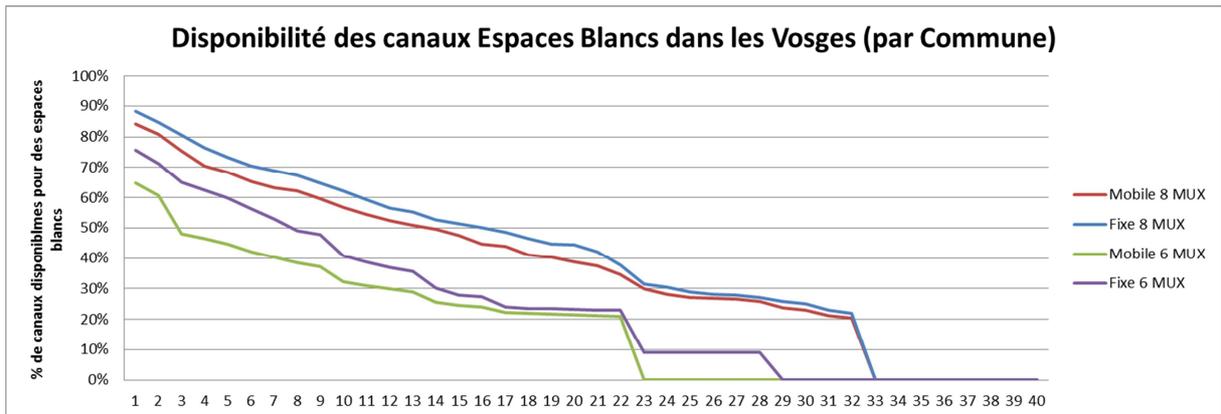
Plan TNT à 6 multiplex 470-694 MHz



Nombre de canaux disponibles



Les statistiques pour les Vosges



Les paramètres retenus

Les deux scénarios étudiés

La base du CSA a été utilisée pour le réseau de TNT actuel à 8 multiplex et elle a été mise à jour pour simuler un plan à 6 multiplex entre 470 et 694 MHz. Cette dernière version du plan n'intègre pas les réémetteurs de la TNT. Les calculs ont été faits sur le centre des communes de la région considérée.

	Scenario 1		Scenario 2	
Description	Utilisation du scénario pire cas défini dans le rapport CEPT 30 dite <i>Minimum Coupling Loss</i> ou MCL		Utilisation du scénario pire cas dite <i>Minimum Coupling Loss</i> ou MCL	
Paramètres	100 mW à 1,5 m en classe 5 selon la consultation Ofcom L'écart type du WSD à 1,5 est estimé à 3 dB et celui de la TNT à 5,5 dB		4 W à 30 m en classe 3 selon la consultation Ofcom L'écart type du WSD à 30m est estimé à 5,5 dB et celui de la TNT à 5,5 dB	
	Pertes de propagation entre le WSD et le récepteur TNT	-52 dB	Pertes de propagation entre le WSD et le récepteur TNT	-63.3 dB
	Discrimination du diagramme vertical de l'antenne de TNT à la distance minimale (22 m)	9,15 dB	Discrimination du diagramme vertical de l'antenne de TNT à la distance minimale (54 m)	0 dB
	Gain de l'antenne TV	9,15 dB	Gain de l'antenne TV	9,15 dB
	Pertes par absorptions par le corps	-4 dB	Pertes par absorptions par le corps	0 dB
	Discrimination de polarisation	0 dB	Discrimination de polarisation	-3 dB
	Discrimination de la directivité d'antenne TNT	0 dB	Discrimination de la directivité d'antenne TNT	-11 dB
	<i>Coupling loss</i>	-47.3 dB	<i>Coupling loss</i>	-68.1 dB

Dans le scénario 2, il existe une différence de hauteur d'antenne entre le WSD et l'antenne de réception TV. Dans des zones urbaines, il est vraisemblable que les hauteurs seront équivalentes. Les estimations pour le scénario 2 sont donc optimistes pour les zones urbaines.

Les tableaux suivants regroupent les différents paramètres retenus.

Tableau 1 : Les classes d'appareils d'espaces blancs (White Space Devices WSD) selon leur caractéristiques de filtrage d'émission hors bande (*Adjacent Channel Leakage Ratio ACLR*)

ACLR	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
$\Delta F+1$	74	74	64	54	43
$\Delta F+2$	79	74	74	64	53
$\Delta F>2$	84	74	84	74	64

Les classes d'appareils d'espace blancs et leur différence de rayonnement hors bande (ACRL) sont issues de la consultation publique de l'Ofcom du 22 novembre 2012²¹.

Tableau 2 : Rapport entre les caractéristiques des récepteurs

10 Mbit/s UE traffic loading Signal generator ACLR = 100 dB all offsets	
ΔF	90th
8	58.0
16	64.0
24	64.0
32	64.0
40	63.0
48	62.0
56	63.0
64	61.0
72	62.0

Tableau 3 : Les rapports de protection

	Scénario 1	Scénario 2
ΔF	PR 90% à 10 Mbits/s	PR 90%
0	18	21
8	-25	-39
16	-35	-46
24	-43	-46
32	-43	-46
40	-42	-45
48	-42	-44
56	-42	-45
64	-41	-43
72	-42	-44

Les rapports de protections sont dérivés des caractéristiques des récepteurs (ACS) et des caractéristiques de filtrage hors bande (ACLR) retenues lors des simulations ci-dessus. Si la différence entre le signal utile et le signal brouilleur est inférieur au rapport de protection, alors il y a un brouillage de la TNT.

²¹ <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/whitespaces/summary/condoc.pdf>

La méthodologie

La puissance maximale (Pib) qui définit le niveau de puissance pouvant être émis par les WSD, dans chacun des canaux, a été déterminée à partir de la formule du Rapport ECC 159 pour la détection (ou *sensing*) en remplaçant la valeur du champ moyen minimum de planification de la TNT (*minimum median field strength*) par le champ moyen issu des simulations et des rapports de protection décrits précédemment.

- La probabilité d'emplacement (*location probability*) est laissée fixe à 95 % ($\mu = 1.644$)
- $P_{ib}(F_x) = P_{med} - PR(\Delta F) - \mu(\sigma_{WSD}^2 + \sigma_{DTT}^2)^{1/2} - CouplingLoss$

Avec $\Delta F = F_0 - F_x$

Les simulations montrent que plusieurs émetteurs TNT peuvent être reçus sur une même zone.

Deux cas ont été distingués :

- lorsqu'un émetteur est prépondérant par rapport aux autres (champs supérieur de 30 dB) les autres émetteurs reçus au-dessus de 56 dB μ V/m, correspondant au champ de planification, seront ignorés ;
- lorsque qu'il n'existe pas d'émetteur prépondérant, alors tous les émetteurs sont considérés comme potentiellement reçus.

Cette hypothèse supplémentaire peut jouer sur le risque de brouillage sur le WSD qui devra surmonter un champ TNT supérieur à 56 dB μ V/m.

7.10 L'étude juridique sur le partage du spectre par Thomas Pez

L'incidence du partage du spectre sur le droit français applicable aux fréquences radioélectriques

Thomas PEZ

Agrégé des Facultés de Droit

Professeur des Universités en Droit public

(6 décembre 2013 - 3 janvier 2014 - 17 mars 2014)

En France, les fréquences radioélectriques appartiennent au domaine public de l'État. Le domaine public hertzien est un domaine public par détermination de la loi. La qualification domaniale ne s'oppose pas aux évolutions qu'imposerait un renforcement du partage du spectre. Le droit français de la domanialité publique loin d'être un obstacle aux évolutions envisagées au plan européen constitue un véritable atout. Son originalité a pu être regrettée, elle mérite d'être confirmée.

La souplesse du système français d'occupation du domaine public hertzien lui permet de s'accommoder des contraintes techniques particulièrement fortes dans le domaine de la communication et des évolutions imposées par le partage du spectre. Les principes qui régissent le droit français se révèlent particulièrement adaptés à un renforcement du partage des fréquences radioélectriques même si certaines améliorations méritent d'être envisagées. Seront ainsi successivement étudiés, les *principes* (I) et l'*adaptation* (II) du droit français applicable aux fréquences radioélectriques.

I - Principes du droit du domaine public hertzien

1.1. Assimilation des fréquences radioélectriques à une occupation du domaine public²²

L'appartenance du spectre hertzien au domaine public n'allait pas de soi, mais elle résulte de la qualification donnée par la loi²³. La qualification législative s'est faite en deux temps. L'utilisation des fréquences radioélectriques a été qualifiée de mode d'occupation privatif du domaine public avant que les fréquences radioélectriques elles-mêmes soient présentées comme relevant du domaine public de l'État.

L'article 22 de la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication dans sa rédaction issue de l'article 10 de la loi n°89-25 du 17 janvier 1989 disposait que « 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'État* ». La règle a depuis été codifiée à l'article L. 2124-26 du Code général de la propriété des personnes publiques. Elle ne figure plus dans la loi du 30 septembre 1986 mais est rappelée à l'article L. 41-1 du Code des postes et des communications électroniques (CPCE).

²² Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 15 et s.

²³ CONSEIL D'ÉTAT, *Redevances pour service rendu et redevances pour occupation du domaine public*, Les études du Conseil d'État, Doc. fr., 2002, p. 70.

Initialement, la loi ne qualifiait pas le spectre hertzien de domaine public, elle se contentait d'affirmer subtilement que son utilisation constituait un mode d'occupation privatif du domaine public. La loi se bornait à assimiler le régime des autorisations à celui des occupations privatives du domaine public²⁴. L'affirmation supplémentaire qui figure désormais à l'article L. 2111-17 du Code général de la propriété des personnes publiques selon laquelle « les fréquences radioélectriques disponibles sur le territoire de la République relèvent du domaine public de l'État » renforce la qualification. La position de l'article dans un livre relatif aux « biens relevant du domaine public », dans un titre sur la « consistance du domaine public », dans un chapitre consacré au « domaine public immobilier » et dans une section intitulée sans ambiguïté « domaine public hertzien » va dans le même sens.

La loi n°96-659 du 26 juillet 1996 de réglementation des télécommunications affirmait déjà de manière explicite l'existence d'un « domaine public des fréquences radioélectriques » dont elle a confié la gestion à l'Agence nationale des fréquences. La disposition est aujourd'hui codifiée à l'article L. 43 du Code des postes et des communications électroniques. De même, l'article L. 32 5° du même code parle-t-il de « domaine public – y compris hertzien ». Le Conseil constitutionnel²⁵ comme le Conseil d'État²⁶ considèrent comme acquise cette qualification.

Le doute n'est désormais plus permis. Il faut admettre qu'en vertu de la loi, non seulement l'utilisation des fréquences constitue un mode d'occupation privatif du domaine public mais encore que les fréquences radioélectriques en elles-mêmes sont des dépendances domaniales, que le spectre des fréquences hertziennes relève directement du domaine public.

Il existe donc, en droit français, un domaine public hertzien qui peut faire l'objet d'occupations privatives. La qualification domaniale présente des avantages. Elle souligne que les fréquences sont affectées à une utilité publique. Elle a pour effet de soumettre les fréquences radioélectriques au régime protecteur de la domanialité publique. Elle emporte notamment l'application des principes d'inaliénabilité et d'imprescriptibilité. L'appartenance du spectre des fréquences radioélectriques au domaine public permet spécialement l'application des principes relatifs aux occupations privatives du domaine public. Elle permet la perception de redevances pour occupation du domaine public en plus de la subordination de son utilisation à une autorisation administrative.

1.2. Autorisations d'utilisation des fréquences radioélectriques²⁷

Les autorisations d'utilisation des fréquences radioélectriques sont des autorisations d'occupation du domaine public hertzien. Pour cette raison, elles sont soumises au respect d'un ensemble de règles désormais codifiées dans le Code général de la propriété des personnes publiques (CG3P). L'exigence d'une autorisation administrative y figure puisque « nul ne peut, sans disposer d'un titre l'y habilitant, occuper une dépendance du domaine public »²⁸. Les caractéristiques de ce titre y sont également rappelées : « l'occupation ou l'utilisation du domaine public ne peut être que temporaire »²⁹ et « l'autorisation [...] présente un caractère *précaire* et *révocable* »³⁰. Exigence d'un

²⁴ D. TRUCHET, « Controverse : les ondes appartiennent-elles au domaine public ? Contre », RFDA 1989, p. 255.

²⁵ Cons. const., décision n° 2000-442 DC du 28 déc. 2000 relative à la loi de finances pour 2001, JO du 31 déc. 2000, p. 21194 et s., considérant 14.

²⁶ CE, 12 mai 2003, *Sté télévision française 1 (TF1)*, n° 247353, JCP 2003, II, 10147, conçu. D. Chauvaux ; AJDA, 2003, p. 1454, note J.-Ph. Thiellay : il résulte des dispositions de la loi du 30 sept. 1986, ainsi que des principes relatifs aux occupations privatives du domaine public, qu'il appartient au Conseil supérieur de l'audiovisuel, agissant par des décisions unilatérales, distinctes des conventions prévues à l'art. 28 de la loi du 30 sept. 1986, de délivrer des autorisations d'utilisation des fréquences radioélectriques, de les assortir des obligations appropriées et, le cas échéant, de les modifier.

²⁷ Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 25 et s.

²⁸ Art. L. 2122-1 CG3P.

²⁹ Art. L. 2122-2 CG3P.

titre temporaire, précaire et révocable, telles sont les règles générales d'occupation du domaine public lorsqu'il en est fait une utilisation compatible avec son affectation. Telles sont les règles qui s'appliquent, en principe, aux autorisations d'utilisation des fréquences en ce qu'elles sont des autorisations d'occupation d'une dépendance domaniale.

La spécificité du spectre des fréquences radioélectriques conduit cependant à l'adaptation des règles de la domanialité publique. Les autorisations d'utilisation de fréquences sont *créatrices de droits* pour leurs titulaires, ce qui atténue leur précarité. Un véritable *droit au renouvellement* des autorisations est aménagé. Il est justifié par l'importance des investissements requis pour l'exploitation des fréquences assignées.

Les autorisations d'utilisation des fréquences sont également des autorisations délivrées aux opérateurs de services de communications électroniques et aux opérateurs de services de communication audiovisuelle. Pour cette raison, elles sont également régies, respectivement, par les dispositions du Code des postes et des communications électroniques et de la loi du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication. L'application de ce second corps de règles explique certaines spécificités de l'autorisation d'utilisation des fréquences. En matière de fréquences, les titres sont délivrés à l'issue de *procédures particulières* qui visent à assurer le respect de certains impératifs tels la libre et égale concurrence³¹ et le pluralisme des courants d'expression³². Tels sont certains des principes qui s'appliquent aux autorisations d'utilisation des fréquences en ce qu'elles sont des *autorisations de diffusion* de services de communications électroniques ou de services audiovisuels.

Le droit français applicable aux fréquences radioélectriques est par ailleurs encadré par le droit international dont on retrouve des traces dans le Code des postes et des communications électroniques. L'influence du droit de l'Union internationale des télécommunications (UIT)³³ et particulièrement du Règlement des radiocommunications³⁴ explique le rôle central de l'État et du Premier ministre qui dispose de l'administration³⁵. Elle explique aussi l'une des spécificités des autorisations délivrées en matière de fréquences : elles se décomposent en *attributions de fréquences* et *assignments de fréquences*.

Le Premier ministre définit les fréquences attribuées aux différents affectataires. Il procède donc littéralement à l'*attribution* des fréquences radioélectriques que la pratique nomme parfois la phase d'*affectation*. Dans un second temps, les fréquences font l'objet d'une autorisation accordée pour leur utilisation à des *utilisateurs*, c'est la phase de l'*assignation* des fréquences. Il y a donc en France deux stades différents dans la procédure qui conduit à l'utilisation des fréquences : l'attribution puis l'assignation³⁶.

³⁰ Art. L. 2122-3 CG3P.

³¹ Art. L. 32-1 CPCE.

³² Art. 29 de la loi n° 86-1067 du 30 sept. 1986 relative à la liberté de communication modifiée.

³³ L'Union internationale des télécommunications (UIT) est l'institution spécialisée des Nations Unies pour les technologies de l'information et de la communication.

³⁴ Le *Règlement des radiocommunications* est le traité international régissant l'utilisation du spectre des fréquences radioélectriques et des orbites des satellites géostationnaires et non géostationnaires. Il complète la *Constitution* et la *Convention* de l'Union internationale des télécommunications (UIT) signées le 22 déc. 1992 à Genève. Le Règlement des radiocommunications a la valeur d'un traité (rappr. : CE, 11 févr. 2005, *Confédération française des radioamateurs et radioécouteurs*, n° 255283 ; 22 oct. 2004, *M. Alain X.*, n° 232131, n° 232036 ; 22 oct. 2004, *M. Martial X.*, n° 232009 ; 22 oct. 2004, *M. Irénée X.*, n° 231416 ; 22 oct. 2004, *M. Pascal X.*, n° 230186 ; 14 déc. 2001, *M. Jean-Yves E... et autres*, n° 225949).

³⁵ Art. 20 et 21 de la Constitution du 4 oct. 1958.

³⁶ L'usage des fréquences pour la diffusion *par voie satellitaire* obéit à des règles spéciales (Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 103 et s.).

1.2.1. Attribution des fréquences radioélectriques aux affectataires³⁷

L'attribution des fréquences (ou affectation) correspond à leur répartition entre différents affectataires (ou attributaires). Selon le Règlement des radiocommunications de l'Union internationale des télécommunications, l'attribution d'une bande de fréquences correspond à l'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 radiocommunication³⁸.

La décision d'attribution des fréquences est un acte administratif dont l'auteur est le Premier ministre et les bénéficiaires (ou destinataires) des administrations de l'État ou des autorités indépendantes (le CSA et l'ARCEP).

Selon l'article L. 41 du Code des postes et des communications électroniques repris à l'article 21 de la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication, le *Premier ministre* définit les fréquences radioélectriques qui sont attribuées aux *administrations de l'État* et celles dont l'assignation est confiée au *Conseil supérieur de l'audiovisuel* ou à l'*Autorité de régulation des communications électroniques et des postes*.

Concrètement le Premier ministre procède, non par décret, mais par simple *arrêté*, forme qui est généralement réservée aux actes pris par le Premier ministre lorsqu'il agit pour l'organisation de ses services comme pourrait le faire tout autre ministre³⁹. L'arrêté du Premier ministre, pris sur le fondement de l'article L. 41 du Code des postes et des communications électroniques, approuve ou s'incorpore le *tableau national de répartition des bandes de fréquences* (TNRBF). L'arrêté dispose généralement que « le tableau [...] définit le partage du spectre des fréquences radioélectriques entre les administrations de l'État, le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Autorité de régulation des communications électronique et des postes »⁴⁰.

Le TNRBF apparaît ainsi comme *l'une des premières formes de partage des fréquences*. Il prévoit d'ailleurs une procédure de coordination en cas de *partage* du spectre⁴¹ et distingue les affectataires selon leur statut (« affectataire de statut exclusif », « affectataire de statut prioritaire » ou « affectataires de statut à égalité de droit »)⁴², c'est-à-dire, selon les conditions dans lesquels ils partagent éventuellement une même bande de fréquences.

L'attribution des fréquences entre affectataires n'est pas figée et fait l'objet de réajustements constants comme en témoigne la succession, plusieurs fois par an, des arrêtés modifiant le TNRBF⁴³ afin de tenir compte de l'évolution des besoins et de suivre les résultats des négociations internationales sur le spectre. C'est l'une des manifestations du réaménagement du spectre.

L'attribution des fréquences correspond à un système de pré-référencement des fréquences. En adoptant le TNRBF, le Premier ministre réserve l'usage de fréquences à certains « affectataires ». L'usage de ses fréquences peut ensuite éventuellement faire l'objet d'une autorisation.

³⁷ Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 27 et s.

³⁸ Art. 1.16 du Règlement des radiocommunications.

³⁹ G. VEDEL, P. DELVOLVE, *Droit administratif*, tome 1, PUF, coll. « Thémis », 1992, p. 268.

⁴⁰ V. p. ex. le dernier arrêté du 18 mars 2013 relatif au tableau national de répartition des bandes de fréquences, JORF n°0067 du 20 mars 2013 p. 4809, texte n°2 (TNRBF 2013).

⁴¹ TNRBF édition 2013, spéc. p. 13.

⁴² TNRBF édition 2013, spéc. p. 7 et s.

⁴³ V. p. ex., pour le TNRBF 2013, l'arrêté du 21 juin 2013 portant modification du tableau national de répartition des bandes de fréquences, JORF n°0144 du 23 juin 2013 p. 10438, texte n° 1.

L'article L. 41 du Code des postes et des communications électroniques et le premier alinéa de l'article 21 de la loi du 30 septembre 1986 modifiée confèrent un pouvoir discrétionnaire au Premier ministre dans les attributions de fréquences⁴⁴.

1.2.2. Assignation des fréquences radioélectriques aux utilisateurs⁴⁵

Les textes français confondent largement assignation et autorisation d'usage des fréquences⁴⁶, ce qui semble conforme à la définition qu'en donne le Règlement des radiocommunications : l'assignation d'une fréquence est l'autorisation donnée par une administration pour l'utilisation par une station radioélectrique (émetteur ou récepteur) d'une fréquence⁴⁷. En bref, on entend par assignation « toute autorisation accordée pour l'utilisation d'une fréquence »⁴⁸. En droit français, l'assignation prend la forme d'une autorisation administrative d'occupation domaniale.

Les assignations sont principalement décidées par le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes. Elles peuvent également l'être, mais d'une manière qui semble subsidiaire, par les administrations de l'État affectataires de fréquences⁴⁹.

Certaines règles s'appliquent à l'ensemble des autorisations d'utilisation des fréquences, d'autres s'appliquent spécialement à celles délivrées par l'ARCEP pour les usages relatifs aux communications électroniques ou le CSA pour les usages relatifs à la communication audiovisuelle.

L'utilisation de fréquences radioélectriques constituant un mode d'occupation privatif du domaine public⁵⁰ elle est, en principe, soumise à autorisation administrative.

Toute occupation privative du domaine public est subordonnée à une autorisation en ce sens de l'administration. L'exigence d'une autorisation résulte de la loi. L'article L. 2122-1 du Code général de la propriété des personnes publiques dispose que « nul ne peut, sans disposer d'un titre l'y habilitant, occuper une dépendance du domaine public d'une personne publique [...] ou l'utiliser dans des limites dépassant le droit d'usage qui appartient à tous ». Est ainsi posée l'exigence d'une autorisation pour l'occupation privative du domaine public en général.

⁴⁴ Ce pouvoir discrétionnaire du Premier ministre était encadré par la loi dans un cas particulier : le deuxième alinéa de l'article 21 de la loi du 30 septembre 1986 modifiée obligeait le Premier ministre à veiller à ce que les fréquences libérées par l'arrêt de la diffusion de la télévision analogique restent affectées aux services audiovisuels dans le cadre d'un schéma national de réutilisation des fréquences libérées par l'arrêt de la diffusion analogique. Cette disposition a été supprimée par la loi n°2013-1028 du 15 novembre 2013 relative à l'indépendance de l'audiovisuel public (art. 18, I 2°).

⁴⁵ Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 41 et s.

⁴⁶ La distinction entre « assignation » et « allotissement », absente du CPCE, est toutefois établie par l'art. 1^{er} du décret n° 2007-1532 du 24 oct. 2007 relatif aux redevances d'utilisation des fréquences radioélectriques dues par les titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences délivrées par l'ARCEP. Cette distinction semble directement inspirée du Règlement des Radiocommunications (art. 1.17 sur l'allotissement et art. 1.18 sur l'assignation). Selon le décret du 24 oct. 2007: « On entend par allotissement toute autorisation accordée pour l'utilisation d'un bloc de fréquences sur une zone géographique donnée. De telles fréquences sont appelées fréquences alloties. ».

⁴⁷ Art. 1.18 du Règlement des radiocommunications.

⁴⁸ Art. 1^{er} du décret n° 2007-1532 du 24 oct. 2007 relatif aux redevances d'utilisation des fréquences radioélectriques dues par les titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences délivrées par l'ARCEP.

⁴⁹ Art. 5 du décret n° 97-520 du 22 mai 1997 relatif à la redevance due par les affectataires de fréquences radioélectriques, JO du 24 mai 1997, p. 7835.

⁵⁰ Art. L. 41-1 CPCE et art. L. 2124-26 CG3P.

L'article L. 41-1 du Code des postes et des communications électroniques fait application de ce principe dans le cas particulier du domaine public hertzien. Il dispose désormais que « 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* »⁵¹. Sa rédaction antérieure, plus stricte, retenait que « l'utilisation de fréquences radioélectriques en vue d'assurer soit l'émission, soit l'émission et la réception de signaux *est soumise à autorisation administrative* ». Cette autorisation est délivrée soit par le ministre soit par l'autorité affectataire des fréquences⁵². L'autorisation d'utilisation d'une fréquence radioélectrique, qui correspond très exactement à une autorisation d'occupation domaniale, s'appelle une « *assignation* » et la fréquence qui fait l'objet d'une telle autorisation est dite « *fréquence assignée* »⁵³.

Est également soumise à autorisation administrative l'utilisation des installations radioélectriques qui assurent pour les besoins de la défense nationale ou de la sécurité publique la réception de signaux transmis sur les fréquences attribuées par le Premier ministre⁵⁴. Cette autorisation est délivrée soit par le ministre chargé de l'intérieur soit par le ministre chargé de la défense⁵⁵.

L'autorisation administrative est délivrée par l'autorité affectataire compétente, c'est-à-dire, principalement, soit l'ARCEP, soit le CSA. Dans certains cas, ces deux autorités administratives indépendantes sont coauteurs des autorisations d'utilisation des fréquences radioélectriques⁵⁶.

Peut ainsi être mise en évidence une *mosaïque d'autorisations* délivrées spécialement par l'ARCEP et le CSA qui atteste de la souplesse du système français d'occupation du domaine public hertzien.

Certaines de ces autorisations d'utilisation des fréquences, notamment celles délivrées par le CSA, sont attribuées en cas de *partage des fréquences*⁵⁷.

Toute occupation privative du domaine public est, en principe, subordonnée à une autorisation en ce sens de l'administration. Il existe cependant des exceptions. L'*utilisation des fréquences* n'est en effet pas toujours soumise à un régime d'*autorisation individuelle*. Elle peut également être soumise, en raison de ce qu'impose le droit de l'Union européenne⁵⁸, à un régime dit d'*autorisation générale*⁵⁹.

Ont par ailleurs été supprimées certaines autorisations qui ne doivent pas être confondues avec les *autorisations d'utilisation des fréquences* qui, elles, demeurent, en principe, obligatoires. Ne sont ainsi plus soumis à autorisation, en raison des exigences européennes⁶⁰, *l'établissement et l'exploitation d'un réseau* et la fourniture de certains services. Prévues aux anciens articles L. 33-1 et L. 34-1 du Code des postes et des communications électroniques, ces autorisations étaient accordées par le ministre chargé des télécommunications. Désormais, *l'établissement et l'exploitation des*

⁵¹ Rédaction issue de l'ordonnance n°2011-1012 du 24 août 2011 relative aux communications électroniques (art. 24).

⁵² Art. R. 20-44-5, al. 1, CPCE.

⁵³ Art. 1^{er} du décret n° 2007-1532 du 24 oct. 2007 relatif aux redevances d'utilisation des fréquences radioélectriques dues par les titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences délivrées par l'ARCEP.

⁵⁴ Art. L. 41-1, al. 2, CPCE.

⁵⁵ Art. R. 20-44-5, al. 2, CPCE.

⁵⁶ Art. 23 de la loi du 30 septembre 1986 modifiée.

⁵⁷ V. p. ex. les autorisations d'utilisation d'une même fréquence par plusieurs services radio (art. 29-1 de la loi du 30 sept. 1986 modifiée).

⁵⁸ 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 ») modifiée par la Directive 2009/140/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009, spéc. art. 3 à 6.

⁵⁹ Cf. *infra*.

⁶⁰ Directive « autorisation » précitée.

*réseaux ouverts au public et la fourniture au public de services de communications électroniques sont libres sous réserve d'une déclaration préalable auprès de l'ARCEP*⁶¹.

1.3. Contreparties de l'utilisation des fréquences radioélectriques⁶²

L'utilisation des fréquences radioélectriques donne lieu, en raison même de sa qualification législative d'occupation privative du domaine public, à la perception de redevances domaniales. Mais des redevances pour service rendu sont également perçues à l'occasion de l'occupation du domaine public hertzien. On retrouve là les deux catégories de redevances que connaît le droit français. Il faut encore ajouter que la contrepartie ne prend pas toujours la forme du paiement d'une redevance. L'utilisation des fréquences radioélectriques donne lieu à des contreparties financières et à des contreparties non financières.

L'utilisation des fréquences radioélectriques donne lieu à la perception de redevances pour service rendu et de redevances domaniales.

Les redevances pour service rendu doivent essentiellement trouver une contrepartie directe dans la prestation fournie par le service et, par conséquent, doivent correspondre à la *valeur de la prestation ou du service*⁶³. L'exploitation par voie terrestre du domaine public hertzien donne lieu à la perception de deux redevances pour service rendu distinctes : la *redevance annuelle de gestion de fréquences due par les utilisateurs autorisés*⁶⁴ et la *redevance annuelle de mise à disposition et de gestion des fréquences radioélectriques due par les affectataires*⁶⁵. L'exploitation des fréquences par les *satellites* donne lieu à la perception d'une redevance spécifique⁶⁶.

L'utilisation par les titulaires d'autorisation de fréquences radioélectriques constituant un mode d'occupation privatif du domaine public⁶⁷, elle donne lieu comme toute occupation ou utilisation du domaine public au paiement d'une redevance⁶⁸ qui tient compte des avantages de toute nature procurés au titulaire de l'autorisation⁶⁹. La valorisation du domaine public que favorise ainsi le droit français est consacrée par le droit de l'Union européenne⁷⁰ : l'article 13 de la « directive autorisation »⁷¹ permet la soumission des droits d'utilisation des radiofréquences à des redevances (objectivement justifiées, transparentes, non discriminatoires et proportionnées eu égard à l'usage auquel elles sont destinées) afin de tenir compte de la nécessité d'assurer une utilisation optimale des ressources des États membres.

⁶¹ Art. L. 33-1 du CPCE.

⁶² Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 129 et s.

⁶³ CE Ass., 16 juill. 2007, *Syndicat national de défense de l'exercice libéral de la médecine à l'hôpital et autre*, n°293229, *RFDA* 2007, p. 1269, concl. Ch. Devys, note Ph. Terneyre ; *AJDA* 2007, p. 1439 et 2008, p. 297, note J.-M. Lemoyne de Forges.

⁶⁴ Décret n°2007-1531 du 24 oct. 2007 instituant une redevance destinée à couvrir les coûts exposés par l'État pour la gestion de fréquences radioélectriques, *JO* du 27, texte 10 ; Décret n°2007-1532 du 24 oct. 2007 relatif aux redevances d'utilisation des fréquences radioélectriques dues par les titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences délivrées par l'ARCEP, *JO* du 27 oct. 2007, texte 11.

⁶⁵ Décret n° 97-520 du 22 mai 1997 relatif à la redevance due par les affectataires de fréquences radioélectriques, *JO* du 24 mai 1997, p. 7835.

⁶⁶ Art. L. 97-2 et art. R. 52-3-1 et s. du CPCE.

⁶⁷ Art. L. 2124-26 du CG3P et art. L. 41-1 du CPCE.

⁶⁸ Art. L. 2125-1 du CG3P.

⁶⁹ Art. L. 2125-3 du CG3P.

⁷⁰ ARCEP, Avis n° 2011-0626 du 19 mai 2011 sur le projet de décret modifiant le décret n° 2007-1532 du 24 octobre 2007 relatif aux redevances d'utilisation des fréquences radioélectriques dues par les titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences, *JO* du 15 juin, texte 96.

⁷¹ Directive 2002/20/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mars 2002 modifiée par la directive 2009/140/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009.

Les redevances d'occupation du domaine public hertzien sont régies par le décret n°2007-1532 du 24 octobre 2007⁷² plusieurs fois modifiés. Elles s'appliquent exclusivement aux titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences délivrées par l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes et concernent en conséquence les seuls *services de communications électroniques*.

S'agissant de redevances domaniales, leur montant correspond aux avantages procurés par l'occupation. Ceci étant dit, la valeur de mise à disposition du spectre, telle qu'elle ressort des textes applicables, diffère notablement selon les bandes de fréquences et peut varier de 1 à 100 pour une même largeur de bande⁷³.

Toutes les utilisations de fréquences radioélectriques constituant une occupation privative du domaine public, toutes devraient être soumises au paiement d'une redevance domaniale. L'article L. 2125-1 du Code général de la propriété des personnes publiques est sans ambiguïté : « toute occupation ou utilisation du domaine public [...] donne lieu au paiement d'une redevance ». Tel n'est pourtant pas le cas. Il y a là une remarquable dérogation aux principes de la domanialité publique. Spécialement, les fréquences qui relèvent du Conseil supérieur de l'audiovisuel et qui sont destinées à des usages de *communication audiovisuelle* ne donnent pas lieu à la perception de redevances mais à des *contreparties non financières*.

Deux redevances domaniales sont dues par les utilisateurs des fréquences assignées par l'ARCEP : la *redevance domaniale de mise à disposition* et la *redevance due par les opérateurs exploitant un réseau mobile terrestre de deuxième ou troisième génération ouvert au public* requalifiée en *redevance due par les opérateurs exploitant un réseau mobile terrestre ouvert au public*⁷⁴

Tels sont les principes du droit du domaine public hertzien. C'est dans ce cadre juridique que le partage du spectre peut spécialement être envisagé.

*

* *

⁷² Décret n° 2007-1532 du 24 oct. 2007 relatif aux redevances d'utilisation des fréquences radioélectriques dues par les titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences délivrées par l'ARCEP, *JO* du 27 oct. 2007, texte 11.

⁷³ Agence nationale des fréquences (ANFR), *Organisation et évolution de la gestion du spectre, Rapport du groupe de travail du conseil d'administration de l'ANFR*, mars 2008, p. 33.

⁷⁴ Décret n°2011-659 du 14 juin 2011, article 1^{er}, *JO* du 15, texte 17.

II - Adaptation du droit français au partage du spectre

Des textes européens invitent à renforcer le partage des fréquences. Le droit français peut être concilié avec les perspectives d'évolution ainsi envisagées.

2.1. Les textes européens relatifs au partage de fréquences

Plusieurs textes européens font référence au partage du spectre hertzien. Doivent spécialement être cité le rapport du Groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique (« *Radio Spectrum Policy Group* » ou RSPG) de novembre 2011 sur l'usage collectif du spectre et les autres modalités de partage du spectre⁷⁵ ainsi que la communication de la Commission européenne du 3 septembre 2012 intitulée « Encourager l'utilisation partagée des ressources du spectre radioélectrique dans le marché intérieur »⁷⁶. Ce rapport et cette communication n'ont pas de caractère contraignant ni de valeur normative mais ils sont un indicateur des évolutions envisagées au plan européen et annoncent probablement à terme une modification des règles applicables.

La décision du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2012 établissant un programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique (décision « PPSR »)⁷⁷ est plus significative tant en ce qui concerne sa valeur juridique que son contenu.

Prise sur le fondement de l'article 114 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (ex-article 95 TCE), tout comme les directives « autorisation »⁷⁸ et « cadre »⁷⁹, la décision du 14 mars 2012 a pour but « le rapprochement des législations »⁸⁰ nationales.

Selon l'article 288 du TFUE (ex-article 249 TCE), la décision qui est l'un des « actes juridiques de l'Union »⁸¹, « est *obligatoire* dans tous ses éléments ». Adoptée à la suite de la procédure législative ordinaire, elle constitue un « acte législatif »⁸² de l'Union. Sa portée normative ne peut être niée⁸³.

⁷⁵ Radio spectrum policy group 2011, *Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and other spectrum sharing approaches*, RSPG11-392 Final, nov. 2011, 38 p.

⁷⁶ Communication de la Commission au Parlement européen, au Conseil, au Comité économique et social européen et au Comité des régions, *Encourager l'utilisation partagée des ressources du spectre radioélectrique dans le marché intérieur*, COM(2012) 478 final, 3 sept. 2012, 14 p.

⁷⁷ Décision n°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 « PPSR »), *JOUE* 21.3.2012, L 81/7.

⁷⁸ 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 ») modifiée par la Directive 2009/140/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009.

⁷⁹ 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 ») modifiée par le Règlement (CE) n°717/2007 du Parlement européen et du Conseil du 27 juin 2007, le Règlement (CE) n°544/2009 du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009 et la Directive 2009/140/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009.

⁸⁰ Chapitre 3 du Titre VII de la Troisième partie du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne.

⁸¹ Section 1 du Chapitre 2 du Titre I du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne.

⁸² Art. 289.3 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne.

⁸³ Comme les directives, les décisions, notamment lorsqu'elles sont adressées aux États membres, ont en principe un effet direct lorsqu'elles comportent des obligations claires, précises et inconditionnelles (CJCE 6 octobre 1970, *Franz Grad*, aff. 9/70, Rec. 825; 8 mars 1979, *Salumificio di Cornuda*, aff. 130/78, Rec. 867; 12 décembre 1990, *Kaeffer et Procacci*, aff. C-100/89 et C-101/89, Rec. I-4647; 10 novembre 1992, *Hansa Fleisch Ernst Mundt*, aff. C-156/91, Rec. I-5567).

La décision « PPSR » contient de remarquables précisions sur le partage du spectre et son utilisation collective.

Plusieurs de ces considérants y font référence:

- « 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. Le système des autorisations générales, qui est le moins onéreux des systèmes d'autorisation, est particulièrement intéressant lorsque le développement d'autres services ne risque pas d'être entravé par le brouillage » (12^e considérant);

- « Bien qu'elles soient encore en phase de développement technique, les *technologies dites "cognitives"* devraient d'ores et déjà être davantage explorées, y compris en facilitant le *partage fondé sur la géolocalisation* » (13^e considérant);

- « *L'utilisation collective (ou partagée) du spectre* — qui permet à un nombre indéterminé d'utilisateurs et/ou d'équipements indépendants d'accéder au spectre dans la même gamme de fréquences au même moment et dans une zone géographique donnée dans des conditions bien définies — 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 » (14^e considérant).

Les articles de la décision « PPSR » traduisent ces considérants dans des règles. La décision du 14 mars 2012 dispose ainsi que :

- « les États membres et la Commission coopèrent en vue [d'] encourager le partage des infrastructures passives lorsque celui-ci est proportionné et non discriminatoire, comme le prévoit l'article 12 de la directive 2002/21/CE » (article 3 h de la décision) ;

- « les États membres en coopération avec la Commission, favorisent, le cas échéant, *l'utilisation collective et l'utilisation partagée du spectre* » et que « 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 de la décision) ;

- « les États membres, en coopération avec la Commission, examinent la possibilité d'étendre la mise à disposition et l'utilisation des picocellules et des femtocellules. Ils tiennent pleinement compte du potentiel de ces stations de base cellulaires et de *l'utilisation partagée et sans licence du spectre* pour fournir la base pour les réseaux maillés sans fil, susceptibles de jouer un rôle clé pour réduire la fracture numérique » (article 6.10 de la décision) ;

- « un inventaire des utilisations existantes du spectre, à des fins tant commerciales que publiques est établi » et que l'un des « objectifs de cet inventaire » est d' « aider à *identifier* les bandes de fréquences qui pourraient se prêter à une réattribution ainsi que *les possibilités de partage du spectre* afin de soutenir les politiques de l'Union exposées dans la présente décision, tout en tenant compte des besoins futurs en radiofréquences en fonction, entre autres, des demandes des consommateurs et des opérateurs et de la possibilité d'y répondre » et d' « aider à identifier les bandes de fréquences qui pourraient être attribuées ou réattribuées afin d'en assurer une utilisation plus efficace, de promouvoir l'innovation, de renforcer la concurrence sur le marché intérieur et *d'envisager de nouveaux moyens de partager le spectre*, dans l'intérêt des utilisateurs du secteur public et du secteur privé, *tout en tenant compte des incidences potentielles positives et négatives sur les utilisateurs existants de l'attribution ou de la réattribution de ces bandes et des bandes adjacentes* » (article 9.1 de la décision).

2.2. Conciliation du système français de domanialité publique hertzienne avec les exigences de partage du spectre

2.2.1. Occupation privative du domaine public et « autorisation générale »

2.2.1.1. Lorsque les textes envisagent l'utilisation des fréquences radioélectriques par les titulaires d'autorisation, ils ne prévoient expressément que l'occupation *privative* du domaine public hertzien.

La formule de l'ancien article 22 de la loi n°86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication dans sa rédaction issue de l'article 10 de la loi n°89-25 du 17 janvier 1989 est significative: « 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'État* ». La formule inchangée figure toujours à l'article L. 41-1 du Code des postes et des communications électroniques (CPCE) et a été reprise dans le Code général de la propriété des personnes publiques (CG3P).

L'article L. 2124-26 du Code général de la propriété des personnes publiques reprend mot à mot la règle. Cet article est l'article unique d'une section intitulée « Utilisation du domaine public hertzien »⁸⁴. Le CG3P qui codifie les règles applicables à l'ensemble des propriétés publiques, spécialement au domaine public, n'envisage donc à propos du domaine public hertzien qu'un seul mode d'utilisation : l'*occupation privative*.

Dans la pratique, l'ARCEP semble distinguer deux types d'autorisations individuelles en plus du régime particulier de l'autorisation générale. À côté des « autorisations individuelles exclusives » existeraient des « autorisations individuelles pour un usage partagé ». Ces deux types d'autorisations ont comme point commun d'être des autorisations individuelles et de donner lieu au paiement d'une redevance d'utilisation. Elles se distinguent en revanche en ce qui concerne le droit exclusif d'utilisation et la garantie de protection qui ne seraient conférés qu'aux titulaires des premières et non des secondes. Il y aurait donc pour l'ARCEP des *autorisations individuelles non exclusives* dans le cadre d'une *occupation privative du domaine public*, ce qui n'est envisageable qu'à la condition *d'admettre que les titulaires de ces autorisations individuelles pour usage partagé bénéficient malgré tout d'une protection contre ceux qui n'ont aucune autorisation*. Il s'agirait alors d'autorisations ne protégeant pas les co-titulaires les uns contre les autres, mais les protégeant dans leur ensemble contre ceux qui ne sont pas autorisés à utiliser des fréquences.

En tout état de cause, il n'est nulle part question dans les textes français applicables aux fréquences radioélectriques d'utilisation *collective* du domaine public hertzien. Cela est d'autant plus remarquable qu'il semble bien en exister en pratique et que le mécanisme de l'« autorisation générale » y invite.

2.2.1.2. Le mécanisme de l'« autorisation générale » peut correspondre à l'occupation *collective* du domaine public hertzien.

2.2.1.2.1. L'utilisation des fréquences n'est pas toujours soumise à un régime d'*autorisation individuelle*. Elle peut également être soumise, en raison de ce qu'impose le droit de l'Union européenne⁸⁵, à un régime dit d'*autorisation générale*.

⁸⁴ Section 3 (« Utilisation du domaine public ») du Chapitre VI (« Dispositions particulières ») du Titre II (« Utilisation du domaine public ») du Livre I^{er} (« Biens relevant du domaine public ») de la Deuxième partie (« Gestion ») du CG3P.

⁸⁵ 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 ») modifiée par la Directive 2009/140/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009.

La décision du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2012 établissant un programme pluriannuel en matière de politique du spectre radioélectrique (décision « PPSR »)⁸⁶ fixe d'ailleurs à la Commission et aux États membres comme objectif à atteindre de « favoriser un accès facile au spectre en tirant parti des avantages que présentent les *autorisations générales* pour les communications électroniques conformément à l'article 5 de la directive 2002/20/CE » (article 3 g).

Selon l'article 2 de la directive 2002/20/CE du 7 mars 2002 (directive « autorisation »), l'autorisation générale doit être définie comme « un cadre juridique mis en place par l'État membre, qui garantit le droit de fournir des réseaux ou des services de communications électroniques et qui fixe les obligations propres au secteur pouvant s'appliquer à tous les types de réseaux et de services de communications électroniques, ou à certains d'entre eux, conformément à la présente directive ». Au-delà du jargon employé par la directive, il faut comprendre que l'on parle d'« autorisation générale » lorsque *l'utilisation des fréquences est libre sous réserve du respect des conditions techniques réglementaires* fixées par décision de l'ARCEP⁸⁷. Les décisions de l'ARCEP qui fixent les conditions d'utilisation des fréquences sont soumises à homologation par arrêté du ministre chargé des communications électroniques ; elles peuvent notamment préciser le type d'équipement, de réseau ou de technologie auquel l'utilisation de la bande de fréquences est destinée⁸⁸. Sous réserve du respect des conditions ainsi fixées, qui visent notamment à éviter tout brouillage préjudiciable aux systèmes utilisant des fréquences spécifiquement assignées à leur utilisateur, l'utilisation des fréquences par les installations radioélectriques concernées n'est soumise ni à autorisation individuelle, ni au paiement d'une redevance.

Le droit français n'emploie pas l'expression d'« autorisation générale » mais préfère parler des cas dans lesquels l'utilisation des fréquences n'est pas soumise à une autorisation administrative. Ainsi, selon l'article L. 33-3 du Code des postes et des communications électroniques, « les installations radioélectriques *n'utilisant pas des fréquences spécifiquement assignées à leur utilisateur sont établies librement* ».

Échappent donc à l'*autorisation administrative individuelle*⁸⁹ et sont donc établies librement⁹⁰ les installations radioélectriques n'utilisant pas des fréquences spécifiquement assignées à leur utilisateur. Ce régime d'*autorisation générale*, qui s'applique dans le domaine des communications électroniques, semble, au premier abord, s'éloigner des principes du droit du domaine public. Il ne paraît avoir d'autorisation que le nom.

Plusieurs arguments militent toutefois dans le sens de la conciliation du régime de l'autorisation générale avec les exigences de la domanialité publique.

⁸⁶ Décision n°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 « PPSR »), *JOUE* 21.3.2012, L 81/7.

⁸⁷ Sur la compétence de l'ARCEP pour fixer les conditions d'utilisation des fréquences radioélectriques: Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 50 et s.

⁸⁸ À titre d'exemple, l'utilisation des fréquences dans la bande 446-446,2 MHz par des équipements de PMR 446 entre dans le cadre d'une décision d'autorisation générale. D'autres bandes peuvent être utilisées dans le cadre d'une autorisation générale pour déployer des applications de type PMR sans être toutefois dédiées à ce type d'usage. On peut citer à titre d'exemple la bande dite « Wi-Fi » (2400-2483,5 MHz) utilisable par les systèmes de transmission de données à large bande, ou encore la bande 869,4-869,65 MHz utilisable par des équipements de faible portée non spécifiques sous réserve du respect de contraintes techniques (notamment une puissance apparente rayonnée inférieure à 0,5 W). Cf.: <http://www.arcep.fr/index.php?id=11727>.

⁸⁹ Art. L. 41-1 CPCE.

⁹⁰ Art. L. 33-3 CPCE.

D'une part, cette dérogation à l'exigence d'une véritable autorisation administrative d'occupation domaniale⁹¹ trouve son fondement dans les directives qui en vertu du principe de primauté du droit de l'Union européenne l'emporte sur la loi nationale⁹².

D'autre part, il n'est pas impossible de voir dans les dispositions législatives transposant les exigences du droit de l'Union une « autorisation générale » d'occupation du domaine public hertzien *délivrée non par l'administration mais le législateur* et limitée à certains usages particuliers : il y a une sorte d'autorisation de plein droit qui résulte de la loi. Cette dispense d'autorisation individuelle étant instituée par la loi, elle peut s'analyser en une dérogation au principe législatif⁹³ de l'exigence d'une autorisation *administrative* pour occuper le domaine public. Elle peut également s'analyser en une autorisation *législative* d'occupation d'un domaine qui n'est public que par détermination de la loi.

Enfin, l'autorisation générale peut s'analyser comme une forme d'*occupation collective du domaine public hertzien* : il en irait ainsi pour le spectre hertzien comme il en va pour de nombreuses dépendances domaniales qui sont susceptibles à la fois d'une *occupation privative* et d'une *occupation collective*, cette dernière étant dispensée d'autorisation individuelle préalable. L'autorisation générale peut s'analyser en un cas d'*occupation collective du domaine public hertzien* même si les textes applicables en ce domaine n'envisagent que le cas de l'occupation privative⁹⁴.

2.2.1.2.2. Les installations radioélectriques soumises au régime de l'autorisation générale sont souvent présenter comme ne bénéficiant d'*aucune protection contre les brouillages préjudiciables*. La formule est souvent reprise⁹⁵. Des décisions de l'ARCEP disposent que « les installations radioélectriques » qui échappent à l'exigence d'une autorisation administrative individuelle « fonctionnent sur une base de non-brouillage et sans garantie de protection » et donc que « l'utilisateur ne doit pas occasionner de gênes à d'autres utilisateurs autorisés et ne bénéficie pas de la garantie de la disponibilité d'une fréquence »⁹⁶. Une formule plus précise et plus juste est désormais retenue : « Les dispositifs à courte portée ne doivent pas causer de brouillage préjudiciable aux stations d'un service bénéficiant d'une attribution à titre primaire ou secondaire dans le tableau national de répartition des bandes de fréquences. Ils ne peuvent pas prétendre à la protection contre les brouillages préjudiciables causés par ces stations »⁹⁷.

En tout état de cause, l'affirmation selon laquelle les installations radioélectriques soumises au régime de l'autorisation générale ne bénéficient d'*aucune protection contre les brouillages préjudiciables* est excessive.

⁹¹ Le régime de l'autorisation générale n'exclut pas qu'une décision désigne les fréquences concernées et fixe les conditions de leur utilisation. V. p. ex.: Décision n° 2010-0910 de l'ARCEP du 2 septembre 2010 modifiant la décision n°2007-0682 désignant des bandes de fréquences pour les dispositifs à courte portée non spécifiques et fixant les conditions d'utilisation des fréquences radioélectriques dans ces bandes ; décision n°2012-1669 du 18 décembre 2012 fixant les conditions d'utilisation des fréquences radioélectriques par des dispositifs à courte portée dans la bande de fréquences 2 400-2 483,5 MHz.

⁹² V. not. CE Ass. 20 octobre 1989, *Nicolo*, Rec. 190, concl. Frydman.

⁹³ Y. GAUDEMET, *Droit administratif des biens*, tome 2, LGDJ, coll. « Traités », 13^e éd., 2008, n° 457.

⁹⁴ Art. L. 2124-26 CG3P et art. L. 41-1 CPCE (cf. *supra*).

⁹⁵ V. p. ex.: <http://www.arcep.fr/index.php?id=11727>.

⁹⁶ ART, Décision n°02-1008 de l'Autorité de régulation des télécommunications en date du 31 octobre 2002 fixant les conditions d'utilisation d'installations radioélectriques dans la bande 2400-2483,5 MHz (art. 3).

⁹⁷ ARCEP, Décision n°2012-1669 du 18 décembre 2012 fixant les conditions d'utilisation des fréquences radioélectriques par des dispositifs à courte portée dans la bande de fréquences 2 400-2 483,5 MHz (art. 3).

Une telle affirmation doit, d'abord, être nuancée en raison de ce qu'impose le droit de l'Union européenne. L'autorisation générale peut être soumise à des conditions énumérées par l'annexe de la directive « autorisation »⁹⁸. Parmi ces conditions figurent les « conditions d'utilisation des radiofréquences, conformément à l'article 7, paragraphe 2, de la directive 1999/5/CE du Parlement européen et du Conseil »⁹⁹. Selon cette dernière disposition, « les États membres ne peuvent limiter la mise en service d'équipements hertziens que pour des raisons liées à l'utilisation efficace et appropriée du spectre radio, à la nécessité d'éviter des interférences dommageables, ou à des questions liées à la santé publique »¹⁰⁰. Il faut déduire de la combinaison de ces textes que les installations bénéficiant du régime de l'autorisation générale peuvent notamment être soumises au respect de l'utilisation efficace et appropriée du spectre radio et à la nécessité d'éviter des interférences dommageables.

L'affirmation de l'absence de protection contre les brouillages préjudiciables des installations soumises à une autorisation générale doit, ensuite, être nuancée en raison ce qu'imposent les principes qui régissent l'utilisation collective du domaine public. Si l'autorisation générale correspond bien à une utilisation collective du domaine public hertzien, les autorités administratives doivent spécialement veiller au respect des principes de liberté et d'égalité dans l'usage qui est ainsi fait des fréquences radioélectriques. L'utilisation collective du domaine public est par définition une utilisation partagée, non exclusive. Elle ne peut tolérer que certains utilisateurs s'accaparent la dépendance domaniale au détriment des autres.

2.2.2. Utilisation collective du domaine public et utilisation libre des fréquences radioélectriques

2.2.2.1. Le domaine public est susceptible de deux modes d'utilisation. Une utilisation privative et une utilisation collective. Le propre de l'occupation collective du domaine public est d'être une occupation partagée entre les différents utilisateurs, une occupation *non exclusive*. À l'inverse, le propre de l'occupation privative est d'être une occupation exclusive.

L'utilisation collective (ou commune) du domaine public¹⁰¹ correspond à un *utilisation non exclusive* de la dépendance domaniale. Les domaines publics routier, fluvial, maritime, de même que les promenades publiques en sont les meilleurs exemples. Le domaine public se prête alors à une libre utilisation par les administrés. Tant qu'il respecte l'affectation du domaine, chaque administré peut l'utiliser collectivement et indistinctement. L'utilisation collective ne dépend d'aucune autorisation individuelle préalable.

Les autorités administratives veillent alors surtout au maintien de l'ordre public en faisant usage de leur pouvoir de police administrative. Par ailleurs, quelque soit le domaine et quelque soit l'utilisation qui en est faite, l'administration a le droit de réglementer l'accès et l'utilisation du domaine afin d'en assurer la conservation. Cette réglementation doit s'effectuer dans le « respect de la faculté qu'à tout usager d'utiliser les dépendances du domaine public conformément à leur affectation »¹⁰².

⁹⁸ Art. 6 § 1 de la 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 »).

⁹⁹ Annexe A § 17 de la 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 »).

¹⁰⁰ Art. 7 § 2 de la directive directive 1999/5/CE du 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, JOCE 7 avr. 1999, L 91/10.

¹⁰¹ N. FOULQUIER, *Droit administratif des biens*, Lexis Nexis, 2011, n°633, p. 258 ; Y. GAUDEMET, *Droit administratif des biens*, LGDJ, Lextenso éditions, 2011, n°377 et s., p. 229 et s.

¹⁰² CE 18 novembre 1949, *Carlier*.

Le domaine public est alors utilisé de façon impersonnelle, anonyme et libre. Pour rester libre cette utilisation ne doit pas devenir exclusive : l'utilisation des uns ne saurait exclure celle des autres. Dans le cas contraire, elle deviendrait incompatible avec l'affectation du domaine ou équivaldrait à un occupation privative. Les utilisations collectives du domaine public sont donc soumises au respect de deux principes, la liberté et l'égalité, ce qui n'exclut pas qu'elles fassent l'objet d'une réglementation de police.

2.2.2.2. Les principes qui régissent les utilisations collectives du domaine public peuvent être transposés au spectre hertzien, ce qui révèle *a posteriori* la pertinence de la qualification domaniale retenue par le droit français depuis 1989.

Le rapport du Groupe pour la politique en matière de spectre radioélectrique (« *Radio Spectrum Policy Group* » ou RSPG) de novembre 2011 sur l'usage collectif du spectre et les autres modalités de partage du spectre¹⁰³ présente d'ailleurs l'usage collectif du spectre (« *Collective Use of Spectrum* » ou CUS) comme l'une des modalités du partage du spectre (« *spectrum sharing* »).

Cette présentation est pleinement compatible avec les possibilités qu'offre le droit français de la domanialité publique qui révèle ainsi sa souplesse et son adaptation aux évolutions techniques et juridiques envisagées au plan européen. En effet, le partage des fréquences peut être réalisé soit dans le cadre d'une occupation privative du domaine public hertzien par plusieurs titulaires d'autorisations, soit dans le cadre d'une utilisation collective de ce domaine par l'ensemble des usagers.

En droit français, la qualification domaniale des fréquences radioélectriques impose que l'utilisation collective du domaine public hertzien soit fondée sur une liberté fondamentale, qu'elle respecte le principe d'égalité entre les utilisateurs et n'exclut pas que le spectre soit soumis à une réglementation de police.

2.2.2.2.1. La *liberté* d'utilisation du domaine public est le premier principe qui doit être respecté. Les utilisations collectives du domaine public sont libres¹⁰⁴. Il en découle que l'administration ne peut pas les interdire de manière générale et absolue. Elle ne peut pas davantage les soumettre à la délivrance d'une autorisation préalable. Et elle doit veiller à ce que leur réglementation ne soit pas disproportionnée.

L'article L. 2122-1 du CG3P exprime en creux le principe de liberté des utilisations collectives ou communes (par opposition avec les occupations privatives) du domaine public. Il dispose en effet que « nul ne peut, sans disposer d'un titre l'y habilitant, occuper une dépendance du domaine public d'une personne publique [...] ou l'utiliser dans des limites dépassant *le droit d'usage qui appartient à tous* ». Cette disposition peut s'analyser comme concrétisant l'une des « exigences constitutionnelles qui s'attachent à la protection du domaine public », ces exigences résidant en effet notamment « dans les droits et *libertés* des personnes à l'usage desquelles il est affecté »¹⁰⁵. La liberté d'aller et venir et la liberté du commerce et de l'industrie sont deux des libertés qui s'exercent le plus souvent sur le domaine public et justifient que son utilisation soit collective. Ce principe de liberté qui régit les utilisations collectives peut spécialement être transposé aux fréquences dont le partage est voué à être renforcé.

¹⁰³ Radio spectrum policy group 2011, *Report on Collective Use of Spectrum (CUS) and other spectrum sharing approaches*, RSPG11-392 Final, nov. 2011, 38 p.

¹⁰⁴ CE Ass. 22 juin 1951, *Sieur Daudignac et Fédération nationale des photographes-filmeurs* (2 esp.), *Grandes décisions du droit administratif des biens*, Dalloz, 2013, n°46.

¹⁰⁵ Cons. const., décision n°2003-473 DC du 26 juin 2003, *Loi habilitant le gouvernement à simplifier le droit*, Rec. 382.

La liberté de la communication¹⁰⁶ dont les fréquences radioélectriques sont le support justifie l'utilisation collective du domaine public hertzien. Consacrée par l'article 11 de la Déclaration des droits de l'Homme et du Citoyen du 26 août 1789, selon lequel « *la libre communication des pensées et des opinions* est un des droits les plus précieux de l'Homme : tout Citoyen peut donc parler, écrire, imprimer librement, sauf à répondre de l'abus de cette liberté dans les cas déterminés par la Loi », la liberté de communication a valeur constitutionnelle. Dans l'une de ses décisions les plus importantes en la matière, le Conseil constitutionnel estime que cette « liberté fondamentale » est « d'autant plus précieuse que son exercice est l'une des garanties essentielles du respect des autres droits et libertés et de la souveraineté nationale, la loi ne peut en réglementer l'exercice qu'en vue de le rendre plus effectif ou de le concilier avec celui d'autres règles ou principes de valeur constitutionnelle »¹⁰⁷. Il estime « qu'ainsi il appartient au législateur de concilier, en l'état actuel des techniques et de leur maîtrise, l'exercice de la liberté de communication telle qu'elle résulte de l'article 11 de la Déclaration des droits de l'homme, avec, d'une part, les contraintes techniques inhérentes aux moyens de la communication audiovisuelle et, d'autre part, les objectifs de valeur constitutionnelle que sont la sauvegarde de l'ordre public, le respect de la liberté d'autrui et la préservation du caractère pluraliste des courants d'expression socioculturels auquel ces modes de communication, par leur influence considérable, sont susceptibles de porter atteinte »¹⁰⁸.

Parce qu'il est l'un des supports nécessaire à l'exercice d'une liberté constitutionnellement garantie, le domaine public hertzien est susceptible d'une utilisation collective. Du point de vue du droit, il est comparable à la voie publique et, comme elle, peut faire l'objet d'un usage privatif (p. ex. : terrasses des cafés, ou utilisation par les titulaires d'autorisation de fréquences radioélectriques) autant que d'un usage collectif (p. ex. : circulation du public sur les trottoirs ou libre usage des fréquences pour le « wifi »).

2.2.2.2.2. L'égalité dans l'utilisation collective du domaine public est le second principe qui s'impose. L'utilisation collective du domaine public ne demeure libre que dans le respect du principe d'égalité des administrés.

La valeur constitutionnelle et l'importance du principe d'égalité doivent être rappelées. Selon la décision fondatrice du Conseil constitutionnel, qui constitue d'ailleurs la première application de la Déclaration des droits comme texte de référence destiné à juger de la constitutionnalité d'une loi, la disposition législative qui « tend à instituer une discrimination entre les citoyens [...] porte atteinte au principe de l'égalité devant la loi contenu dans la Déclaration des Droits de l'Homme de 1789 et solennellement réaffirmé par le Préambule de la Constitution »¹⁰⁹. Le Conseil constitutionnel s'est inspiré de la conception du principe d'égalité que le Conseil d'État a dégagée et déclinée dans sa jurisprudence¹¹⁰.

¹⁰⁶ D. DE BELLESCIZE, L. FRANCESCHINI, *Droit de la communication*, 2^e éd., Thémis, PUF, 2011, p. 29 et s.

¹⁰⁷ Cons. const., décision n°84-181 DC des 10 et 11 octobre 1984, Loi visant à limiter la concentration et à assurer la transparence financière et le pluralisme des entreprises de presse, 37^e considérant, JORF 13 oct. 1984, p. 3200.

¹⁰⁸ Cons. const. décision n°82-141 DC du 27 juillet 1982, Loi sur la communication audiovisuelle, 5^e considérant, JORF du 29, p. 2422.

¹⁰⁹ Cons. const., décision n°73-51 DC du 27 décembre 1973 dite *Taxation d'office*.

¹¹⁰ Égalité dans le fonctionnement du service public (CE Sect. 9 mars 1951, *Sté des concerts du Conservatoire*, n°92.004, Rec. p. 151), égalité des usagers du service public (CE Ass., 1^{er} avr. 1938, *Sté L'Alcool dénaturé de Courbet*, n°54.715, Rec. p. 337), égalité d'accès à la fonction publique (CE 19 oct. 1960, *Sieur Beaufort*, n°37.386, Rec. p. 545), égalité devant les charges publiques (CE 30 nov. 1923, *Couitéas*, n° 48.688, Rec. p. 789), égalité devant l'impôt (CE Sect., 4 fév. 1944, *Sieur Guieysse*, no 62.929, Rec. p. 45).

La portée du principe d'égalité est circonscrite et des dérogations peuvent y être apportées. Le Conseil constitutionnel, reprenant la jurisprudence du Conseil d'État, considère que « le principe d'égalité ne s'oppose ni à ce que le législateur règle de façon différente des situations différentes ni à ce qu'il déroge à l'égalité pour des raisons d'intérêt général pourvu que, dans l'un et l'autre cas, la différence de traitement qui en résulte soit en rapport direct avec l'objet de la loi qui l'établit »¹¹¹. Le Conseil constitutionnel considère spécialement que « si le principe d'égalité ne fait pas obstacle à ce qu'une loi établisse des règles non identiques à l'égard de catégories de personnes se trouvant dans des situations différentes, il n'en est ainsi que lorsque cette non-identité est justifiée par la différence des situations et n'est pas incompatible avec la finalité de cette loi »¹¹². Les mêmes principes sont repris par le Conseil d'État¹¹³. Le principe d'égalité dans la conception française n'exclut donc pas les différences de traitement dès lors qu'elles sont justifiées par des différences de situations. Par ailleurs, l'intérêt général permet de déroger au principe d'égalité et justifie également des différences de traitement. L'essentiel étant que la discrimination résultant de la différence de traitement soit en rapport direct avec l'objet de la loi qui l'établit.

Ces mêmes principes doivent être respectés dans le cas d'utilisations collectives du domaine public hertzien. Entre les différents utilisateurs des fréquences partagées s'impose le respect de l'égalité. Le principe d'égalité doit spécialement orienter l'ARCEP lorsqu'elle fixe les conditions d'utilisation des fréquences sous le régime dit de l'« autorisation générale ». En l'absence de motif d'intérêt général, toute différence de traitement des utilisateurs de fréquences, particulièrement dans le cadre d'une utilisation collective du domaine, doit être dûment justifiée par une différence de situation objective et en rapport avec la finalité de la norme (loi ou réglementation) qui l'établit et ne pas être manifestement disproportionnée au regard des différences de situation susceptibles de la justifier.

2.2.2.2.3. La réglementation de police du spectre doit enfin être envisagée.

Comme toute dépendance domaniale¹¹⁴, le domaine public hertzien fait l'objet d'une protection et, à ce titre, est susceptible d'être soumis à une réglementation de police¹¹⁵.

La police du spectre est principalement à la charge de l'Agence nationale des fréquences (ANFR) dont il faut certainement considérer qu'elle exerce cette mission au nom de l'État. L'agence ayant la personnalité morale, l'exercice de cette mission est la marque d'une *délégation de police* qui, parce qu'elle est *prévüe par la loi*, est sans doute légale.

¹¹¹ Cons. const., décision n°98-405 DC du 29 décembre 1998, Loi de finances pour 1999 ; Décision n°2001-452 DC du 6 décembre 2001, Loi portant mesures urgentes de réformes à caractère économique et financier.

¹¹² Cons. const., décision n°78-101 DC du 17 janvier 1979, Loi portant modification des dispositions du titre 1er du livre V du code du travail relatives aux conseils de prud'hommes ; décision n°81-132 DC du 16 janvier 1982, Loi de nationalisation ; décision n°86-209 DC du 3 juillet 1986, Loi de finances rectificative pour 1986.

¹¹³ V. p. ex. CE Sect. 18 décembre 2002, *Duvignières*, n°233618, Rec. 463 : « le principe d'égalité ne s'oppose pas à ce que l'autorité investie du pouvoir réglementaire règle de façon différente des situations différentes ni à ce qu'elle déroge à l'égalité pour des raisons d'intérêt général, pourvu que la différence de traitement qui en résulte soit, dans l'un comme l'autre cas, en rapport avec l'objet de la norme qui l'établit et ne soit pas manifestement disproportionnée au regard des différences de situation susceptibles de la justifier ».

¹¹⁴ N. FOULQUIER, *Droit administratif des biens*, Lexis Nexis, 2011, n°538 et s., p. 219 et s.; Y. GAUDEMET, *Droit administratif des biens*, LGDJ, Lextenso éditions, 2011, n°334 et s., p. 205 et s.

¹¹⁵ V. p. ex. l'intitulé du Titre II (« Ressources et police ») du Livre II (« Les communications électroniques ») et spécialement de son Chapitre IV (« Police des liaisons et des installations du réseau des communications électroniques ») du CPCE.

L'article L. 43 I alinéa 2 du CPCE dispose en effet que « *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 ». La précision selon laquelle il s'agit du « *contrôle de l'utilisation, y compris privative, du domaine public des fréquences radioélectriques* » consacre la compétence de l'ANFR pour assurer aussi la police des utilisations collectives du spectre. La réserve de l'article L. 41 laisse toutefois clairement entendre que la mission de police du spectre est partagée avec les autres affectataires et spécialement avec l'ARCEP.

Le contenu de cette mission est explicité par le reste de l'article L. 43 dont il faut déduire que l'ANFR doit principalement veiller à prévenir les brouillages de fréquences¹¹⁶ et l'exposition excessive aux champs électromagnétiques dont on peut considérer qu'ils portent atteinte à l'ordre public et à la conservation du domaine public hertzien. Le 4^e alinéa du I de l'article L. 43 dispose spécialement que l'ANFR « *recueille les réclamations et instruit les cas de brouillage de fréquences radioélectriques qui lui sont signalés* » et qu' « *elle transmet son rapport d'instruction, qui préconise les solutions pour mettre fin à ces perturbations, à l'administration ou autorité affectataire concernée* ». Le 5^e alinéa du I prévoit qu' « *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* » et qu' « *à 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* ».

Alors qu'il est envisagé de renforcer les possibilités de partage des fréquences et notamment d'ouvrir davantage le domaine public hertzien à des utilisations collectives conformes à son affectation, le pouvoir de police de l'ANFR mériterait certainement d'être renforcé. Il pourrait être davantage précisé dans le cadre d'un Chapitre IV élargi (« *Police des liaisons et des installations du réseau des communications électroniques* » élargi à l'ensemble de la « *Police des communications électroniques* ») du Titre II (« *Ressources et police* ») du Livre II (« *Les communications électroniques* ») du CPCE.

On pourrait songer à soumettre à une *déclaration préalable* auprès de l'ARCEP ou de l'ANFR certaines des utilisations collectives du domaine public hertzien afin d'en faciliter la police, en s'inspirant notamment du mécanisme admis par la directive « *autorisation* » et prévu par l'article L. 33-1 du CPCE pour l'établissement et l'exploitation des réseaux ouverts au public et la fourniture au public de services de communications électroniques. De même, afin d'assurer une utilisation collective des fréquences conforme à leur affectation, il conviendrait d'améliorer la *normalisation des terminaux* afin de réduire les risques d'interférences que ne manquera pas de provoquer l'intensification du partage du spectre.

¹¹⁶ Ce pouvoir de police de l'ANFR a d'ailleurs été mis en œuvre, comme en témoigne le I bis de l'article L. 43 du CPCE, à propos des risques de brouillages de la TNT par la 4G.

Par ailleurs, l'effet dissuasif des *sanctions administratives* ne doit pas être négligé dans la police du spectre et il serait envisageable de conférer un tel pouvoir de sanction à l'ANFR¹¹⁷ ou aux affectataires en veillant au respect des règles, notamment constitutionnelles, qui régissent les sanctions administratives¹¹⁸. Le législateur devrait alors veiller à l'articulation d'un tel pouvoir avec celui déjà prévu par l'article L. 43 du Code des postes et des communications électroniques : l'ANFR recueille les réclamations et instruit les cas de brouillage de fréquences radioélectriques qui lui sont signalés puis elle *transmet son rapport d'instruction*, qui préconise les solutions pour mettre fin à ces perturbations, à l'*administration ou autorité affectataire concernée*¹¹⁹, c'est dire qu'actuellement la décision de poursuivre relève de l'affectataire, non de l'ANFR. Il est à noter que l'institution de sanctions administratives dans un domaine où existent déjà des sanctions pénales¹²⁰ n'est pas incompatible avec le principe *non bis in idem* comme a eu l'occasion de le juger le Conseil constitutionnel¹²¹ dès lors que, en application du principe de proportionnalité, le montant global des sanctions éventuellement prononcées ne dépasse pas le montant le plus élevé de l'une des sanctions encourues.

Dans le même ordre d'idée, il serait judicieux que les dispositions législatives et réglementaires distinguent mieux les *deux types de brouillages* susceptibles d'affecter les différentes utilisations du domaine public hertzien. Les brouillages liés au nombre (excessif) d'utilisateurs ne doivent pas être confondus avec les brouillages résultant du comportement inapproprié des utilisateurs (qui ne respectent pas les normes relatives aux terminaux). Si on comprend que les premiers puissent ne pas être sanctionnés, il est difficile d'admettre que les seconds préjudicient à l'ensemble des utilisateurs du spectre. Ainsi, même dans le cas des utilisations collectives, mériterait d'être prévue une protection, prenant notamment la forme de sanctions, contre les brouillages préjudiciables¹²² provoqués par les mauvais comportements de certains utilisateurs.

2.2.3. Autorisation individuelle et autorisation collective d'utilisation privative du domaine public hertzien

Le partage des fréquences peut être réalisé soit dans le cadre d'une utilisation collective de ce domaine par l'ensemble des usagers sans autorisation, soit dans le cadre d'une occupation privative du domaine public hertzien par plusieurs titulaires d'autorisations.

Dans le cas d'une occupation privative du domaine public, l'autorisation administrative est obligatoire. Cette autorisation est généralement qualifiée d'*autorisation individuelle*, ce qui semble exclure, au premier abord, le partage d'une même autorisation par plusieurs utilisateurs de fréquences. Toutefois, une analyse juridique plus approfondie révèle qu'une telle possibilité n'est pas exclue.

¹¹⁷ Ce pouvoir de sanction viendrait s'ajouter à la « taxe brouillage » qui est déjà prévue dans certains cas. L'ANFR bénéficie en effet d'une taxe destinée à couvrir les coûts complets engagés 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 (art. L. 43, I bis, CPCE).

¹¹⁸ R. CHAPUS, *Droit administratif général*, tome 1, Domat Droit public, Montchrestien, LGDJ, 15e éd., n°1353 et s. ; J. PETIT, « Police et sanction », JCP Adm., 2013, n°2073.

¹¹⁹ Art. L. 43, 4^e alinéa, CPCE

¹²⁰ Art. L. 39 et s. CPCE, spéc. art. L. 39-1.

¹²¹ Cons. const. décision n°89-260 DC du 28 juillet 1989 ; décision n°97-395 DC du 30 décembre 1997 ; décision n°2012-266 QPC du 20 juillet 2012. *Contra* : Cons. const. n°96-378 DC du 23 juillet 1996.

¹²² Sur la notion de brouillage préjudiciable, v. art. 1.169 du Règlement des radiocommunications.

Il convient d'abord de rappeler qu'en matière de spectre hertzien le caractère personnel des autorisations administratives connaît d'importantes atténuations — elles sont cessibles et renouvelables — ce qui constitue l'une des principales originalités des autorisations d'utilisation de fréquences et qui justifie qu'elles soient considérées comme des actes administratifs spéciaux¹²³. À cet égard, le caractère collectif de certaines AUF pourrait être considéré comme une autre atténuation, et certainement pas la plus importante, au caractère « personnel » des autorisations administratives.

Il convient aussi de noter que l'arrêté du Premier ministre, pris sur le fondement de l'article L. 41 du CPCE, qui approuve ou s'incorpore le *tableau national de répartition des bandes de fréquences* (TNRBF) dispose que « le tableau [...] définit le partage du spectre des fréquences radioélectriques entre les administrations de l'État, le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Autorité de régulation des communications électronique et des postes »¹²⁴. Le TNRBF n'est-il pas une autorisation administrative collective ? Il n'en demeure pas moins un acte administratif individuel au sens de la jurisprudence et du droit administratif.

Plus fondamentalement, ce qu'exige la loi c'est que l'utilisateur privatif du domaine public et notamment du domaine public hertzien dispose d'un « titre »¹²⁵, d'une « autorisation administrative »¹²⁶. S'il ne fait pas de doute que l'autorisation administrative est un acte administratif unilatéral *individuel*, son caractère individuel ne l'empêche pas d'être collectif. Le caractère individuel d'un acte permet de l'opposer aux autres actes administratifs unilatéraux qui ne présentent pas ce caractère c'est-à-dire principalement les actes réglementaires. L'acte individuel s'oppose à l'acte réglementaire. L'*acte administratif réglementaire* s'applique à une *catégorie ouverte de personnes* alors que l'*acte administratif individuel* ne s'applique qu'à des *personnes nommément désignées*. Un acte administratif unilatéral individuel n'est pas seulement celui qui s'impose à un unique destinataire; il peut aussi s'imposer à plusieurs destinataires dès lors qu'ils sont nommément désignés. C'est en cela qu'un acte administratif est individuel : il nomme les individus auxquels il s'applique, il nomme ses destinataires. L'acte individuel ne s'oppose pas à l'acte collectif. L'acte collectif n'est qu'une des modalités de l'acte individuel¹²⁷.

Une même autorisation administrative peut donc conférer des droits à plusieurs destinataires en même temps. Sont ainsi aisément concevables des autorisations d'utilisation de fréquences attribuées à plusieurs titulaires et qui détermineraient les conditions du partage du spectre entre ces différents cotitulaires.

¹²³ Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 52 et s.

¹²⁴ V. p. ex. le dernier arrêté du 18 mars 2013 relatif au tableau national de répartition des bandes de fréquences, JORF n°0067 du 20 mars 2013 p. 4809, texte n°2 (TNRBF 2013).

¹²⁵ Article L. 2122-1 et L. 2124-26 du CG3P et article L. 41-1 du CPCE.

¹²⁶ Article L. 41-1 du CPCE.

¹²⁷ L'un des meilleurs exemples de l'acte administratif individuel collectif est fourni par les arrêtés des jury de concours ou d'examen qui déclarent admis les candidats dont les noms sont énumérés.

2.2.4. Différentes catégories d'utilisation du domaine public hertzien envisageables et « licence simplifiée »

Dans l'un de ses rapports le Comité des communications électroniques (EEC) de la Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications (CEPT)¹²⁸, repris notamment par l'OCDE¹²⁹, propose une typologie des différents « autorisations » relatives au spectre hertzien.

Individual authorization (Individual rights of use)		General authorization (No individual rights of use)	
Individual licence <i>Sometimes also referred to as "traditional licencing"</i>	Light-licensing		Licence-exempt
Individual frequency planning / coordination Traditional procedure for issuing licences	Individual frequency planning / coordination Simplified procedure compared to traditional procedure for issuing licences With limitations in the number of users	No individual frequency planning / coordination Registration and/or notification No limitations in the number of users nor need for coordination	No individual frequency planning / coordination No registration nor notification
		<i>Source : ECC REPORT 132</i>	

Sont distinguées l' « autorisation individuelle » de l' « autorisation générale ». À la première catégorie appartient la licence individuelle traditionnelle, à la seconde, les cas d'exemption de licence. À cheval sur les deux catégories, on trouve deux cas de licences simplifiées (« *light-licensing* ») qui empruntent chacun à l'une ou à l'autre.

Une telle présentation n'est pas incompatible avec le droit français de la domanialité publique hertzienne tel qu'il vient d'être exposé comme en témoigne le tableau des catégories envisageables d'utilisation du domaine public hertzien qui fait apparaître une *échelle de la protection* des utilisateurs de fréquences.

¹²⁸ European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), Electronic Communications Committee (ECC), *Light licensing, licence-exempt and commons*, ECC REPORT 132, Juin 2009, p. 2.

¹²⁹ OCDE, *Working Party on Communication Infrastructures and Services Policy, New approaches to spectrum policy*, DSTI/ICCP/CISP(2013)1, 10 juin 2013, p. 19.

Catégories envisageables d'utilisation du domaine public hertzien

Utilisation collective du domaine public hertzien (dispense d'autorisation administrative)		Utilisation privative du domaine public hertzien (exigence d'une autorisation administrative)	
Avec partage	Avec partage	Avec partage	Sans partage
Aucune formalité	Éventuellement après déclaration préalable Éventuellement avec paiement d'une redevance	Autorisation individuelle avec plusieurs co-titulaires Redevance	Autorisation individuelle avec un titulaire unique Redevance
« Autorisation générale » au sens du droit de l'Union européenne	« Autorisation générale » au sens du droit de l'Union européenne Possibilité de limiter le nombre d'utilisateurs pour des raisons liées à l'utilisation efficace et appropriée du spectre radio, à la nécessité d'éviter des interférences dommageables, ou à des questions liées à la santé publique (art. 7, § 2 directive 1999/5/CE)	Autorisation simplifiée <i>ou</i> Autorisation « classique »	Autorisation « classique » (actuellement prévue par le CPCE)
Ex. : wifi, RFID, microphones sans fil...	Ex. : usages de la radio cognitive	Ex. : colliers pour chiens, utilisateurs itinérants dans le cadre de la PMR	Ex. : téléphonie mobile, liaison FH...

2.2.5. Gratuité des expérimentations et de l'utilisation collective du spectre

Il n'existe pas de principe général de gratuité de l'utilisation même collective du domaine public¹³⁰. Bien qu'une part de la doctrine universitaire ait marqué son attachement à ce principe de gratuité considéré comme garant de l'égalité entre les usagers et de leur liberté, le Conseil constitutionnel a refusé de consacrer sa valeur constitutionnelle¹³¹.

L'article L. 2125-1 du Code général de la propriété des personnes publiques affirme désormais clairement que « toute occupation ou utilisation du domaine public d'une personne publique [...] donne lieu au paiement d'une redevance ». Il est remarquable que le caractère onéreux de l'utilisation du domaine public ne s'impose pas seulement aux titulaires d'une autorisation d'occupation privative. Il vaut aussi pour les utilisations dites « collectives » du domaine public. La lettre de l'article L. 2125-1 du CGCT érige même en principe l'exigence d'une redevance dans un tel cas.

Néanmoins, dans la pratique, les utilisations collectives du domaine public donnent rarement lieu à la perception d'une redevance. Cela s'explique par l'existence de nombreuses dérogations législatives au principe du paiement d'une redevance : une loi peut déroger à ce qu'elle impose par ailleurs. Ainsi en est-il de l'occupation collective des plages¹³² ou des voies publiques¹³³ (sauf stationnement payant¹³⁴) mais pas des autoroutes¹³⁵ ou des ouvrages d'art¹³⁶ ou encore du domaine public fluvial¹³⁷.

¹³⁰ N. FOULQUIER, *Droit administratif des biens*, Lexis Nexis, 2011, n°668, p. 271.

¹³¹ Cons. const., décision n°79-107 DC du 12 juillet 1979, *Loi relative à certains ouvrages reliant les voies nationales ou départementales*.

¹³² Art. L. 321-9 du Code de l'environnement.

¹³³ Art. L. 122-4 et L. 153-1 du Code de la voirie routière.

¹³⁴ CE 18 mai 1928, *Laurens*, Rec. 645.

Afin d'encourager le partage des fréquences radioélectriques il serait loisible au législateur — et peut-être judicieux — de prévoir une exception au caractère payant des utilisations du domaine public dans deux cas : pour l'ensemble des *utilisations collectives du domaine public hertzien* ainsi que pour *toutes les utilisations (y compris privées) qui n'ont d'autres fins qu'expérimentales*. L'affirmation législative de la gratuité des usages partagés du spectre serait certainement une incitation à l'innovation.

2.2.6. Adaptation du tableau national de répartition des bandes de fréquences (TNRBF)

Selon l'article L. 41 du Code des postes et des communications électroniques repris à l'article 21 de la loi n° 86-1067 du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication, le *Premier ministre* définit les fréquences radioélectriques qui sont attribuées aux *administrations de l'État* et celles dont l'assignation est confiée au *Conseil supérieur de l'audiovisuel* ou à l'*Autorité de régulation des communications électroniques et des postes*. L'arrêté du Premier ministre, pris sur ce fondement approuve ou s'incorpore le *tableau national de répartition des bandes de fréquences* (TNRBF). L'arrêté dispose généralement que « le tableau [...] définit le partage du spectre des fréquences radioélectriques entre les administrations de l'État, le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Autorité de régulation des communications électronique et des postes »¹³⁸. L'attribution des fréquences aux affectataires par un arrêté du Premier ministre peut, du point de vue du droit, éventuellement susciter trois séries d'interrogations.

2.2.6.1. Valeur juridique de l'arrêté du Premier ministre relatif au TNRBF.

Que le Premier ministre procède au partage du spectre des fréquences radioélectriques par simple arrêté et non par décret est remarquable. La forme de l'arrêté est généralement réservée aux actes pris par le Premier ministre lorsqu'il agit pour l'organisation de ses services comme pourrait le faire tout autre ministre¹³⁹. Mais le formalisme du droit français, sur ce point, n'est guère exigeant. Aucune règle ni aucun principe ne s'oppose à ce que le Premier ministre procède par arrêté plutôt que par décret. Il pourrait d'ailleurs sans doute procéder aussi bien par « circulaire ». Il n'existe pas en effet de nomenclature officielle et intangible des « actes du Premier ministre »¹⁴⁰.

L'arrêté du Premier ministre relatif au tableau national de répartition des bandes de fréquences ne fait d'ailleurs qu'exceptionnellement l'objet de recours contentieux et le Conseil d'État n'a, à ce jour, jamais remis en cause sa légalité¹⁴¹. Il serait néanmoins parfaitement concevable, afin de lui conférer plus de solennité, que le TNRBF soit approuvé par un décret du Premier ministre plutôt que par simple arrêté. Mais seules des considérations politiques ou d'opportunité justifieraient un tel changement, non des exigences juridiques.

2.2.6.2. Association du Parlement à l'élaboration du TNRBF. La compétence du Premier ministre pour procéder au partage du spectre entre les différents affectataires lui est directement confiée par le législateur : elle trouve son fondement juridique dans la loi. C'est le sens de l'article L. 41 du CPCE repris à l'article 21 de la loi du 30 septembre 1986 relative à la liberté de communication.

¹³⁵ Art. L. 122-4 du Code de la voirie routière.

¹³⁶ Art. L. 153-1 du Code de la voirie routière.

¹³⁷ Art. 217 et s. du Code du domaine public fluvial.

¹³⁸ V. p. ex. l'arrêté du 18 mars 2013 relatif au tableau national de répartition des bandes de fréquences, JORF n°0067 du 20 mars 2013 p. 4809, texte n°2 (TNRBF 2013).

¹³⁹ G. VEDEL, P. DELVOLVE, *Droit administratif*, tome 1, PUF, coll. « Thémis », 1992, p. 268.

¹⁴⁰ Selon la formule de l'article 22 de la Constitution du 4 octobre 1958.

¹⁴¹ CE, 11 févr. 2005, *Confédération française des radioamateurs et des radioécouteurs et autres*, n° 255283 ; 15 nov. 2006, *M. Pascal A.*, n° 280231.

Le législateur a parfois souhaité être davantage associé à la définition de la répartition du spectre.

Le pouvoir discrétionnaire au Premier ministre dans les attributions de fréquences qui lui est conféré par la loi a été, dans le passé, encadré dans un cas particulier : le deuxième alinéa de l'article 21 de la loi du 30 septembre 1986 modifiée obligeait le Premier ministre à veiller à ce que les fréquences libérées par l'arrêt de la diffusion de la télévision analogique restent affectées aux services audiovisuels dans le cadre d'un schéma national de réutilisation des fréquences libérées par l'arrêt de la diffusion analogique.

La loi du 15 novembre 2013 relative à l'indépendance de l'audiovisuel public¹⁴² a modifié ce dispositif et prévoit désormais qu'une « *commission de la modernisation de la diffusion audiovisuelle* » qui « comprend quatre députés, dont un au moins appartient à l'opposition parlementaire, et quatre sénateurs, dont un au moins appartient à l'opposition parlementaire », « peut faire connaître à tout moment ses observations et ses recommandations sur les mesures nécessaires à la modernisation de la diffusion audiovisuelle et leur mise en œuvre ». Cette nouvelle commission « peut auditionner le Conseil supérieur de l'audiovisuel et l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes » et « est consultée préalablement par le Premier ministre sur tous les projets de réaffectation des fréquences affectées au Conseil supérieur de l'audiovisuel et de modernisation de la diffusion audiovisuelle ». Elle doit alors rendre son avis dans un délai de trois mois.

Il serait envisageable d'associer le Parlement de manière plus systématique à l'élaboration et aux modifications du TNRBF. Soumettre les projets en ce sens à l'avis d'une commission composée de parlementaires, sorte de *commission nationale d'affectation des fréquences*, est certainement l'une des solutions possibles. Elle pourrait être créée sur le modèle de la *commission de la modernisation de la diffusion audiovisuelle* nouvellement instituée et se substituer à elle. Mieux vaudrait ne pas limiter sa compétence aux seules fréquences affectées à tel ou tel affectataire (p. ex. le CSA comme actuellement) et l'élargir à leur ensemble. Il serait alors peut-être judicieux de restreindre son intervention aux cas de *modifications substantielles* de la répartition des fréquences en raison du nombre significatif de révisions dont fait l'objet chaque édition du TNRBF¹⁴³.

2.2.6.3. Qualité et autorisation des affectataires désignés par le TNRBF

2.2.6.3.1. Dans son édition 2013, le TNRBF¹⁴⁴ établit une liste de 11 affectataires. Il s'agit de : l'Administration de l'aviation civile (AC), de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP), du Conseil supérieur de l'audiovisuel (CSA), du Ministère de la défense (DEF) de l'Espace (ESP), du Haut-commissaire de la République, ou Administrateur supérieur, dans les collectivités d'outre-mer (HCR), du Ministère de l'intérieur (INT), de l'Administration de la météorologie (MTO) de l'Administration des ports et de la navigation maritime et fluviale (PNM), du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche (RST), des Télécommunications sur les territoires français de la « Région 3 » (collectivités d'outre-mer) (TTOM).

¹⁴² Art. 18 de la loi n°2013-1028 du 15 novembre 2013 relative à l'indépendance de l'audiovisuel public, JORF du 16, p. 18622, texte n°3.

¹⁴³ L'édition 2008 du TNRBF a fait l'objet de 9 modifications en moins de 5 ans, celle de 2004 avait fait l'objet de 7 modifications en 4 ans. L'édition 2013 a déjà été modifiée une fois en 4 mois.

¹⁴⁴ Arrêté du 18 mars 2013 relatif au tableau national de répartition des bandes de fréquences modifié par l'arrêté du 21 juin 2013 portant modification du tableau national de répartition des bandes de fréquences.

Ces affectataires de fréquences, qui sont les bénéficiaires autant que les destinataires de l'arrêté du Premier ministre relatif au TNRBF, peuvent être regroupés en deux catégories. La première catégorie d'affectataires est constituée de l'ARCEP et du CSA qui sont deux *autorités* de régulation qui n'utilisent pas elles-mêmes les fréquences qui leur sont ainsi attribuées mais qui ont la charge, dans un second mouvement, de les assigner à des utilisateurs. La seconde catégorie est constituée des 9 autres affectataires énumérés par le TNRBF.

Cette seconde catégorie correspond à ce que l'article L. 41 du CPCE nomme les « administrations de l'État » auxquelles « sont attribuées des fréquences ou bandes de fréquences radioélectriques ». Il est, par suite, pleinement fondé de les qualifier d'*administrations de l'État affectataires*. La seule exigence qu'impose la loi est donc que les affectataires de fréquences autres que l'ARCEP et le CSA puissent être qualifiés d'administrations de l'État, ce qui semble être actuellement le cas. La particularité des administrations affectataires tient au fait que les fréquences leur sont attribuées par le Premier ministre en vue de leur *usage propre* et qu'elles n'ont *pas de personnalité juridique distincte* de celle de l'État.

2.2.6.3.2. Une question mérite encore d'être posée en raison de la rédaction très générale de l'article L. 41-1 du CPCE qui dispose, sans distinguer selon les catégories d'affectataires, que « l'utilisation de fréquences radioélectriques en vue d'assurer soit l'émission, soit à la fois l'émission et la réception de signaux est soumise à autorisation administrative ». Les administrations de l'État affectataires sont-elles soumises à l'exigence d'une autorisation d'utilisation des fréquences¹⁴⁵ ?

L'exigence d'autorisation ne semble pas réservée aux seuls opérateurs auxquels le CSA et l'ARCEP assignent les fréquences. Les administrations affectataires utilisent également les fréquences pour leur propre compte en vue d'assurer l'émission et la réception de signaux. En ce sens, elles sont également des utilisateurs. Sont utilisateurs de fréquences radioélectriques ou encore « titulaires d'autorisations d'utilisation de fréquences », ce qui revient au même, soit les administrations de l'État auxquelles le Premier ministre a directement affecté des fréquences, soit les opérateurs auxquels le CSA et l'ARCEP les ont assignées.

Toutefois, il est le plus souvent admis¹⁴⁶, au moins implicitement, que les administrations affectataires n'ont pas à obtenir en plus de leur inscription au TNRBF une autorisation administrative d'utilisation des fréquences radioélectriques. La règle résulte certainement de la rédaction de l'article L. 41 du Code des postes et des communications électroniques qui distingue nettement les fréquences radioélectriques qui « sont attribuées aux administrations de l'État » et celles dont « l'assignation est confiée » aux autorités affectataires. Elle est parfois expressément prévue par les textes¹⁴⁷ : l'autorisation n'est pas nécessaire « lorsque l'assignation de fréquence est utilisée par une administration pour ses propres besoins dans une bande de fréquence dont elle est affectataire », c'est-à-dire dans une bande de fréquences qui lui a été attribuée par le Premier ministre dans son arrêté relatif au TNRBF.

¹⁴⁵ Th. PEZ, *Le domaine public hertzien. Attribution et exploitation des fréquences radioélectriques*, LGDJ, Lextenso édition, 2011, p. 35 et s.

¹⁴⁶ AGENCE NATIONALE DES FREQUENCES, *Organisation et évolution de la gestion du spectre*, Rapport du groupe de travail

du conseil d'administration de l'ANFR, mars 2008, p. 6 ; CONSEIL D'ÉTAT, *Redevances pour service rendu et redevances pour occupation du domaine public*, préc., p. 60.

¹⁴⁷ L'article L. 97-2, V, 1°, CPCE la prévoit pour les autorisations relatives aux systèmes satellitaires.

Plus fondamentalement, la dispense d'autorisation résulte des principes applicables au domaine public. Pas plus que l'usage commun des dépendances domaniales directement par le public, son utilisation par la personne publique propriétaire ou affectataire ne donne lieu, en principe, à autorisation¹⁴⁸. Seule l'occupation privative impose l'autorisation. En droit administratif des biens, on considère que l'utilisation du domaine public par l'administration elle-même ne pose pas de question particulière, le service affectataire d'une dépendance domaniale étant maître de son utilisation.

Étant affectataires, les administrations de l'État auxquelles le Premier ministre attribue des fréquences radioélectriques devraient être seules compétentes pour apprécier si des utilisations privatives sont compatibles avec l'affectation de la dépendance domaniale et délivrer les autorisations correspondantes. Or, en matière de fréquences, les administrations affectataires n'autorisent pas l'occupation du domaine hertzien mais l'utilisent elles-mêmes directement pour leur propre usage. Étant affectataires, elles devraient être maîtresses de l'utilisation du domaine public hertzien sans avoir à obtenir d'autorisation particulière. Il n'y aurait d'ailleurs guère de sens d'exiger d'elles qu'elles obtiennent une autorisation d'utilisation en plus de la décision d'attribution dont elles sont déjà bénéficiaires. Pour elles, il faut certainement considérer que l'attribution vaut autorisation d'utilisation. L'inscription au tableau national de répartition des bandes de fréquences tient lieu d'autorisation d'utilisation des fréquences au sens de l'article L. 41-1 du Code des postes et des communications électroniques pour les administrations affectataires.

¹⁴⁸ Y. GAUDEMET, *Droit administratif des biens*, préc., n° 379 et s.

7.11 Le point de vue technique par Mérouane Debbah

1) Introduction : de la radio logicielle aux RadioApps

Il y a 20 ans déjà que la radio logicielle a été définie conceptuellement dans l'article fondateur de Joseph Mitola III de 1995 sur la « software radio architecture » paru dans l'IEEE Communications Magazine [1]. Comme cela a souvent été le cas dans les secteurs technologiques, les acteurs de la Défense (DoD, Department of Defense des Etats-Unis) ont été précurseurs dans le domaine de la radio logicielle en voulant anticiper l'avenir de télécommunications dès le début des années 90 par des études futuristes à l'échelle de 20 ans.

Sur ses principes de base, la radio logicielle est sans aucun doute une rupture technologique permettant une convergence du monde des télécommunications (radio) et du monde de l'informatique (logicielle). Cette convergence s'est d'ailleurs accélérée ces dernières années à travers les mouvements des groupes informatiques (Google, Microsoft...) en direction des activités d'équipementiers dans le domaine des télécommunications (Motorola Mobility, Nokia en particulier) voire vers celle d'opérateurs de télécommunications (fibre, Wi-Fi, espaces blancs, ..). Nous n'en sommes d'ailleurs qu'au début de ce nouveau paradigme.

D'un point de vue conceptuel et de manière très schématique, l'électronique repose sur un ensemble d'éléments de base (capacité, résistance, inductance, diode...) dont l'agencement forme le circuit. Il est donc théoriquement possible d'implémenter n'importe quel système de télécommunications en fournissant le logiciel permettant de décrire l'agencement des constituants du système et donc de construire le système en question. De ce point de vue, la radio logicielle est une révolution technologique : les circuits radio deviennent dynamiquement reconfigurables et les systèmes de télécommunications peuvent être mis à jour par des changements logiciels. Typiquement, cela signifie que nous aurons dans les années à venir des « radio application stores » où à l'instar du téléchargement d'une application de service avec son terminal mobile, l'utilisateur téléchargera une application radio qui va automatiquement reconfigurer son terminal pour obtenir la technologie en question. Ainsi, en téléchargeant la technologie LTE, le téléphone peut devenir un téléphone LTE ou en téléchargeant la technologie code barre, le téléphone peut devenir un lecteur code barre.

Cette approche diffère par ses possibilités de la mise à jour des téléphones mobiles telle qu'elle existe aujourd'hui sous le pseudonyme d'une mise à jour par un « Firmware Over the Air » (FOTA). Les *RadioApps*, au contraire, sont choisis d'une manière personnalisée par les utilisateurs avec un nombre illimité de configurations. Ces *RadioApp*, en cours de discussion dans les instances de normalisation, pourront être utilisées afin d'introduire de nouvelles fonctionnalités, notamment des fonctionnalités de la Radio Cognitive. Pour donner un exemple, des nouvelles méthodes de sondage (« sensing ») peuvent être téléchargées et installées après la mise en vente d'un téléphone mobile, en exploitant en particulier le concept des « Certificats Dynamiques ». Ce cadre peut être exploité par des opérateurs cellulaires : une *RadioApp* peut être utilisée pour vendre des *extensions propriétaires* d'un standard cellulaire (par exemple 2G, 3G, LTE, etc.) à des clients d'un certain opérateur cellulaire. Ceci peut donner une différenciation importante sur le marché. Une autre application de ce cadre est envisageable dans un contexte de partage de spectre (« spectrum sharing ») comme cela est actuellement discuté au niveau de la Commission Européenne dans le RSPG (Radio Spectrum Policy Group) et au niveau de la standardisation ETSI RRS.

1. Partage du Spectre :

2) 1.1 Quelques définitions

Avant d'aller plus loin, nous devons définir la notion d'utilisateur primaire et secondaire. Un utilisateur primaire est un utilisateur qui possède un droit (qui est en général une licence) sur une bande. Un utilisateur dit secondaire peut à tout moment accéder à ces bandes de fréquence qu'il juge libre, c'est-à-dire non occupée par l'utilisateur primaire. Cette notion de jugement est très importante et nous verrons qu'elle peut prendre plusieurs formes. L'utilisateur doit automatiquement restituer la bande en cas de plainte de l'utilisateur primaire ou une fois le service terminé.

Dans le cadre du partage du spectre, il existe plusieurs paradigmes :

Le paradigme « Underlay » : Cela concerne le cas où un utilisateur primaire et secondaire interfèrent. Par contre, l'utilisateur secondaire est capable de détecter le message primaire et d'utiliser des techniques avancées de pré-codage et de traitement du signal pour supprimer, pré-éliminer l'interférence. Ces techniques sont actuellement utilisées pour résoudre les problématiques d'interférence macro-cellules et small cells où de manière imagée, la macro-cellule est un utilisateur primaire et la small cell est un utilisateur secondaire.

Le paradigme « Overlay » : Dans ce cas, l'utilisateur secondaire n'entre en activité que quand il ne détruit pas considérablement la qualité de service de l'utilisateur primaire. Il peut générer des interférences à un niveau qui est tolérable par l'utilisateur primaire. C'est le cas typiquement de l'UWB (Ultra-Wide Band) et, nous verrons dans notre discussion, de l'ensemble de l'avenir des télécommunications.

Le paradigme « Intertweave » : Cela concerne le cas d'un utilisateur secondaire opportuniste qui utilise de manière temporaire des trous spectraux ou des espaces blancs sur des bandes sous licence ou sans licence.

Les trois paradigmes jouent un rôle important et correspondent à des cas d'applications différents.

3) 1.2 Le partage du spectre « Overlay » existe...

La problématique de la coexistence de différentes technologies sur un même spectre n'est pas nouvelle. Depuis le début des années 2000, la technologie Ultra Wide Band UWB [2] permet à des appareils de transmettre sur une bande très large (de 300 MHz à ~1 GHz) mais avec une puissance très faible (short range) afin de rester en-dessous du bruit ambiant. Cette technologie est une sorte d'USB sans fil censée offrir des débits 100 fois supérieurs à ceux permis par la technologie Wi-Fi, soit jusqu'à 1 gigabit par seconde (Gbit/s). Ainsi, les contraintes liées aux brouillages sont théoriquement respectées. La réception du signal est permise grâce à un code.

Cette technologie très prometteuse (qui continue à faire l'objet de conférences multiples [3]), a rencontré des problèmes de régulation. Les acteurs ont longtemps été réticents à la multiplication des appareils fonctionnant avec ce système qui risquerait à un moment donné de les confronter à des problèmes d'interférences. Dans leur majorité, les opposants à cette technologie arguent que les hautes densités de l'UWB augmenteront le niveau d'interférence au point d'affecter leurs services existants et futurs. Cette technologie a été légalisée aux Etats-Unis mais l'Europe a mis de nombreux garde-fous empêchant l'harmonisation des produits entre eux et la propagation de cette technologie. En conclusion, on peut dire que le contexte de « overlay » (une technologie sur une autre) n'est pas nouveau, et continue sa progression. Son succès futur dépendra largement du cadre législatif et d'une harmonisation mondiale.

4) 1.3 Le partage du spectre : « an idea whose time has come... »

Au vu des définitions du partage du spectre, il apparaît immédiatement que la question centrale du partage est intimement liée à la qualité de service. C'est une des priorités et contraintes dans le développement des réseaux de télécommunications, qui n'est pas si cruciale dans le monde informatique. C'est également une des raisons pour lesquelles ce sont principalement les acteurs du monde informatique/logiciel (monde du « best effort ») qui sont les promoteurs du partage du spectre.

Il est à noter que la pertinence de la notion de qualité de service commence à changer dans les réseaux de télécommunications et ceci va avoir un impact énorme sur le développement du partage du spectre dans les années à venir. En effet, les utilisateurs (en contrepartie d'une gratuité de temps de « download ») sont prêts à sacrifier la qualité de service dans leur réseau. Le fait que les réseaux deviennent de plus en plus « data oriented » poussent les opérateurs à off-loader en Wi-Fi le trafic « data » en assurant uniquement une qualité « best-effort ». On peut se demander si dans les réseaux LTE futurs, la logique de qualité de service (sur la transmission des données) aura encore du sens. Plusieurs opérateurs ne veulent plus déjà assurer une qualité de service qui est moins rentable et souffre du succès du Wi-Fi. Le sentiment général est que le partage du spectre va apparaître de facto dans la mesure où les réseaux avec interférence seront communément admis sur certaines bandes.

La première étape de ce mouvement s'observe chez les « carrier Wi-Fi » qui commencent à transposer leur modèle avec d'autres technologies et d'autres bandes. Dans une logique purement *data*, certains opérateurs considèrent que le Wi-Fi est complémentaire au réseau cellulaire. Une grande tendance actuelle est donc de vendre des infrastructures compatibles Wi-Fi/LTE avec un mécanisme intelligent qui bascule sur l'un ou l'autre en fonction de la qualité de service qui est imposée. La notion de qualité de service devenant dans ce cas un attribut pour les utilisateurs « premiums » et le problème du partage de spectre résolu avec des contraintes plus légères vis-à-vis des opérateurs en termes de qualité de service.

1. Partage du Spectre et Radio cognitive

La radio logicielle, couplée à une prise de connaissance directe ou indirecte de l'environnement radioélectrique, débouche sur un autre concept celui de radio cognitive ou radio intelligente. Il ouvre la perspective d'une optimisation de l'utilisation du spectre radioélectrique et de la transmission radio dans un souci de neutralité technologique : l'utilisation du spectre n'est plus ou est moins liée à la technologie. Ces deux concepts permettent enfin d'accélérer les cycles d'innovation en ouvrant celle-ci vers le monde des développeurs de logiciels qui foisonnent d'idées.

Mais qu'en est-il du passage des concepts à la réalité, quelle utilisation en est faite aujourd'hui dans l'industrie, les verra-t-on un jour complètement mis en oeuvre dans des équipements ? Quels sont les obstacles que leur mise en oeuvre rencontre ? Comment la réglementation des radiocommunications évolue-t-elle pour permettre à la radio cognitive de devenir une réalité concrète ? Dans cette partie, nous tentons de donner des éléments de réponse.

Au niveau technique, l'arrivée de la radio cognitive ne sera pas une transition brute mais une transition douce. Il existe une évolution progressive entre ce qu'il est déjà possible de faire et le concept de radio universelle de Mitola (transmettre sur n'importe quelle bande avec n'importe quelle technologie de manière autonome sans perturber le système existant). Il est à noter que la radio cognitive a mis du temps à être discutée dans les instances de normalisation et est actuellement considérée comme une technologie clé pour la 5G (conception d'ici 2017/2018 avec un déploiement en 2020).

La radio cognitive passera par plusieurs stades.

- **Même technologie sur plusieurs bandes disjointes dédiées :**

De ce point de vue, le LTE Advanced (vraie 4G) avec agrégation de porteuses est déjà un début de radio cognitive. Il existe actuellement dans le LTE plus de 40 bandes dans le monde (comme le cas des bandes 800 MHz, 2.6 GHz et 1800 MHz en France), ce qui aboutit à une fragmentation du spectre dans le monde. Cette fragmentation est devenue un avantage dans la mesure où le LTE *Advanced* peut opérer sur 5 bandes disjointes différentes avec un agrégat de 100 MHz permettant un débit théorique de 1 Gbit/s. Cela est une prouesse dans la mesure où les bandes peuvent être très disjointes et la réception peut se faire de manière simultanée par multiplexage sur ces bandes.

- **Même technologie sur plusieurs bandes disjointes non- dédiées :**

Au niveau cellulaire, plusieurs acteurs possèdent plusieurs bandes dédiées à d'autres technologies et il serait inefficace qu'ils ne puissent pas les réutiliser autrement. C'est typiquement le cas de Bouygues Telecom en France et du *refarming* 1800 MHz. Au niveau mondial, plusieurs demandes ont été effectuées afin de rendre le spectre technologiquement neutre et pouvoir par exemple utiliser des bandes TDD en FDD ou certaines fréquences GSM pour le LTE.

- **Plusieurs technologies sur plusieurs bandes « unlicensed » :**

Il existe actuellement une forte demande de Qualcomm pour pousser le LTE dans la bande de 5 GHz, en coexistence avec le Wi-Fi. La technologie s'appelle « *LTE Advanced in Unlicensed Spectrum* » et permet d'utiliser le LTE comme concurrent du Wi-Fi [4]. Sur les bandes *unlicensed*, c'est une première qui permettrait une certaine flexibilité technologique du spectre et ce scénario n'en est qu'à ses débuts.

- **Plusieurs technologies sur plusieurs bandes :**

Cela sera la dernière étape de la radio cognitive. Elle concerne une certaine flexibilité qui va permettre, sur les bandes des opérateurs, de faire de la 4G, de la 3G, de la 2G et du Wi-Fi sur toutes les bandes, c'est-à-dire de faire du multi-technologies sur les différentes bandes. Cela conduit à des réseaux transparents avec station de base reconfigurable et s'adaptant à la technologie. La reconfiguration de la station de base limite ainsi les inégalités territoriales en termes de couverture. La technologie est d'ailleurs déjà prête dans plusieurs laboratoires de recherche (CEA, Supélec, Eurecom par exemple) et des discussions sont en cours pour mettre en œuvre cela dans la 5G. Ici encore, le cadre réglementaire jouera un rôle très important.

- **Le réseau tout flexible :**

Ces possibilités de reconfiguration à la volée vont s'accroître avec la volonté des constructeurs de rendre leur réseau reconfigurable à distance (dans le « Cloud »). C'est le cas actuellement de la technologie C-RAN (Cloud Radio Access Network) où les constructeurs font tourner le réseau dans des fermes de calcul : les stations ne sont plus que des antennes (*Remote Radio Head*) avec de la fibre connectant le système vers des stations de base virtuelles. Cela nécessite un « *backhaul* » important mais permet aux constructeurs de pouvoir reconfigurer le réseau dynamiquement. Il est également à noter la volonté de certains constructeurs de pousser la flexibilité du réseau sur tous les points de vue : flexibilité du temps dédié au *uplink/downlink* dans les transmissions, flexibilité dans l'utilisation de stations de bases hybride FDD/TDD, etc...

2. Les technologies et services autour de la radio cognitive

- **La logique des white spaces**

L'idée générale concernant les espaces blancs est d'avoir des utilisateurs primaires et des utilisateurs secondaires. Dans une logique de best effort (communauté Internet), la qualité de service n'est pas le principal objectif, l'utilisateur secondaire se contentant de ce qu'il a. La rationalité sous-jacente à l'existence d'un réseau primaire et d'un réseau secondaire réside dans le fait que le réseau secondaire est *best effort* mais répond à un besoin en termes de connectivité. Pour l'instant, l'utilisation des espaces blancs n'est pas encore autorisée partout dans la mesure il n'y a pas de gendarmes et de radars capables d'identifier les émetteurs. Néanmoins, dans un contexte particulier où les émetteurs sont fixes, ceci est faisable. Dans le cas où les émetteurs sont mobiles, certains acteurs, notamment opérateurs mobiles, travaillent sur le sujet et cherchent à incorporer dans le mobile un GPS avec une capacité *broadband* (capable de détecter plusieurs bandes), relié à une base de données : à chaque déplacement du mobile, les informations sur l'utilisation du spectre sont prises en compte. Ainsi la base de données permet d'avoir un échantillonnage spatio-fréquentiel permettant d'optimiser l'utilisation du spectre sur le territoire.

- **5G et nouvelles bandes de fréquences**

Il est à noter que dans le cadre de la 5G, il y a une volonté des acteurs de pousser la puissance publique à trouver de nouveaux espaces blancs car il y a de véritables modèles d'affaires qui commencent à reposer dessus. Au niveau américain comme au niveau européen, les pouvoirs publics veulent trouver autour de 1 200 MHz de bande et ceci ne pourra pas se faire sans partage de spectre.

- **La technologie MIMO en réseaux**

Pour augmenter le débit de manière importante, il y existe deux leviers : augmenter la puissance ou augmenter le nombre de bandes. A la fin des années 1995, les terminaux et les stations de base ont été dotés d'antennes multiples permettant ainsi de faire du multiplexage spatial. Sur chaque antenne est envoyé un flux, ce qui permet d'augmenter le débit par le nombre d'antennes. En multipliant le nombre d'antennes par deux, le débit est multiplié par deux. Ce concept peut être généralisé dans le cas où les antennes ne sont pas co-localisées. Il est possible qu'un appareil n° 1 doté d'une antenne envoie par une connexion sans fil ses paquets à l'appareil n° 2 doté d'une autre antenne et simultanément les deux appareils envoient leurs paquets vers la station de base. On appelle cela du MIMO virtuel et cet envoi de paquets entre appareils peut se faire sur plusieurs bandes (partagées ou non) qui sont en discussion.

Un cas d'application concret concerne les *small cells*. Un utilisateur peut alors recevoir des données par exemple à partir de six *small cells* différentes et augmenter ainsi son débit par six. Ce Network MIMO (mettre des antennes en réseau) permet d'augmenter la capacité à spectre constant grâce à cette densification massive. Malheureusement, pour que les systèmes Network MIMO soient viables, il faut une certaine coordination entre les *small cells*. Etant donné qu'il est difficile de les coordonner avec le réseau fixe (en raison des délais de latence de la technologie IP), certains opérateurs réservent à cette coordination une partie de leurs fréquences, ce qui est sous optimal et des discussions sont en cours pour des bandes partagées.

- **Le backhauling**

Le besoin de technologies opérées sur des bandes sous autorisation générale s'est fait sentir avec l'arrivée des *small cells*. Beaucoup de pays n'ont pas investi dans la fibre ou même dans le fixe ce qui rend difficile le raccordement des *small cells* au réseau. Un problème de *backhaul* se pose alors. Deux solutions ont émergé. La première consiste à exploiter les cabines téléphoniques existantes et leurs câbles, les pylônes électriques, les lampadaires... Mais le VDSL/ADSL ou le CPL ne sont pas suffisants en termes de débit. La deuxième solution consiste à trouver des bandes pour faire du backhauling.

Les premières discussions ont conduit les acteurs à réserver une partie de leur bande LTE pour faire du *backhauling*, solution de faible efficacité spectrale. Les bandes aux alentours de 60 GHz avec antennes directives peuvent être intéressantes mais cette directivité a un coût et ne fonctionne pas dans des contextes de non-visibilité directe. Pour le service de *backhaul* des *small cells*, il est nécessaire de trouver des bandes supplémentaires. Les espaces blancs deviennent alors une solution intéressante en termes de coûts et d'attractivité de bande (bandes basses). Il est à noter que bien que certains constructeurs s'intéressent aux espaces blancs dans ce contexte, les opérateurs ne s'y intéressent pas activement dans la mesure où ils souhaitent disposer d'une solution où l'on ne touche pas à leur spectre. Les bandes partagées pour le *backhauling* ont des applications diverses. Elles peuvent servir aussi à faire du *cloud-edge* ou *context aware scheduling* : on stocke en cache les données profilées de l'utilisateur (on sait ce qu'il veut et quand il le veut) dans la *small cell* à certains moments opportuns de la journée, ce qui permet d'exploiter au maximum les bandes partagées.

- **Les réseaux M2M**

Le M2M est un marché en forte croissance et se pose la question de savoir s'il faut utiliser des technologies dédiées ou existantes (et sur quelles bandes). Dans le M2M il y a deux scénarios : le scénario en transmission et le scénario en réception.

- Du côté transmission/émission se pose le problème des objets communicants qui transmettent. Les acteurs sont contraints par des problèmes énergétiques et par des *business models* de définir des technologies M2M et des bandes de transmissions qui ne coûtent pas cher. L'utilisation de puces LTE est trop onéreuse dans certains cas. C'est la logique de Sigfox et sa technologie propriétaire (dédiée) fait sens. Cependant, comme elle est propriétaire, il y a beaucoup d'applications pour lesquelles il ne sera pas possible d'absorber le trafic. Une alternative est le modèle M2oCity qui déploie sur la bande 868 MHz avec des stations de bases et des relais à l'extérieur qui émettent pour relever les compteurs d'eau. Il existe d'autres possibilités mais elles sont contraintes toujours par le problème de l'efficacité énergétique et du coût.
- En réception, les choses sont un peu différentes. Ces opérateurs (Bouygues, etc.) sont intéressés par la valorisation des box de leurs clients. Par exemple en mettant une clé USB SDR (modèle de la start-up Soventis) dans la box, le système est capable de capter toutes les bandes, absorber le trafic M2M d'un domicile puis l'envoyer dans le cloud où se fait un « *big data* » du spectre (analyse des données et revente de l'information). En réception, cela ne pose pas de problème d'interférences car au niveau spectral c'est de l'écoute passive.

3. Conclusion

Il apparait clairement que la radio logicielle et son évolution vers la radio cognitive offre de belles perspectives pour résoudre les problèmes de partage de spectre. Plus que la technologie (qui sera mature à l'horizon 2017-2018), c'est le cadre réglementaire du partage de spectre avec sa « police » du spectre qui doit être mis en place. Nous entrons de manière paradoxale également avec les logiques de *Cloud Radio* dans une ère de *big data* du spectre hertzien, qui va poser des problèmes importants de sécurité et de confidentialité. Cela est par contre une opportunité économique unique pour les acteurs du traitement de spectre qui pourront valoriser cet énorme flux de données à travers des business model adéquats.

[1] J. Mitola III, "The *software radio architecture*", IEEE Communications Magazine, Vol. 33, pp. 26-37, May 1995

[2] L. Yang and G. B. Giannakis, "Ultra-wideband communications - an idea whose time has come," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 21, pp. 26–54, 2004

[3] 2014 IEEE International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB 2014) ? held in Paris, France, from September 1 to September 3, 2014, www.icuwb2014.org.

[4] <http://www.qualcomm.com/solutions/wireless-networks/technologies/lte-unlicensed>

7.12 Le glossaire

A

Affectataire : un département ministériel (ou un établissement qui le représente) ou une autorité administrative indépendante ayant accès à une ou plusieurs bandes de fréquences pour son propre usage, dans le cas d'un département ministériel ; ou en vue de l'attribution de fréquences à des tiers dans le cas d'une autorité administrative indépendante. Il y a 11 affectataires en France : 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.

Affectation/Attribution (d'une bande de fréquences) : 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 les conditions spécifiées. Ce terme s'applique également à la bande de fréquences considérée.

Assignment : autorisation donnée par un affectataire pour l'utilisation par une station radioélectrique d'une fréquence ou d'un canal radioélectrique déterminé selon des conditions spécifiées.

B/C

Backhaul : Désigne la transmission de données vers le réseau principal (*backbone*).

Bande de garde : Désigne une bande de fréquence qui doit être prévue entre deux bandes de fréquences dans lesquelles des émissions ont lieu afin de permettre une réception sans interférence due aux canaux voisins.

Bande passante : Espace entre la fréquence la plus haute et la fréquence la plus basse que laissent passer le canal de transmission.

BLE (Standard) : *Bluetooth Low Energy* (BLE) est une technique de transmission sans fil créée par Nokia sous forme d'un standard ouvert basé sur Bluetooth qu'il complète sans la remplacer.

Bluetooth : Technologie de communication sans fil, permettant de faire communiquer, dans un rayon de couverture limité, différents objets mobiles.

Broadcast : Français : diffusion. Situation où un équipement transmet simultanément du contenu en direction de plusieurs équipements.

CMR : Conférence Mondiale des Radiocommunications. Organisées tous les trois ou quatre ans par l'UIT, elles ont pour but de négocier les modifications du Règlement des radiocommunications, traité international régissant l'utilisation du spectre des fréquences et des orbites satellitaires.

D/E/F/I

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.

E-MBMS : *Evolved Multimedia Broadcast Multicast Services*. Norme de diffusion mobile sur réseau LTE.

Fronthaul : Câblage en fibre optique de la partie du réseau allant de la station de base à l'antenne.

Internet des Objets / Internet Of Thing (IOT) : Terme désignant l'extension d'Internet au monde des objets qui deviennent connectés et identifiables grâce à différents systèmes de puces.

L/M/N

LTE : *Long Term Evolution*. Norme de téléphonie mobile appartenant à la troisième génération mais pouvant commercialement être considérée comme une technologie « 4G » selon l'UIT.

M2M : Abréviation de l'anglais *Machine-to-Machine* qui désigne l'échange d'informations automatisé entre machines.

NFC : *Near Field Communication* (Communication en champ proche). Technologie de communication sans contact à très courte portée qui permet l'échange de données entre des périphériques à quelques centimètres de distance. Elle est notamment utilisée dans les cartes de transport ou les terminaux mobiles.

O/P/R

PMSE : *Programme Making and Special Events* ou en français Parc de Matériels Scéniques et d'Exposition désigne l'ensemble des équipements utilisés pour assurer l'organisation, l'enregistrement ou la diffusion d'événements.

R&TTE : *Radio and Terminal Telecommunication Equipement*. Directive européenne définissant la réglementation commune aux terminaux de télécommunications et aux équipements radio.

Réseaux Tetra : Réseaux fonctionnant en technologie numérique à la norme européenne Tetra (*Terrestrial Trunk Radio*) utilisée pour les réseaux radio professionnels.

RFID (appareil RFID) : La RFID est une technologie d'identification automatique des objets à distance qui s'appuie sur les radiofréquences.

RSPG : *Radio Spectrum Policy Group*. Groupe consultatif créé par la Commission européenne pour l'assister en rédigeant des avis et des rapports sur la politique du spectre, la coordination des approches politiques et, le cas échéant, sur l'harmonisation des conditions relatives à la disponibilité et à l'utilisation efficace du spectre.

S

SDR : *Software Defined Radio* traduit en français par radio logicielle. Désigne un récepteur ou un émetteur radio réalisé par logiciel.

SDL : *Supplemental Downlink* traduit en français per 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.

Sensing : Méthode d'acquisition d'informations sur un phénomène sans interférer sur celui-ci en évitant tout contact.

Small Cells : Cellules de petite taille utilisées par les opérateurs pour densifier leur réseau et améliorer les débits disponibles.

Smart Grid : réseaux de distribution d'électricité « intelligents » qui permettent notamment de réaliser une gestion optimale de la production, de la distribution et de la consommation d'énergie.

Spread Spectrum : Technique de modulation qui utilise une largeur de bande beaucoup plus grande que celle strictement nécessaire à la transmission des informations.

T

Technologie MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) : Technologie consistant à utiliser plusieurs antennes à la fois en réception et en émission. Les données sont divisées en autant de flux que d'antennes. Les combinaisons sont ensuite reconstituées pour former les données.

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.

V/W/Z

Ville Intelligente : Expression employée pour faire référence à un type d'organisation et de développement urbain censé mettre en place des infrastructures efficaces et durables, grâce aux nouvelles technologies. On rencontre parfois l'expression anglaise *smart city*.

Zigbee : Protocole permettant la communication de courte distance de petites radios.