

1 Synthèse Exécutive

Nul n'est besoin de répéter que de très fortes attentes en matière de reconquête, tant technologique qu'industrielle, sont adossées à l'émergence d'une offre de solutions de communication pour réseaux privés. Cependant, pour qu'un écosystème mature et dynamique d'acteurs (PMEs, grand groupes, intégrateurs, opérateurs privés, ...) puisse se développer, il est important de travailler à l'accessibilité des solutions et des modèles proposés pour les futurs clients, la plupart du temps spécialistes de leurs métiers mais non familiers des problématiques radio et télécom.

Un des paramètres de cette accessibilité réside bien entendu dans les conditions d'accès au spectre radio. Par conditions, nous pouvons entendre plusieurs choses :

- Le prix de la licence permettant d'obtenir le droit de transmettre,
- La facilité / clarté des démarches à effectuer pour obtenir ce droit,
- La rapidité de réaction de la puissance publique pour soutenir et faire aboutir les démarches entamées,
- La disponibilité et le coût des dispositifs capables d'opérer dans la bande de fréquence visée

Dans une première partie, nous évoquons les freins identifiés aujourd'hui pour l'adoption large des réseaux privés cellulaires opérant dans la bande 38. Nous commençons par faire un état des lieux des prix des licences d'accès au spectre dans différents pays d'Europe, montrant que la France par le modèle proposé, favorise plutôt les grosses structures d'entreprise, les déploiements de réseaux couvrant des zones géographiques significatives, et se coupe de toute une catégorie d'entreprises (TPE/PME pourtant génératrices de croissance et fortement pourvoyeuses de nouveaux emplois) désireuses d'expérimenter de nouveaux moyens de communication afin d'améliorer leurs processus opérationnels.

Nous poursuivrons ensuite la discussion en soulignant que la bande destinée en France à accueillir et soutenir les déploiements de réseaux privés (bande 38 : 2.6GHz TDD), doit être partagée entre les différentes générations de technologies mobiles, en particulier la 4G et la 5G. Ceci amenant des contraintes techniques supplémentaires, impactant les performances réalisables en 5G notamment et limitant de facto les cas d'usage adressables.

Une dernière section explique en quoi la bande de fréquence des 6GHz constitue une alternative plus que crédible, voire souhaitée, à la bande 38 aujourd'hui envisagée pour les réseaux privés cellulaires en France, et répond à la plupart des problématiques évoquées dans les sections précédentes.

2 Freins à l'adoption des réseaux privés cellulaires

2.1 Modèles de prix de licence tels que pratiqués en Europe

2.1.1 Allemagne

La BNetzA a présenté un modèle de calcul pour l'utilisation de ces fréquences, à savoir :

$$\text{Redevance} = 1000 + B \times t \times 5 (6a1 + a2),$$

où B représente la largeur de bande en MHz utilisée, la valeur minimale étant de 10 MHz et la valeur maximale 100 MHz. Le terme t désigne la période d'utilisation en années. Les paramètres a1 et a2 désignent la surface couverte par le réseau de campus en kilomètres carrés, où a1 représente les établissements humains et les infrastructures de transport et a2 les autres types de terrains. Les définitions des différents types de terrains sont disponibles sur la page "Structure of Land Use" du site web de l'Agence fédérale allemande pour l'environnement.

Pointeurs officiels :

- La définition des a1 et a2 : <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/struktur-der-flaechennutzung#die-wichtigsten-flachennutzungen>
- La formule officielle de calcul : https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/20191031_LokalesBreitband.html

Sur un exemple de déploiement pour une PME souhaitant couvrir son « petit » site de production de 2Ha avec un réseau 4G ou 5G privé dans 20MHz de spectre et qui s'engage pour 10 ans :

- Prix licence pour 10 ans = $1000 + 20 \times 10 \times 5 \times (6 \times 0.02) = 1120\text{€}$ soit **112€ par an**

2.1.2 France

Selon

- Arrêté du 24 octobre 2007 portant application du décret n° 2007-1532 du 24 octobre 2007
- Décret 2007-1532 du 24 octobre 2007 et décrets modificateurs

La formule de calcul pour l'utilisation des fréquences françaises est la suivante :

$$\text{Redevance} = l \times bf \times c \times a \times k6$$

Avec :

- l = largeur de bande en MHz
- bf = 8.7
- c = 0.006 (zone de moins de 100km²) (voir article 8-1 du décret 2007-1532 du 24 octobre 2007, modifié par l'article 4 du décret 2019-538 du 29 mai 2019)
- a = 2
- k6 = 34000

Sur le même exemple de déploiement que précédemment :

- Prix licence pour 10 ans = $10 \times 8.7 \times 0.006 \times 2 \times 34000 = 709920\text{€}$ soit 70992€ par an

2.1.3 UK

Le modèle de calcul adopté par l'Ofcom côté anglais est décrit dans le document suivant :

: https://www.ofcom.org.uk/data/assets/pdf_file/0035/157886/shared-access-licence-guidance.pdf

Pour un déploiement sur site industriel, appelés par l'Ofcom les "low power licences", le tarif appliqué est de 80£ pour 10MHz par secteurs de 50m de rayon.

Sur le même exemple de déploiement que précédemment mais dans la bande 3.8-4.2GHz : il faut 3 secteurs.

Prix licence pour 10 ans = $80 \times 2 \times 3 \times 10 = 9600\text{£}$ soit 960£ par an

2.1.4 Tableau récapitulatif

Pour 20MHz de spectre sur un site de production de 2Ha.

	France	Allemagne	Royaume Uni
Prix licence par an	70992€	112€	960£

Contrairement à ses voisins européens les plus proches et les plus dynamiques en matière de développement de réseaux privés cellulaires, l'approche française semble peu adaptée à des déploiements réseau de petite ampleur. Le prix des licences d'accès par an serait en effet du même ordre de grandeur que le prix d'achat des équipements et logiciels nécessaires à la mise en place effective du réseau.

On peut noter bien sûr que le projet de segmentation de la licence en bande 38 (2.6GHz TDD) permettant à un porteur unique de segmenter la zone de 100km² couverte par sa licence en plusieurs zones plus petites et disjointes, va dans la bonne direction. Ce projet introduit cependant un intermédiaire supplémentaire, certes en position d'accompagnement pour les déploiements les plus significatifs, mais peu adapté pour les réseaux d'une ou 2 cellules qui constitueront le socle des configurations les plus simples.

2.2 Procédure d'attribution en bande 38

La procédure d'attribution est décrite dans son principe ci-dessous.

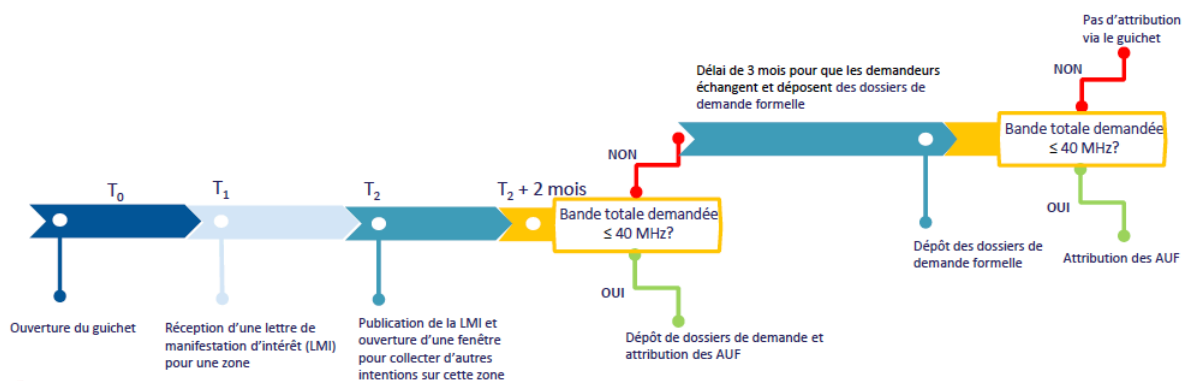


Figure 1: Procédure d'attribution

Les deux mois faisant suite à la première manifestation d'intérêt sont incompressibles, en cas de demandes incompatibles, le délai de trois mois supplémentaires pour le dépôt des demandes formelles peut être prolongé à 6 mois suite à l'accord de l'ensemble des parties concernées.

La procédure, par la force des choses, entraîne des délais significatifs, parfois incompatibles avec le mode de fonctionnement d'entreprises un peu moins structurée que les grands groupes français, plus en réaction par rapport à leur marché qu'en anticipation.

2.3 Contraintes techniques associées à la bande 38

La bande 38, est une bande destinée à des communications en mode TDD (Time Division Duplex), la réception et la transmission des dispositifs ont lieu sur le même canal radio, mais certaines sous-trames sont réservées pour la voie montante (émission du terminal, réception de la station de base) tandis que d'autres le sont pour la voie descendante (réception du terminal, émission de la station de base). Il existe de plus une sous-trame spéciale, qui contient notamment un temps de garde nécessaire au basculement entre la voie descendante et la voie montante. Les différents formats de trames ont été définis par le 3GPP comme suit :

Uplink-Dowlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point-periodicity	Subframe number										Ratio*	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Downlink	Uplink
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U	25%	75%
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D	50%	50%
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D	75%	25%
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D	75%	25%
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D	78%	22%
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D	89%	11%
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D	38%	63%

Figure 2: Formats de trame TDD en 4G

Il est donc important que tous les réseaux opérant dans la bande 38, adoptent tous le même format de trame afin d'éviter les interférences mutuelles (une station de base sur un réseau émettant un paquet de données alors qu'une station de base sur un autre réseau à proximité est en réception au même moment sur le même canal, ou sur un canal adjacent).

Il est à noter que pour la 4G, l'ARCEP a sélectionné le format de trame numéro 2 pour le LTE, privilégiant les cas d'usage impliquant 75% de réception côté terminal. On pourra regretter que les formats de trame 0 ou 1 n'aient pas été retenus, ceux-ci offrant plus d'opportunité d'émettre pour les terminaux, et constituant donc une solution plus adaptée à la plupart des cas d'usage envisagés pour les réseaux privés.

Il faut ici souligner que les contraintes évoquées s'appliquent également aux réseaux privés 5G destinés à être déployés dans la même bande. En effet, dans le cas où les deux technologies sont déployées sur des zones géographiques proches et dans des fréquences identiques ou proches, il s'avère nécessaire d'appliquer une configuration 5G-NR identique au format de trame TDD n°2 du LTE pour éviter les interférences. Ceci est rendu possible par le fait qu'au niveau radio, on relève des similitudes entre les trames LTE et 5G-NR (elles ont en particulier la même durée), et que même si la trame temporelle 5G-NR présente une structuration en slot beaucoup plus flexible, il est possible de définir un ensemble de paramètres permettant de reproduire la structure temporelle 4G.

En conséquence, les réseaux privés 5G déployés dans la bande 38, présenteront donc les mêmes limitations que les réseaux 4G privés

- Capacité limitée par la bande de fréquence considérée (2575 - 2615 MHz : 40MHz)
- Latence garantie imposée par le format de la trame LTE (5ms)
- Asymétrie en transmission/réception (la réception des terminaux est privilégiée en LTE) ne permettant pas d'adresser un grand nombre de cas d'usage de l'industrie

2.4 Disponibilité des terminaux

Enfin, sur une autre dimension, la bande 38 n'est pas largement retenue à l'échelle européenne pour les déploiements de réseaux privés. On peut voir sur la figure ci-dessous un état des lieux par pays, montrant que la priorité est donnée en général à la bande n77 (3300 – 4200 MHz).

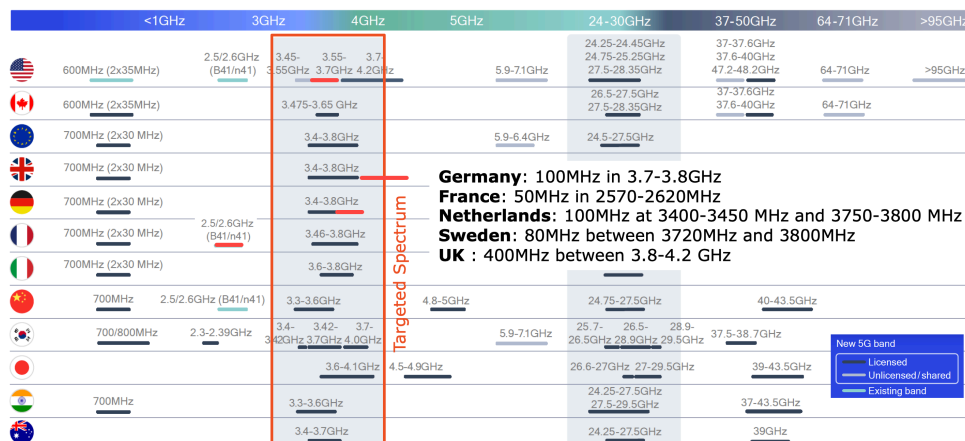


Figure 3: Spectre radio visé pour les déploiements de réseau privés (éléments en rouge)

Or, pour garantir l'usage effectif des technologies cellulaires pour les réseaux privés, il est impératif d'avoir des politiques d'allocation de spectre harmonisées afin de faciliter la disponibilité de chipsets et de terminaux compatibles, ceux-ci n'étant développés par les équipementiers que si les perspectives marché sont suffisamment attractives. Ceci est d'autant plus critique dans le monde industriel que les terminaux sont très spécialisés et souvent spécifiques au cas d'usage. Dans le cas de la bande 38, il existe donc un risque non négligeable de non-disponibilité des terminaux 5G dont les industriels français ont besoin, l'ajout du support de cette bande occasionnant un surcoût non assumé par les fabricants en raison des faibles volumes visés.

3 Opportunités offertes par la libération de spectre dans la bande 6GHz

Les dispositions du projet de décision de l'ARCEP, visant à désigner 480 MHz supplémentaires pour les réseaux locaux et technologies d'accès sans-fil (WAS/RLAN) dans la partie inférieure de la bande de fréquences de 6 GHz (5945 - 6425 MHz), semblent répondre aux problématiques énoncées au chapitre précédent, à savoir :

- La bande des 6GHz est non soumise à condition de licence, ce qui garantit la rapidité et la facilité d'accès (sans s'affranchir des conditions proposées par le régulateur), et résout la problématique de retour sur investissement des entreprises
- Bien qu'il soit prévu que les dispositifs répondant à la norme 802.11ax (Wi-Fi 6) utilisent également la bande 6 GHz, elle est considérée comme un spectre peu occupé notamment dans les cas d'usage indoor. L'abondance du spectre disponible, l'absence de titulaire et l'isolement naturel des signaux en raison de leur affaiblissement important dans l'air et à travers les structures physiques des bâtiments, signifient que les interférences seront à priori très faibles voire négligeables. Au contraire de la bande 38 TDD, ces caractéristiques autorisent donc un certain degré de liberté quant aux configurations radio qui pourront être déployées, et font de cette bande un bon candidat pour répondre aux contraintes de capacité (notamment dans le sens montant des terminaux vers les stations de base) et de latence, spécifiques des besoins de l'Industrie en matière de communications.
- La bande des 6GHz fait l'objet d'une attention particulière de la part des régulateurs nationaux dans d'autres pays du monde. Par exemple aux États-Unis où la FCC a libéré 1200MHz de spectre (5925 – 7125 MHz) pour les usages indoor à basse puissance, ou en Europe qui propose

de son côté de libérer 480 MHz de bande passante de 5945 à 6425 MHz. Ainsi, cette harmonisation des pratiques, permet d'envisager des configurations radio homogènes pour les terminaux et joue clairement en faveur de la mise à disposition rapide de terminaux à des coûts raisonnables.

Il importe bien sûr d'adresser la problématique de coexistence potentielle entre les futurs réseaux répondant à la norme 802.11ax et la 5G NR-U (5G New Radio in Unlicensed spectrum). Ainsi, pour la bande 5GHz déjà utilisée par les réseaux WiFi, le protocole LBT (Listen Before Talk) de catégorie 4 (CAT4), défini par le 3GPP, s'impose, obligeant les dispositifs à s'assurer qu'aucun autre dispositif n'occupe le canal au même moment (par des techniques de détection d'énergie) avant leur première transmission, introduisant par là-même une forte complexité de conception et impactant significativement les performances de bout en bout. Cependant, dans la bande des 6GHz, les caractéristiques de propagation de signaux permettent d'envisager des protocoles plus simplifiés que ceux définis par le 3GPP, notamment un mode de fonctionnement dit FBE (Frame Based Equipment) garantissant une certaine périodicité des transmissions, et permettant dans les évolutions les plus récentes des normes 3GPP (Release 17) de déployer des services basse latence et haute fiabilité dans du spectre non licencié.

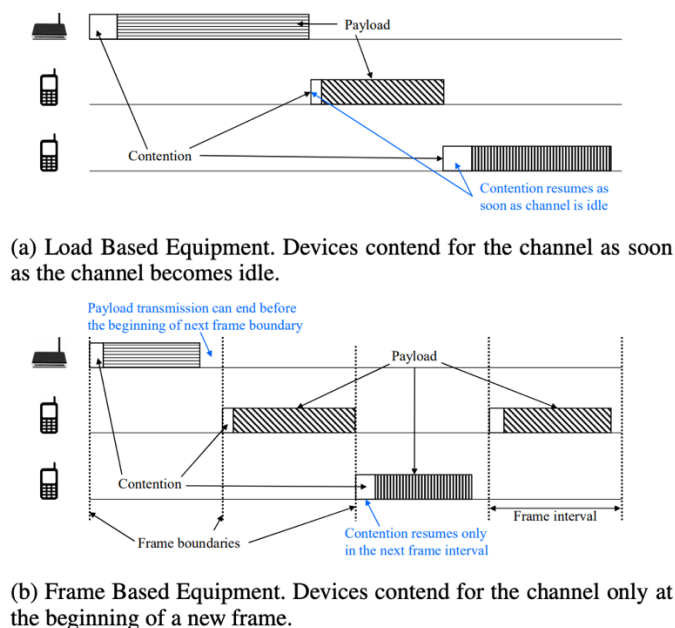


Figure 4: Techniques de coexistence : LBE vs FBE

En conclusion, l'IRT b<>com supporte fortement les dispositions prévues par le projet de décision de l'ARCEP relatif à la libération de 480MHz entre 5945 et 6425 MHz. L'IRT b<>com insiste sur le fait que cette bande de fréquence satisfait également à bon nombre de critères permettant une démocratisation de l'usage de réseaux privés conformes à la norme 5G-NRU et permettra également de satisfaire naturellement les ambitions affichées de l'État en matière de souveraineté technologique et industrielle.