



Comité National Français de Radioélectricité Scientifique

Section française de l'

Union Radio Scientifique Internationale

Siège social : Académie des Sciences, Quai de Conti – Paris

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS

## " VERS DES RADIOCOMMUNICATIONS RECONFIGURABLES ET COGNITIVES "

PARIS, LES 28 ET 29 MARS 2006

---

# Régulation et Normalisation pour les Communi- cations Ultra Large Bande (UWB)

---

*Samuel Dubouloz, Laurent Ouvry*

*CEA – LETI, France*

*CEA Grenoble -- 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble Cedex 09*

*samuel.dubouloz@cea.fr – laurent.ouvry@cea.fr*

---

### Résumé

Les techniques ultra large bande (UWB), utilisées depuis le milieu des années 60 dans des applications de type RA-DAR, ont connu un spectaculaire regain d'intérêt depuis que la FCC – organe de régulation américain – a autorisé en Février 2002 l'utilisation sans licence de la bande [3.1 - 10.6] GHz pour les communications sans fil. En parallèle de cet aspect réglementaire, une effervescente activité de normalisation réunit de nombreux acteurs, tant académiques qu'industriels, dans le but de faire émerger les marchés pour ces nouvelles technologies très prometteuses.

Nous rappelons dans un premier temps les différentes contraintes de la loi américaine associées à l'utilisation sans licence du spectre. Les derniers états d'avancement au niveau du CEPT – organe de régulation européen – sont aussi évoqués. Enfin, après un succinct état de l'art sur les technologies UWB, nous décrivons les derniers choix faits par le groupe de normalisation IEEE 802.15.4a actuellement en cours de définition d'une couche physique alternative pour les réseaux personnels sans fils (WPAN) bas débit basée sur de l'ultra large bande impulsional (IR-UWB).

*Mots clés : régulation, IEEE 802.15.4a, UWB, FCC, CEPT*

---

### Introduction

L'arrivée sur le marché grand public des premiers appareils basés sur les techniques UWB est annoncée outre-atlantique dès le printemps 2006. S'il ne s'agit dans un premier temps que de concentrateurs USB sans fils, une grande variété d'applications est promise par cette nouvelle technologie dans les toutes prochaines années. En effet, la faible puissance d'émission tolérée ainsi que la très large bande allouée permettent de jouer fortement sur les critères liés au système tels que le débit, la portée ou encore la complexité et la consommation envisagées, déclinant presque à l'infini les possibilités. Néanmoins, les caractéristiques de propagation couplées à la puissance moyenne d'émission autorisée classent la plupart des applications envisagées dans la catégorie des réseaux personnels sans fils (WPAN), avec une portée typique de l'ordre de 0 à 30 m. La première partie de ce papier rappelle les définitions majeures des signaux UWB, ainsi que les limites en termes de puissance d'émission moyenne et pic pour les différentes bandes de fréquences. Une lecture de ces limites est aussi proposée pour le cas de l'UWB impulsional, afin de mettre en évidence les contraintes qui en résultent au niveau système.

La transmission d'impulsions large bande est pratiquée depuis les années 60 pour les applications RADAR, car ce type de signaux à support temporel fini autorise une bonne estimation des instants d'arrivée, ce qui permet, au moyen d'algorithmes adéquats, de remonter aux informations de distance et de position. Néanmoins, les signaux UWB ont aussi largement leur place dans l'univers des communications. Ceci peut être motivé en observant l'expression de la capacité  $C$  du canal à bruit blanc additif gaussien (formule de Hartley Shannon) :

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR),$$

Bien que réductrice, car s'appliquant au cas le plus favorable en termes de propagation et d'interférence entre symboles, cette expression montre que la capacité du canal (c'est à dire le débit binaire maximal atteignable), croît de manière logarithmique avec la puissance transmise (rapport signal à bruit  $SNR$ ), alors qu'elle est proportionnelle à la bande  $B$  du signal. Ce caractère de la capacité est logiquement conservé pour les canaux de propagation multi-trajets, même si des valeurs numériques de capacité ne pourraient être extraites de cette formule. Ainsi, la diminution de la puissance émise au profit de la largeur de bande s'avère nettement justifié si l'on veut gagner en débit sans pour autant gâcher la ressource précieuse constituée par le spectre radio.

Ainsi deux groupes de normalisation de l'IEEE ont plébiscité la technologie UWB pour les réseaux personnels sans fils. Le caractère très haut débit a été développé par le groupe 802.15.3a, normalisant une couche physique (PHY) alternative pour les WPAN hauts débits (>480Mbps). Malheureusement, en raison de la divergence entre deux solutions proposées, l'une basée sur une approche multi bandes avec modulation de type OFDM et l'autre sur une approche impulsionnelle à échantillonnage direct et modulation de position et/ou polarité, ce groupe a été dissout au début de l'année 2006. Relayées sous le standard ECMA 368, les solutions très haut débit de l'alliance pour l'approche multi bande OFDM (WiMedia Alliance) commencent néanmoins à faire leur apparition sur le marché grand public. Le groupe 802.15.4a travaille, quant à lui, sur le couplage entre faculté de localisation et faible puissance transmise afin de proposer une couche physique alternative pour les WPAN bas débits, avec une très faible consommation électrique et une complexité réduite. La seconde partie de ce papier propose de faire un point sur l'avancement de cette seconde norme, dont la première version (« draft », [1] ) a été acceptée en janvier 2006.

Enfin, dans la dernière partie, un bilan de liaison prenant en compte des modèles de canaux réalistes proposera d'estimer les débits possibles ainsi que les portées théoriques atteignables dans le cadre de cette future norme.

## 1. Régulation UWB

### 1.1. Définitions

Les définitions des signaux UWB les plus couramment admises sont celles du rapport initial de la FCC [2] en avril 2001 puis retranscrites dans la loi américaine [3] de manière plus détaillée.

La bande de fréquence du signal est définie entre les points qui sont à -10dB de la puissance maximale transmise. La fréquence correspondant à la limite inférieure (resp. supérieure) est notée  $f_L$  (resp.  $f_H$ ) et la fréquence à laquelle le maximum de puissance est émis  $f_M$ . La fréquence centrale est définie comme  $f_C = (f_L + f_H)/2$  et la bande relative comme  $2(f_H - f_L)/(f_H + f_L)$ . Un émetteur UWB doit avoir une bande relative minimale de 0.2 ou une bande supérieure ou égale à 500 MHz.

La loi américaine distingue les systèmes de communication nécessitant une infrastructure fixe (e.g. le secteur électrique), ce sont les systèmes intérieurs «indoor». Dans le cas contraire, ils sont considérés comme portatifs « hand held ». Les principales différences faites entre ces deux catégories concernent le masque d'émission (voir Figure 2), et des protocoles de protection des autres utilisateurs : par exemple, les systèmes portatifs doivent stopper leur émission s'ils ne reçoivent pas régulièrement les acquittements.

Les règles concernant les signaux UWB en Europe et en Asie ne sont pas encore figées.

En Europe, le CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations, [4] ) fait office d'autorité en termes de régulation. Il a été mandaté par la commission européenne afin de définir les recommandations nécessaires. Au sein du CEPT, le groupe de travail TG3 de la commission pour l'électronique et les communications (ECC) est plus particulièrement chargé de la régulation des systèmes utilisant la technologie UWB en s'appuyant non seulement sur les instances de standardisation internationa-

les telles que l'ETSI ou l'ITU, mais aussi sur les différents acteurs industriels et académiques concernés. Ainsi, une première proposition [5] a été faite en octobre 2005 conservant les principales définitions de la FCC. Néanmoins, les limites proposées pour les puissances d'émission sont différentes (voir en 1.3.2 et 1.3.3), et la fréquence de répétition de impulsions (PRF) ne doit pas être inférieure à 1MHz.

Au sein de l'ETSI, le groupe de travail ERM TG31a est chargé de définir la norme européenne EN 302 065 [6] pour les systèmes de télécommunication et la norme EN 302 066 pour les radars pénétrants fondés sur la technologie UWB. Un premier rapport technique [7] a été fourni au CEPT en vue de dresser un état de l'art, en termes de technologie, régulation et normalisation.

## 1.2. Techniques UWB

Plusieurs possibilités ont été explorées afin de générer des signaux compatibles avec les définitions précédentes. On peut citer par exemple les approches de type multi bande avec modulation de type OFDM (voir [8]), avec un standard haut débit (ECMA-368, [9]). D'autres approches sont aussi proposées, telles que les modulations de fréquence UWB (UWBFM - [10]) ou fondées sur des signaux chaotiques, ressemblant à un bruit blanc filtré en émission dans la bande considérée. Dans la suite, nous allons nous focaliser sur les signaux UWB basés sur la transmission d'impulsions large bande (impulse radio, [11]), et mettant en œuvre des techniques provenant du RADAR et revisités afin d'incorporer la fonctionnalité de communication.

## 1.3. Limites de puissance

### 1.3.1. Rappels sur les mesures de puissance

Deux limites assurent la régulation de la puissance rayonnée par les systèmes UWB : une limite sur la puissance moyenne et une autre en puissance pic, afin de limiter les niveaux de puissance instantanée provoqués par des rapports cycliques très faibles.

Des recommandations concernant la mesure de ces puissances moyenne et pic sont disponibles dans les documents [2] pour les US et [6] pour l'Europe. Afin d'avoir une bonne compréhension des limites de puissance, il est intéressant de rappeler le fonctionnement d'un analyseur de spectre, pour une mesure de puissance moyenne ou pic. Le schéma synoptique d'un analyseur de spectre est représenté sur la Figure 1.

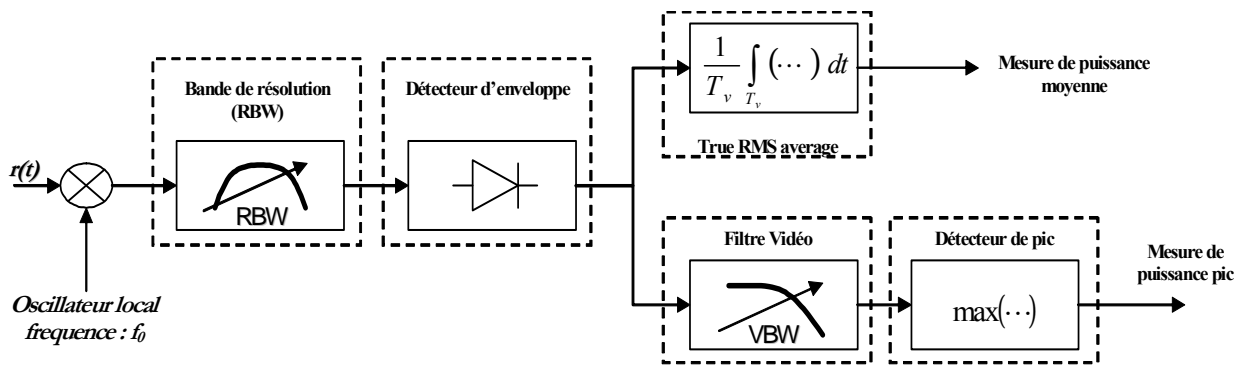


Figure 1: Schéma synoptique d'un analyseur de spectre dans les modes recommandés par la FCC

### 1.3.2. Puissance Moyenne

#### 1.3.2.1. Définition

La FCC définit la puissance moyenne transmise comme la moyenne de la puissance mesurée dans une bande de résolution (RBW) de 1MHz, avec un détecteur de type « RMS vrai ». Le temps maximal pendant lequel la moyenne est calculée (temps d'intégration vidéo  $T_v$ ) est de 1ms. Ceci peut être écrit de la manière suivante :

$$P_a(f_0) = \frac{1}{T_v} \int_{T_v} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{T_v} \int_{-\infty}^{\infty} |x(t) \times \Pi_{T_v}(t)|^2 dt, \quad (1)$$

avec  $x(t)$  représentant le signal d'entrée  $s(t)$  filtré par le filtre passe-bande de résolution RBW centré autour de la fréquence  $f_0$ , et  $\Pi_{T_v}(t)$  la fenêtre temporelle de mesure.

Si l'on considère que le filtre passe-bande de résolution RBW est un filtre idéal, on peut réécrire la puissance moyenne mesurée en utilisant l'identité de Plancherel sous la forme :

$$P_a(f_0) = \frac{1}{T_v} \int_{f_0 - \frac{RBW}{2}}^{f_0 + \frac{RBW}{2}} |S(f) * T_v \sin_c(T_v f)|^2 df, \quad (2)$$

Si l'on considère maintenant que  $1/T_v$  est très inférieur devant la bande de résolution RBW de l'analyseur de spectre, on peut introduire l'approximation  $\int_{RBW} \sin_c(T_v f) df \approx \int_{-\infty}^{+\infty} \sin_c(T_v f) df = 1/T_v$ , ainsi après simplifications, réécrire la puissance mesurée comme :

$$P_a(f_0) = \int_{f_0 - \frac{RBW}{2}}^{f_0 + \frac{RBW}{2}} |S(f)|^2 df. \quad (3)$$

On voit ici que  $P_a(f_0)$  est aussi la densité spectrale de puissance intégrée dans une bande de largeur  $RBW$ .

### 1.3.2.2. Limite

Comme la valeur de  $RBW$  recommandée par la FCC est de 1MHz, la limite de puissance moyenne (-41.3dBm mesurés une bande de 1MHz) est souvent présentée comme une limite sur la densité spectrale de puissance (exprimée en dBm/MHz). Les masques d'émission sont présentés sur la Figure 2

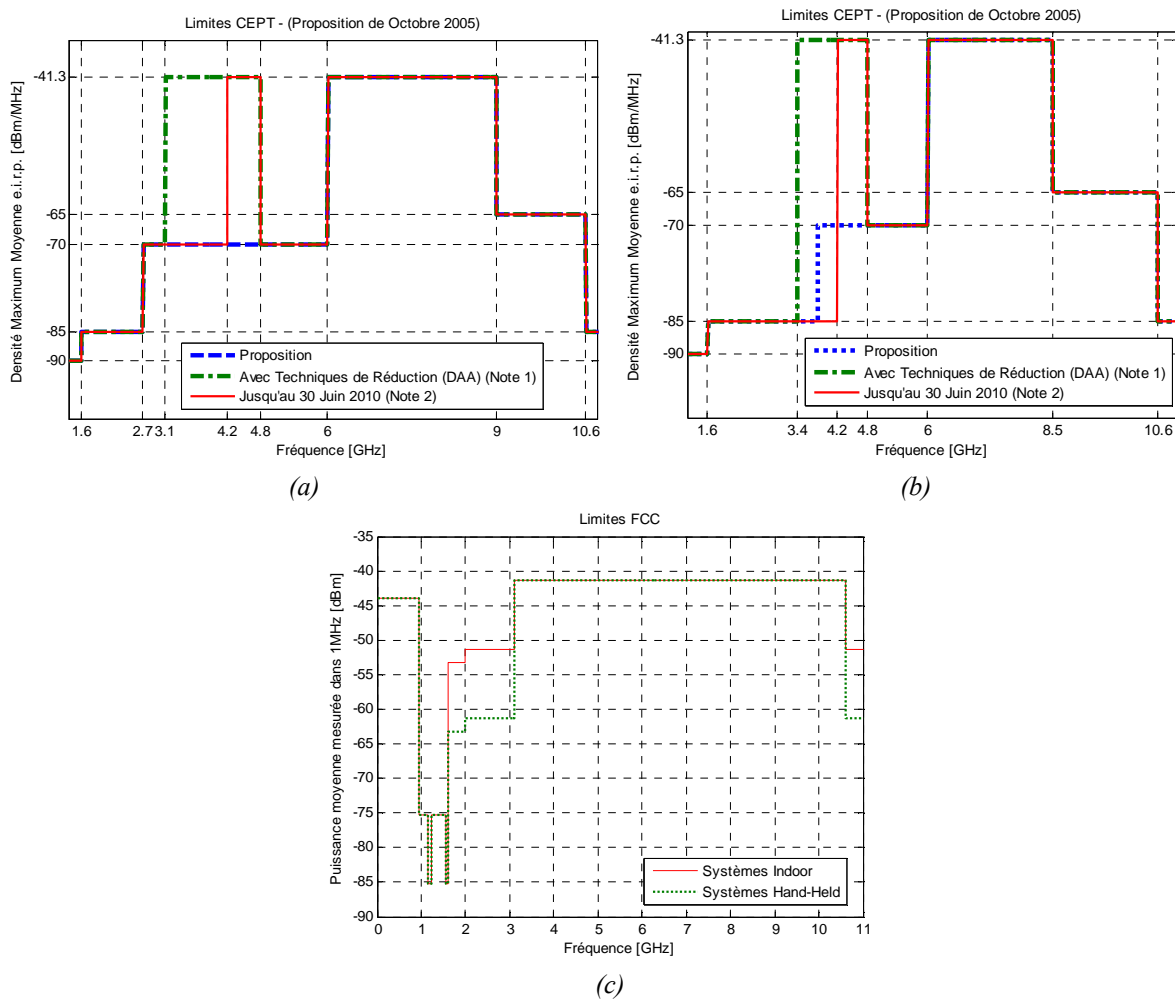


Figure 2: Limites (a) CEPT (proposition Octobre 2005), (b) CEPT (réunion de Février 2006) et (c) FCC sur la puissance moyenne rayonnée.

La FCC définit la bande UWB entre 3.1 et 10.6GHz, avec une puissance moyenne limitée à -41.3dBm dans une bande de 1MHz. Les bandes alentours sont protégées par une marge de 10dB pour les systèmes de type « indoor », et 20dB pour les systèmes portatifs (« hand-held »).

La proposition du CEPT, Figure 2 (a), plus contraignante, protège avec des barrières de près de 30dB les bandes ISM (Industriel, Scientifique et Médical) centrées autour de 2.45GHz et 5.8GHz (utilisées notamment pour les réseaux sans fils tels que Bluetooth ou Wifi), et n'autorise les transmissions de signaux UWB que dans la bande comprise entre 6 et 9GHz. Cependant, deux notes dans la proposition adouciraient les restrictions : la bande [3.1 – 4.8]GHz serait autorisée à -41.3dBm/MHz si des mécanisme d'atténuation efficaces, de type détection et évitement (DAA) ou faible rapport cyclique (LDC) sont mis en œuvre afin d'assurer la compatibilité avec les autres services opérant dans cette bande. La bande [4.2 – 4.8]GHz serait libre d'utilisation sans la nécessité de recourir à ces techniques, mais uniquement jusqu'au 30 Juin 2010. Il est impératif de rappeler que la législation n'est pas encore figée et que les règles énoncées précédemment ne sont pour l'instant que des propositions et évolueront très certainement. A titre d'exemple, lors de la réunion du groupe de travail en Février 2006, une autre proposition (Figure 2 (b) et [12] ) a été faite après prise en compte des demandes exprimées en réponse à la consultation publique.

### 1.3.2.3. Contraintes entraînées au niveau système

Un signal  $s(t)$  de type radio impulsionnelle composé de la simple répétition (sans modulation) d'impulsions  $p(t)$  transmises à un rythme  $PRF$  peut s'écrire sous la forme

$$s(t) = p(t) * \sum_k \delta(t - k/PRF) \quad (4)$$

Le spectre d'un tel signal peut alors être calculé en utilisant la transformée de Fourier

$$S(f) = TF[s(t)] = P(f) \times PRF \times \sum_k \delta(f - k PRF). \quad (5)$$

Soit  $\Gamma(f) = PRF \times |P(f)|^2$  la densité spectrale de l'impulsion seule, la puissance moyenne mesurée pour le signal  $s(t)$  peut alors s'écrire en utilisant (3) comme

$$P_a(f_0) = PRF \int_{f_0 - \frac{RBW}{2}}^{f_0 + \frac{RBW}{2}} \Gamma(f) \times \sum_k \delta(f - k PRF) df. \quad (6)$$

Deux cas doivent alors être considérés.

#### ○ RBW > PRF

Dans ce cas, RBW/PRF raies sont statistiquement sommées à l'intérieur de la fenêtre de mesure, et l'expression (6) peut se réécrire sous la forme

$$P_a(f_0) \Big|_{RBW \geq PRF} = RBW \times \Gamma(f_0). \quad (7)$$

Etant donné que la bande de résolution de l'analyseur est de 1MHz, la puissance mesurée dans ce cas est strictement équivalente à la densité spectrale de puissance de l'impulsion exprimée en dBm/MHz.

#### ○ RBW < PRF

Dans ce cas, il y a au plus une raie dans la bande de résolution de l'analyseur, la puissance moyenne peut donc s'écrire comme

$$P_a(f_0) \Big|_{RBW < PRF} = PRF \times \Gamma(f_0) \text{ si } |f_0 - PRF| \leq \frac{RBW}{2}$$

$$P_a(f_0)_{|RBW < PRF} = 0 \text{ sinon} \quad (8)$$

La puissance moyenne mesurée en fonction de  $f_0$  est alors composée de raies, de largeur  $RBW$  avec une amplitude  $PRF$  par rapport à la densité spectrale initiale du signal. En dehors de ces raies la puissance mesurée est nulle. Afin de respecter la limite de puissance moyenne, il faut alors soit supprimer l'origine des raies, c'est à dire la répétition temporelle, afin de lisser le spectre, en utilisant par exemple des codes pseudo aléatoires (PN-code) de polarité ou de position, soit atténuer le signal.

Il est évident qu'un signal constitué d'impulsions uniquement répétées ne transmet pas d'information, et qu'une modulation d'amplitude, de polarité ou de position entraînent de manière naturelle un lissage du spectre. Néanmoins, l'utilisation de PN-codes est indispensable lorsqu'un même symbole est répété, par exemple dans un préambule de synchronisation ou afin de d'augmenter le gain de traitement. Les séquences les plus utilisées pour la polarité sont les codes de Barker, les séquences de Hadamard, les m-séquences, les gold-séquences...

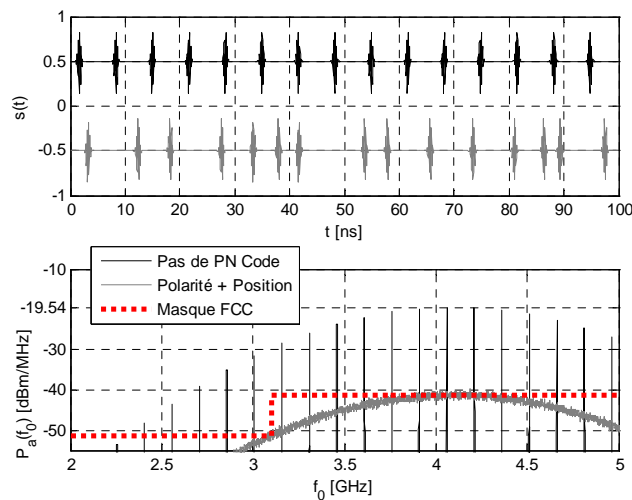


Figure 3: Signal ( $PRF = 150\text{MHz}$ ) transmis  $s(t)$  composé d'impulsions uniquement répétées ou avec un code aléatoire (PN-code) et la puissance mesurée  $P_a$  correspondante, en fonction de la fréquence de mesure  $f_0$ . Afin de les séparer visuellement, les signaux temporels ont été artificiellement décalés sur l'axe des ordonnées.

Un signal temporel constitué d'impulsions uniquement répétées ainsi que la puissance mesurée correspondante sont représentés sur la Figure 3. On note que des raies espacées de  $PRF$  (150MHz ici) apparaissent, et que l'amplitude maximale de ces raies s'élève à  $-41.3 + 10\log_{10}(150) = -19.539\text{dBm}$  dans 1MHz. Un signal de même  $PRF$  mais constitué d'impulsions dont la position ainsi que la polarité sont générées aléatoirement est aussi représenté afin de montrer l'effet d'un PN-code sur la puissance mesurée. Les raies ne sont plus présentes dans ce cas, le spectre est lissé, mais une marge ( $< 1.5\text{dB}$ ) doit être prise pour respecter le masque. Cette figure est obtenue à partir des algorithmes de mesure de puissance, ainsi que des codes Matlab® et modèles de signaux proposés dans [13].

### 1.3.3. Puissance Pic

Une limite sur la puissance pic est également instaurée afin d'éviter les valeurs de  $PRF$  trop faibles, impliquant des puissances instantanées rayonnées trop importantes.

#### 1.3.3.1. Définition

La puissance pic est définie comme la puissance intégrée dans une bande de fréquence ( $RBW$ ), de largeur comprise entre 1MHz et 50MHz, et centrée sur la fréquence à laquelle le maximum de puissance est rayonné. Une fréquence vidéo ( $VBW$ ) supérieure à la bande de résolution ainsi qu'un détecteur de pic (*maximum-hold trace mode*) doivent être sélectionnés.

#### 1.3.3.2. Limite

La FCC a fixé cette limite à 0dBm dans une bande de 50MHz autour de la fréquence à laquelle le maximum est émis. Comme beaucoup d'analyseurs de spectre ne possèdent pas une bande de résolution aussi importante, cette limite est aussi définie par  $20\log_{10}(RBW/50)\text{dBm}$  dans une bande de  $RBW$  MHz, comprise entre 1 et 50.

En ce qui concerne l'Europe, cette limite est la même, mais uniquement dans les bandes où la densité spectrale de puissance est limitée à  $-41.3\text{dBm/MHz}$ . En dehors de ces plages de fréquence un masque de puissance pic a été proposé (cf. [5] [6] ).

### 1.3.3.3. Contraintes subséquentes

La principale limitation au niveau système va porter sur la PRF minimale que l'on peut utiliser. En effet, à puissance moyenne constante, l'énergie (et donc la puissance pic) de chaque impulsion augmente lorsque la PRF diminue. Toujours en utilisant les algorithmes et modèles de signal proposés en [13] on peut tracer (voir Figure 4) la puissance pic mesurée en fonction de la PRF afin de déterminer le rapport cyclique maximum atteignable.

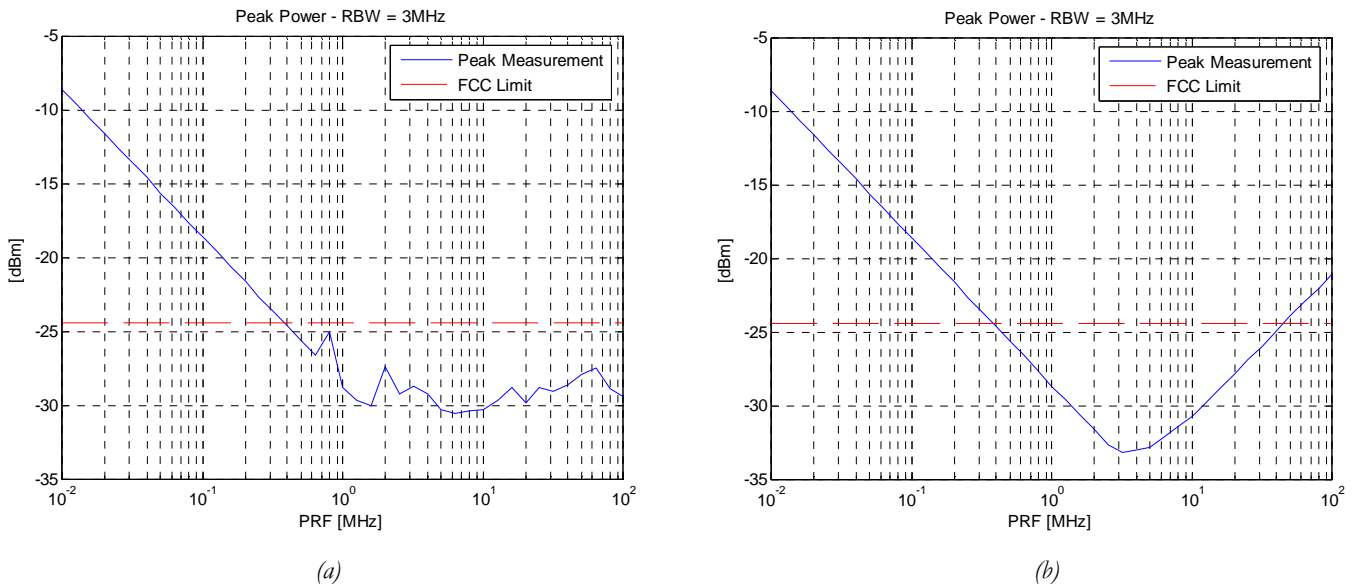


Figure 4: Puissance pic mesurée dans une bande de résolution de 3MHz et avec une fréquence vidéo de 50MHz, pour un signal (a) avec un PN-code et (b) sans.

La bande de résolution  $RBW$  étant de 3MHz, la limite pic est de  $20\log_{10}(3/50) = -24.44\text{dBm}$ . Comme l'on pouvait s'y attendre, lorsque la PRF augmente, la puissance pic diminue. Puis, lorsque la PRF atteint  $RBW$ , la puissance pic stagne dans le cas d'un signal dont le spectre est étalé de manière aléatoire (a). Les oscillations sont dues aux tirages de code plus ou moins favorables. Dans le cas d'un signal sans PN-code (b), la puissance pic augmente à nouveau lorsque PRF devient supérieure à la bande de résolution. En effet, comme pour la puissance moyenne, des raies apparaissent à l'intérieur de la bande de résolution, augmentant ainsi la puissance pic mesurée. L'utilisation des codes d'étalement est alors nécessaire pour limiter la puissance pic.

Bien que dans la dernière version de la réglementation européenne, l'ECC impose 1MHz comme limite basse à la PRF, on voit d'après ces résultats que la PRF minimale autorisée par la FCC est de l'ordre de 400kHz.

Enfin, conformément à la définition des signaux UWB, la largeur de bande (500MHz minimum) est très grande devant  $RBW$  (entre 1MHz et 50MHz). Ainsi, on peut considérer que la puissance pic mesurée est indépendante de la largeur de bande du signal.

## 2. La norme IEEE 802.15.4a

Le groupe de normalisation IEEE 802.15.4a a pour but de définir une couche physique (PHY) alternative et les ajouts strictement nécessaires à la couche de contrôle d'accès au médium (MAC) pour les réseaux dans fils personnels (WPAN) bas débit (LDR) (norme IEEE 802.15.4)

En réalité, deux couches physiques ont été retenues pour la future norme. La première n'utilise pas les signaux UWB mais se base sur des techniques d'étalement de spectre par modulation linéaire de fréquence (Chirp Spread Spectrum, CSS). L'autre PHY, sur laquelle nous allons nous focaliser, est basée sur l'UWB impulsionnel.

S'agissant de la définition globale d'une couche physique, seules les principales caractéristiques système retenues pour la norme sont répertoriées par la suite. De plus, le standard n'étant pas encore achevé, les valeurs fournies sont susceptibles de subir des modifications.

## 2.1. Band Plan

Afin de satisfaire les recommandations provenant du plus large consensus possible des organes de régulation, la bande autorisée par la FCC a été découpée en deux parties, une dite « bande basse », comprise entre 3 et 5 GHz, et l'autre dite « bande haute », comprise entre 6 et 10GHz. La planification proposée pour le deuxième draft de la norme a été déterminée comme

Groupe (tous valides aux Etats-Unis)	Bande n°	Fréquence Centrale (MHz)	Largeur (MHz)
	1	1	399,36
2 Europe et Japon avec techniques de réduction	2	3494,4	499,2
	3	3993,6	499,2
	<b>4</b>	<b>4492,8</b>	<b>499,2</b>
	5	3993,6	1331,2
3 Europe seulement	6	6489,6	499,2
	7	6988,8	499,2
	8	6489,6	1081,6
4 Europe et Japon	9	7488	499,2
	<b>10</b>	<b>7987,2</b>	<b>499,2</b>
	11	8486,4	499,2
	12	7987,2	1331,2
5 Japon seulement	13	8985,6	499,2
	14	9484,8	499,2
	15	9984	499,2
	16	9484,8	1354,97

Où les bandes sont définies à -3dB. Il est intéressant de noter que toutes les plages de fréquences sont autorisées par la FCC. La bande 1 correspond à la couche physique UWB dans la bande inférieure au GHz, non discutée en Europe. Dans la bande basse, seule la bande 4 est obligatoire, les autres sont optionnelles. Toute la bande haute est optionnelle, mais en cas d'utilisation, seule la bande 10 est obligatoire.

## 2.2. Modulations

Une modulation de position binaire (2-PPM) a été choisie afin d'apporter une pénalité minimale aux deux types de récepteurs ciblés. En effet une modulation de phase (BPSK) aurait été favorable aux récepteurs cohérents (distance euclidienne inter-symbole plus importante), mais éliminatoire pour les récepteurs non-cohérents, qui, par définition, n'ont pas accès à l'information de phase du signal reçu. D'autre part, une constellation PPM plus importante aurait été favorable aux récepteurs non-cohérents, car la performance d'une modulation orthogonale telle que la N-PPM croît avec l'ordre de la modulation, mais pénaliserait les récepteurs cohérents du point de vue de la complexité.

## 2.3. Correction des erreurs

Coté émetteur, un double codage est prévu, comprenant un code en bloc de type Reed-Solomon RS(63,55), suivi d'un codage convolutif de rapport  $\frac{1}{2}$  et de longueur de contrainte 3. Un des deux bits du codeur convolutif est systématique et utilisé comme bit de position pour la modulation PPM, l'autre bit code la polarité du signal transmis (voir Figure 5).



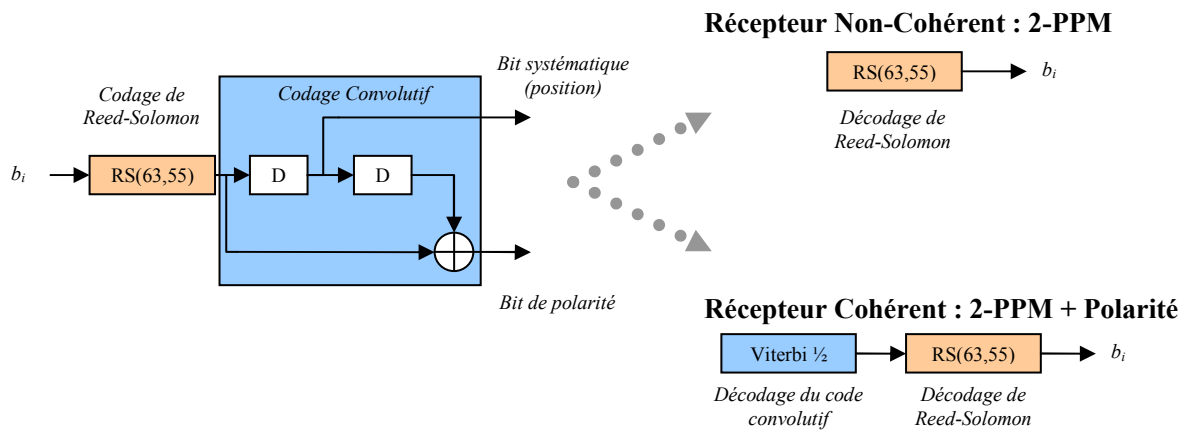


Figure 5: Codage correcteur d'erreur dans la norme 802.15.4a.

Ainsi, avec un transmetteur commun, deux types de récepteurs peuvent traiter les signaux reçus, en fonction du compromis performance (cohérent) complexité (non cohérent) choisi.

## 2.4. Références temporelles

Deux PRF (fréquence de répétition des impulsions) moyennes ont été sélectionnées et sont obligatoires : 15.6MHz (High PRF) et 3.9MHz (Low PRF). Afin de pouvoir ajuster le débit, chaque symbole est constitué d'un burst (rafale) de  $N$  impulsions, répétées à un rythme 499.2MHz (PRF pic), voir Figure 6.

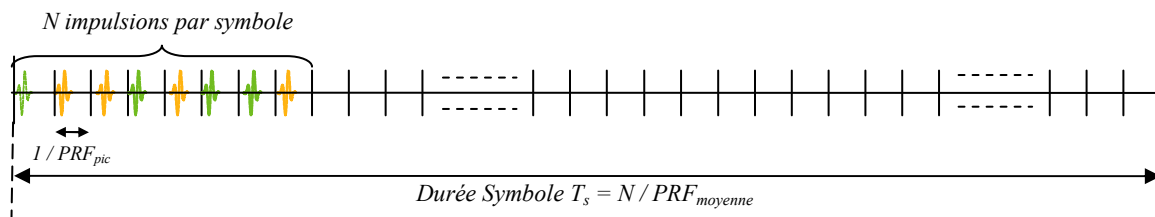


Figure 6: Composition d'un symbole pour la norme 802.15.4a

La position du burst à l'intérieur du temps symbole est régie par une modulation de position (première ou seconde moitié du temps symbole), ainsi que par un code de saut de temps (PN-code), utilisé pour étaler le spectre et pour apporter une plus grande résistance aux interférences vis-à-vis des réseaux de même nature et non-coopératifs. Les différentes valeurs de débit binaire sélectionnées par le groupe de normalisation sont les suivantes :

PRF Moyenne (MHz)	Nb. (N) impulsions par symbole	Durée Symbole (ns)	Débits	
			Rythme Symbole (MHz)	Débit Binaire (Mbps)
15,6	128	8205,13	0,121875	0,11
<b>15,6</b>	<b>16</b>	<b>1025,64</b>	<b>0,975</b>	<b>0,85</b>
15,6	8	512,82	1,95	1,70
15,6	4	256,41	3,9	3,40
15,6	2	128,21	7,8	6,81
15,6	1	64,10	15,6	13,62
<b>15,6</b>	<b>1</b>	<b>64,10</b>	<b>15,6</b>	<b>27,24</b>
3,9	32	8205,13	0,121875	0,11
3,9	16	4102,56	0,24375	0,21
3,9	8	2051,28	0,4875	0,43
<b>3,9</b>	<b>4</b>	<b>1025,64</b>	<b>0,975</b>	<b>0,85</b>
3,9	2	512,82	1,95	1,70
3,9	1	256,41	3,9	3,40
<b>3,9</b>	<b>1</b>	<b>256,41</b>	<b>3,9</b>	<b>6,81</b>

Pour les deux valeurs de PRF moyenne, le débit obligatoire est de 0.85 Mbps. Ce débit binaire mentionné est le débit fourni aux couches supérieures (débit dit PHY – Service Access Point, ou PHY-SAP) et prend donc en compte le taux de codage (différence entre rythme symbole et débit binaire). Il est prévu un mode haut débit, réservé aux récepteurs cohérents (lignes en fond noir) où le codage/décodage convolutif est supprimé, et où chaque symbole code directement deux bits PHY-SAP. Ainsi, pour une meilleure scalabilité, le débit ou la bande de fréquence pourront être modifiés en fonction de la qualité de la communication.

### 3. Bilan de liaison

On peut établir un bilan de liaison à partir des chiffres clés retenus par la norme. Par exemple pour les débits valant 0.811Mbps (débit obligatoire) et 0.11Mbps (plus haut gain de traitement) :

	Unité	0,811Mbps	0,11 Mbps
<b>B</b>	MHz	499,2	499,2
<b>Puissance Moyenne</b>	dBm	-16,65	-16,65
<b>Temps Symbole</b>	μs	1,0256	8,2051
<b>N<sub>0</sub></b>	dBm/Hz	-174	-174
<b>SNR</b>	dB	70,37	70,37
<b>E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub></b>	dB	97,46	106,49
<b>Marges Système</b>	dB	11,0	11,0
<b>E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> requis</b>	dB	20,0	20,0
<b>Marge de liaison</b>	dB	<b>66,5</b>	<b>75,5</b>

Les marges système comprennent les marges d'évanouissement (« fading ») (~2dB), les pertes d'implémentation (4dB) et le facteur de bruit (5dB). Le E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> (rapport signal à bruit binaire) requis est fixé à 20dB, ce qui correspond à une limite haute pour la modulation 2-PPM par un récepteur non-cohérent dans un canal multi trajet (cf. [14] ). L'ordre de grandeur du E<sub>b</sub>/N<sub>0</sub> requis pour les récepteurs cohérents est de l'ordre de 10dB, en fonction bien évidemment de la configuration du canal. Ceci prend en compte non seulement une meilleure performance intrinsèque, mais aussi un gain de codage plus important.

Afin de convertir la marge de liaison en portée théorique du système, on peut utiliser les modèles de canaux proposés par le groupe de travail 802.15.4a (voir [15] ), et plus particulièrement les valeurs proposées pour les pertes de propagation (« path loss ») en fonction du type d'environnement et de la distance séparant l'émetteur du récepteur :

Canal de type	Portée (m)	
	0,811Mbps	0,11 Mbps
Résidentiel (LOS)	18,22	56,79
Résidentiel (NLOS)	2,44	3,81
Bureaux (LOS)	80,48	280,48
Bureaux (NLOS)	1,64	3,17
Extérieur (LOS)	15,32	48,70
Extérieur (NLOS)	0,55	1,24
Industriel (LOS)	6,51	35,49
Industriel (NLOS)	2,84	7,33

La portée typique des WPAN (0-30m) en situation de visibilité (Line of Sight – LOS) est atteinte, mais les canaux en non visibilité (Non Line Of Sight - NLOS) sont nettement plus défavorables, et ne permettent d'envisager que des portées limitées (de l'ordre du mètre à quelques mètres).

### Conclusion

Les définitions des signaux UWB ainsi que les règles actuellement en vigueur aux Etats-Unis ont été rappelées. Les dernières propositions en matière de régulation en Europe, ainsi que l'avancement de la norme IEEE 802.15.4a ont également été relatés. Enfin, utilisant les paramètres de la future norme ainsi que des modèles de canaux UWB réalistes, un bilan de liaison a été dressé afin de mettre en évidence les portées envisageables.

## Références bibliographiques

- [1] "PART 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", December **2005** Draft P802.15.4a/D1
- [2] FCC 02-48, "First Report and Order : Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems", Federal Communications Commission, Adopted February 14, **2002**, Released April 22, 2002
- [3] US Government, Code of Federal Regulations, Title 47 — Telecommunication, Chapter I — Federal Communication Commission, Part 15 — Radio Frequency Devices, Articles 15.501 à 15.525, **2005** – [http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx\\_05/47cfr15\\_05.html](http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/waisidx_05/47cfr15_05.html)
- [4] [www.cept.dk](http://www.cept.dk)
- [5] CEPT – ECC public consultation, "ECC Decision of dd mm 2006 on the harmonised conditions for devices using UWB technology in bands below 10.6 GHz", October **2005** Electronic Communications Committee, TG3, draft (ECC/DEC/(06)AA)
- [6] ETSI, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD) using Ultra Wide Band (UWB) technology for communication purposes in the frequency range 3.1 GHz to 10.6 GHz; Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive", December **2005** European Standard, ETSI EN 302 065 Draft v0.0.1
- [7] ETSI, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Technical characteristics for SRD equipment using Ultra Wide Band technology (UWB) Part 1: Communications applications", January **2004** Technical Report, ETSI TR 101 994-1 V1.1.1
- [8] <http://www.wimedia.org>
- [9] ECMA, "Standard ECMA-368 : High Rate Ultra Wideband PHY and MAC Standard", December **2005**
- [10] J.F.M. Gerrits, M.H.L. Kouwenhoven, P.R.v.d. Meer, J.R. Farserotu & J.R. Long, "Principles and Limitations of Ultra-Wideband FM Communications Systems", EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 2005, pp. 382 - 396, **2005**
- [11] M.Z. Win & R.A. Scholtz, "Impulse Radio: How It Works?", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 2, January **2003**
- [12] CEPT - ECC, "ECC Decision of dd mm 2006 on the harmonised conditions for devices using UWB technology in bands below 10.6 GHz", February **2006** draft (ECC/DEC/(06)AA), document 13\_33-A8R0\_Annex8\_draft ECC Dec(06)AA\_Modifications proposed by TG3
- [13] L. Ouvry, S. Dubouloz & G.M. Maggio, "UWB Power Measurements", May **2005** IEEE document number 15-05-0354-01-004a
- [14] S. Dubouloz, B. Denis, S. de Rivaz & L. Ouvry, "Performance Analysis of LDR UWB Non-Coherent Receivers in Multipath Environments", *Ultra-Wideband, 2005 IEEE International Conference on*, September **2005**
- [15] A. Molish & al., "IEEE 802.15.4a channel model - final report", July **2005** IEEE document number 15-04-0662-02-004a