

Réseaux du futur

Note n° 4

Gestion dynamique du spectre

19 juillet 2019

Le cycle de réflexion et le comité scientifique « Réseaux du futur »

En septembre 2018, l'Arcep a ouvert un cycle de réflexion pour anticiper l'évolution des réseaux, avec un horizon de 5 à 10 ans. Les notes produites s'inscrivent dans ce travail de prospective et ont été réalisées sur la base d'échanges avec une diversité d'acteurs (opérateurs, équipementiers, fournisseurs de services, acteurs d'internet, académiques, etc.), de travaux de recherche et de l'expertise du comité scientifique constitué à cet effet.

Ces documents constituent un état des réflexions à date. Pour enrichir ces analyses, l'Arcep invite tous les acteurs qui le souhaitent à y contribuer en faisant part de leurs commentaires, à l'adresse suivante : « reseaux-du-futur@arcep.fr ».

Les notes de prospective publiées :

1. [« Virtualisation des réseaux – Architectures agiles »](#)
2. [« Les voitures connectées »](#)
3. [Enjeux de connectivité : l'exemple des territoires « intelligents »](#)
4. **La gestion dynamique du spectre**
5. [L'empreinte carbone du numérique](#)
6. [L'intelligence artificielle dans les réseaux de télécommunication](#)
7. [L'agriculture connectée](#)

Table des matières

Introduction.....	3
1 La nécessité du partage dynamique.....	3
1.1 Les mécanismes traditionnels d'accès au spectre.....	3
1.1.1 Autorisation dite « exclusive »	4
1.1.2 Autorisation générale.....	4
1.2 La nécessité de penser à des mécanismes plus flexibles	5
2 Le partage du spectre : vers des modèles de plus en plus élaborés	8
2.1 Les prémices : le mécanisme DFS (<i>Dynamic Frequency Selection</i>)	8
2.1.1 Concept	8
2.1.2 Difficultés d'implémentation.....	8
2.2 Le TV White Space : une potentielle réserve de basses fréquences.....	9
2.2.1 Concept	9
2.2.2 Cas d'implémentation	10
2.3 Le LSA (<i>Licensed Shared Access</i>) : un modèle de partage dynamique pensé pour les opérateurs mobiles	11
2.3.1 Concept	11
2.3.2 Cas d'implémentation	12
2.4 Le SAS (<i>Spectrum Access System</i>) CBRS.....	13
2.4.1 Concept	13
2.4.2 Comparaison SAS CBRS/LSA.....	16
3 Promouvoir le partage dynamique du spectre en France.....	17
3.1 Pourquoi ?	17
3.2 Comment ?	19

Introduction

Le spectre est une ressource rare ; il faut donc s'assurer que les choix d'affectation fassent en sorte qu'il soit utilisé de la meilleure manière possible. Ce sujet se pose avec de plus en plus d'acuité alors que les demandes d'accès au spectre pour de nouveaux besoins ne cessent de croître.

Si le partage de fréquences est déjà une réalité¹, l'approche des régulateurs se polarise souvent sur deux modèles : l'attribution de bandes de fréquences pour des usages exclusifs ou l'identification de bandes dites « libres ». Or, ces deux approches ont leurs limites. Les coûts d'accès à un spectre « dédié » sont généralement élevés. Quant aux bandes libres, elles peinent à être des solutions pour des usages nécessitant un minimum de garanties contre les brouillages et rendent plus difficile l'évolutivité de la gestion du spectre².

Plusieurs facteurs poussent par ailleurs à repenser l'approche actuelle : la pression sur l'accès au spectre, notamment pour des usages locaux, l'existence de zones où certaines bandes sont non utilisées et l'évolution des solutions de partage en réponse à ces constats. Deux défis sont en particulier à adresser pour le gestionnaire du spectre : penser plus local et plus dynamique, c'est-à-dire permettre un accès au spectre plus fin tant d'un point de vue géographique que temporel, et ainsi utiliser davantage le spectre là où il est sous-utilisé.

Les solutions de partage peuvent permettre d'y répondre à condition de trouver des cas d'usages et des modèles permettant à la fois de soutenir et protéger les investissements et autoriser d'autres usages. C'est la promesse des mécanismes de partage dynamique du spectre.

Le partage dynamique du spectre est au cœur des réflexions sur l'amélioration de l'usage du spectre depuis plusieurs années à présent. On peut citer à titre d'exemple le rapport « Une gestion dynamique du spectre pour l'innovation et la croissance »³ de Joëlle Toledano, datée de 2014, présentant plusieurs propositions de rupture afin de se saisir de ce nouveau mode d'usage du spectre.

L'objectif de cette note est de décrire les enjeux du partage dynamique du spectre, de rappeler l'évolution des solutions existantes et leur niveau de maturité pour enfin proposer des axes de réflexion pour la gestion de certaines bandes de fréquences.

1 La nécessité du partage dynamique

1.1 Les mécanismes traditionnels d'accès au spectre

Si le partage de fréquences est déjà largement une réalité, les modalités d'accès au spectre pour les bandes de fréquences affectées aux services de communications électroniques sont toutefois souvent polarisées entre un modèle dit « exclusif » et un modèle « libre sous autorisation générale ».

Tout d'abord, et pour des raisons notamment de bonne gestion du spectre, plusieurs bandes sont affectées à un usage particulier. La plupart des bandes pour la radiodiffusion, les transmissions satellite, les radars, etc. appartiennent à cette catégorie. Restreindre les autorisations à un seul type

¹ par exemple sous forme de partage géographique entre stations terriennes et faisceaux hertziens dans les bandes 11 et 18 GHz

² En effet, l'absence de contrôle sur les matériels déployés ne permet pas d'avoir l'assurance de la migration ou de l'extinction effective en cas d'évolution des conditions d'utilisation de la bande

³ <https://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/rapport-gestion-dynamique-spectre-2014-06-30.pdf>

d'usage permet de faciliter la coordination entre acteurs. En effet, les technologies concernées ayant des comportements similaires en matière de propagation, il devient plus simple de prévoir et ainsi d'éviter les interférences. Cette restriction est aussi nécessaire pour les cas d'usages présentant une extrême sensibilité aux technologies se comportant différemment (ex : radars) participant ainsi de la bonne gestion du spectre des fréquences. Dans ces bandes, l'évocation de solutions de partage avec d'autres usages suscite souvent des réactions très vives, car historiquement, les systèmes déployés l'ont été en supposant que les usages seraient toujours les mêmes.

Au-delà, les pratiques d'autorisation pour les services de communications électroniques se polarisent naturellement entre deux catégories : l'autorisation individuelle dite « exclusive » et l'autorisation générale.

1.1.1 Autorisation dite « exclusive »

Dans ce modèle, le titulaire d'une autorisation dispose, dans le respect du droit applicable, de droits privatifs sur une bande de fréquences dans une zone géographique donnée⁴ pour une durée usuellement longue (plusieurs années). Ainsi, même s'il doit se coordonner avec ses voisins (services en bandes adjacentes ou aux bordures géographiques de son autorisation), l'autorisation lui donne une garantie sur le périmètre de son autorisation contre les brouillages préjudiciables. Cela permet notamment au titulaire d'assurer une certaine qualité de service à ses transmissions.

C'est le modèle traditionnel des attributions des bandes de fréquences mobiles aux opérateurs (généralement via des procédures de sélection puisque la demande est supérieure au spectre disponible) car il permet de donner des garanties et de la visibilité pour des réseaux demandant des investissements importants et à long terme. C'est aussi le modèle utilisé aujourd'hui pour la TNT, les faisceaux hertziens (liaisons point à point), les réseaux mobiles professionnels, etc.

1.1.2 Autorisation générale

Le spectre sous autorisation générale désigne les bandes du spectre électromagnétique exemptes d'autorisation individuelle et dont les conditions techniques d'utilisation sont définies par le régulateur. Ainsi l'accès à ces bandes du spectre ne requiert pas de demande administrative, les utilisateurs de ces bandes restent cependant soumis aux conditions d'utilisation fixées par le régulateur. Ces contraintes techniques ont pour objectif de faciliter la coexistence des utilisateurs, elles fixent notamment des limites de puissance. La contrepartie de la simplicité d'usage de ces bandes est l'absence de garantie contre le risque de brouillage.

La présence de spectre sous autorisation générale et son succès avec le Wi-Fi a démontré que du spectre sans contrôle d'admission, sans garantie de non interférence peut avoir un impact social, sociétal et économique très positif en permettant l'émergence de services innovants⁵.

⁴ À noter qu'une autorisation privative n'est pas octroyée à titre exclusif : à titre d'exemple, la décision n° 2007-0683 modifiée de l'Arcep fixant les conditions d'utilisations de l'UWB permet l'utilisation de cette technologie dans des bandes concernées par des autorisations d'utilisation fréquences individuelles. Toutefois le titulaire a des garanties de protection et de non utilisation par des tiers très fortes.

⁵ On note toutefois que dans certaines zones (notamment en intérieur dans les centres urbains), les réseaux Wi-Fi se sont multipliés à un point que ce spectre est congestionné et que les performances des réseaux sont dégradées.

1.2 La nécessité de penser à des mécanismes plus flexibles

Certains acteurs intéressés par l'accès au spectre préfèrent des bandes libres et déclarent ne pas être intéressés par le modèle d'autorisation dite « exclusive ».

Les bandes libres, telles que les bandes Wi-Fi, peuvent satisfaire une partie des besoins de ces acteurs ; elles présentent cependant le désavantage pour eux de ne pas garantir de qualité de service. Par ailleurs, il est très compliqué opérationnellement de faire évoluer une bande sous un régime général vers un régime dit « exclusif », pour des raisons de brouillages résiduels.

Plusieurs acteurs estiment donc que pour voir émerger de nouvelles applications innovantes, il faudrait un système hybride, au-delà des deux modes d'accès au spectre évoqués plus haut. Ces nouveaux modes d'accès permettant de proposer notamment des autorisations secondaires avec des garanties de non brouillage à un coût moindre, dû à la diminution de la rareté. Selon les cas d'application et les technologies utilisées, il est également possible de garantir une qualité de service à certains des usagers.

De façon schématique, il s'agirait d'envisager davantage l'introduction dans des bandes déjà sous autorisations individuelles d'usages secondaires. Ces nouveaux usages seraient autorisés à condition que le type de bande rende cela opportun mais surtout que les titulaires d'autorisations aient des garanties fortes de protection contre toute interférence. Ces garanties conditionneraient les paramètres et les caractéristiques de ces nouveaux usages et seraient directement liées aux possibilités techniques et technologiques d'aujourd'hui.

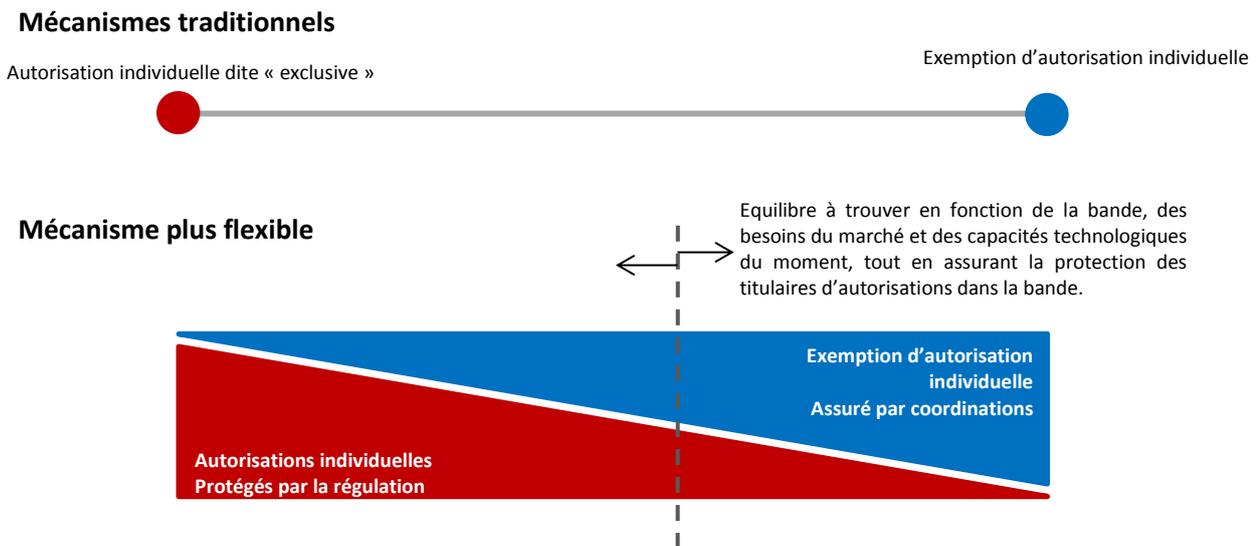


Figure 1: Nécessité de penser à des mécanismes plus flexibles entre les deux pôles de la vision traditionnelle de l'accès au spectre⁶

⁶ Adaptée d'une image fournie par Google

En matière de partage, on pourrait distinguer :

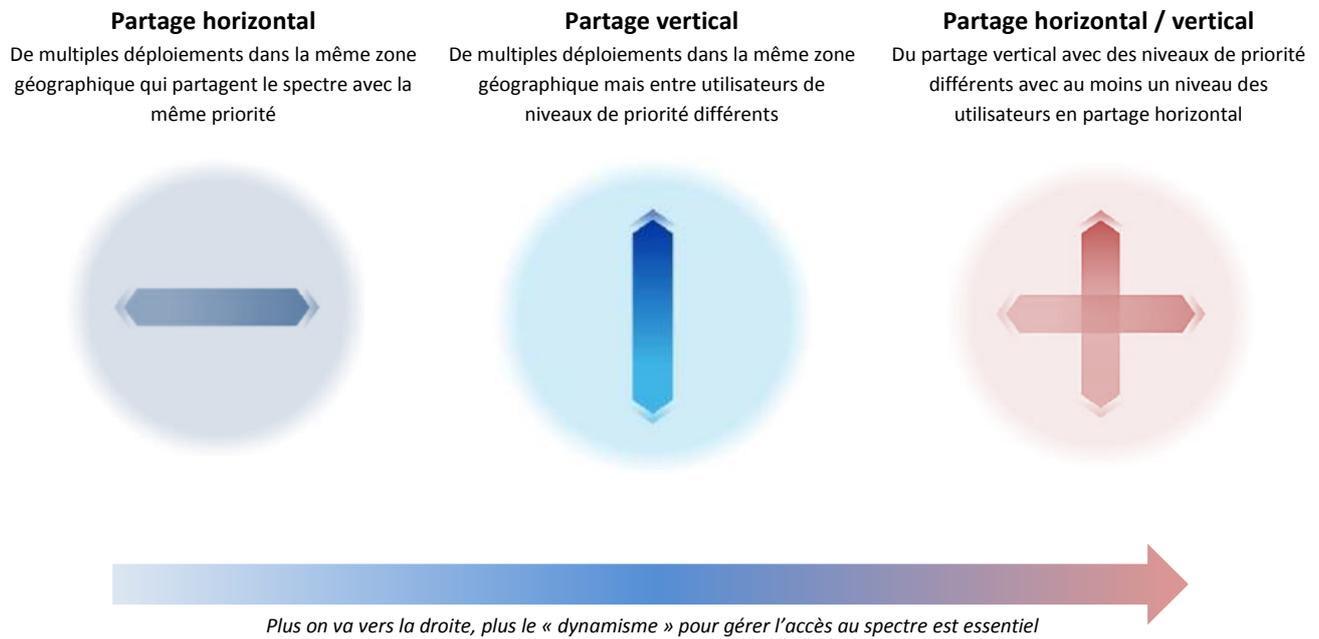


Figure 2 : Typologie de partages de fréquences

Partage de spectre « dynamique » ?

La présente note qualifie de mécanismes de partage de spectre dynamique, tout mécanisme permettant de tirer parti du fait que l'usage des fréquences par un titulaire d'une autorisation n'est pas effectif 100% du temps, pour 100% du spectre autorisé sur 100% de l'espace géographique qui lui est alloué.

Le tableau ci-dessous précise plusieurs des notions utilisées dans la présente note :

Mode de partage du spectre	Essaie-t-on de savoir si le spectre est utilisé par l'utilisateur primaire? ⁷	Mode de connaissance du spectre disponible		Gestion de la coexistence entre les utilisateurs dans la bande
Statique	Non	N/A		Par des paramètres techniques figés et fixés d'avance (ex : niveau de puissance) et/ou applications séparées géographiques (ex : indoor/outdoor)
Dynamique	Oui ⁸	Écoute de la bande grâce à des capteurs (<i>spectrum sensing</i>) ⁹		Grâce à l'application de règles dictées par le modèle de partage et les informations disponibles.
		Déclaratif	Humain : l'utilisateur renseigne des données d'usage à la main via une interface web ou dans une base de donnée (ex : calendrier de disponibilité)	
			Machine to machine : la station de base ou l'outil émetteur qui utilise le spectre envoie l'information à la base de données	

Tableau 1 : Notions de partage de spectre

Le partage dynamique du spectre est indispensable pour permettre le partage vertical (plusieurs utilisateurs se partageant la même bande sur un lieu donné) afin de protéger les utilisateurs de niveau supérieur (en termes de priorité d'accès) des utilisateurs de niveau inférieur.

Les différents modes de partage dynamique vont ainsi se distinguer par le mode de connaissance de disponibilité du spectre (qui vise avant tout à protéger le ou les utilisateurs primaires) mais aussi et surtout par le moyen d'implémentation défini.

Le partage dynamique du spectre : solution à tout ?

Le partage dynamique du spectre, bien que de plus en plus utile pour penser à de nouveaux types d'usage du spectre, ne peut s'appliquer dans tous les cas. Des acteurs estiment ainsi par exemple que concernant les bandes basses (< 1 GHz) et pour les services demandant une couverture de l'ensemble du territoire, le modèle d'autorisation dite « exclusive » reste le plus adéquat : d'une part car les investissements consentis pour la couverture nationale doivent être sécurisés par l'investisseur qui acquiert les droits d'utilisation, d'autre part pour des raisons de maîtrise du réseau

⁷ Avant utilisation par l'utilisateur secondaire

⁸ Nota bene : le partage dynamique peut aussi exister en l'absence d'utilisateur primaire.

⁹ Ces deux approches (capteurs et déclaratif) ne sont pas exclusives et peuvent-être utilisées conjointement

et de la qualité de service en lien avec les caractéristiques de propagation propres à ces bandes basses. Tous les systèmes de partage ne permettent pas non plus de répondre à certains problèmes des bandes libres, notamment les systèmes offrant une priorité stricte à l'utilisateur primaire ne permettent pas aux utilisateurs secondaires de garantir un service.

Il revient au régulateur de prendre en compte les spécificités de chaque bande / chaque usage lorsqu'il définit le modèle d'accès au spectre.

2 Le partage du spectre : vers des modèles de plus en plus élaborés

2.1 Les prémices : le mécanisme DFS (*Dynamic Frequency Selection*)

2.1.1 Concept

Le modèle DFS (*Dynamic Frequency Selection*) est un modèle de partage de spectre qui a été développé conjointement par l'industrie Wi-Fi et les utilisateurs de radars dans la bande Wi-Fi 5 GHz.

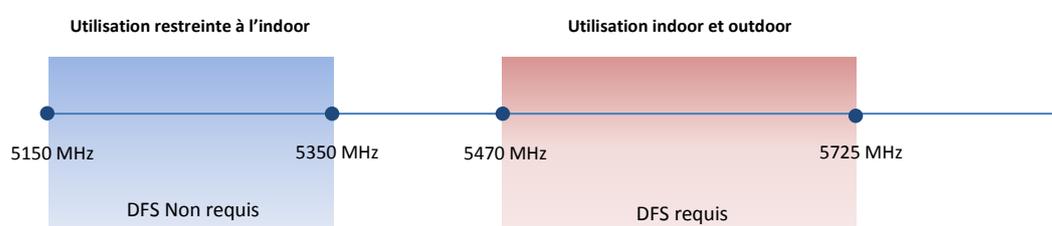


Figure 3 : Canaux accessibles au Wi-Fi en bande 5GHz en France

En effet dans cette bande, les utilisateurs Wi-Fi doivent cohabiter avec les utilisateurs primaires historiques de la bande. Ces utilisateurs historiques sont les radars météo, les radars militaires, la surveillance maritime et la radionavigation aéronautique. Des contraintes de partage ont été mises en place pour les protéger.

Pour cela, un DFS AP (*DFS Access Point* – point d'accès implémentant le mécanisme DFS) est requis. Ce point d'accès est chargé de détecter une éventuelle présence d'un signal radar¹⁰ lorsque le Wi-Fi veut accéder initialement à un canal de la bande et de refaire des vérifications régulières périodiques après son accès à la bande. Si un radar est détecté, le DFS AP doit libérer le canal et ne pas y revenir avant un certain laps de temps.

2.1.2 Difficultés d'implémentation

En pratique, détecter des signaux radar est difficile, à cause de la variété des signatures de signaux radar et de la nature des pulsations courtes émises par les radars. Ces difficultés conduisent à l'observation de faux positifs où un DFS AP semble identifier un signal radar alors qu'il n'y en a pas. Ces faux positifs peuvent être dus à de l'interférence co-canal d'un DFS AP distant agissant dans le

¹⁰ Les radars fonctionnent en émettant de courtes mais puissantes pulsations à fréquence régulière dans l'environnement. Quand ces pulsations rencontrent un obstacle, l'énergie de ces pulsations est dispersée et une partie de cette énergie retourne à l'émetteur du système radar. L'émetteur peut ainsi calculer à partir des différences en temps et en fréquence entre l'émission et le signal retour, la distance de l'obstacle et d'autres informations utiles. Ainsi, tout signal non synchronisé sur la fréquence d'un radar brouille le fonctionnement de ce dernier.

même canal ou encore à des conditions transitoires dues à une haute densité d'utilisateurs dans la bande.

Points saillants du modèle

- Le DFS introduit un principe d'autorisation générale pour des utilisateurs secondaires avec l'objectif de protéger les utilisateurs primaires de la bande (radars...). Ses limites techniques sont dues aux congestions du système, inévitables, qui entraînent une multiplication de faux positifs dans la détection des radars.
- Les utilisateurs primaires n'exercent pas de contrôle d'admission. Leur protection est dépendante du bon fonctionnement des équipements accédant au réseau et de la bonne application de la réglementation. Ainsi, si un équipement défectueux implémente un DFS AP qui indique qu'il n'y a pas de radar alors qu'il y en a (probabilité de non détection importante), il nuira aux utilisateurs primaires (radars).

2.2 Le TV White Space : une potentielle réserve de basses fréquences

La bande radio UHF (470 – 698 MHz, canaux 21 à 69 – canaux de 8 MHz) utilisée pour la diffusion TV présente des propriétés de propagation très intéressantes : elles permettent de couvrir de larges zones et l'intérieur des bâtiments avec un faible nombre de sites. Cette bande a suscité, dès 2007, beaucoup d'intérêt pour d'autres usages dans la mesure où tous les canaux ne sont jamais utilisés en même temps dans une zone donnée. Ces canaux sont appelés espaces blancs ou *white spaces*. L'idée était de chercher à les utiliser pour des équipements de faible puissance de manière opportuniste sans brouiller la diffusion TV.

Depuis 2009, plusieurs expérimentations ont été menées et ont permis, notamment, dans certains pays, d'apporter un service d'accès à internet de qualité dans des zones reculées. Cependant la coexistence dans cette bande reste complexe et ces expérimentations n'ont pas permis à ce jour de faire émerger un écosystème.

2.2.1 Concept

Le modèle théorique du TV White Space (TVWS) repose sur l'utilisation de l'une ou des deux méthodes de détection d'utilisation du spectre suivantes afin de prévenir toute interférence avec la diffusion TV : la géolocalisation et le *spectrum sensing* (détection d'utilisation du spectre). Les informations concernant cette détection d'utilisation du spectre sont consignées dans une base de données et consultables par tout équipement souhaitant accéder au spectre. Ainsi :

- les utilisateurs primaires (équipements TV broadcast et équipements PMSE¹¹ autorisés à utiliser les canaux inoccupés par la diffusion TV) s'enregistrent dans la base de données en fournissant leurs caractéristiques en matière d'émission ;
- les utilisateurs secondaires souhaitant accéder au spectre envoient une requête à la base de données. Leur requête comprend leur propre information de localisation ainsi que les paramètres du transmetteur de l'équipement ;
- une zone de protection de l'utilisateur primaire est calculée et enregistrée dans la base. Les modèles de propagation prennent en compte les paramètres de l'utilisateur primaire pour leurs calculs. L'utilisateur souhaitant accéder au spectre reçoit la liste des canaux disponibles localement et des conditions techniques associées, telles que la puissance maximum permise pour chaque canal.

¹¹ Equipements PMSE : *Programme Making and Special Events*. Ex : microphones sans fils, certaines caméras vidéo mobiles, etc.

Le modèle permet ainsi une utilisation opportuniste et dynamique tout en protégeant les utilisateurs historiques primaires de la bande.

Dans la pratique :

- tout accès par géolocalisation requiert que les équipements TVWS déterminent leur propre localisation physique et évitent les utilisateurs primaires à proximité. La méthode a été élaborée de façon plus efficace que dans le cas du DFS : les équipements TVWS opèrent seulement après avoir reçu la permission de la base de données, et peuvent être contraints à s'éteindre s'il y a un risque d'interférence ;
- concernant le *spectrum sensing* il a été prévu dans la définition théorique du modèle mais jugé insuffisamment fiable aujourd'hui¹².

Points saillants du modèle

- Contrairement au mécanisme DFS, ce modèle permet de gérer les cas d'interférence, notamment grâce au contrôle d'admission au spectre par la base de données
- Cependant ce contrôle d'admission se gère de façon bilatérale (entre l'utilisateur primaire et l'utilisateur cherchant à accéder au spectre). La base de données n'est pas une représentation exacte de l'environnement, ce qui ne permet pas, notamment, d'assurer que le niveau de bruit en canal adjacent ne dépasse pas un seuil préjudiciable au bout d'un moment pour les utilisateurs primaires. En effet plusieurs nœuds peuvent être acceptés à proximité d'une victime en réception rehaussant l'un après l'autre le niveau de bruit général dans la zone.
- Si ce mode (ne prenant pas en compte les effets cumulatifs d'interférence) limite la complexité de la base de données, il nécessite pour protéger autant que possible les utilisateurs primaires, d'imposer des limitations de puissance reflétant parfois des cas extrêmes où un nombre important de nœuds se situe aux alentours d'un utilisateur primaire, même si ce n'est pas le cas en réalité. Cette mesure n'est donc pas satisfaisante pour les deux parties prenantes : la puissance de transmission des utilisateurs secondaires peut être réduite plus que nécessaire, et malgré tout, les utilisateurs primaires ne peuvent être assurés d'être complètement protégés.

2.2.2 Cas d'implémentation

De nombreuses initiatives ont vu le jour (où sont en cours de déploiement dans le monde) implémentant les principes du TV White Space. On peut citer :

- L'initiative de Microsoft « *Microsoft Airband initiative : Connecting Rural America* » aux USA : Microsoft ambitionne en développant la connectivité en zone rurale de développer l'usage du *cloud* chez plus d'habitants et chez certains verticaux d'intérêts tels que l'agriculture, l'éducation et la santé. Microsoft espère que grâce à la norme 802.11af (pour laquelle ils développent un *chipset*) ils pourront créer un « super WiFi en bande UHF » (pour cela un écosystème d'équipements doit éclore dans la bande).
- De même l'OFCOM avec le programme « *implementing TV White Space* » vise depuis 2015 à offrir de la connectivité en zone rurales et reculées. Pour cela une base de données TVWS gérée par Nominet¹³ a été créée.

¹² Car : **1.** difficile de gérer les périodes veille où l'équipement peut déclarer un canal comme étant libre alors qu'il est occupé particulièrement dans les cas d'obstructions par des collines, des immeubles, des arbres, etc. **2.** dans certains cas les transmissions peuvent être de très faibles durée et il devient difficile de détecter les transmissions et éviter les interférences, etc.). Source : TVWS : A pragmatic approach https://www.researchgate.net/publication/261053226_TV_White_Spaces_a_pragmatic_approach - page 26

¹³ Même les microphones PMSE y seraient déclarés

Des acteurs estiment que le concept du TV White Space permet de répondre efficacement à des cas d'usage précis nécessitant de la couverture. Les bandes UHF s'y prêtent bien grâce à leurs excellentes propriétés de propagation. Mais l'absence d'un écosystème florissant et les faibles largeurs de bande disponibles (qui peuvent en plus être préemptées à tout moment pour la TV) expliquent le faible succès de cette technologie à l'international malgré quelques initiatives. Ainsi d'après eux, le mécanisme gagnerait à être importé vers d'autres bandes.

En France, des expérimentations sont menées depuis quelques mois par les sociétés Nomotech et Microsoft dans le Gers avec l'accord préalable du CSA. Si les résultats semblent encourageants en termes de débits obtenus et de couverture, quelques contraintes subsistent :

- la non-stabilité des canaux de fréquences TV disponibles : à petite échelle, par exemple une commune, les canaux de fréquences disponibles sont identiques mais à l'échelle d'un département les canaux varient d'une localité à une autre compliquant le déploiement ;
- Une fois les déploiements faits, la gestion de brouillage aux frontières des zones reste complexe, en particulier à cause des bonnes propriétés de propagation de ces bandes.

On peut par ailleurs s'interroger sur ce qui serait arrivé si ce type d'usages avait été autorisé et s'était développé par le passé avant qu'une partie de la bande utilisée pour la TNT soit attribuée aux opérateurs mobiles pour répondre aux enjeux de couverture mobile dans les zones rurales. L'implémentation de mécanismes de partage n'est ainsi pas neutre pour l'évolutivité de l'utilisation d'une bande donnée, puisqu'ils compliquent les réaménagements en multipliant les acteurs. Cependant, à la différence des autorisations générales, les systèmes de partage avec contrôle d'accès permettent de s'assurer que les équipements n'émettent plus en cas d'évolution de la bande permettant de protéger les nouveaux utilisateurs.

2.3 Le LSA (*Licensed Shared Access*) : un modèle de partage dynamique pensé pour les opérateurs mobiles

2.3.1 Concept

Le concept de LSA a été initialement introduit par le groupe européen de politique spectre (RSPG)¹⁴ en 2011 dans son rapport « *Report on Collective Use of Spectrum and other spectrum sharing approaches* ». Le but du rapport était d'explorer toutes les approches possibles en matière d'implémentation ou d'amélioration du cadre réglementaire en matière de modèles de partage de spectre innovant en Europe.

Le RSPG a ainsi recommandé aux Etats membres de l'Union européenne dans ce rapport de se diriger vers des approches plus « dynamiques » du partage du spectre tout en concluant que :

- une grande partie du spectre était déjà partagée entre différentes applications et qu'il n'y avait pas à ce moment-là de besoin identifié de spectre dédié supplémentaire ;
- que néanmoins, il y avait un besoin d'évoluer vers des mécanismes plus appropriés de partage de spectre afin de favoriser une utilisation plus efficace de ce dernier ;
- ainsi le rapport a introduit le concept de LSA, censé pouvoir fournir de nouvelles opportunités de partage de spectre à l'échelle européenne sous un régime sous autorisation, tout en maintenant les usages existants de spectre pour lequel un déplacement en fréquences (réaménagement ou *refarming*) n'était pas envisageable.

¹⁴ Groupe chargé de conseiller la Commission européenne sur la gestion des fréquences.

À la suite de ces recommandations, le LSA a été défini à l'ETSI¹⁵ et le rapport ECC 205 a été approuvé en février 2014 par la CEPT¹⁶. Ce rapport décrit comment le LSA peut être implémenté pour le cas d'usage d'application des réseaux mobiles large bande, particulièrement dans la bande 2,3-2,4 GHz définie au niveau UIT comme étant une bande mobile mais occupée dans certaines parties du monde (en Europe notamment) par d'autres utilisateurs.

Dans le modèle de partage de spectre LSA, les ressources spectrales vacantes peuvent être allouées à des utilisateurs qui souhaitent accéder au spectre, ces utilisateurs sont appelés des licenciés LSA. Ainsi, le LSA implémente un partage de spectre entre deux ensembles d'utilisateurs : un premier ensemble constitué des utilisateurs historiques ou primaires de la bande et un deuxième destiné aux licenciés LSA.

L'architecture du modèle se fonde sur les deux éléments principaux suivants :

- le **LSA Repository** : ce répertoire contient les informations sur l'utilisation du spectre par les utilisateurs historiques primaires (informations en espace, fréquences et temps). Il désigne également l'arbitre du modèle, implémentant les conditions techniques du mécanisme de partage. Il contient les détails des contrats passés entre le régulateur, les utilisateurs primaires historiques de la bande et les utilisateurs secondaires ayant obtenu des autorisations. En fonction de tous ces paramètres, le LSA Repository détermine, grâce à un algorithme prédéfini, le spectre disponible.
- le **LSA Controller** : il a pour rôle de gérer l'accès au spectre par l'utilisateur secondaire. Cet élément détient les informations de déploiements réels et donc la topologie du réseau de ce dernier. Il s'assure que le réseau de l'utilisateur secondaire respecte les règles définies par le *LSA Repository*. Celui-ci est localisé dans l'infrastructure de l'utilisateur secondaire.

En pratique : pour fonctionner, le modèle LSA a besoin d'avoir des informations sur les déploiements réels des réseaux dont l'accès au spectre va être géré. Très tôt dans le développement, la nécessité que ces informations ne soient pas accessibles aux autres participants est apparue. Ceci a abouti à un modèle d'architecture avec une base de données divisée en deux parties (le *LSA repository* et le *LSA controller*). Il y a dans un tel modèle au moins autant de *LSA controllers* que d'opérateurs/utilisateurs secondaires souhaitant accéder à la bande. Les données sur les utilisateurs secondaires n'étant pas partagées, le modèle exclut un partage dynamique de fréquences entre eux. Sur une zone donnée, chaque fréquence ne peut être attribuée qu'à un seul utilisateur secondaire. Cette répartition est définie à l'avance et ces informations sont stockées dans le LSA Repository.

2.3.2 Cas d'implémentation

De nombreux tests du mécanisme LSA ont été faits en Europe¹⁷ en bande 2,3 – 2,4 GHz. La bande a notamment été étudiée en 2014 en France, où elle est utilisée en partie par le ministère chargé de la défense. , mais ces études n'ont pas abouti à des implémentations en vraie grandeur.

Avec la démocratisation des réseaux de types LTE (4G) pour des usages professionnels et les besoins des verticaux, le LSA pourrait répondre aujourd'hui à de nouveaux types de besoins.

Une version évoluée du LSA, *enhanced LSA*, est en cours de définition à l'ETSI¹⁸. Cette évolution permettra un système de leasing (location) automatique via des interfaces en cours de

¹⁵ European Telecommunications Standards Institute (Institut européen des normes de télécommunications)

¹⁶ Conférence Européenne des postes et des télécommunications

¹⁷ <https://www.cept.org/ecc/topics/lisa-implementation>

¹⁸ Les travaux impliqueraient à minima Nokia, Ericsson, Red technologies et SennHeiser

standardisation, elle ne nécessitera plus une attribution secondaire en modèle dit « exclusif » et permettra donc un système de partage dynamique entre utilisateurs secondaires.

2.4 Le SAS (Spectrum Access System) CBRS

Parallèlement au concept de LSA qui était en cours de développement en Europe, le concept de SAS (*Spectrum Access System* – Système d'accès au spectre) CBRS (*Citizens Broadband Radio Service*) a été développé aux États-Unis. Ce concept implémente un troisième niveau d'accès au spectre en plus d'utilisateurs dits « historiques » et d'utilisateurs dits « prioritaires » (deuxième niveau).

2.4.1 Concept

Historiquement, la bande 3550 – 3700 MHz était utilisée aux États-Unis par l'US Navy et le Département de la Défense – DoD - (principalement par des radars maritimes et terrestres). Les usages concernés sont cependant occasionnels et géographiquement limités. C'est pourquoi, en 2015, le régulateur américain, la FCC (Federal Communications Commission) a lancé un projet d'autorisation de l'utilisation de la bande en partage. Le projet et la bande prendront le nom de CBRS : *Citizen Broadband Radio Service*.

Le modèle envisagé par la FCC pour cette bande est un modèle de partage de fréquence vertical entre différents utilisateurs avec 3 niveaux de priorité (on parle de *Tier*) :

- **Le Tier 1 (*Incumbents*)** : C'est le Tier des utilisateurs historiques qui ont les droits absolus dans la bande. Ils ont le droit de préemption sur toute la bande dès qu'ils ont besoin du spectre et doivent absolument être protégés lors de leurs opérations. L'intérêt des utilisateurs historiques réside ici essentiellement dans le fait qu'ils pourront rester dans la bande malgré leur sous-utilisation de cette dernière.
- **Le Tier 2 (*Priority Access Licence*)** : C'est le Tier des utilisateurs prioritaires : une autorisation est accordée par bloc de 10 MHz localement (unité géographique définie par la FCC : le comté) ; elle permet à son titulaire d'avoir la priorité sur les utilisateurs du *Tier* inférieur. En cas d'apparition d'un utilisateur du Tier 1 souhaitant utiliser le bloc, un autre bloc doit leur être réalloué dans la limite des blocs laissés libres. Ce Tier est intéressant pour les opérateurs qui souhaitent garantir leurs investissements en ayant un minimum de certitudes quant au spectre disponible localement pour leur besoin. En effet en l'absence d'utilisateurs de Tier 1, dont l'usage est ponctuel, l'utilisateur aura au moins accès à la quantité de spectre donnée par son autorisation. Dans chaque unité géographique (comté), il pourra être attribué localement jusqu'à 70 MHz (40 MHz à un seul utilisateur) sur la plage de fréquence 3550 - 3650 MHz, par un processus d'enchère à définir. Les autorisations actuelles envisagées par la FCC sont des autorisations de 10 ans, renouvelables, accordées selon le principe du « *Use it or Share it* ¹⁹ ».
- **Le Tier 3 (*General Authorized Access*)** : C'est le Tier des utilisateurs exemptés d'autorisation individuelle. Ce Tier implémente une sorte de partage horizontal dans la mesure où tous les utilisateurs ont accès au spectre à égalité de droit. Les fréquences non utilisées par les tiers supérieurs sont partagées équitablement entre les utilisateurs du Tier 3. Ce Tier est censé permettre, à l'image des bandes sous autorisation générale telle que les bandes Wi-Fi, de favoriser l'innovation. Compte tenu du maximum de 70 MHz attribuable localement pour le

¹⁹ Le spectre est disponible pour le Tier 3 tant qu'aucune installation ni émission n'est concrètement faite par le Tier 2 détenteur de licence

Tier 2, il reste par localité un minimum de 80 MHz disponible en accès libre (sauf présence d'utilisateurs du Tier 1).

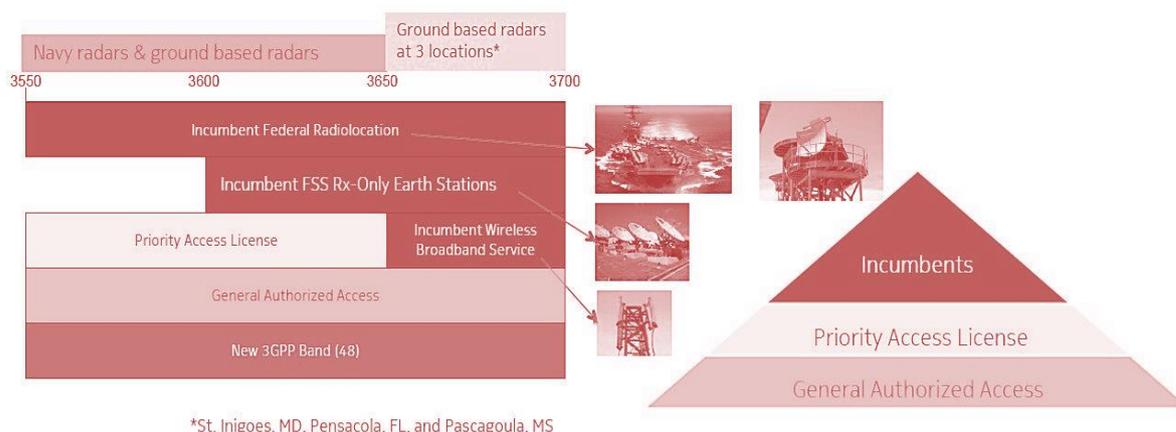


Figure 5 : la Citizens Broadband Radio Service²⁰

Ce modèle est basé sur les interactions de trois types d'équipements :

- **Les SAS (*Spectrum Access System*)** : Ce sont des bases de données centralisées contenant les informations d'utilisation du spectre de toutes les unités géographiques de tous les Tiers. Elles comprennent aussi les informations sur les zones de protection de certains utilisateurs historiques tels que les sites de stations terrestres du service fixe par satellite ou celles des opérateurs sans-fil large bandes autorisés historiquement.
- **L'ESC (*Environmental Sensing Capability*)** : c'est un ensemble de capteurs qui sont en mesure de détecter les usages des fréquences par les utilisateurs historiques (radars maritimes approchant les côtes) et qui alertent les SAS afin que les canaux occupés par les Tiers inférieurs soient libérés.
- **CBSD (*Citizens Broadband radio Service Device*)** : Il s'agit des stations et terminaux utilisateurs qui communiquent dans la bande de fréquence 3550-3700 MHz²¹. Ils sont classés en trois catégories :
 - o catégorie A CBSD : il s'agit des points d'accès, des femtocells, et stations de base basse puissance destinés à des usages à l'intérieur des bâtiments, mais pouvant être utilisés en extérieur à une hauteur maximum de 6 m et une PIRE maximum de 30 dBm ;
 - o catégorie B CBSD : pour des usages extérieur uniquement, ils peuvent avoir une PIRE allant jusqu'à 47 dBm ;
 - o terminal utilisateur (EUD) : 23 dBm de PIRE maximum, pas de *peer to peer* possible.

Les CBSD de catégorie A et B doivent respecter les conditions suivantes :

- o fournir leur localisation avec une précision de +/- 50 m en horizontal et +/- 3 m en vertical et rapporter leur nouvelle localisation dans les 60 secondes en cas de mouvement ;
- o être installés par des installateurs professionnels qualifiés²² ;

²⁰ Source image : Nokia

²¹ Bande harmonisée au 3GPP : Band 48, standardisée pour favoriser un écosystème répondant aux caractéristiques définies par le CBRS telles que la définition de paramètres spécifiques plus strictes des émissions hors bandes afin de protéger les équipements du DoD

- de respecter une instruction donnée par un SAS dans les 5 minutes après réception de l'instruction.

En pratique :

Des interfaces de communications entre les différents SAS ont été standardisées avec le concours de l'industrie via les institutions WinnForum/CBRS Alliance de façon à permettre la coexistence de divers constructeurs de SAS. Ces constructeurs de SAS sont certifiés par la FCC qui s'assure que leurs solutions répondent bien au cahier des charges défini pour le fonctionnement du modèle. Les constructeurs SAS en phase finale de certification sont Google, Federated Wireless, Sony, Amdocs en partenariat avec Red Technologies, Commscope. D'autres intervenants devraient être certifiés au cours d'une seconde vague (Nokia, Red Technologies seul, etc.). Ces SAS se synchronisent les uns aux autres tous les soirs de façon à avoir les mêmes informations ;

Afin d'avoir un droit d'accès au spectre CBRS, un CBSD envoie une requête à un SAS avec les informations nécessaires (coordonnées GPS, hauteur d'antenne, catégorie de CBSD, indication si licence prioritaire PAL, ID FCC, etc.). Le SAS évalue les possibilités dans l'unité géographique considérée et, si des fréquences sont disponibles, communique au CBSD le canal sur lequel opérer ainsi que les paramètres techniques à respecter (puissance maximale, etc.). Pendant son fonctionnement, le CBSD est tenu de respecter toute instruction du SAS telle qu'une requête de changement de canal/fréquence, une requête d'ajustement du niveau de puissance, etc.

Si la FCC a défini des règles strictes pour la protection du Tier 1 et du Tier 2 telles que des modèles de propagation à utiliser, les éléments de coexistence et de gestion du Tier 3 ont été laissés aux constructeurs SAS qui y déploient des solutions propriétaires. Les constructeurs de SAS ont ainsi l'opportunité d'innover et de se différencier dans leur solution à ce niveau-là.

Les constructeurs SAS se rémunèrent en faisant payer aux utilisateurs du Tier 3 des frais d'abonnement à leur plateforme. Ces frais ne sont pas fixés par la FCC et chaque constructeur définit librement ses prix. Les utilisateurs choisissent librement le SAS qu'ils souhaitent utiliser.

Radio cognitive

Les nombreux acteurs interrogés par l'Arcep sur le sujet de la radio cognitive ont été unanimes sur le fait que bien que les travaux sur le sensing et la radio cognitive en général étaient prometteurs, la technologie restait assez immature pour l'instant en plus de rajouter de la complexité. De leur point de vue l'utilisation d'une base de données couplée à de la géolocalisation est la meilleure solution à ce jour pour gérer de façon suffisamment efficace le partage dynamique du spectre.

Facteurs qui ont fait émerger le CBRS aux États-Unis

Selon plusieurs acteurs interrogés, les facteurs qui ont favorisé l'émergence du CBRS sont les suivants :

- aux États-Unis contrairement à l'essentiel des pays dans le monde, la bande 3,4 - 3,8 GHz est utilisée pour des usages sensibles relevant de la défense, particulièrement difficiles à déplacer en fréquences ;
- il y avait une forte demande du marché pour des solutions de ce type et la présence et l'intérêt d'acteurs puissants capables de faire émerger des solutions et un écosystème. En effet, les États-Unis ont jusqu'ici eu beaucoup de difficultés à trouver des solutions efficaces pour la

²² Dans les règles définies par la FCC, les déploiements requiert le recours à des installateurs professionnels pour le déploiement de la majorité des équipements. Ceci afin de s'assurer que les règles définies par les mécanismes sont bien appliquées.

couverture des zones rurales. Il existe aussi par ailleurs beaucoup de demandes pour la couverture des entreprises à l'intérieur des bâtiments avec des acteurs indépendants ainsi que des demandes d'accès au spectre pour des verticaux.



Figure 7 : membres de la CBRS Alliance impliqués dans la définition du CBRS

2.4.2 Comparaison SAS CBRS/LSA

En première approche, le LSA correspond aux deux premiers tiers du SAS CBRS.

Une des différences majeures est le fait que dans le concept du SAS CBRS, la protection des utilisateurs historiques est assurée même si ces derniers ne peuvent pas fournir l'information de leur emplacement, beaucoup trop sensible pour être stockée dans une base de données.

	LSA	SAS CBRS
Niveaux de priorité	Système de partage vertical à deux Tiers	Système de partage combiné vertical /horizontal à trois Tiers
La base de données	Bases de données multiples ²³	Bases de données synchronisées ²⁴
Utilisation du spectre	Modèle initialement pensé pour du leasing moyen/long terme de spectre avec un maximum de garantie donnée aux utilisateurs secondaire. Le titulaire d'autorisation secondaire est protégé contre les brouillages (sauf éventuels utilisateurs primaires) sur une partie du spectre.	Inclut un Tier 3 – autorisation générale qui renforce les possibilités d'utilisation du spectre. De plus, le recours à une base centrale indépendante des réseaux souhaitant accéder au spectre permet d'envisager des accès au spectre plus dynamiques.
Complexité	Plus facile et rapide à mettre en œuvre grâce à un mécanisme existant par-dessus un écosystème existant	Assez complexe à implémenter, notamment avec l'introduction du <i>sensing</i> et nécessite le développement d'un écosystème spécifique
Adaptabilité	Focus initial sur l'Europe et facilement adaptable dans le reste du monde	Focus US, nécessite des adaptations pour implémenter dans les autres régions.

3 Promouvoir le partage dynamique du spectre

3.1 Pourquoi ?

Pour améliorer l'utilisation du spectre

L'une des missions de l'Arcep est de veiller à l'utilisation et la gestion efficaces des fréquences dont elle est affectataire. Le partage du spectre est l'un des mécanismes qui permet de promouvoir cette utilisation efficace des fréquences.

Le partage du spectre existe déjà dans les faits. Jusqu'ici, on observe notamment du [partage horizontal](#) (**exemple** : bande Wi-Fi 2,4 GHz) ou [statique vertical](#) lorsque le TNRBF le permet (**exemple 1** : des dispositifs médicaux courte portée autorisés à fonctionner en bande 2483,5 - 2500 MHz mais ne pouvant prétendre à protection et ne devant pas brouiller le service mobile par satellite dans le sens espace-Terre / **exemple 2** : les PMSE caméra vidéo autorisés dans la bande 2,3 – 2,4 GHz du ministère chargé de la défense / **exemple 3** : les faisceaux hertziens et les stations terriennes dans les bandes 11 GHz et 18 GHz.).

Cette cohabitation, notamment verticale, est rendue possible grâce à l'application de règles strictes et contraignantes telles qu'une limitation des puissances d'émission par les utilisateurs tolérés ou des limitations d'usage dans certaines zones. Ce type de contrainte limite les applications possibles et ne tient pas compte de l'utilisation effective du spectre par les utilisateurs primaires. Le partage dynamique puisqu'il prend en compte l'utilisation précise des utilisateurs primaires peut permettre d'accroître l'utilisation globale du spectre.

²³ Séparation en plusieurs composants : un LSA Repository et des LSA Controllers

²⁴ Les multiples SAS (de différents constructeurs) sont synchronisés simulant tous ensemble une base de données unique centralisée

Un certain nombre de bandes de fréquences pourraient susciter suffisamment d'intérêt pour que l'étude de l'introduction de tels mécanismes de partage soit considérée. Il s'agit notamment :

- de bandes pour lesquelles il existe des utilisateurs historiques mais dont l'utilisation est aujourd'hui concentrée sur certaines périodes ou zones géographiques ;
- de bandes hautes qui offrent des propriétés de propagation (faible portée) et des caractéristiques de bande (canaux plus larges) permettant d'envisager des applications relativement localisées, opportunistes, temporaires ou ponctuelles ;
- La bande 6 GHz qui abrite des faisceaux hertziens et pour lesquelles une introduction du Wi-Fi est à l'étude.

Il pourrait être envisagé, grâce à l'accès à ces bandes :

- d'apporter des solutions complémentaires pour le *public safety* (sécurité publique/PPDR – *Public Protection and Disaster Relief*) en France;
- proposer des solutions supplémentaires de réseau privé LTE/5G pour les besoins de l'industrie 4.0 ;
- favoriser l'innovation en réduisant la barrière à l'entrée pour les acteurs souhaitant disposer d'un accès à du spectre de qualité non licencié (en dehors des bandes sous autorisations générales type Wi-Fi).

C'est pourquoi il est intéressant de regarder pour chaque cas si et comment un partage serait possible et opportun. Les limites à l'exercice tiennent notamment à la complexité et au coût des solutions possibles, aux besoins de protection des investissements de certains titulaires d'autorisations ou à leurs droits à date ou encore au besoin de maintenir une certaine évolutivité de ces bandes de fréquences au-delà de l'usage qui en est fait aujourd'hui.

Pour mieux gérer la coexistence entre réseaux en partage horizontal

La gestion et l'application de critères de coexistence de réseaux en partage pourrait gagner en efficacité en cas de mise en place de plateformes implémentant les principes de partage dynamique. En effet, en plus de permettre un modèle à deux niveaux d'accès dans la bande, un système de base de données dynamique aiderait à gérer la coexistence entre les réseaux autorisés (identification et position exacte des stations émettrices, application de modèle de propagation en fonction de la position et de la réalité des émissions, prise en compte des critères de négociations entre partenaires qui peuvent évoluer plus facilement et rapidement, etc.).

Les questions de sensibilité des données à partager et le risque d'introduire des complications dans l'exploitation des réseaux doivent cependant être considérés avant la mise en place de telles solutions.

Pour une gestion administrative plus dynamique pour certaines applications

L'implémentation d'une solution de partage dynamique sous l'une des formes présentées (LSA, CBRS, etc.) ou sous une forme proche ferait intervenir une base de données qui renfermerait un certain nombre d'informations (contexte local, profil utilisateur, autorisation Arcep, etc.) et une forme d'intelligence (sous forme d'algorithme) permettant de traiter de façon rapide et efficace les demandes d'accès au spectre notamment pour ce qui est des utilisations ponctuelles et locales. Ces systèmes pourraient ainsi se charger d'attribuer des autorisations numériques d'émettre ainsi que de vérifier l'application de règles de cohabitation définies par le régulateur en fonction de paramètres techniques et géographiques à un instant donné. **Exemple:** Gestion des attributions de fréquences locales pour les besoins PMSE (*Programme Making and Special Events*) pour les grands évènements.

Pour chaque bande où ce système pourrait être introduit il faudra évaluer les gains de cette automatisation, le coût de sa mise en place et les éventuels risques qui pourraient peser sur les utilisateurs.

3.2 Comment ?

Le renforcement des mécanismes de partage du spectre peut améliorer la disponibilité effective de fréquences. Pour y parvenir, une mobilisation concertée des pouvoirs publics, des opérateurs, des équipementiers et des usagers est nécessaire.

Au-delà, les actions utiles sont listées dans le tableau ci-dessous :

Volets	Actions ?
Juridique	Lever les flous juridiques éventuels
	Identifier des modifications de la réglementation permettant d'améliorer les conditions de développement de ce type de mécanisme
Identifier les bandes de fréquences d'intérêt	Identifier toutes les bandes d'intérêt pour un renforcement des mécanismes de partage, notamment celles peu utilisées
	Valider les besoins et l'intérêt d'utilisateurs pour ces bandes
	Vérifier la présence/possibilité d'un écosystème
Favoriser l'émergence d'écosystèmes	Rassurer les acteurs sur le fonctionnement du système : revoir le système de pénalité en cas de non-respect des conditions techniques et renforcer l'effectivité des contrôles
	Consulter toutes les parties prenantes (entreprises et administrations) pour la définition du ou des modèles
	Opter pour des solutions standardisées (à l'échelle européenne à minima) ?
	Renforcer les expérimentations autour de la mise au point de solutions de partage innovantes
Résoudre les questions qui se posent autour de la gestion des bases de données	Qui s'en occupe (le régulateur, un/des tiers ou autres ?) A quel coût ?
	Quid de la sensibilité des données ?
	Certification des équipements/ vérification de la conformité au modèle
Identifier les besoins minimaux des acteurs	Quel doit être le niveau de dynamisme ?
	Les acteurs, non satisfaits des bandes libres, ont-ils besoin d'une quantité de spectre minimale garantie ?

Afin de permettre aux acteurs de s'exprimer sur ces questions, une consultation publique sera organisée par l'Arcep dans les prochains mois.

L'objectif est en premier lieu de partager l'analyse et le diagnostic sur les enjeux et solutions possibles de partage du spectre.

Il s'agira par ailleurs d'identifier les bandes de fréquences qui pourraient opportunément, ou non, voire de nouveaux modes de partage être introduits. Les acteurs seront également invités à s'exprimer sur les avantages et inconvénients des différentes solutions de partage possibles.