

Résumés

08 Cadres et instruments juridiques des fréquences

Olivier JAPIOT et Eddie TADEJ

Les fréquences radioélectriques constituent une ressource naturelle limitée dont l'exploitation par de nombreux acteurs publics et privés s'intensifie pour accompagner le développement des technologies sans fil. En outre, les ondes ignorent les frontières, ce qui nécessite une étroite coordination internationale afin d'éviter les brouillages. Cette double spécificité explique la particulière prégnance du droit international et du rôle de l'Union internationale des télécommunications (UIT), en particulier de son Règlement des radiocommunications (RR), qui définit – au niveau mondial – les principales modalités d'utilisation des bandes de fréquences. Le droit de l'Union européenne, pour sa part, porte essentiellement sur l'harmonisation des régimes d'autorisation de fréquences. Le cadre juridique français, enfin, est fondé sur le principe selon lequel les fréquences radioélectriques appartiennent au domaine public de l'Etat, qui en définit l'utilisation dans un cadre international et européen précis et contraignant. La gestion des bandes de fréquences est confiée à l'Agence nationale des fréquences (ANFR) qui en coordonne l'utilisation par des affectataires publics.

13 Le cadre mondial de la gestion des fréquences : réglementation et normalisation

François RANCY

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. Sa gestion repose sur un système de règles et de normes internationales qui sont adoptées dans le cadre de l'Union internationale des Télécommunications (UIT) à travers un processus conduit par les États Membres de l'UIT et associant étroitement les principales parties prenantes dans l'utilisation du spectre (opérateurs, industriels, organisations internationales et sectorielles). Ce processus vise à construire un consensus régional et mondial sur la meilleure façon de gérer le spectre, en faisant évoluer conjointement les cadres nationaux et international de manière à les adapter à l'évolution rapide des technologies et des usages, sans pour autant mettre en danger les investissements réalisés précédemment. Ce processus de production de règles et de normes d'application universelle, en place depuis 113 ans, a permis le développement de l'écosystème des radiocommunications tel que nous le connaissons aujourd'hui.

19 Le cadre régional de la gestion des fréquences en Europe, un niveau élevé d'harmonisation, par la coopération entre l'UE, la CEPT et l'ETSI

Eric FOURNIER

Le cadre régional de la gestion des fréquences s'insère entre le cadre mondial de l'UIT, qui fixe les règles pour éviter les brouillages des stations des autres Etats, et le cadre national, souverain pour gérer le spectre à l'intérieur des frontières et pour autoriser l'utilisation des fréquences. Il permet une harmonisation des fréquences indispensable pour les économies d'échelle, le fonctionnement du marché unique, et la bonne efficacité du spectre aux frontières. L'harmonisation européenne porte à la fois sur l'utilisation des fréquences et

sur la mise sur le marché des équipements. Au niveau institutionnel, elle s'appuie sur une coopération étroite entre la CEPT, qui étudie la compatibilité entre usages et qui harmonise l'utilisation des fréquences, l'ETSI, qui développe les normes harmonisées, et l'Union européenne, qui peut imposer les mesures d'harmonisation et les règles de fonctionnement du marché intérieur. La coopération régionale permet aussi de gérer les questions d'accès équitable au spectre aux frontières et d'élaborer des propositions communes pour les conférences de l'UIT.

25 La gestion nationale

Gilles BRÉGANT

Le spectre, ressource vulnérable, exige une gestion attentive. En France, la gestion du spectre est assurée par l'Agence nationale des fréquences, en concertation avec les onze affectataires du spectre. Elle comporte trois facettes complémentaires. Tout d'abord, le tableau national de répartition des bandes de fréquences, synthèse entre les négociations internationales sur l'évolution de l'usage des bandes et les besoins des acteurs nationaux, fait l'objet d'actualisations régulières, puis est approuvé par le Premier ministre. Les affectataires recueillent ensuite des projets d'émetteurs, qui sont autorisés par l'ANFR après consultation, puis consignés dans un cadastre numérique. Les droits d'émission ainsi acquis font l'objet d'une coordination aux frontières. Enfin, le contrôle du spectre permet de remédier aux brouillages, tandis que la conformité des terminaux est évaluée par des sondages réguliers. La technicité de ces missions s'accroît régulièrement avec le recours croissant au partage du spectre, à des gammes de fréquences plus élevées et des émetteurs plus nombreux, ce qui requiert une évolution continue des compétences et des outils de l'ANFR.

30 Le contrôle du spectre

Nicolas SPANJAARD-HUBER

Le contrôle des fréquences constitue la dernière phase de leur gestion. Il s'agit d'une part d'en vérifier l'utilisation conforme à la réglementation et d'autre part d'éliminer les brouillages qui peuvent se produire malgré toutes les précautions prises. Le contrôle constitue donc le service après-vente permettant de garantir aux utilisateurs autorisés la disponibilité effective des fréquences qui leur sont attribuées. La tâche est d'autant plus nécessaire et ardue que l'utilisation du spectre est de plus en plus intensive. Il est en effet devenu difficile d'identifier une activité humaine qui ne fasse pas appel à la radioélectricité. Cet article décrit les différentes facettes du contrôle des fréquences, qu'il s'agisse du contrôle préventif (conformité à la réglementation) ou du contrôle curatif (élimination des brouillages). Il donne aussi un bref aperçu des méthodes et moyens techniques utilisés.

35 Spectrum economics: serving public policies

Gérard POGOREL

Since the 1990s, economic approaches and assessments have played an increasing role in policies for managing the radio-frequency spectrum. Along with stiffer competition in telecommunications, they have generated considerable benefits for citizens, consumers, industry and governments in Europe and the world. More recently, as concerns have grown about the relatively slow speed of the deployment of 4G networks and fears arisen about a repetition of these delays during the deployment of 5G, the ability of these economic and financial approaches to provide the guiding principles for a spectrum

policy has come under question. This “spectrum economics” is examined, specifically the policies for assigning bandwidths. Examples of policy decisions with an impact on market developments along with evidence drawn from recent in-depth studies lead us to reconsider the principle that auctions are the most effective means for promoting competition and driving investment. We are also led to question another principle, namely: that the amount of revenue raised through an auction of bandwidths is overriding proof of the auction’s success. After reviewing analyses of the causal relations and trade-offs between various methods for assigning bandwidths and setting fee structures, guidelines are suggested for a more effective, balanced approach to bandwidth assignments that would better align the award process with broader, economic and societal, objectives.

41 **La valeur patrimoniale du spectre radioélectrique**

Olivier COROLLEUR

L’objectif de cette contribution est d’illustrer, par quelques exemples, les multiples dimensions de la valeur du spectre radioélectrique et les différents travaux sur lesquels repose sa valorisation. Tout comme d’autres actifs environnementaux, le spectre ne répond en effet pas à un mais à de multiples besoins simultanés. La concurrence d’usages marchands et non marchands, la portée, parfois mondiale, des décisions prises pour sa gestion, la nécessité de prendre en compte, au-delà de sa valeur d’usage actuel, sa valeur de préservation (pour prendre en compte les usages futurs ou le souhait d’une partie de la population de limiter au maximum l’exposition aux ondes électromagnétiques) constituent autant de défis pour les instances qui participent à la régulation de ce bien commun.

47 **Radiofréquences et santé**

Olivier MERCKEL

La recherche des effets potentiels sur la santé de l’exposition aux radiofréquences semble suivre, de façon plus ou moins organisée, et avec plus ou moins de retard, l’évolution des technologies. Si les grandes questions abordées dans les années 2000 au plus fort du déploiement des réseaux mobiles, au premier rang desquelles l’interrogation concernant le risque de tumeurs cérébrales associé à l’usage du téléphone, ont pu sembler un temps pratiquement résolues, des résultats de recherche récents, ainsi que le changement d’échelle dans la connectivité, et donc potentiellement dans notre exposition aux ondes électromagnétiques, relancent la nécessité d’évaluer les risques associés. En particulier, les recherches menées sur les liens entre exposition aux ondes et fonctionnement cérébral, si elles ne révèlent pas d’effet pathologique, semblent ouvrir des voies intéressantes pour explorer la compréhension des interactions entre les champs électromagnétiques et le vivant.

55 **Les fréquences de l’IoT : un nouveau paradigme pour les ingénieurs radio**

Benoît PONSARD

L’Internet des Objets va généraliser l’usage de liens radio pour connecter des objets de natures très variées. Cependant, ces nouveaux usages apportent de nouvelles contraintes sur la radio : de petits messages peu fréquents émis par des millions d’objets ne se gèrent pas comme le téléchargement de films ou les jeux en ligne. L’IoT impose donc de repenser le partage du spectre radioélectrique et d’adapter, en conséquence, les protocoles de communication. C’est la voie inventée par le réseau Sigfox et sa technologie radio à bande aléatoire ultra étroite. Ce nouveau paradigme est aussi pris en compte par l’IoT cellulaire et l’IoT satellitaire. Dans tous les cas, la quantité de spectre nécessaire à l’IoT est faible en

comparaison des autres usages. C'est pourquoi il n'est pas impensable d'avoir, à terme, une bande radio dédiée à l'IoT. Avec une harmonisation mondiale, cette bande radio dédiée sera favorable à l'émergence de solutions globales pour l'Internet des Objets.

60 5G Connectivity

Roberto VIOLA

The article highlights the importance of 5G Connectivity in the EU policy context as highlighted by European Commission's 5G Action Plan. Without first-class communication networks, there will be no Digital Single Market. The Commission initiated visionary EU-funded research activities already in 2012, which led to the setup of the European 5G Public Private Partnership (5G PPP). In this context, an important policy objective of the Commission is pursuing its 5G spectrum roadmap, which has taken on board the view of the Member States, and serves the Gigabit connectivity targets of the Union. In order to make 5G deployment a success, it is essential to set the conditions ensuring timely access to the appropriate spectrum and allowing for the necessary investment in high-capacity networks. The European Electronic Communications Code promotes a more flexible and dynamic access to spectrum, through trading and leasing, but also sharing solutions, notably with regard to the spectrum licensing. However, the current availability of spectrum for 5G in all bands, low, mid and high, is still a challenge in Europe. Whereas the 700 MHz band has already been harmonised at EU level, there are also a legal obligations to assign upper bands in all Member States by end of 2020. The Commission will insist on the 2020 deadline and consider derogations only in very exceptional cases and if fully justified. We may not compromise 5G deployment and services take-up to the benefit of industry, society and the environment by the short-sighted objective of maximising auction revenues. While health matters remain a national competence, we need to engage with all relevant authorities to ensure that all decisions regarding radio exposure limits that go beyond the European and international precautionary levels are made in full knowledge of the evidence and of the likely consequences. The European Commission is following the developments, attentive to address important horizontal topics of efficient and sustainable spectrum management, establishing a favourable mind set to spectrum sharing - both by regulators and industrial players -, as well as contributing to the green transformation of other economic sectors. These topics should underlie a longer-term European spectrum strategy.

64 Plateformes à haute altitude

Christine MENGELLE

Utilisées initialement à des fins essentiellement scientifiques, les plateformes à haute altitude ont suscité un intérêt croissant depuis la fin des années 1990, comme complément de connectivité radio des réseaux terrestres et à satellites. Positionnées au-dessus du trafic aérien commercial et des courants-jets, facilement déployables et nécessitant une infrastructure de réseau et une maintenance au sol minimales, elles offrent en plus une large zone de couverture associée à une très faible latence. Les plateformes à haute altitude sont donc particulièrement intéressantes pour assurer des opérations de surveillance civiles et de défense, ou de télécommunication dans des zones isolées géographiquement ou suite à un cataclysme. Les progrès technologiques et la mise en place d'un cadre réglementaire propice par les Conférences mondiales des Radiocommunications (CMR) successives depuis 1997 permettent d'envisager le déploiement à court terme de projets de stations à haute altitude.

67 Constellations de satellites

François RANCY

Dès les premières années de l'ère spatiale, les satellites géostationnaires (GSO) se sont imposés pour la fourniture de services commerciaux de télécommunications spatiales, pour des raisons économiques, vite redoublées par une priorité réglementaire internationale, le No. 22.2 du Règlement des radiocommunications de l'UIT (RR). Au début des années 90, l'apparition de projets de constellations de plusieurs dizaines de satellites non-géostationnaires (NGSO) qui visaient à fournir l'équivalent d'un service mobile cellulaire avec téléphones portables, amena les Conférences mondiales des Radiocommunications (CMR) de l'UIT successives, de 1992 à 1997, à définir un cadre réglementaire adapté à cette demande avec l'attribution de quelques centaines de mégahertz et des procédures d'accès au spectre fondées sur le principe du premier-arrivé-premier servi. Dès 1995, des projets de plusieurs centaines de satellites NGSO virent le jour avec l'ambition d'offrir à tous les pays de la planète l'accès fixe à Internet. Ils firent valoir des demandes en spectre de plusieurs gigahertz qui ne purent être satisfaites aux CMR-97 et 2000 qu'en adoptant, au prix des plus grandes difficultés, une approche globale remplaçant le No. 22.2 par un système de limites contraignantes et vérifiables protégeant l'intégralité du spectre partagé avec les systèmes GSO. Au début des années 2000, la crise des valeurs technologiques fit que ces projets ne se réalisèrent pas. Aujourd'hui, les progrès de la technologie et les décisions de l'UIT prises vingt ans plus tôt font que des constellations de plusieurs milliers de satellites NGSO sont en cours de déploiement. C'est un des rares exemples où la réglementation mondiale a précédé la technologie.

72 L'utilisation des fréquences radioélectriques pour l'observation de la Terre

Dominique MARBOUTY

Les fréquences radioélectriques sont très largement utilisées pour l'observation de la Terre, en particulier par satellite. On décrit ici le mécanisme de ces mesures et leur impact sur la prévision météorologique. On explique comment la décision prise d'attribuer à la 5G une bande de fréquences très proche d'une bande d'absorption de la vapeur d'eau, cruciale pour ces mesures, risque de mettre l'observation de la Terre en danger.

78 Les besoins actuels et futurs en fréquences pour les armées : un défi stratégique pour la France

Jérôme BORDELLÈS et Mickaël ULVOA

Pour rester compétitives face à un ennemi qui exploite les potentialités numériques, les armées se modernisent en acquérant des équipements innovants, afin de mettre en œuvre le concept de combat collaboratif, reposant sur une connectivité accrue et sur une large utilisation du spectre fréquentiel. C'est le cas des programmes majeurs (comme SCORPION pour l'armée de Terre), ou encore de la démarche capacitaire de l'armée de l'Air avec le Système de Combat aérien du Futur (SCAF). Cette évolution est caractérisée par la recherche du très haut débit et d'une faible latence (comme l'exige le combat aéronaval) et s'appuiera sur tout type de support radio électrique ou sur des constellations de satellites (MEO/LEO) et sur les HAPS. La représentation de la situation tactique en temps réel permise par cette connectivité repose sur de nombreux capteurs d'information comme les satellites d'observation, les drones, sur les liaisons de données inter-plateformes et sur des moyens

de détection plus performants, comme les futurs radars postés sur les Frégates de Défense et d'Intervention, entièrement numériques et capables de conduire les missiles dans des environnements hostiles. Ainsi, la boucle de décision sera d'autant raccourcie, face à toute menace, y compris celle des missiles hyper-véloces. Dépendantes de l'emploi d'un spectre fréquentiel de plus en plus contraint, les armées doivent enfin développer une résilience au brouillage du spectre : manœuvre délicate mais ô combien stratégique !

89 La couche physique : un élément-clé des réseaux sans fil

Philippe CIBLAT et Alain SIBILLE

Le succès des réseaux sans fil depuis les années 90 repose largement sur la technologie numérique et sur le concept de réseau cellulaire, qui permettent une utilisation efficace de la ressource spectrale tenant compte des lois fondamentales de l'électromagnétisme. Cette utilisation a énormément progressé depuis 40 ans, grâce à la mise à disposition de plus en plus de spectre, en relation avec une grande diversification des usages. Le présent article se concentre sur la « couche physique » du « modèle OSI » [ROLI2016], modèle sur lequel l'architecture des réseaux est fondée depuis les années 1970. La couche physique s'intéresse à la transmission et à l'émission des signaux issus du monde physique dans le milieu de propagation au travers d'une antenne, ainsi qu'à l'opération inverse en réception. Les caractéristiques de la couche physique sont en effet déterminantes pour la performance des réseaux sans fil, conditionnant la couverture des territoires comme la capacité à assurer un service donné.

94 Les outils techniques de la gestion des fréquences

Yann MAIGRON

Le spectre radioélectrique est au cœur de l'activité économique des sociétés numériques modernes mais également d'enjeux sociaux, culturels et politiques de premier plan. Or, ses ressources sont limitées et doivent être partagées entre l'ensemble des pays et une grande variété d'usages et de services. La gestion des fréquences radioélectriques s'est donc très rapidement avérée indispensable, au niveau supranational et au niveau national, pour garantir la qualité de la ressource spectrale et prévenir les brouillages. Des procédures ont ainsi été élaborées par l'Union internationale des télécommunications puis déclinées au niveau des Etats pour garantir aux utilisateurs un accès efficace au spectre. Leur mise en œuvre mobilise aujourd'hui des capacités de traitement et de partage des données, des méthodes d'analyse et des outils techniques qui devront, demain, évoluer pour faire face aux défis que la prolifération de nouvelles technologies et de nouveaux services impose à la gestion du spectre.

98 L'évolution de la télévision et de son usage des fréquences

Walid SAMI

La télévision a beaucoup évolué avec les changements technologiques, en particulier dans les deux dernières décennies. D'un usage collectif, la télévision se consomme de plus en plus de façon individuelle avec des appareils personnels connectés, surtout chez les jeunes adultes. Le contenu se diversifie et la possibilité est donnée au téléspectateur de sélectionner le contenu qu'il veut, où il veut et quand il veut, par une multitude de modes de diffusion et de modèles économiques, profitant du développement de l'Internet fixe et mobile. D'un autre côté, la pression sur les fréquences a déjà fait perdre à la diffusion terrestre une partie importante du spectre qui lui était initialement réservé. Toutefois, la consommation

d'un contenu linéaire sur un poste de télévision qui reçoit gratuitement le signal hertzien simple bien résister et justifier la continuation d'une plateforme de diffusion terrestre – et même son évolution – pour s'adapter aux nouveaux modes d'usage.

104 La gestion des fréquences en temps de crise

Claire LANDAIS

Les retours d'expérience des crises majeures les plus emblématiques de ces vingt dernières années ont montré que la désorganisation des moyens de communication constituait un élément majeur d'aggravation de la crise, que ce soit pour la réponse de l'Etat ou pour les capacités des populations à appeler les services de secours, la sécurité publique et leurs proches. Les fréquences radio sont de plus en plus utilisées, par la téléphonie mobile GSM, par les émetteurs récepteurs radio (PR4G pour les armées, ACROPOL pour la police nationale, ou ANTARES pour les services de secours). Les fréquences sont des ressources rares et le besoin de pouvoir les réallouer plus rapidement est avéré en cas de maintien du niveau élevé de menace d'attentat terroriste sur le sol français. C'est pourquoi un arrêté du Premier ministre a été édicté afin de permettre l'affectation exceptionnelle de fréquences additionnelles au profit des ministères de l'intérieur et des armées, en cas de menace.

108 Police du spectre, brouillage offensif, brouillage non intentionnel. Sécurisation du spectre, cyber-sécurité et guerre électronique : même combat ?

Catherine GABAY

Les menaces que les brouillages, offensifs ou non intentionnels, font peser sur tous les secteurs de l'économie et de l'Etat n'ont rien à envier aux menaces liées aux attaques informatiques. Les brouillages entravent voire empêchent toutes les utilisations des fréquences perturbées dans un périmètre donné, pouvant compromettre tous types d'applications. La sécurisation du spectre est un enjeu de souveraineté. Pour prévenir et résoudre les cas de brouillages, il faut une police du spectre des radiofréquences. L'Agence nationale des fréquences (ANFR) joue ce rôle dans le cadre de ses missions de contrôle du spectre avec plus de 1400 brouillages préjudiciables qui lui sont signalés chaque année. Afin de faire face aux défis posés par l'évolution des technologies et des usages, l'ANFR renforce continuellement ses moyens et ses méthodes de contrôle et encourage la sensibilisation de tous les utilisateurs aux enjeux de la sécurisation de l'espace fréquentiel.

114 Les enjeux des fréquences pour la radioastronomie

Ivan THOMAS et Karl-Ludwig KLEIN

La radioastronomie utilise la transparence de l'atmosphère terrestre pour observer le ciel entre une dizaine de MHz et quelques THz. La sensibilité accrue des observations permet de sonder l'univers de plus en plus loin, donc de plus en plus près de sa naissance, de découvrir un univers variable au cours du temps et violent. La radioastronomie fournit ainsi des observations originales à l'astrophysique. Cette capacité se trouve contrainte, voire menacée, par l'utilisation active du spectre radioélectrique. Dans cet article, nous esquissons les contributions de la radioastronomie à la recherche astrophysique et à la technologie et les besoins de protection des fréquences dont elle a besoin.

HORS DOSSIER

119 Le baromètre du numérique 2019

Gérard LALLEMENT, Matthias DE JOUVENEL et Michel SCHMITT

Depuis l'an 2000, le Conseil général de l'économie (CGE) fait réaliser chaque année une enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française, en liaison avec l'Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse depuis 2003 et avec l'Agence du numérique depuis 2016. Les accès, les équipements et les usages les plus importants sont suivis avec régularité sans que les phénomènes émergents soient négligés. La fiabilité de cette enquête repose sur des entretiens en face-à-face avec un large échantillon de personnes âgées de plus de douze ans (2259 personnes en 2019 dont 207 jeunes de moins de 18 ans) sélectionnées selon la méthode des quotas. Le sérieux et l'ancienneté de cette enquête annuelle en font le baromètre de référence. Le numérique est devenu partie intégrante de nos sociétés modernes. L'édition 2018 du baromètre du numérique avait mis en avant les craintes de la population vis-à-vis de la protection des données personnelles. Cette année, l'objectif a été d'interroger la population sur l'incidence du numérique sur leur vie personnelle et professionnelle et sur la société en général. Plus spécifiquement, ont été analysés l'évolution de la mobilité et des usages, les besoins des usagers en matière de portabilité des applications mobiles et de leurs données, la confiance dans les médias, l'incidence du numérique sur l'environnement et son rôle dans l'évolution des relations avec les administrations publiques.