

Les fréquences, gestion d'une ressource-clé

Par François RANCY
Ingénieur général des mines

Le spectre des fréquences radioélectriques constitue la ressource rare qui sous-tend la plupart des applications dont nos sociétés sont devenues largement dépendantes en quelques décennies.

Aujourd'hui, six milliards de personnes disposent d'au moins un abonnement mobile, peuvent se localiser à tout instant et en tout point du globe, ou connaître en permanence le temps qu'il fera grâce au système mondial de météorologie ; et près de deux milliards de personnes disposent de la TNT et plus d'un milliard d'un récepteur de télévision par satellite. Tout cela n'existe que parce que, depuis des décennies, les fréquences le permettant ont été harmonisées mondialement, organisées et protégées au fur et à mesure que les technologies sous-jacentes ont émergé.

Ce résultat, qui mobilise des investissements de milliers de milliards de dollars, n'est pas le fruit du hasard. Pour l'obtenir, il a fallu, depuis plus d'un siècle, les efforts conjugués de tous les États de la planète et de toutes les parties intéressées pour organiser et gérer le spectre, sur la Terre et dans l'espace, d'une manière rationnelle, équitable, efficace et économique.

Cet article reprend et synthétise les principaux éléments contenus dans les 21 articles du n°9 (mars 2020) d'*Enjeux numériques*¹, auquel le lecteur pourra se reporter pour plus de détails.

Bien qu'invisibles, les fréquences radioélectriques sous-tendent aujourd'hui une grande partie du monde visible : du GSM à la 5G, du WiFi au Bluetooth, de la radio FM ou DAB à la TNT et à la télévision par satellite, du GPS à l'imagerie spatiale. Le spectre des fréquences nourrit également nombre d'autres activités essentielles, telles que les transports aériens, fluviaux ou maritimes, la défense et la sécurité des populations, la recherche scientifique et spatiale, la météorologie, l'observation du climat et des ressources de la Terre.

En quelques décennies, les hommes ont découvert, puis appris à maîtriser cette étrange ressource que constitue le spectre radioélectrique. TSF, discours radiophoniques, radars, Mondovision, satellites, GPS et téléphones mobiles ont, depuis plus d'un siècle, imposé leur rythme effréné à une humanité tantôt émerveillée, tantôt déroutée.

Ces succès n'ont pas été atteints sans efforts. En effet, les fréquences restent une ressource difficile à domestiquer : deux fréquences proches se brouillent souvent ; quoique rapidement atténuée par la distance, leur portée demeure presque infinie pour les récepteurs sensibles ; enfin, dans les villes, la prolifération des bâtiments affecte leur propagation. Pour parvenir à tirer le meilleur parti de cette ressource capricieuse, il est donc indispensable de gérer les fréquences : anticiper leur implantation, accompagner

¹ https://annales.org/enjeux-numeriques/2020/en_09_03_20.html

leur déploiement, vérifier régulièrement l'absence de dérive et mettre fin aux usages illicites. Pour y parvenir, il convient de tirer parti de l'exceptionnel flux d'innovations technologiques dont bénéficie ce secteur, mais aussi d'expliquer inlassablement l'utilité du déploiement de ces nouveaux services et de leurs antennes, dont l'apparition trouble parfois nos concitoyens. Organiser les fréquences à l'échelle d'un pays constitue ainsi une œuvre vivante, en perpétuelle évolution.

Ces préoccupations sont devenues communes à tous les pays du monde. Comme les fréquences ignorent superbement les frontières, l'exploitation du spectre a très tôt suscité une coordination supranationale. L'Union internationale des télécommunications (UIT)² a ainsi tenu sa première conférence internationale sur ce sujet dès 1906. Depuis lors, les grandes évolutions de l'usage du spectre font l'objet d'un traité international, le Règlement des radiocommunications (RR)³, qui est mis à jour tous les quatre ans.

Aujourd'hui, six milliards de personnes disposent d'au moins un abonnement mobile, dont quatre milliards et demi pour le large bande, peuvent se localiser à tout instant et en tout point du globe, ou connaître en permanence le temps qu'il fera grâce au système mondial de météorologie ; et près de deux milliards de personnes disposent de la TNT et plus d'un milliard d'un récepteur de télévision par satellite. Tout cela n'existe que parce que, depuis des décennies, les fréquences le permettant ont été harmonisées mondialement, organisées et protégées au fur et à mesure que les technologies sous-jacentes ont émergé.

Ce résultat, qui mobilise des investissements de milliers de milliards de dollars, n'est pas le fruit du hasard. Pour l'obtenir, il a fallu, depuis plus d'un siècle, les efforts conjugués de tous les États de la planète et de toutes les parties intéressées dans chaque pays et chaque région pour gérer le spectre, sur la Terre et dans l'espace, d'une manière rationnelle, équitable, efficace et économique en assurant :

- la protection des investissements contre les brouillages et leur sécurisation sur le long terme, par des réglementations nationales et internationales contraignantes, stables, prédictibles et rigoureusement mises en œuvre ;
- l'harmonisation internationale des usages du spectre par des normes d'application universelles, nécessaires à la réalisation d'économies d'échelle sur les terminaux et équipements de réseau, à l'interfonctionnement et à l'itinérance des mobiles ;
- l'adaptation régulière de ces réglementations et normes à l'évolution des technologies et aux besoins dans tous les pays.

LE CADRE MONDIAL

Au sein de l'Union internationale des télécommunications (UIT)⁴, l'institution spécialisée des Nations unies pour les technologies de l'information et de la communication, le secteur des radiocommunications (UIT-R)⁵ est chargé d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre des fréquences et des orbites de satellites par tous les utilisateurs de fréquences, en évitant notamment les brouillages préjudiciables entre les services de radiocommunications. Ce rôle est assuré par la production de règles et de normes internationales qui ont permis le développement de l'écosystème des radiocommunications tel que nous le connaissons aujourd'hui.

² <http://www.itu.int/>

³ <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR/fr>

⁴ <http://www.itu.int/>

⁵ <https://www.itu.int/fr/ITU-R>

Les règles mondiales

Il s'agit du Règlement des radiocommunications (RR)⁶ et des Règles de procédure (RoP)⁷ qui en précisent l'application. Traité international régulièrement mis à jour depuis 1906, le RR fixe le cadre juridique pour l'utilisation du spectre radioélectrique par les États membres. Il attribue les bandes de fréquences aux différents services de radiocommunications, établit les procédures et limitations à respecter pour leur utilisation. Il prévoit que toute nouvelle utilisation de fréquences (« assignation ») doit éviter de causer des brouillages préjudiciables aux stations utilisant des fréquences conformes au RR et dont les assignations sont inscrites au Fichier de référence international des fréquences (MIFR)⁸ (principe du premier arrivé, premier servi). Enfin, l'établissement ou l'exploitation des stations est conditionné à la délivrance d'une licence par les administrations et autorités compétentes de l'État. Son application permet aux États membres d'obtenir et de garantir la reconnaissance et la protection internationales des utilisations du spectre qu'ils autorisent sur leur territoire ou dans l'espace.

Pour concilier les objectifs d'accès équitable et d'utilisation efficace, le principe du premier arrivé, premier servi, a été atténué par l'établissement dans quelques bandes de plans qui échappent à ce principe en y garantissant un minimum de spectre pour chaque pays. C'est notamment le cas pour l'essentiel du spectre attribué à la radiodiffusion et pour une partie de celui attribué aux services par satellites.

Pour s'adapter à l'évolution des technologies, des besoins et des usages, le RR est mis à jour tous les quatre ans par la Conférence mondiale des radiocommunications (CMR)⁹. La CMR est l'aboutissement d'un processus permanent de construction de consensus, qui engage tous les acteurs du secteur UIT-R :

- les États membres qui gèrent le spectre et défendent le consensus national, c'est-à-dire la résultante des intérêts nationaux ;
- les opérateurs qui utilisent une partie du spectre et souhaitent protéger cette utilisation ou avoir accès à plus de spectre ;
- les industriels fabriquant et vendant les équipements qui sont ou pourraient être utilisés.

En cas de succès à la CMR, le profit est évident : l'harmonisation mondiale travaille pour vous. En cas d'échec, c'est l'inverse : pour l'industriel ou l'opérateur concerné, ce sont des investissements de milliards d'euros qui deviennent problématiques. Pour l'État, c'est la perspective de devoir organiser des réaménagements de fréquences très coûteux, pour avoir fait le mauvais choix quelques années ou quelques décennies plus tôt.

Les normes mondiales

Les recommandations de l'UIT-R¹⁰ définissent la bonne manière d'utiliser le spectre pour chacun des 39 services de radiocommunication définis par le RR, et de partager ce spectre entre et au sein de ces services afin d'éviter les brouillages préjudiciables. Un assez grand nombre de ces normes sont incorporées au RR et donc d'application obligatoire. Elles intègrent notamment des objectifs de performance et de conception, des critères de protection, des limites d'émission, des plans de fréquences, autant de paramètres qui

⁶ <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR/fr>

⁷ <https://www.itu.int/pub/R-REG-ROP/fr>

⁸ <https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/broadcast/Pages/MIFR.aspx>

⁹ <https://www.itu.int/fr/ITU-R/conferences/wrc/Pages/default.aspx>

¹⁰ <https://www.itu.int/pub/R-REC>

visent à l'usage efficace et harmonisé du spectre, prenant en compte les technologies les plus avancées. Les autres recommandations, de même que les rapports et les manuels de l'UIT-R, définissent les meilleures pratiques dans l'usage et la gestion du spectre. Elles sont reconnues et appliquées universellement comme instruments de base pour la législation, la réglementation, la tarification et l'autorisation d'usage des fréquences, ainsi que pour la gestion et le contrôle du spectre, la fabrication des équipements de radiocommunication, le déploiement et l'exploitation des réseaux de Terre et des réseaux à satellites.

LE CADRE RÉGIONAL

Le cadre régional pour la gestion des fréquences s'appuie sur le cadre mondial pour définir un ensemble de règles et de lignes directrices sur l'usage des fréquences qui s'imposent au cadre national. Pour parvenir au consensus nécessaire à l'application universelle du RR, celui-ci attribue les mêmes bandes de fréquences à des usages différents, dès lors que les brouillages réciproques entre États peuvent être maîtrisés par le truchement de limites de puissance rayonnée et des procédures de coordination spécifiées dans le RR. Il faut donc souvent faire un choix à l'échelle nationale ou régionale entre les différentes possibilités offertes par le RR.

La faible superficie des pays européens et la recherche d'un marché unique européen pour bénéficier des économies d'échelle et de l'itinérance entre pays rendent l'harmonisation régionale des fréquences particulièrement cruciale en Europe. Elle s'effectue à travers une organisation impliquant l'Union européenne, la CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et télécommunications)¹¹, rouage peu connu mais essentiel dans la gestion des fréquences en Europe, et d'autres organisations comme l'ETSI¹², l'organisme européen de normalisation dans le domaine des télécommunications et des équipements radioélectriques.

La CEPT, créée en 1959, regroupe les administrations des postes et télécommunications de 48 pays européens, et déborde donc largement l'Union. Son instance décisionnelle sur le spectre est l'"Electronic Communications Committee" (ECC)¹³, qui contribue à l'harmonisation du spectre par des décisions et recommandations désignant des bandes de fréquences pour certaines applications et définissant les conditions techniques associées.

Ces décisions de l'ECC sont non contraignantes, mais le plus souvent mises en œuvre par les pays européens. La décision « spectre » (676/2002/EC)¹⁴ du Parlement européen et du Conseil permet depuis 2002 une harmonisation contraignante dans certaines bandes de fréquences, sur la base d'une procédure associant l'ECC et le Comité du spectre radioélectrique (RSCOM)¹⁵, composé de représentants des États membres de l'Union. Depuis 2002, un groupe composé des responsables nationaux du spectre dans chaque État membre, le RSPG (Radio Spectrum Policy Group)¹⁶, est chargé de dégager des orientations stratégiques dans le domaine du spectre.

Ce cadre a permis une harmonisation complète de nombreuses bandes de fréquences au sein de l'Union européenne, essentiellement dans le domaine du mobile et des appareils de faible portée (y compris WiFi et IoT). Les décisions de l'ECC, nécessairement cohérentes

¹¹ <https://www.cept.org/>

¹² <https://www.etsi.org/>

¹³ <https://cept.org/ecc/>

¹⁴ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0d7d598e-148c-4363-9395-32102cde978b/language-en>

¹⁵ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/radio-spectrum-committee>

¹⁶ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/radio-spectrum-policy-group>

avec cette harmonisation compte tenu du poids des pays de l'UE au sein de la CEPT, élargissent cette harmonisation, qui s'appuie notamment sur les activités suivantes :

- La coordination européenne pour la préparation des CMR et la normalisation mondiale au sein de l'UIT-R. Elle s'effectue à travers la CEPT et conduit à des propositions européennes communes aux CMR (ECP) sur les modifications à apporter au RR, signées par les États membres qui le souhaitent. Les autres régions du monde ont suivi ce modèle depuis une trentaine d'années. Depuis 2019, des positions de l'Union européenne aux CMR peuvent être définies par une décision du Conseil qui impose aux États membres la signature d'ECP et une conduite appropriée lors de la CMR.
- La mise sur le marché européen (UE) des équipements radioélectriques, assujettie à la directive RED, pour Radio Equipment Directive¹⁷, qui fixe des exigences essentielles pour les produits, et la coopération étroite entre la CEPT et l'ETSI permettant d'assurer la cohérence des normes produites par l'ETSI avec les conditions techniques d'utilisation des fréquences fixées par la CEPT. En aval, les États membres assurent la surveillance du marché en testant des équipements prélevés sur le marché et en organisant des campagnes européennes de surveillance du marché lorsqu'une non-conformité importante est suspectée.
- La coordination des stations radioélectriques des différents pays, qui s'effectue dans le cadre d'un accord harmonisé (HCM)¹⁸ sur le cadre technique, de recommandations CEPT, à travers des réunions bilatérales et multilatérales, qui peut recourir aux « bons offices » du RSPG en cas de difficulté.

LE CADRE NATIONAL

C'est au niveau national que les règles et normes internationales sont mises en œuvre et appliquées. La gestion nationale du spectre est donc totalement immergée dans un contexte international qu'il s'agit à la fois de suivre et d'influencer. Elle est rythmée par la mise en œuvre des décisions de la dernière CMR et par la préparation de la suivante, au sein d'une concertation européenne permanente.

En France comme dans la quasi-totalité des pays, les fréquences radioélectriques appartiennent au domaine public de l'État. Leur utilisation en constitue un mode d'occupation privatif, et fait donc l'objet d'autorisations (licences au sens du RR), délivrées par l'autorité affectataire compétente, en général l'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse (Arcep)¹⁹ pour les services de communications électroniques et l'Autorité de Régulation de la Communication audiovisuelle et numérique (Arcom, précédemment Conseil supérieur de l'audiovisuel, CSA)²⁰ pour les services de communication audiovisuelle. Les utilisations institutionnelles sont autorisées par les ministères concernés pour les besoins tels que la défense, la sécurité et l'ordre public, l'observation de la Terre, la météorologie, la recherche spatiale ou la radio-astronomie. Dans certaines bandes de fréquences, les équipements de radiocommunication tels que les dispositifs WiFi ou Bluetooth peuvent être utilisés par le grand public à travers une autorisation générale (on parle abusivement de bande de plein droit ou sans licence) soumise au respect de conditions techniques qui permettent le fonctionnement

¹⁷ https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/electrical-and-electronic-engineering-industries-eei/radio-equipment-directive-red_en

¹⁸ http://www.hcm-agreement.eu/http/franzoesisch/verwaltung/index_europakarte.htm

¹⁹ <https://www.arcep.fr/>

²⁰ <https://www.arcom.fr/>

sans brouillage et sont incluses dans les normes applicables. Le respect de ces conditions fait l'objet d'une surveillance aux niveaux national et régional.

Le principal instrument juridique national dans la gestion du spectre est le tableau national d'attribution des bandes de fréquences (TNRBF)²¹. Il est cohérent avec le RR et les décisions régionales. La réglementation internationale se trouve ainsi transposée dans la réglementation nationale, dont l'autorité administrative est la garante légitime auprès des autres États (la police et la justice peuvent intervenir en cas de non-conformité).

En France, l'Agence nationale des fréquences (ANFR)²² a pour mission d'assurer la planification, la gestion et le contrôle de l'utilisation des fréquences radioélectriques. Elle prépare la position française et coordonne l'action de la représentation française dans les négociations internationales dans le domaine. Elle prépare le TNRBF à l'approbation du Premier ministre, autorise l'implantation des stations radioélectriques et tient à jour leurs caractéristiques, veille au respect des valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques. Elle tient à jour le TNRBF en cohérence avec le fichier de l'UIT (MIFR)²³ à travers les coordinations internationales requises. Elle contrôle l'utilisation des fréquences par l'inspection des sites de stations radioélectriques, par la surveillance du marché des équipements radioélectriques, par le traitement des perturbations signalées et la poursuite des contrevenants. Enfin, l'ANFR accompagne les mutations des bandes de fréquences entre affectataires et, à ce titre, gère le Fonds de réaménagement du spectre (FRS), lorsqu'un réaménagement est rendu nécessaire par les modifications apportées au TNRBF, le plus souvent à la suite de décisions des CMR. Ce fonds est alimenté par les bénéficiaires de ces réaménagements, et permet de compenser le coût de la migration de fréquence de ceux qui les subissent.

L'ANFR a donc à la fois un rôle notarial et de contrôle sécurisant les droits d'usage du spectre et les investissements qui en découlent, un rôle d'accompagnement dans les réaménagements de spectre et un rôle fédérateur pour l'élaboration des positions au niveau international, mais aussi un rôle d'information et de protection du public. Ces activités sont accomplies en symbiose étroite avec les activités internationales, au sein desquelles l'ANFR représente la France.

ÉVOLUTION

Du fait des progrès incessants de la technologie et du bouleversement des usages qui en résulte, la gestion du spectre requiert un travail permanent d'adaptation du cadre réglementaire et normatif. Ce travail s'effectue au sein des instances de légitimation nationales (ANFR en France), régionales (CEPT, RSCOM, RSPG en Europe) et mondiale (UIT-R). Afin de dégager le consensus nécessaire à cette légitimation et de garantir que les adaptations seront viables, ce travail associe étroitement et à chaque niveau toutes les parties prenantes à l'usage du spectre : États, opérateurs de réseaux, industriels, organismes de normalisation et organisations internationales sectorielles.

Depuis une trentaine d'années, l'évolution la plus notable a été la massification des usages du spectre. Depuis les années 1930, le seul usage de masse avait été la radiodiffusion, d'abord sonore (TSF), puis de télévision. Depuis les années 1980, les progrès de la technologie ont permis d'étendre cette massification aux réseaux fixes de télécommunications (avec leurs extensions de téléphonie sans-fil, puis de WiFi), aux réseaux mobiles, aux réseaux à satellites et à la radiolocalisation (GPS, Galileo).

²¹ <https://www.anfr.fr/planifier/le-tnrbf/le-tnrbf>

²² <https://www.anfr.fr/accueil>

²³ <https://www.itu.int/en/ITU-R/terrestrial/broadcast/Pages/MIFR.aspx>

Cette massification a pour conséquence que des usages en concurrence pour le même spectre, qui pouvaient s'accommoder du principe du premier arrivé, premier servi, sur le même territoire dans un contexte de faible densité géographique, ne sont désormais plus compatibles. La solution a consisté, à mesure que la technologie le rendait possible, à faire migrer les usages vers des fréquences plus élevées (par exemple de 900 MHz pour le GSM à 3,6 GHz et 26 GHz pour la 5G), moins favorables pour la propagation, mais offrant plus de spectre et réduisant la portée de brouillages.

Le principal résultat de cette évolution a été l'attribution croissante de spectre aux utilisations mobiles grand public (2G, 3G, 4G, 5G, WiFi), passant de quelques dizaines de mégahertz dans les années 1980 à quelques dizaines de gigahertz aujourd'hui. Ces utilisations ayant une vocation de couverture totale, elles ne permettent généralement pas le partage avec d'autres usages. Multiplier par mille l'espace de fréquences qui leur est attribué a donc nécessité la migration des usages précédemment autorisés dans les bandes concernées (défense, gendarmerie), ou l'imposition de contraintes ou de dégradations sur le fonctionnement de ces derniers (météorologie, radiodiffusion et services spatiaux : fixe et mobile par satellite, observation de la Terre).

Le passage au numérique de la radiodiffusion de télévision (TNT) a nécessité un grand chantier de replanification des fréquences aux niveaux national et régional depuis 2004, avec à la clé la redistribution d'une partie du spectre correspondant vers le service mobile.

Depuis 1995, l'arrivée des constellations de satellites pour la fourniture de téléphonie mobile, puis de l'accès Internet large bande sur toute la surface de la Terre a conduit la mise en place depuis 1997 de nouvelles règles permettant la coexistence entre ces constellations et les réseaux à satellites géostationnaires, donc sans nouvelles attributions de spectre. Ces règles ont permis l'émergence des méga-constellations qui assurent désormais ce service.

Les enjeux financiers se chiffrent à l'échelle planétaire en dizaines, voire en centaines de milliards de dollars pour des investissements qui peuvent être permis ou au contraire mis en danger par un changement de règles. On comprend donc que les travaux préparatoires aux décisions correspondantes soient à tous les niveaux l'objet de luttes permanentes pour imposer la « bonne manière » de distribuer le spectre entre ses différents usages.

Jusqu'à récemment, cette bonne manière a été largement influencée par l'importance des investissements nécessaires au déploiement des réseaux mobiles et par la concurrence entre leurs opérateurs, qui ont permis aux États de valoriser cet usage du spectre à travers des enchères de plus en plus élevées. Cette perspective a contribué à convaincre la plupart des États de réattribuer une part croissante du spectre à cet usage, qui revendique la capacité d'assurer de nombreux autres services (radiodiffusion, sécurité et secours, et même défense) mieux et plus efficacement qu'avec des réseaux spécifiques.

Comme dans d'autres domaines et malgré les freins intrinsèques au changement d'un système institutionnel basé sur le consensus, cette évolution a été facilitée par la croyance générale et implicite dans une croissance sans limites et dans une paix durable. On peut penser que la multiplication récente d'événements s'inscrivant à l'encontre de cette croyance influencera les futures décisions sur le spectre.