

# Ultra large bande : enjeux et perspectives pour une radio sans licence

Stéphane Paquelet, Gwillerm Froc, Alexis Bisiaux, Stéphane Mallégol  
Mitsubishi ITE-TCL, Rennes, France  
Email: {paquelet,froc,bisiaux,mallegol}@tcl.ite.mee.com

## RÉSUMÉ

Depuis 2002, un chassé-croisé entre réglementation, standardisation, travaux académiques et développements industriels renouvelle sans cesse la thématique radio ultra large bande. L'objectif de cet exposé est de présenter l'étroite intrication entre les multiples facettes d'un nouveau paradigme des communications : l'impulsion radio, et d'envisager un cadre de développement propice à son avènement.

Mots clés : ultra large bande, impulsion radio, haut débit, détection d'énergie, réglementation

## CONTEXTE GÉNÉRAL

L'étude des systèmes radio à bande ultra large (ULB), dont l'incarnation naturelle est l'impulsion radio (IR), ne constitue pas un fait nouveau. Elle fut consacrée par les travaux académiques de H. F. HARMUTH [1] et par le premier brevet appliqué aux télécommunications de G. F. ROSS [2]. Si l'on s'interroge sur les motivations de cette rupture avec les techniques dites "à bande étroite", celles-ci ne manquent pas : face à la densité des multi-trajets d'un canal radio, un support temporel étroit, et donc une large bande, assurent une résistance naturelle aux évanouissements radio ; quelques Gigahertz de bande passante contiennent une information de localisation précise à quelques centimètres ; diluer une puissance électromagnétique donnée sur une large échelle de fréquence réduit d'autant les interférences dans une bande donnée ; interagir instantanément avec la matière environnante sur un très large spectre, c'est la promesse d'applications fécondes pour le sondage de canal et l'imagerie.

Le 14 février 2002, une décision de la FCC [3] sort brusquement l'ULB du cadre universitaire pour lui ouvrir des perspectives industrielles. Aux États-Unis, il est désormais possible d'utiliser sans licence la bande [3,1 – 10,6 GHz] avec une puissance maximale de  $-41.3$  dBm/MHz, soit 0.5 mW au total. Dans ces conditions, le calcul de la borne de Shannon pour des modèles de propagation courte distance montre qu'il est théoriquement possible d'atteindre des débits de 10 Gbit/s à 4 m [4], sans pour autant expliciter le(s) schéma(s) de modulation/démodulation et les techniques de synchronisation appropriés. Dès lors, les événements se précipitent.

Alors que l'activité scientifique s'était cantonnée à des applications bas-débit (localisation, communications discrètes) et que la mise en œuvre de l'impulsion radio achoppe encore sur la synchronisation et l'exploitation du potentiel énergétique du canal, le groupe de travail IEEE 802.15.3a entame en mars 2003 la standardisation de réseaux personnels

ULB supportant un débit de 480 Mbit/s. Mais faute de pouvoir se départager, les deux principaux compétiteurs, l'alliance WiMEDIA-MBOA et la société FREESCALE, défendant respectivement une solution Multi-Bande OFDM et DS-UWB, décident de dissoudre le groupe en janvier 2006, entérinant l'échec de ce processus. Cependant un standard ECMA [5] [6] donne un premier label à la technologie MB-OFDM en décembre 2005. Parallèlement, le groupe IEEE 802.15.4a travaille depuis fin 2004 à l'élaboration d'un standard pour des applications ULB bas débit.

À l'heure qu'il est, le bilan est mitigé. La concrétisation de l'impulsion radio à travers des produits commerciaux se fait attendre, les potentialités et les performances initialement anticipées ne sont pas encore maîtrisées technologiquement. En Europe, la CEPT, soucieuse de protéger les services existants, adopte une position d'autant plus prudente pour réglementer l'ULB [7] que des industriels élaborent des solutions alternatives à l'état de l'art [8], [9], parfois sans les dévoiler [10]. Ceci montre combien la problématique de l'ULB est encore loin d'être éclaircie.

## DEUX CONTINENTS, DEUX CONCEPTIONS RÉGLEMENTAIRES

Sur le continent américain, dans la lignée du "United State Telecommunication Act" de 1996 [11], c'est la volonté de dynamiser l'innovation et l'économie dans le secteur des technologies de l'information et des communications par la mise en concurrence qui a prévalu. Ainsi, afin de favoriser l'émergence d'un marché pour les applications courte distance, douées d'ubiquité, centrées autour de l'utilisateur et venant en complément des infrastructures existantes, la FCC a autorisé un accès sans licence [12] à la ressource radio entre 3,1 et 10,6 Gigahertz. Afin de protéger l'intégrité des services existants, l'utilisation de cette très large bande sans licence est limitée par une faible densité spectrale de puissance.

Néanmoins, la FCC prévoit de réglementer des émetteurs ULB pris indépendamment, sans préjuger de la densité de leur déploiement et du niveau de leurs puissances agrégées qui sont, sans disposition spécifique, potentiellement nuisibles. À juste titre, cette lacune est jugée inacceptable par la CEPT qui a reçu mandat de la Commission Européenne pour recommander une réglementation ULB sur notre continent : un groupe de travail, le TG3, s'est créé en mars 2004, ses premières conclusions pour un masque d'émission sont consignées dans le rapport 64 [7]. Sans procédures adéquates de réduction des interférences, mises en œuvre par les systèmes ULB et dont l'efficacité devra être démontrée, les contraintes imposées aux systèmes ULB

sont bien plus sévères qu'outre-Atlantique dans la partie basse du spectre.

#### UNE FORMULATION POSSIBLE DU PROBLÈME RÉGLEMENTAIRE

Considérons un service existant  $S_e$ , tolérant une puissance interférente  $P_{\text{seuil}}$  dans sa bande  $B_e$ , et un ensemble d'équipements sans licence ULB,  $S_{\text{ULB}}$ , déployés sur de larges échelles ( $\geq 10$  km) et assujettis à la réglementation FCC. Par une analyse qualitative, évaluons l'impact de  $S_{\text{ULB}}$  sur  $S_e$  et identifions des propriétés de  $S_{\text{ULB}}$  suffisantes pour le contenir en dessous de  $P_{\text{seuil}}$ . Envisageons pour cela un scénario représentatif d'une première situation typique. Il s'agit d'un scénario à deux dimensions avec un service existant de type WiMAX.

Le recours à deux échelles spatiales va s'avérer très utile en faisant la distinction entre deux régions : le disque  $\mathcal{D}_{S_e, R}$  de rayon typique  $R \leq 10$  m centré sur  $S_e$  à l'intérieur duquel un élément de  $S_{\text{ULB}}$  pris isolément est susceptible de gêner  $S_e$  dans  $B_e$  au-delà de  $P_{\text{seuil}}$ , et la région extérieure complémentaire  $\mathcal{E}_{S_e, R}$ . Dès lors, il s'agit de régler le problème de la coexistence sur ces deux échelles spatiales.

À l'intérieur de  $\mathcal{D}_{S_e, R}$ , un élément  $S_{\text{ULB}}^0$  de  $S_{\text{ULB}}$  est, par réciprocité du canal de propagation entre le pied des antennes de  $S_e$  et  $S_{\text{ULB}}^0$ , théoriquement en mesure de s'apercevoir de sa proximité à  $S_e$ . Il lui suffit d'un dispositif de détection adéquat, et il pourra réduire sa puissance d'émission en conséquence. Une répartition homogène des éléments de  $S_{\text{ULB}}$  dans cette zone conduit alors à ce que chacun d'eux voit les autres avec une puissance comparable et inférieure à  $P_{\text{seuil}}$ . Un protocole privilégiant une séparation temporelle des émissions pourra alors limiter les interférences internes à  $\mathcal{D}_{S_e, R}$  et réduire à quelques unités les émetteurs simultanés, de quoi protéger  $S_e$ .

La menace pour  $S_e$  concerne maintenant les puissances interférentes agrégées sur  $\mathcal{E}_{S_e, R}$ , où l'effet collectif domine. Compte-tenu des larges échelles de déploiement considérées et de la faible variation spatiale des champs électromagnétiques loin de leur zone de décroissance rapide, la puissance interférente vue instantanément par  $S_e$  est celle mesurée par un élément de  $S_{\text{ULB}}$  à la périphérie de  $\mathcal{D}_{S_e, R}$ . Il suffit donc de garantir que la puissance agrégée dans  $S_{\text{ULB}}$  vue par chacun de ses éléments à chaque instant soit bornée pour protéger  $S_e$ . Remarquons que  $S_{\text{ULB}}$  doit résoudre le même problème pour juguler ses interférences internes, *i.e.* optimiser ses performances.

Le second scénario typique est en trois dimensions. C'est le cas d'un satellite soumis à un déploiement d'équipements ULB terrestres. La seconde partie du raisonnement précédent permet de le traiter, moyennant la possibilité d'extrapoler des modèles de propagation en azimut à partir des modèles en deux dimensions.

#### POURQUOI UNE RADIO ULB COGNITIVE

Les procédures de réduction d'interférence à appliquer sont donc de deux types. Ce sont d'une part, à l'échelle locale, des techniques de *détection et évitement* dans une bande de fréquence donnée. Ce type de procédure est d'ores et déjà considéré à la CEPT [13]. D'autre part, à large échelle, il s'agit de techniques de contrôle déterministe de la puissance agrégée du système ULB mesurée en chacun de ses équipements.

Notons que ces règles supposent un traitement uniforme du spectre et autorisent une coexistence naturelle avec les systèmes

existants mais aussi futurs, tout en proscrivant un accès aléatoire au medium radio. De surcroît, il apparaît que la sauvegarde des intérêts des systèmes "bande étroite" et celle des systèmes ULB sont étroitement liées. En effet, vus des systèmes ULB, le problème de la coexistence et celui de l'optimisation des ressources spectrales sont formellement équivalents, au dimensionnement des seuils de tolérance près.

Les problématiques ainsi formulées relèvent de la *radio cognitive*. Elles pourront être résolues en ayant recours aux méthodes de la Radiotechnique Statistique, de l'Automatique, ou à des stratégies protocolaires *ad-hoc*.

#### UNE ARCHITECTURE ULB AUX PROPRIÉTÉS INTÉRESSANTES

À la question très générale : *sait-on spécifier un transmetteur ULB capable d'atteindre la borne prédite par Shannon ?* la communauté scientifique ne saurait aujourd'hui risquer une réponse péremptoire. Par contre, si l'on y ajoute les contraintes d'un transmetteur impulsif avec une synchronisation relâchée pour atteindre des débits maximaux, les techniques combinées de la synthèse statistique et de la théorie de l'information nous disent qu'il existe une classe de solutions : les modulations IR multi-bandes à modulation d'amplitude et démodulées par seuillage d'énergie [14]. Les débits envisagés dépassent 500 Mbit/s à 3 m et 100 Mbit/s à 10 m. En pratique, à la cadence de l'étalement du canal, l'émetteur *découpe* analogiquement une impulsion ULB dans le spectre alloué suivant seize sous-bandes (de largeur typique 500 MHz) par un banc de filtres (*BF*), applique une modulation de type ON-OFF sur chacune d'elles et recombine les signaux avant l'antenne par un dispositif de type *BF* en fonctionnement réciproque. Quant au récepteur, une fois les sous-bandes à nouveau séparées par un *BF*, il intègre l'énergie disponible dans le canal, et un seuillage numérique décide du symbole démodulé. Notons au passage qu'un tel système étend la notion d'OFDM à des impulsions orthogonales.

Cette architecture reconsidère les relations entre traitements analogiques et numériques. Les étages analogiques projettent l'essentiel des degrés de liberté du signal sur une base de complexité réduite, relâchant les contraintes sur les étages numériques en terme de cadence d'échantillonnage, de synchronisation, de suppression de l'interférence inter-symbole [15]. De manière surprenante, ses performances sont comparables à celles d'un système *rake* cohérent si l'on a recours à des procédures de démodulation non-triviales (seuillage dynamique de l'énergie) [14]. Enfin, des capacités cognitives sont constitutives de cette architecture, car les techniques de détection et d'évitement des interférents sont intrinsèques à un système multi-bandes à détection d'énergie.

Ces développements augurent de perspectives scientifiques et technologiques fécondes. Ces dernières concernent, entre autres, la compatibilité monolithique et la miniaturisation des bancs de filtres, pour lesquels les filières émergentes de résonateurs à onde acoustique de volume (BAW) sont pressenties, mais aussi des applications inédites du traitement de signal de par la nature spécifique des traitements quadratiques, ou encore de nouveaux concepts protocolaires répondant aux critères réglementaires dans des réseaux décentralisés.

## REFERENCES

- [1] H. F. Harmuth, "Transmission of Information by Orthogonal Functions", First Edition. Springer, New York, 1969
- [2] G. F. Ross, "Transmission and reception system for generating and receiving base-band duration pulse signals for short base-band pulse communication system". U.S. Patent 3,728,025, 1973
- [3] First report and order, ET Docket No. 98-153. Rapport, Federal Communication Commission, April 2002
- [4] Mohamed Kamoun et al., "Data rate upper bounds for UWB link with IEEE802.15.3a channel model", International Conference on UltraWide-Band proceedings, Zurich, Sep. 2005
- [5] ECMA International, ECMA-368, "High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard", 1st Edition / December 2005
- [6] ECMA International, ECMA-369, "MAC-PHY Interface for ECMA-368", 1st Edition / December 2005
- [7] E. Faussurier, ANFR, "Ultra Wide Band. How Europe will address regulation of UWB ?", April, 14th 2005, 12th CEPT Conference
- [8] <http://www.tesbv.com/>
- [9] <http://www.mitsubishi-electric-itce.fr/publications> 2004.
- [10] <http://www.pulseink.net>
- [11] The United States Telecommunications Act of 1996, <http://www.fcc.gov/Reports/tcom1996.pdf>
- [12] J. M. Peha, "Spectrum Management Policy Options", IEEE Communications Surveys, vol. 1, No 1, 1998
- [13] Radio Spectrum Committee, RSCOM05-73, Working Document. November, 21st 2005
- [14] S. Paquelet et al., "An Impulse Radio Asynchronous Transceiver for High Data Rate", in Joint UWBST & IWUWBS, Kyoto, Japan, May 2004
- [15] L. M. Aubert, "Mise en place d'une couche physique pour les futurs systèmes de radiocommunication haut débit UWB", thèse de doctorat, novembre 2005