

Date : 18/11/2014	Objet : Réponse à une consultation publique
N / Réf. : DSIS-STCS-18/11/2014-028	V / Réf. : Utilisation de fréquences sur des « bandes libres » et projet de décision de l'ARCEP relatif aux dispositifs à courte portée.
De : D. NOGUET	A : ARCEP

Ce document regroupe les éléments de réponse du

**Service Technologies des Communications et de la Sécurité (STCS) du
CEA-LETI**

à la consultation publique intitulée

**Utilisation de fréquences sur des « bandes libres » et projet de décision
de l'ARCEP relatif aux dispositifs à courte portée.**

Préambule

En préambule, il est rappelé que le service STCS a été auditionné en décembre 2013 par la « mission spectre 2014 » menée par Mme Joëlle Toledano [1]. Le Service a présenté des éléments techniques utiles à une gestion plus dynamique du spectre. Cette notion de gestion dynamique du spectre est recommandée dans le rapport de la mission spectre.

Lors de cette audition, le service STCS a présenté des technologies issues de ses travaux de recherche dans le domaine du TVWS. L'objectif de nos travaux est conforme à l'esprit du rapport de la mission spectre puisqu'ils visent à « améliorer la prévention et la résolution des brouillages dans un contexte de partage accru du spectre » [1]. Ces technologies sont encore en cours d'expérimentation de laboratoire et le service serait très favorable à des expérimentations de terrain. Celles-ci pourraient être menées en lien avec des opérateurs sensibles aux mêmes préoccupations (e.g. INFOSAT, TDF). Ce besoin en expérimentation pour favoriser l'innovation est d'ailleurs souligné par mission spectre qui recommande de « favoriser l'innovation dans la gestion des fréquences, [et d'] encourager les expérimentations en matière de gestion dynamique du spectre » [1].

Malheureusement, il n'existe pas en France de cadre pour mener à bien de tels tests qui sont jugés trop peu « recherche » par l'Agence Nationale de la Recherche, et trop incertains en termes de retombée industrielle pour les Pôles de Compétitivité en raison de l'absence de régulation autorisant l'utilisation opportuniste du spectre UHF (470 à 790MHz). Les tests pilot mis en place par l'Ofcom en Angleterre sont à mentionner comme un exemple de moyen pertinent pour combler ce manque [2].

Nous nous interrogeons sur le rôle que pourrait jouer l'ARCEP et/ou l'ANFR dans la mise en place de tels tests, ce qui permettrait de promouvoir l'innovation française (qui est une des missions du CEA), ainsi que son déploiement sur le territoire (qui est du ressort des opérateurs).



Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information

Question 1. Avez-vous des commentaires à formuler sur la description des principes généraux du cadre réglementaire relatif aux « bandes libres » ? En particulier, le régime d'autorisation relatif aux « bandes libres » répond-il selon vous de façon satisfaisante aux besoins des dispositifs utilisant actuellement ce type de fréquences ?

L'utilisation des bandes libres pour les réseaux broadband sont aujourd'hui confinés à un usage domestique (WiFi dans la bande 2,4GHz ou 5GHz à 100mW de PIRE). L'émergence de nouveaux usages, tels l'accès WiFi dans les trains, la couverture sans fils de campus ou de zones enclavées nécessiterait l'augmentation des niveaux de PIRE admis ou l'utilisation sans licence du dividende numérique TVWS pour augmenter les zones de couverture. On peut citer l'initiative de Global Village aux USA [3] qui utilise des bâtiments publics comme sites d'installation de points d'accès local sans fil. Ce type d'usage est bien différent des hot spots des zones denses qui sont actuellement couverts par le WiFi (hot spots indoor dans les aéroports par exemple). Les scénarios d'usage dans lesquels une pénétration profonde dans les bâtiments est nécessaire pourraient bénéficier favorablement de l'utilisation des bandes UHF. Le service STCS a évalué un système TVWS propriétaire pour l'assistance aux primo-intervenants [4]. Cette expérimentation a conclu à la possibilité d'une transmission entre le primo-intervenant et un PC mobile pour l'ensemble du bâtiment testé (3 étages, nombreux couloirs), là où le WiFi ne permettait que la couverture d'un couloir. La présentation [4] est fournie en annexe. La Corée a effectué des tests similaires pour la sécurité dans les tunnels [5]. Ces tests ont conduit aux mêmes conclusions quant à l'intérêt des bandes UHF pour ce type d'usage. Microsoft souligne également l'intérêt du TVWS pour les situations post-désastre [6].

Nous constatons qu'il existe des cas d'usage (besoins) qui ne sont pas couverts par les systèmes autorisés actuellement dans les bandes libres en France. En particulier, nous voyons l'intérêt de systèmes à plus longue portée qui pourraient bénéficier du dividende numérique de la bande UHF. L'extension de la couverture des systèmes libres pourrait nécessiter le recours à une utilisation dynamique du spectre pour conserver le principe de non-interférence. Les recommandations de la FCC aux USA [7], de l'Ofcom en Angleterre [8] ou du CEPT en Europe [9] vont d'ailleurs dans ce sens.

Question 2. Avez-vous des commentaires à apporter au projet de décision de l'ARCEP annexé à la présente consultation publique ?

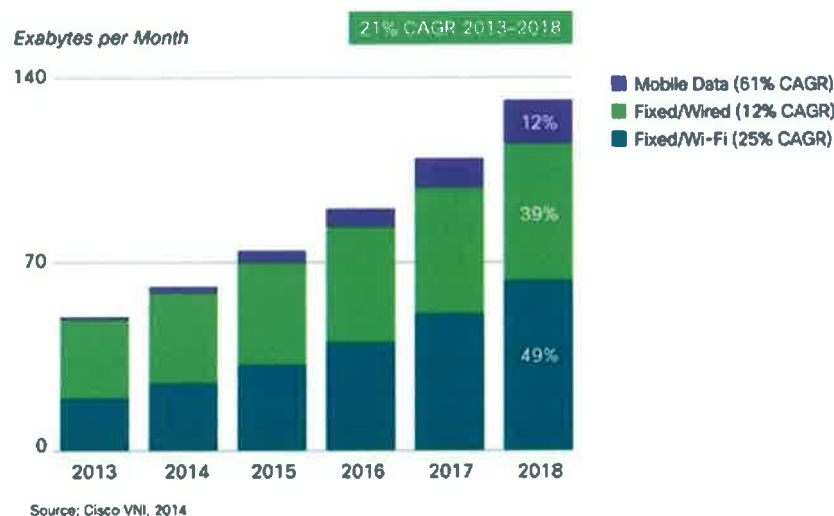
Pas de commentaires particuliers. Toutefois, que ce soit dans le projet de décision ou dans le questionnaire, il semble que la notion de bande libre soit systématiquement associée aux systèmes à courte portée. Les systèmes récemment développés pour l'internet des objets semblent contredire cette association. A titre d'exemple, on peut citer les produits radio des sociétés SIGFOX [10] ou SEMTECH [11] qui, grâce à l'utilisation de récepteurs à haute sensibilité, offrent des portées importantes (30-50km en espace rural et 3-10km en espace urbain selon [12]) tout en opérant dans la bande libre des 868MHz.

Question 3. Disposez-vous de sources d'informations, bases de données ou études, permettant de quantifier les utilisations actuelles des bandes libres ?

Non.

Question 4. Quels sont selon vous, parmi les différentes utilisations de bandes libres, les usages qui seraient amenés à se développer, ou au contraire à diminuer ?

L'avènement des équipements mobiles (smartphones, tablets, phablets...) a fondamentalement modifié l'usage de l'internet. L'accès au WiFi est encore largement confiné aux connexions dans les bâtiments (indoor), alors que l'accès internet à l'extérieur des bâtiments est majoritairement couvert par les technologies cellulaires (UMTS, LTE). Cette différenciation semble principalement le résultat de la manière dont ces technologies ont été introduites : le WiFi comme l'Ethernet sans fil, l'UMTS comme l'accès au data en mobilité. Aujourd'hui, il résulte de l'engorgement des réseaux mobiles et des investissements qui seraient nécessaires pour en augmenter la capacité, que le recours au délestage vers le WiFi est une pratique de plus en plus observée, comme l'illustre le graphe ci-dessous tiré de [13].



Evolution du trafic fixe, WiFi et mobile

On peut donc s'attendre à une demande toujours croissante des besoins de connexion nomade auxquels les systèmes dans les bandes libres pourraient répondre (par exemple de type SuperWiFi). Cette approche permettrait un accès haut débit nomade dans les zones peu denses sans faire peser sur les opérateurs mobiles des contraintes de couverture du territoire insurmontable du point de vue des investissements. Les systèmes WiFi actuels ne permettent pas de couvrir ces besoins pour lesquels l'exploitation opportuniste des bandes UHF constituerait une solution, comme par exemple par des initiatives du type de [3].

L'utilisation des bandes UHF par une approche de type TVWS a été étudiée par le service dans le cadre du projet Européen du 7^e PCRD ICT-QoS MOS [14]. Dans ce cadre et en collaboration avec Telenor et British Telecom, nous avons identifié 3 catégories de scénarios : femtocell cognitive, extension des réseaux cellulaires dans les espaces blancs et réseaux ad hoc cognitifs [15]. Dans le cadre de QoS MOS une étude technico économique prospective a été menée sur ces cas d'usage. Le cas de l'accès large bande rural a été ajouté au 3 cas précédents. De manière synthétique les conclusions de cette étude sont les suivantes :

	OFFLOADING OF LTE NETWORKS	RURAL BROADBAND	COGNITIVE FEMTOCELL	COGNITIVE AD HOC NETWORK
Study period	2015 - 2020	2013 - 2023	2015 - 2020	2013 - 2023
Base case NPV	3.0 million € better than DD2 alternative	115 million €	5.5 million €	16.4 million €
Most critical parameters	Price of DD2 spectrum	Subscription fee and number of subscribers	Subscription fee and general OPEX costs	Number of M2M devices and revenue per connected device.
Most important QoS/MQoS related parameters	Cost of cognitive LTE terminal and cost of upgrading eNB.	Cost of CPE and installation.	Cost of cognitive femtocell, average femtocell installation costs and cognitive femtocell coverage range in suburban areas.	Database fee and cost of CPE
Risk	Moderate	High	Moderate	High

En terme d'usages des bandes libres, et notamment concernant l'utilisation potentielle du TVWS, on peut noter les travaux de l'ETSI RRS [16] qui sont proches de ceux évoqués ci-dessus, ou encore ceux élaborés par le groupe de normalisation IEEE 1900.7.

Question 5. Dans quelle mesure les besoins futurs des dispositifs à courte portée seraient amenés à s'appuyer sur des technologies standard, comme le Wi-Fi ou le Bluetooth, plutôt que sur des systèmes « ad-hoc » développés pour des besoins spécifiques ? Quels sont les normes qui vous paraissent être amenées à se développer ?

Nous avons observé plusieurs stratégies de développement dans le domaine des bandes libres. Elles correspondent à des phases de maturité du marché dans ces bandes. Sur les marchés en émergence, certaines sociétés, en général des start-ups, préfèrent développer des systèmes propriétaires pour générer de la Propriété Intellectuelle qui valorise leur capital. On peut citer le Bluetooth [17] qui est un standard de fait par le biais d'un special interest group (SIG) plutôt qu'une norme au sens strict, ou encore Neul [18] avec le SIG Weightless [19], ou les sociétés SIGFOX [10] et SEMTECH [11]. Dans les marchés plus matures, au contraire, des écosystèmes plus larges se mettent en place, avec un besoin en interopérabilité des équipements qui nécessite des normes et/ou forum d'industriels (comme la WiFi alliance [20] qui n'est pas une norme mais un label d'interopérabilité des équipements basés sur les normes de la famille IEEE802.11 [21]). Nous pensons que ces deux modèles vont perdurer.

Le premier modèle est et sera alimenté par les marchés de l'internet des objets en plein essor et dont les solutions radio accompagneront les nouveaux usages. L'ouverture de nouvelles bandes pour les systèmes libres est un autre facteur pouvant amener de nouvelles technologies radio à émerger. Par exemple l'ouverture du spectre UHF aux communications opportunistes dites TVWS a engendré de nouvelles règles d'utilisation du spectre : identification des bandes vacantes, limitation de l'ACLR, qui ont induit le développement de systèmes propriétaires, en particulier par les sociétés Carlson Wireless [22], Adaptrum [23], 6Harmonics [24], Ubiquity [25], KTS [26], Neul [18]...

Le second modèle concerne principalement l'évolution de systèmes existants pour en améliorer l'efficacité spectrale (e.g. IEEE 802.11ac dans la bande 5GHz) ou pour les

transposer dans de nouvelles bandes comme le WiFi à 60GHz (IEEE 802.11ad) ou dans le TVWS (IEEE 802.11af). Cette stratégie est vue par les grands acteurs du domaine comme un moyen rapide d'ouverture de marché sur de nouvelles bandes, en utilisant le renom de systèmes populaire (e.g. WiFi) et en les modifiant à minima afin de les transposer dans ces bandes.

Cependant, cette stratégie se heurte parfois aux spécifications réglementaires qui s'appliquent à ces nouvelles fréquences et rendent la transposition directe de systèmes existants inadaptée. C'est le cas, par exemple, de l'utilisation des bandes UHF. Dans ces bandes, les mécanismes de coexistence avec les systèmes prioritaires (émetteurs TV, microphones sans fil) sont bien plus contraignants que dans les bandes ISM classiques [7][8][9].

C'est pourquoi le CEA-LETI a développé une technologie basée sur la modulation FBMC [27][28] avec comme objectif :

1. *Un gabarit spectral satisfaisant les spécifications d'ACRL requis par la FCC (-55dB dans la bande N+1), tout en maintenant une efficacité spectrale élevée. C'est-à-dire sans introduire une bande de garde fréquentielle qui réduirait la bande utile.*

Il a été montré dans [29] par simulation et dans [30] par le biais d'une implémentation matérielle que les -55dB peuvent être atteints dans la bande n+1. Cela place cette technologie radio dans la classe 3 selon la classification de l'ETSI [31]. Il a également été montré que l'efficacité spectrale pouvait être améliorée par rapport à une modulation OFDM. Dans le domaine spectral, l'excellente localisation fréquentielle de la modulation FBMC permet d'insérer plus de sous porteuses dans le gabarit FCC que la modulation OFDM (à espacement inter-porteuses identique). Dans le domaine temporel, l'absence d'un préfixe cyclique dans le cas FBMC, permet une meilleure utilisation temporelle, en particulier lors de trames longues (application broadcast) pour lesquelles il n'est pas nécessaire d'attendre le temps de montée et de descente du filtre.

Dans [34], nous comparons l'efficacité spectrale dans ces deux scenarios: un scenario de type WiFi et l'autre de type broadcast. En reprenant les paramètres des systèmes typiquement utilisés dans ces scenarios pour la modulation FBMC, (IEEE 802.11a pour le premier, DTB-T pour le second), nous concluons aux gains suivants :

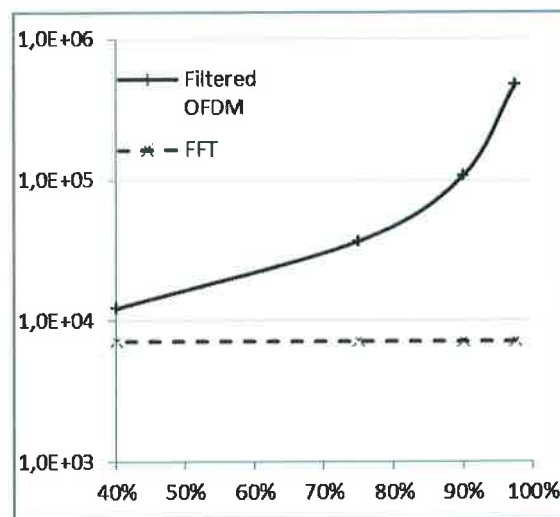
Scénario	Gain en efficacité spectrale (relative à un système OFDM)		
	Domaine fréquentiel	Domaine temporel	Gain total
DVB-T	10 %	3 %	13 %
802.11a/g	3.8 %	15.8 %	19.6 %

2. *La capacité à exploiter n'importe quel canal de la bande TVWS de manière programmable.*

Les canaux TVWS disponibles dans la bande UHF peuvent être positionnés à des fréquences très différentes en fonction de l'emplacement géographique. C'est une conséquence directe de la planification du réseau de diffusion TNT. Pour être utilisables dans le contexte du TVWS, les dispositifs doivent avoir suffisamment de flexibilité pour adresser l'ensemble de cette bande, c'est-à-dire être capables de sélectionner un ou plusieurs canaux

répartis dans cette bande. La technologie actuelle des filtres sélectifs analogiques n'est pas encore assez flexible pour permettre une canalisation adaptable à bas coût dans des équipements TVWS. Une solution OFDM avec filtre de canalisation analogique à l'émission n'est donc pas appropriée.

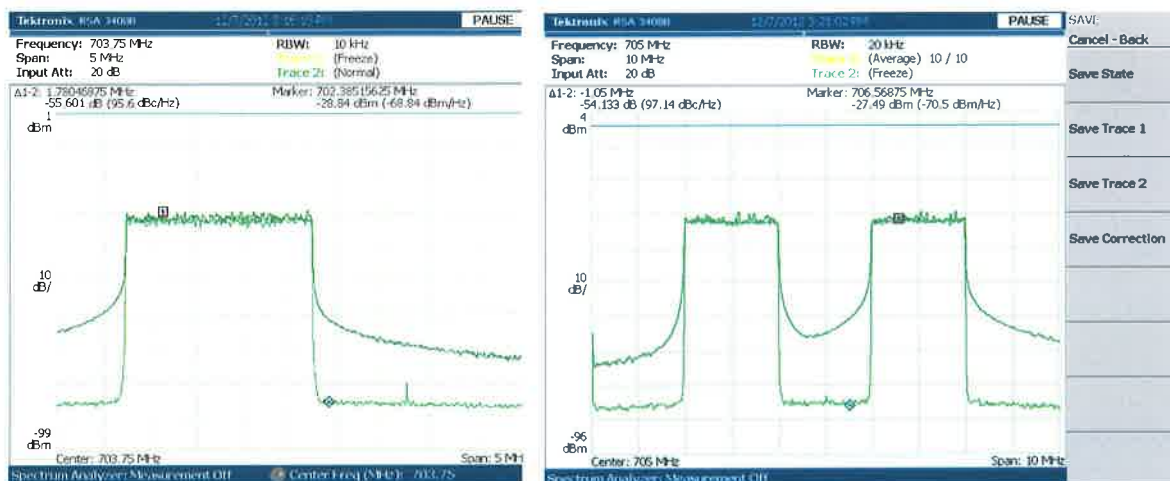
Il est bien entendu envisageable d'implémenter un filtre numérique en aval du modulateur OFDM afin d'obtenir une meilleure localisation spectrale. Cependant, nous montrons dans [30] que la complexité d'un tel filtre croît de manière dramatique avec le taux d'occupation du masque FCC. Par exemple, pour occuper 90% d'un canal de 8MHz tout en respectant le gabarit FCC, la complexité de l'émetteur OFDM filtré est 10 fois supérieure à celle de l'émetteur FBMC.



Augmentation de la complexité en fonction du taux d'occupation du canal

D'autre part nous montrons dans [29] et [30] qu'un système OFDM filtré ne permet pas d'éviter d'interférer avec un émetteur primaire dans la bande, car l'effet du filtre est inopérant. En revanche, le filtre implémenté intrinsèquement au niveau de chaque sous-porteuse permet au système FBMC de créer des « trous » dans la bande utile et permet par conséquent d'exploiter des canaux disjoints.

La figure ci-dessous illustre la réponse fréquentielle de l'émetteur FBMC par rapport à un émetteur OFDM utilisant les mêmes paramètres.



Comparaison OFDM (vert foncé) / FBMC (vert clair)

Nous avons conclu de l'ensemble de ces études que les systèmes OFDM sont inadaptés lorsque les spécifications suivantes sont requises simultanément :

- Propreté spectrale (faible interférence dans les canaux n+1)
- Flexibilité (capacité de la radio à opérer dans une large bande de fréquence)
- Efficacité spectrale élevée

Nous pensons que la rareté du spectre évoquée dans [1] demande une attention toute particulière aux niveaux d'interférences générés dans les bandes adjacentes tout en conservant une efficacité spectrale élevée dans la bande. La solution technologique du CEA peut donc avoir des implications au-delà d'un scénario TVWS. Elle est d'ailleurs à l'étude dans le cadre des futures modulations 5G ou encore pour la radio professionnelle large bande (PMR). Nous ne développons pas ces points qui sont hors du sujet de la consultation. Dans le cadre du TVWS la technologie FBMC a été proposée en normalisation dans le cadre du groupe IEEE 1900.7 [35].

Question 6. Quelle est votre vision prospective du développement de l'Internet des objets ? Dans quelle mesure le développement de l'Internet des objets nécessiterait-il de s'appuyer sur l'utilisation de bandes libres ?

Le marché de l'internet des objets regroupe selon nous des domaines applicatifs très variés qui peuvent aller de la télé-relève aux systèmes de contrôle et d'acquisition de données (SCADA). Il est donc assez difficile de répondre de manière générale, tant les marchés et les spécifications techniques semblent diversifiés. Nous observons cependant que de nombreuses applications reposent sur l'échange massif de données à faible volume et faible valeur ajoutée unitaire. Dans ces marchés, l'utilisation des bandes libres apparaît comme primordiale pour le business modèle des entreprises concernées. Cette vision est basée sur divers échanges avec les acteurs du domaine, nous n'avons toutefois pas mené d'étude marketing permettant de la vérifier. Nous constatons cependant que les premiers systèmes mis sur le marché dans le domaine de l'IoT exploitent majoritairement les bandes libres, comme par exemple [19][10][11], ce qui semble corroborer cette vision.

Question 7. Avez-vous des remarques à formuler sur les travaux européens en cours visant à étudier la mise à disposition de fréquences supplémentaires pour les systèmes Wi-Fi dans la bande 5 GHz ?

Pas de remarque.

Question 8. Avez-vous des remarques à formuler concernant le processus de révision de la décision d'harmonisation européenne pour les dispositifs à courte portée ? En particulier, quels sont vos commentaires sur les bandes de fréquences qu'il est prévu à ce stade d'étudier dans le cadre de cette révision ? Etes-vous intéressé par un usage libre de ces fréquences ?

Pas de remarque (voir réponse à la question 9).

Question 9. Voyez-vous par ailleurs des bandes de fréquences alternatives dont il serait pertinent d'envisager l'utilisation selon un régime de « bande libre » ?

L'Ofcom encourage le développement des dispositifs TVWS par l'organisation de tests pilotes à grande échelle [2]. Le CEPT, dans le cadre du SE43 par exemple, a fait des propositions de spécification pour l'utilisation secondaire du spectre UHF (bande 470-790MHz), notamment dans [36] en 2011 puis [37] en 2013. L'ETSI RRS a proposé un standard harmonisé pour l'accès à cette même bande [31] en réponse aux mandats M/284 et M/512 issus de la directive 98/34/EC [38] (amendée par la directive 98/48/EC [39]). De plus, le CEA a proposé des technologies répondant a priori¹ à ces spécifications. Nous notons par ailleurs le vif intérêt d'opérateurs tels que Infosat Telecom [40] dans l'utilisation du TVWS pour de l'accès large bande en milieu rural.

Par conséquent, il nous apparaît important que ces bandes fassent l'objet du débat sur les bandes libres.

Question 10. Avez-vous d'autres remarques à formuler sur le thème de la présente consultation publique ?

Pas d'autres remarques.

Dr Dominique Noguét
Chef de Service



Dominique NOGUET
Chef du Service Technologies de la
Communication et de la Sécurité

Contact : dominique.noguét@cea.fr



Le CEA est un membre de l'action de coordination européenne CRS-i (FP7 Coordination and Support Action, Cognitive Radio Standardization initiative).

¹ Aucune demande de labélisation CE, comme requis par l'article 3.2 de la directive R&TTE, n'a été demandée à ce stade pour les dispositifs du CEA. A ce stade il s'agit de dispositifs à vocation expérimentale.

Références

- [1] Rapport de la mission spectre « UNE GESTION DYNAMIQUE DU SPECTRE POUR L'INNOVATION ET LA CROISSANCE », <http://www.economie.gouv.fr/files/files/PDF/rapport-gestion-dynamique-spectre-2014-06-30.pdf>, Joëlle Toledano, 2014
- [2] Ofcom TVWS Pilot web page <http://stakeholders.ofcom.org.uk/spectrum/tv-white-spaces/white-spaces-pilot/>
- [3] <http://www.digitalvillage.com/index.html>
- [4] R. Lioni, M. Laugel, D. Noguét, V. Berg, "Resilient indoor to outdoor TVWS wireless system for safety applications", Wireless Innovation Communication European conference, Munich, 2013.
- [5] Seungwon Choi, Cognitive Radio Developments in Korea and the Standardization Path of SDR Mobile Device Architectures, CRS-i – RAS cluster workshop, Bruxelles, 2014
- [6] Microsoft White Paper "TVWS in Disaster Response: A Breakthrough Technology for Rapid Communications after Typhoon Haiyan in the Philippines. <http://www.ictd-asp.org/wp-content/uploads/2014/04/TVWS-in-Disaster-Response-in-the-Philippines.pdf>
- [7] FCC final rule, "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands", US Federal Register Vol. 74, No.30, pp 7314-7332, Feb. 17 2009.
- [8] Ofcom, "Digital Dividend: Geolocation for Cognitive Access", <http://stakeholders.ofcom.org.uk/spectrum/tv-white-spaces/consultations-statements/>
- [9] ECC Report 186, "Technical and operational requirements for the operation of white space devices under geo-location approach", CEPT, 2013.
- [10] www.sigfox.com/fr/
- [11] www.semtech.com
- [12] SIGFOX white paper, http://www.sigfox.com/static/media/Files/Documentation/SIGFOX_Whitepaper.pdf
- [13] CISCO Visual Networking Index forecast, <http://www.cisco.com/>
- [14] QoS MOS (Quality of Service and Mobility driven cognitive radio Systems) project, www.ict-QoS MOS.eu
- [15] Per H. Lehne, Ole Grøndalen, Richard MacKenzie, Dominique Noguét, Vincent Berg, "Mapping Cognitive Radio System Scenarios into the TVWS Context", Journal of Signal Processing Systems (2013) 73:227–242, Springer, DOI 10.1007/s11265-013-0761-3
- [16] M. Mueck, D. Noguét "TV White Space Standardization and Regulation in Europe", Wireless VITAE, Chennai, 2010.
- [17] <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx>
- [18] <http://www.neul.com/neul/>
- [19] www.weightless.org
- [20] www.wi-fi.org
- [21] www.ieee802.org/11/
- [22] www.carlsonwireless.com
- [23] www.adaptrum.com
- [24] <http://www.6harmonics.com>
- [25] <http://www.ubnt.com/>
- [26] <http://www.ktswireless.com/agility-white-space-radio-awr/>

- [27] R.W. Chang, Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission, Bell Syst. Tech. J. 45 (December) (1966) 1175–1796.
- [28] B.R. Saltzberg, Performance of an efficient parallel data transmission system, IEEE Trans. Commun. Technol., vol. COM-15, December 1967, pp. 805–813.
- [29] D. Nogu  t, M. Gautier, V. Berg, Advances in opportunistic radio technologies for TVWS, EURASIP J. Wireless Commun. Network. 2011.
- [30] V. Berg, J-B. Dor  , D. Nogu  t, “A flexible radio transceiver for TVWS based on FBMC”, Microprocessors and Microsystems journal, Elsevier, 2014.
- [31] ETSI EN 301 598 Harmonised standard : “White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive
- [32] Livrable QoS  MOS D1.6 “Economic benefits of a QoS  MOS system”, www.ict-QoS  MOS.eu, d  c. 2012.
- [33] H. Vinh-Dien, X. Zhang, Z. Ming-Tuo, H. Harada, R. MacKenzie, P. Kryszkiewicz, A. Kliks, H. Bogucka, O. Holland, F. Bader, M. Aljuaid, “New Consolidated Use Cases”, available at <https://mentor.ieee.org/1900.7/>
- [34] R. Datta, M. Gautier, V. Berg, Y. Futatsugi, M. Ariyoshi, M. Sch  hler, Zs. Koll  r, P. Horv  th, D. Nogu  t and G. Fettweis “Flexible Multicarrier PHY Design for Cognitive Radio in White Space”, CROWNCOM 2011
- [35] <http://grouper.ieee.org/groups/dyspan/7/index.htm> et <https://mentor.ieee.org/1900.7/documents>
- [36] ECC REPORT 159 “TECHNICAL AND OPERATIONAL REQUIREMENTS FOR THE POSSIBLE OPERATION OF COGNITIVE RADIO SYSTEMS IN THE ‘WHITE SPACES’ OF THE FREQUENCY BAND 470-790 MHz”, CEPT, 2011.
- [37] ECC Report 185 “Complementary Report to ECC Report 159 Further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz”, CEPT 2013
- [38] Directive 98/34/EC of the European Parliament and of the Council of 22 June 1998 laying down a procedure for the provision of information in the field of technical standards and regulations and of rules on Information Society services.
- [39] Directive 98/48/EC of the European Parliament and of the Council of 20 July 1998 amending Directive 98/34/EC laying down a procedure for the provision of information in the field of technical standards and regulations.
- [40] <http://www.infosat-telecom.fr/>