

## Chapitre 2. Réseaux personnels sans fils (WPAN)

<b>Technique de Transmission Ultra Large bande .....</b>	<b>98</b>
Définition de l'UWB.....	98
Masque d'émission UWB de la FCC.....	100
<b>Caractéristique de la transmission UWB .....</b>	<b>101</b>
<b>Avantages de la technologie UWB.....</b>	<b>103</b>
<b>Applications de l'UWB.....</b>	<b>103</b>
<b>Quelques domaines d'application.....</b>	<b>104</b>
<b>Normalisation à l'IEEE 802.15.3a .....</b>	<b>105</b>
<b>Techniques de Multiplexage proposées pour l'UWB .....</b>	<b>105</b>
<b>Types de Communications UWB .....</b>	<b>106</b>
UWB à impulsions (IR-UWB) .....	106
UWB Multiporteuses (MC-UWB).....	107
<b>Caractéristiques du signal IR-UWB.....</b>	<b>107</b>
<b>Schémas de modulation .....</b>	<b>108</b>
Modulation en tout ou rien .....	108
Modulation par la position de l'impulsion .....	109
Modulation à deux états de phase.....	109
Probabilité d'erreur pour les différents types de modulation .....	110
<b>Formes de l'impulsion .....</b>	<b>110</b>
Gaussienne, monocycle et dérivées .....	110
Impulsions en polynômes d'Hermite modifiés.....	111
Gaussienne modulant une sinusoïde .....	112
<b>Architecture Emetteur/Récepteur de l'UWB.....</b>	<b>112</b>
<b>Techniques d'accès multiples utilisées dans l'UWB.....</b>	<b>113</b>
<b>Technologie WBANs.....</b>	<b>114</b>
Principe du WBAN .....	114
Technologies sans fil proposées pour le WBAN.....	115
Technologie Bluetooth basse consommation pour le WBAN .....	115
Zigbee et 802.15.4 pour le WBAN .....	116
Inconvénients du Zigbee.....	116
Avantages de Zigbee.....	117

## Technique de Transmission Ultra Large bande

### Définition de l'UWB

- ⇒ L'Ultra Large Bande (ULB) ou UWB pour "Ultra-Wideband" en anglais, est une technique de communication radio basée sur la transmission d'impulsions de très courtes durées sur une bande de fréquences très large ;
- ⇒ Le terme « à très large bande » désigne la transmission et la réception des ondes ayant une Largeur de Bande Relative (LBR) ou FR, pour "Fractional Bandwidth" en anglais, supérieure ou égale à 0.25. Cette bande est donnée par :

$$LBR = \frac{f_H - f_L}{f_c} \quad (1)$$

- ⇒ Elle est délimitée par les points situés à 10 dB au-dessous du point de la DSP le plus élevé (Voir la figure (1)). Les points de la fréquence correspondant à  $-10\text{ dB}$  par rapport au max de la DSP correspondent respectivement à la fréquence inférieure  $f_L$  et à la fréquence supérieure  $f_H$ . La fréquence centrale  $f_c$  d'une émission UWB est donnée par :

$$f_c = \frac{f_H + f_L}{2} \quad (2)$$

- ⇒ D'après la commission fédérale des communications FCC pour "Federal Communications Commission" en anglais, le signal est considéré UWB si sa largeur de bande est supérieure ou égale à 500 MHz (20% de sa fréquence centrale).

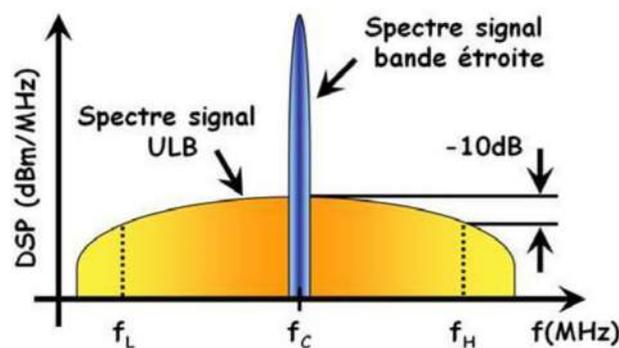


Figure.1. Comparaison entre la DSP d'un signal UWB et un signal à bande étroite.

- ⇒ La technologie UWB possède plusieurs caractéristiques notamment une grande capacité du canal. Cette dernière peut être calculée par le théorème de Shannon comme suit :

$$C = B \times \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3)$$

Où :

$C$  : Capacité maximale du canal ( $bit/s$ ) ;

$B$  : La largeur de bande du canal ( $Hz$ ) ;

$S$  : La puissance du signal ( $Watt$ ) ;

$N$  : La puissance du bruit ( $Watt$ ).

- ⇒ Cette équation permet une augmentation linéaire entre la capacité maximale du canal et la largeur de la bande du signal (Voir la figure (2)) ;
- ⇒ Elle permet aussi une augmentation de façon logarithmique avec le rapport signal sur bruit (Voir la même figure) ;
- ⇒ L'UWB dont les bandes de fréquences allant jusqu'au  $GHz$  est plus adaptée à l'augmentation du débit ;
- ⇒ La figure (2) montre la variation de la capacité du canal en fonction de la bande passante et en fonction du rapport signal sur bruit.

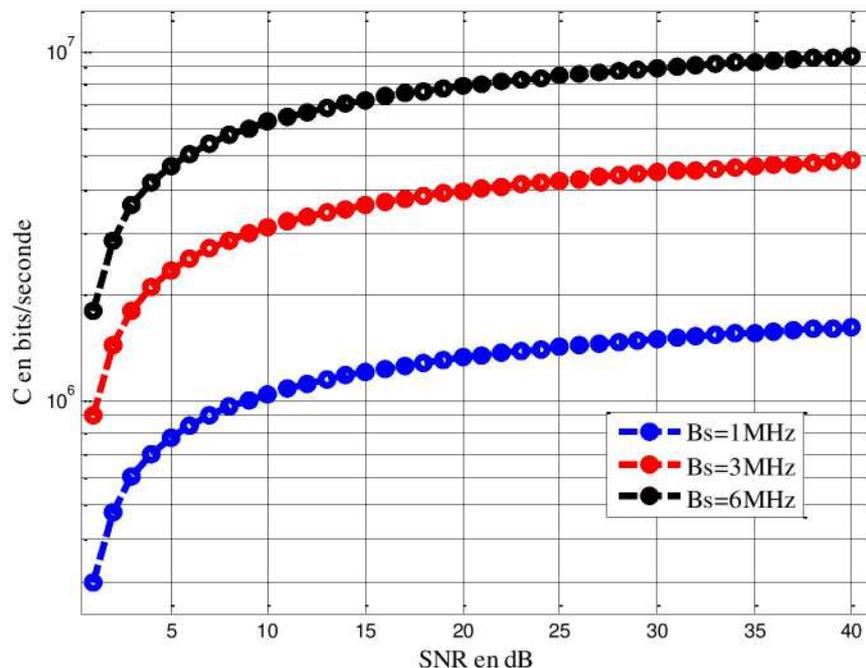


Figure.2. Capacité du canal en fonction de la bande passante et en fonction du rapport signal sur bruit.

- ⇒ Il est donc clair que l'élargissement de la bande est plus efficace que l'accroissement du rapport signal-à-bruit ;
- ⇒ Pour résumer, le sigle UWB caractérise des signaux qui satisfont l'un des critères suivants :

- Largeur de bande à -10 dB > 20% de la fréquence centrale ;
  - Largeur de bande à -10 dB > 500 MHz.
- ⇒ C'est une définition relativement large, il existe différentes technologies qui peuvent prétendre rentrer dans cette catégorie. On peut citer principalement :
- ✓ L'étalement de spectre par séquence directe (DS-SS) qui permet, si le débit du code d'étalement est suffisamment grand, d'obtenir un signal UWB ;
  - ✓ Les modulations sur des rampes de fréquence (Chirp modulation) ;
  - ✓ Le multiplexage OFDM suffisamment large ;
  - ✓ Les signaux Pseudo-chaotiques variants assez rapidement ;
  - ✓ La modulation FM avec une très forte excursion en fréquence ;
  - ✓ L'Impulse Radio (IR), ou radio impulsionnelle : technologie dont le principe consiste à émettre directement en bande de base, des impulsions très courtes avec un faible rapport cyclique. Du fait de leur brièveté, ces impulsions sont intrinsèquement large bande.
- ⇒ La dernière solution semble potentiellement la plus intéressante ;

### **Masque d'émission UWB de la FCC**

- ⇒ La FCC a publié, le 14 avril 2002, une position autorisant les systèmes UWB et fixant leurs limites en bande et en puissance ;
- ⇒ Dans un premier temps, la FCC a fixé les limites de bande et de puissance nécessaires pour protéger les services jugés critiques avec lesquels il était impossible de prendre le moindre risque ;
- ⇒ La FCC a ensuite fixé une limite de puissance supérieure à ce que les utilisateurs en place estimaient nécessaire à la protection de leur service ;
- ⇒ La FCC a justifié ce choix par le besoin de permettre à une technologie prometteuse (واعدة) de faire ses preuves ;
- ⇒ Par conséquent, officiellement, tout signal dont la bande passante à  $-10\text{ dB}$  excède à tout moment  $500\text{ MHz}$  ou 20% de sa fréquence centrale, est considéré comme UWB ;
- ⇒ La FCC est favorable à un fonctionnement sur une base sans licence pour les systèmes UWB basse puissance ;
- ⇒ Néanmoins, elle n'a pas autorisé (même avec une politique de licence) la transmission avec de fortes puissances ;
- ⇒ Les gabarits de puissance varient suivant les applications ;
- ⇒ Les limites imposées pour des applications "communications" ainsi que les principaux usages "grand public" du spectre sont résumés dans la figure (3).

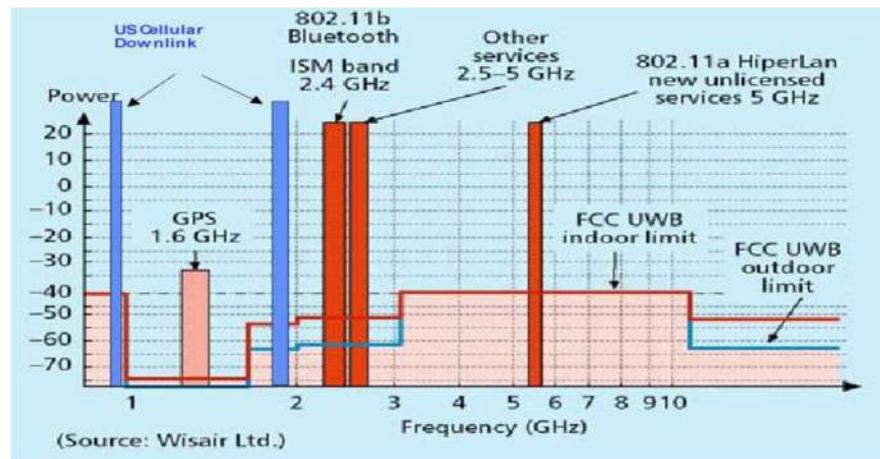


Figure.3. Masque d'émission UWB de la FCC

⇒ A partir de cette figure, on montre dans le tableau (1) le gabarit de puissance pour le cas de la communication indoor.

Tableau.1. Gabarit de puissance pour les communications Indoor

Bande (MHz)	EIRP (dBm)
- de 960 MHz	définie par article 15.209
960-1610	-75.3
1610-1990	-53.3
1990-3100	-51.3
3100-10600	-41.3
+ de 10600	-51.3

⇒ Pour un système portable, donc pouvant être utilisé aussi en extérieur, les limites sont plus sévères afin de pallier la disparition de l'atténuation causée par les bâtiments. Ces limitations sont données dans le tableau (2).

Tableau.2. Gabarit de puissance pour les communications Outdoor

Bande (MHz)	EIRP (dBm)
- de 960 MHz	définie par article 15.209
960-1610	-75.3
1610-1990	-63.3
1990-3100	-61.3
3100-10600	-41.3
+ de 10600	-61.3

### Caractéristique de la transmission UWB

⇒ Les principales caractéristiques du signal UWB peuvent être ainsi brièvement résumées :

- C'est un signal très large bande (de 1 GHz à quelques GHz),
  - Il est très robuste aux interférences ;
  - C'est un signal à très faible DSP (limite fixée par la FCC :  $-41.3 \text{ dBm/MHz}$ ) ;
  - Il permet de créer des systèmes à très basse consommation, et utilisant des bandes déjà utilisées par des systèmes à bande étroite sans gêne réciproque. Ceci est dû à l'absence d'émission permanente d'une fréquence porteuse. Cette "empreinte spectrale" réduite est intéressante pour la diminution de la pollution électromagnétique ;
  - Un signal UWB (à spectre étalé) peut être, si le code pseudo-aléatoire est suffisamment long, très proche d'un bruit blanc. Cela facilite donc le partage de la bande avec des systèmes bande étroite ;
  - Les signaux UWB sont plus difficiles à détecter en comparaison avec les signaux de radiocommunications classiques. Ceci est dû au fait qu'ils utilisent une grande largeur de bande et peuvent être produits sous forme de bruit (DSP très faible) ;
  - Les signaux UWB sont quasiment indétectables parce qu'ils peuvent être transmis avec un niveau de densité spectrale de puissance bien inférieure au bruit de fond des récepteurs classiques. Cette caractéristique, particulière à l'UWB, permet à cette dernière de coexister avec les systèmes de communications classiques (Figure 4).
- ⇒ La figure 4 résume les systèmes radio présents dans les bandes UHF et SHF.

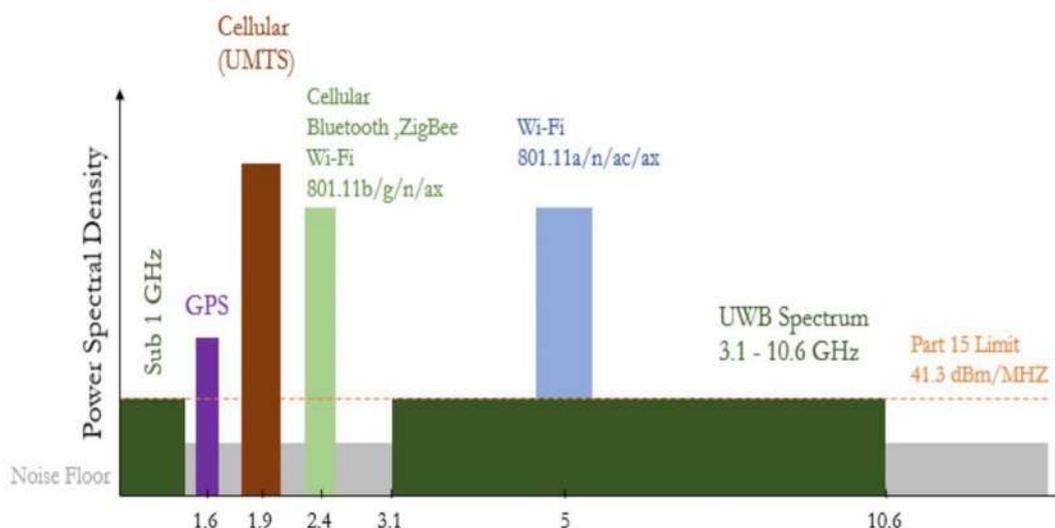


Figure.4. Systèmes radio présents dans les bandes UHF et SHF

- ⇒ Le tableau (3) donne une comparaison entre l'UWB et quelques systèmes de communications classiques.

Tableau.3. Comparaison entre l'UWB et quelques systèmes de communications classiques

Système	Puissance d'émission en W	Bande passante en Hz	DSP [W/MHZ]	Classification
Radio	$50 \times 10^3$	$75 \times 10^3$	666.600	Bande étroite
TV	$100 \times 10^3$	$6 \times 10^6$	16.1700	Bande étroite
GSM-900	320	$200 \times 10^3$	1.600	Bande étroite
GSM-1800	20	$200 \times 10^3$	100	Bande étroite
WCDMA	20	$5 \times 10^6$	4	Large bande
WLAN	1	$20 \times 10^6$	0.05	Large bande
UWB	$1 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^9$	0.013	Ultra large bande

## Avantages de la technologie UWB

### Bonne résistance aux Multitrajets :

- ⇒ Par l'utilisation des signaux UWB, on peut réduire le problème des Multitrajets;
- ⇒ Par l'utilisation des signaux UWB, on peut augmenter la capacité du canal ;

### Camouflage de l'information :

- ⇒ L'interception des signaux UWB est très délicate ;
- ⇒ Le décodage des signaux UWB est difficile si les clés sont inconnues ;

### Bonne résistance aux brouilleurs du même type :

- ⇒ Les signaux UWB présente une faible intercorrélacion entre les signaux utilisant des clés différentes ;
- ⇒ Facile séparation d'un empilement de signaux étalés.

## Applications de l'UWB

- ⇒ La Figure (5) présente le positionnement de l'UWB par rapport aux principaux standards des réseaux WLAN/WPAN en termes de débit et de portée maximale ;

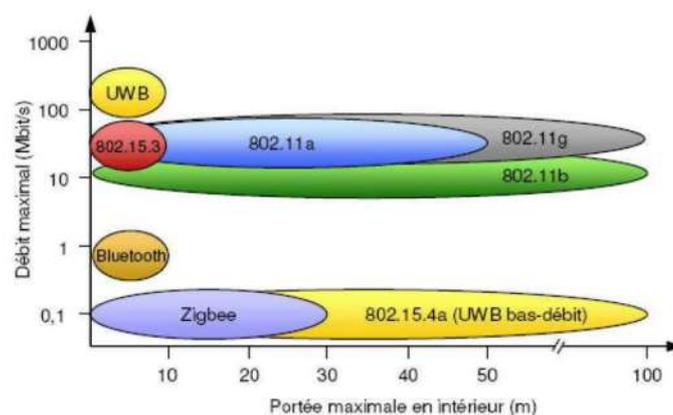


Figure.5. Position de l'UWB par rapport aux principaux standards WLAN | WPAN.

- ⇒ On remarque, d'après cette figure, que contrairement aux normes Wifi, l'UWB haut débit se place dans le créneau des réseaux courte portée WPAN ;
- ⇒ Son débit potentiel dépasse cependant les performances de plusieurs normes WLAN et WPAN.
- ⇒ Les applications potentielles de la technologie radio UWB concernent donc deux techniques : les systèmes très haut débit courte portée (typiquement 200 Mbit/s jusqu'à 10 m), et les systèmes bas débit longue portée (typiquement 200 kbit/s à 100 m) ;
- ⇒ Ces deux modes d'utilisation du spectre radio UWB permettent un certain nombre d'applications typiques pour les systèmes UWB. Ces dernières sont données comme suit :
  - 1) L'augmentation du débit par la technologie UWB dans les réseaux WPAN permet l'amélioration des réseaux Wifi et l'accès par conséquent au réseau Internet sans fil ;
  - 2) Les applications de l'UWB permettent d'améliorer les performances dans le domaine domestique (Qui se rapporte à la maison). Ici, un nombre important d'appareils capables de communiquer à une distance de plusieurs dizaines de mètres, sont déployés dans un environnement de bureau ou résidentiel. Les applications domestiques potentielles incluent la détection d'intrusion (تعدي على ممتلكات الغير), ou l'accueil électronique (détection du propriétaire et lancement de services comme le déverrouillage des portes) ;
  - 3) Communication bas débit / "longue" portée ;
  - 4) Réseau sans License, Réseau « ad-hoc » ;
  - 5) Communication militaire, non détectable, localisation indoor ou outdoor ;
  - 6) En extérieur, l'UWB est envisagé pour des applications de communication en mode point à point. Un exemple d'utilisation est l'échange de données entre plusieurs assistants personnels ;
  - 7) Enfin, des applications de l'UWB sont prévues dans le milieu industriel. En exploitant les possibilités de localisation à longue distance combinées au transfert d'information, des réseaux de capteurs pourront être déployés dans les chaînes de production ou les hangars de stockage, pour procéder au suivi et à la gestion automatique des opérations. Ce type d'applications est adapté au mode de communication bas débit longue portée de l'UWB.

## Quelques domaines d'application

Certains domaines d'application de la technologie UWB, fonctionnant dans différentes parties du spectre radiofréquences, comprennent (Voir la figure (6)) :

- GéoRadar - Un radar à pénétration de sol GPR (pour Ground Penetrating Radar en anglais);

- Systèmes de surveillance et de sécurité de l'imagerie ;
- Applications de l'imagerie médicale ;
- RFID (Radio Frequency Identification en anglais) de précision ;
- Réseau de zone personnelle ;
- Liaisons de données à grande vitesse à courte portée pour connecter des équipements grand public tels que caméras et ordinateurs.

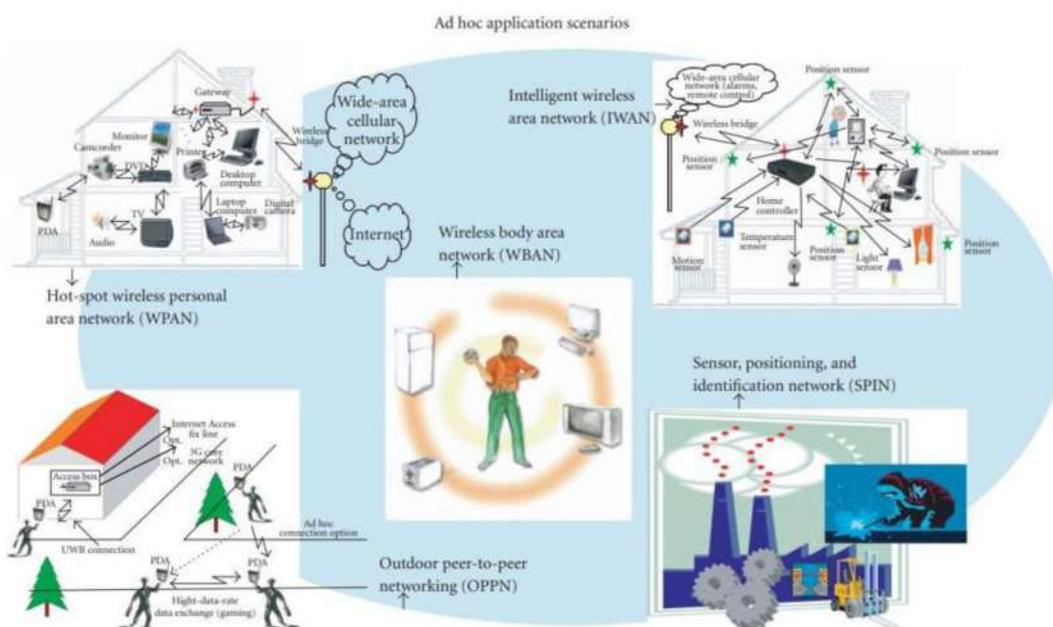


Figure.6. Domaines d'application de la technique UWB.

### Normalisation à l'IEEE 802.15.3a

- ⇒ Le groupe de travail TG (pour Task Group en anglais) IEEE 802.15.3a cherche à définir une couche physique pour les réseaux sans fil WPAN à haut débit ;
- ⇒ L'objectif est d'atteindre des débits supérieurs à 100 Mbit/s avec des systèmes faibles en coût et très robustes ;
- ⇒ L'UWB paraissait très adaptée pour répondre à ces contraintes ;
- ⇒ Un certain nombre d'industriels (Philips, Intel, Texas Instrument, Motorola, ST) ont répondu présents à cette technologie avec des approches assez différentes ;
- ⇒ Les anciens des Télécommunications et réseaux ont une approche impulsionnelle, avec ou sans utilisation d'une fréquence porteuse ;
- ⇒ Les nouveaux arrivants ont suivi une approche de système radio capable de se placer sous la nouvelle réglementation FCC pour les systèmes UWB afin de profiter du spectre nouvellement ouvert.

## Techniques de Multiplexage proposées pour l'UWB

- ⇒ Un multiplexage OFDM, de 528 MHz de bande, proposée par Texas Instrument ;
- ⇒ 14 Bandes de 500 MHz chacune, sur lesquelles est placée alternativement une impulsion de 4 ns modulée en QPSK ;
- ⇒ Dans les deux cas précédents, l'approche impulsionnelle a disparu ;
- ⇒ Un multiplexage OFDM avec du saut de fréquence sur 4 à 7 bandes de 528 MHz chacune proposée par un 1<sup>er</sup> consortium (التحالف), dénommé MBOA (MultiBand OFDM Alliance), animé par Intel ;
- ⇒ Un multiplexage UWB-DS-CDMA proposé par un 2<sup>ème</sup> consortium, dénommé MBOA (MultiBand OFDM Alliance), dirigé par Motorola. Il s'agit de l'étalement de spectre à séquence directe avec un débit chip très élevé ;
- ⇒ Les travaux consacrés à l'UWB à très haut débit consistent maintenant à essayer d'adapter des technologies "large bande" déjà connue (DS-CDMA et OFDM) à l'obligation légale d'occuper plus de 500 MHz de bande pour avoir accès au régime réglementaire des systèmes UWB.

## Types de Communications UWB

### ***UWB à impulsions (IR-UWB)***

Dans ce type de communications, nous avons ce qui suit :

- ✓ Absence de porteuse ;
- ✓ Communications par séries d'impulsions.

Les signaux UWB sont très limités en puissance, donc une réduction de la puissance transmise dégrade considérablement les performances. Idéalement, l'impulsion devrait être conçue pour respecter et exploiter efficacement le masque de fréquence FCC. À cette fin, le signal à transmettre est donné par :

$$s(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} A_i(t) \cdot p(t - i \cdot T_f). \quad (4)$$

Un exemple de cette forme d'onde, accompagné de son spectre, est montré dans la figure (7).

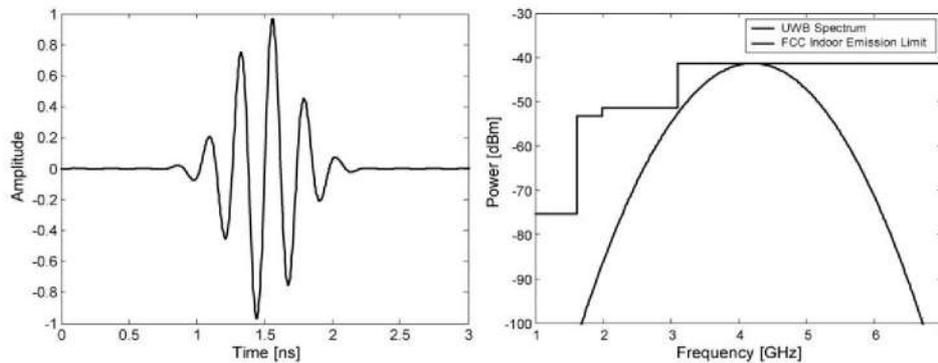


Figure.7. Exemple du signal I-UWB et son spectre

### **UWB Multiporteuses (MC-UWB)**

Dans ce type de communications, nous avons ce qui suit :

- ⇒ Utilisation de la modulation OFDM. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 1, l'OFDM est un cas particulier de transmission multiporteuses qui permet aux sous-porteuses de se chevaucher en fréquence sans interférences mutuelles et donc d'augmenter l'efficacité spectrale ;
- ⇒ Plusieurs utilisateurs peuvent être pris en charge en attribuant à chaque utilisateur un groupe de sous-porteuses ;
- ⇒ L'OFDM-UWB est un nouveau système proposé comme couche physique pour les réseaux de communication à haut débit et à courte portée ;
- ⇒ Contrairement à l'OFDM à bande étroite, le spectre OFDM-UWB peut présenter des écarts entre les sous-porteuses.

Pour ce type de communication, le signal à transmettre est donné par :

$$s(t) = \sum_{i=1}^N d_i(t) \cdot e^{j2\pi \frac{T}{T_s}} \quad (5)$$

Un exemple du spectre du signal MC-UWB est montré dans la figure (8).

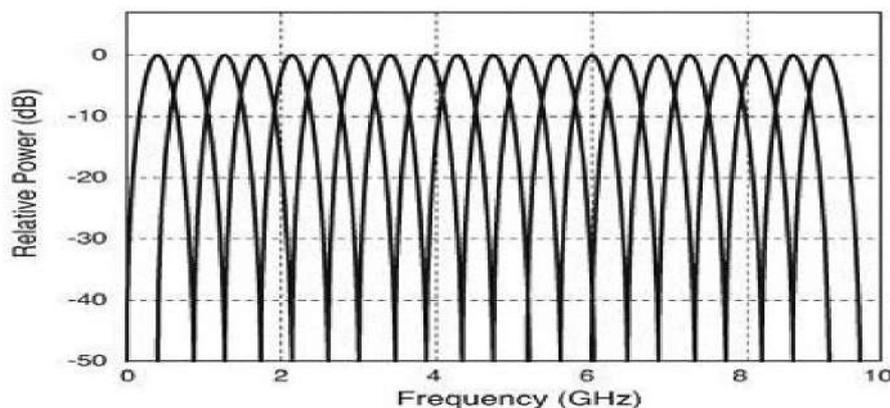


Figure.8. Spectre du signal MP-UWB

## Caractéristiques du signal IR-UWB

- ⇒ Les impulsions utilisées en IR-UWB sont très courtes en bande de base à très faible rapport cyclique (Le rapport cyclique est le rapport entre la durée pendant laquelle une charge ou un circuit est sous tension (ON) et la durée pendant laquelle il ou elle est hors tension (OFF)) ;
- ⇒ Le signal IR-UWB a une très large bande. Il est donc à grande diversité fréquentielle → Robuste aux interférences (La diversité consiste à recevoir plusieurs répliques du signal émis affectés par des évanouissements indépendants. L'ordre de diversité est égal au nombre de voies indépendantes à la réception) ;
- ⇒ Le signal IR-UWB a une très faible DSP. Il permet donc de concevoir des systèmes à faible consommation d'énergie ;
- ⇒ Le signal IR-UWB présente des sauts temporels pseudo-aléatoires : si le code est long le signal est proche du bruit blanc ;
- ⇒ Le signal IR-UWB présente une très forte résolution temporelle : cette caractéristique peut permettre la séparation des différents signaux. Elle permet aussi une localisation précise.

## Schémas de modulation

- ⇒ Pour les impulsions UWB, les informations peuvent être codées à l'aide de la modulation des impulsions en position (modulation PPM binaire ou M-aire), de la PAM (modulation PAM binaire ou M-aire), de la modulation de phase binaire de la polarité des impulsions (modulation BPM), de la modulation au moyen d'un doublet constitué d'une impulsion positive suivie d'une impulsion négative ou vice versa, et de la modulation par tout ou rien (OOK). Par ailleurs, il est possible de recourir à des combinaisons de ces modulations.

### **Modulation en tout ou rien**

- ⇒ La modulation On-Off Keying (OOK), aussi connue sous le nom de modulation unipolaire, est une technique simple de modulation impulsionnelle d'amplitude dans laquelle la transmission d'une impulsion correspond à la transmission d'un « 1 » logique tandis que le « 0 » logique est codé par une absence d'impulsion comme l'illustre la Figure (9).

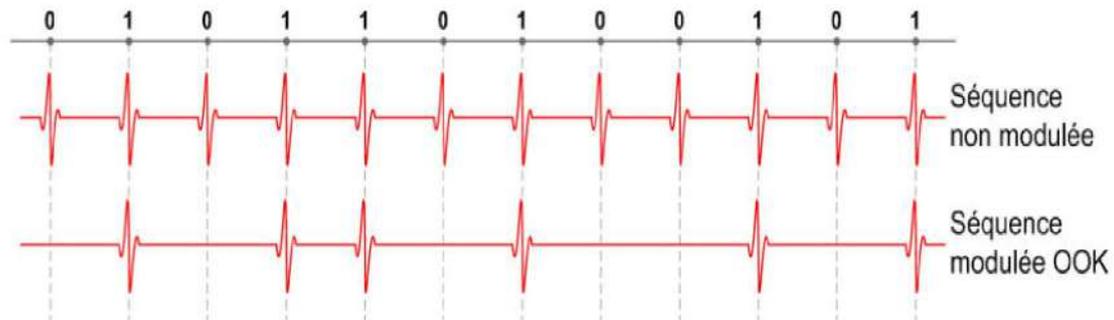


Figure.9. Modulation OOK-UWB

Cette modulation présente les caractéristiques suivantes :

- Évite la périodicité si la séquence est non périodique ;
- Mise en œuvre simple à l'émission et à la réception ;
- Possibilité d'impulsions deux fois plus puissantes qu'en PPM si équi-répartition des symboles ;

### **Modulation par la position de l'impulsion**

⇒ La PPM est une modulation dans laquelle l'information est codée par la position temporelle de l'impulsion et non pas par son amplitude. Dès lors, toutes les impulsions transmises sont identiques comme l'illustre la Figure (10).

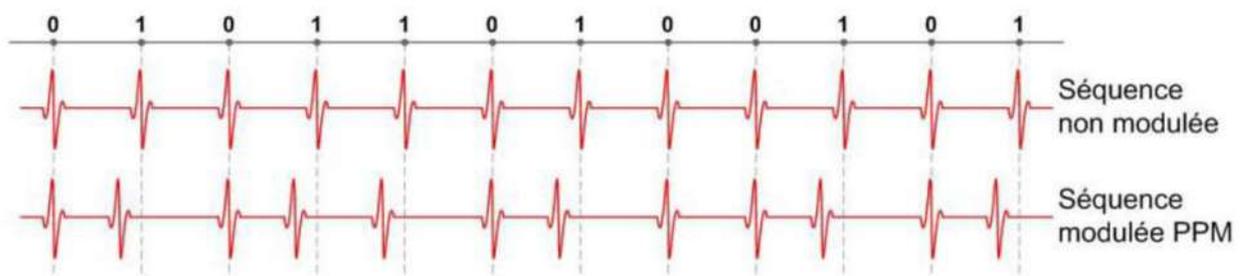


Figure.10. Modulation PPM-UWB

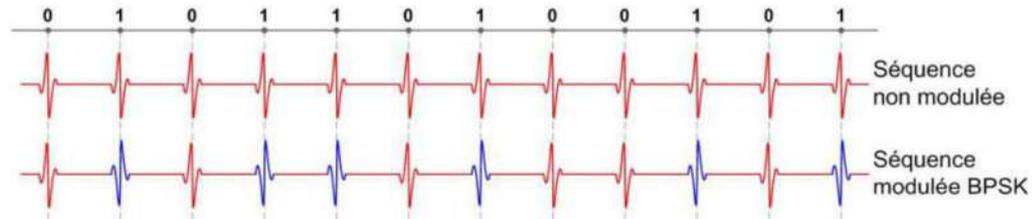
Cette modulation présente les caractéristiques suivantes :

- Pas de périodicité du train d'impulsions ;
- Possibilité de symboles à grand nombre d'états ;
- Mise en œuvre simple à l'émission par contrôle de l'instant d'impulsion.

### **Modulation à deux états de phase**

⇒ La modulation BPSK est un autre cas particulier de la PAM. Son principe repose sur l'utilisation de l'information de phase – le signe – pour coder l'impulsion comme l'illustre la Figure (11). Comparée à une modulation OOK, cette modulation est plus efficace d'un point de vue énergétique car l'écart d'énergie entre deux symboles est maximisé ;

⇒ La DSP d'un signal modulé en BPSK ne possède pas de composante discrète car le signal transmis est de moyenne nulle ce qui permet de



maximiser la DSP à l'inverse d'une modulation OOK.

Figure.11. Modulation BPSK-UWB

Cette modulation présente les caractéristiques suivantes :

- Requiert un SNR inférieur de 3dB à celui d'une modulation PPM ;
- Synchronisation simple ;
- Alternance d'impulsions et d'impulsions inversées supprime les raies spectrales dues à la périodicité du signal.

### Probabilité d'erreur pour les différents types de modulation

⇒ Les probabilités d'erreur de ces types de modulation sont données comme suit :

PPM	PAM	OOK
Non-cohérent	Cohérent	Non-cohérent
Non-orthogonal (fct. de $\delta$ )	Linéaire	Orthogonal (dégénéré)
$P_{e\perp} = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$	$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$	$P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$

### Formes de l'impulsion

⇒ La technique de transmission pulsée est basée sur la transmission d'impulsions courtes occupant tout ou une partie du spectre ultra large bande. L'information des données numériques est codée soit dans la forme de l'impulsion (amplitude, phase ...), soit par la position de l'impulsion dans un repère temporel (modulation de position) soit par des séquences aléatoires d'impulsions qui codent les différentes données numériques (étalement par séquence directe) ;

- ⇒ Plusieurs types d'impulsions ultra brève sont utilisés dans les systèmes de transmission IR-UWB. Dans ce qui suit, les impulsions gaussienne, monocycle et dérivées seront présentées.

### **Gaussienne, monocycle et dérivées**

- ⇒ Les impulsions UWB les plus répandues sont représentés sur la figure (12a) et leurs densités spectrales de puissance sont représentées sur la figure (12b). Ces impulsions sont modélisables sous forme de dérivées de différents ordres d'une impulsion gaussienne ;
- ⇒ Dans la figure (12a), la courbe bleue continue représente la gaussienne, la courbe verte discontinue le monocycle gaussien, appelé aussi dérivée première de la gaussienne, le rouge discontinue est la dérivée seconde de la gaussienne et finalement le cyan continu représente la dérivée 3 de la gaussienne ;
- ⇒ Comme le montre la figure (12b), Ces impulsions se caractérisent par des spectres très larges délimités de quelques *MHz* à quelques dizaines de *GHz*.

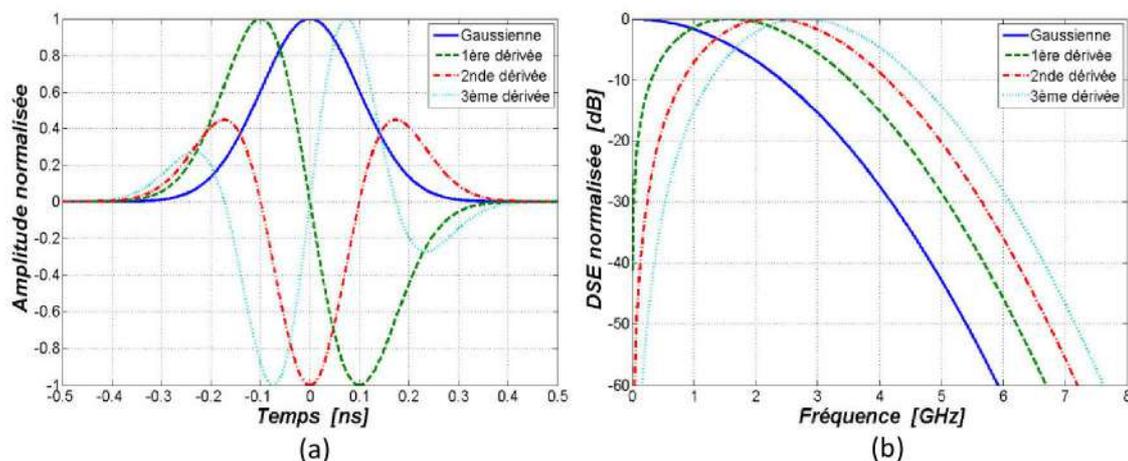


Figure.12. Les impulsions, gaussienne et ses dérivées (a) Domaine temporel, (b) Domaine fréquentiel

- ⇒ Pour une même largeur temporelle, nous pouvons constater que la fréquence centrale du spectre augmente avec l'ordre de dérivation de l'impulsion ;
- ⇒ Les modèles mathématiques de trois impulsions sont donnés comme suit :

$$y_{\text{Gaussienne}}(t) = a \cdot \exp\left(-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right) \quad (5)$$

$$y_{\text{Monocycle}}(t) = \frac{2at}{\tau^2} \cdot \exp\left(-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right) \quad (6)$$

$$y_{\text{Dérivée seconde}}(t) = \frac{2a}{\tau^4} (2t^2 - \tau^2) \cdot \exp\left(-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right) \quad (7)$$

- ⇒ Avec  $a$  est une constante de normalisation de l'impulsion en volts,  $t$  la variable temporelle et  $\tau$  une constante permettant d'ajuster la largeur de l'impulsion en secondes.

### Impulsions en polynômes d'Hermite modifiés

- ⇒ Ces impulsions sont basées sur les polynômes d'Hermite ;
- ⇒ Contrairement aux polynômes d'Hermite, les impulsions en polynômes d'Hermite modifiés sont orthogonales mutuellement pour tous les ordres  $n$  ;
- ⇒ Elles sont données par :

$$h_n(t) = (-1)^n \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{4}\right) \cdot \frac{d^n}{dt^n} \left(-\frac{t^2}{2}\right), \text{ avec } n \in \mathbb{N}.$$

- ⇒ Cette impulsion est caractérisée par la durée de l'impulsion qui est quasi-identique  $\forall n$ .
- ⇒ La largeur de bande dans le domaine spectral est aussi quasi-identique  $\forall n$ .
- ⇒ L'impulsion possède une composante continue dans le domaine spectral ;
- ⇒ Dans le domaine spectral, le nombre de passage à zéro est égal à  $n$ .

### Gaussienne modulant une sinusoïde

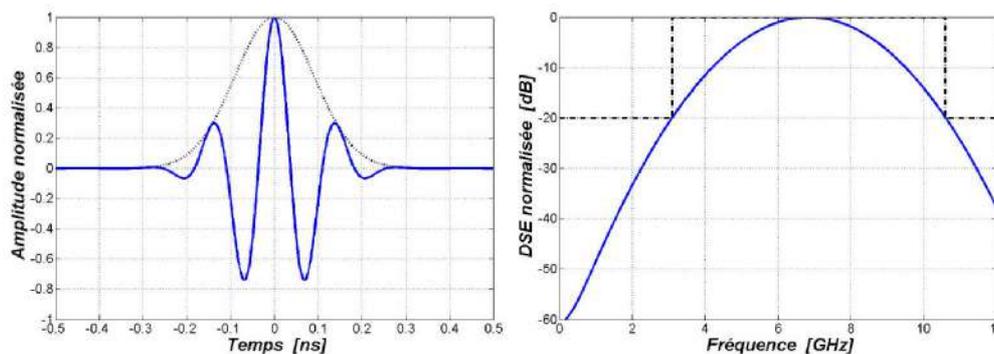


Figure.13. Exemple 1 d'une Gaussienne modulant une sinusoïde et sa DSP.

- ⇒ Le modèle mathématique de cette impulsion est donné comme suit :

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot F_c \cdot t) \cdot \exp(-\alpha \cdot t^2)$$

#### • Exemple pour le masque FCC

- ⇒ A l'inverse de l'impulsion gaussienne prise seule, une impulsion gaussienne transposée en fréquence permet de paramétrer de façon indépendante la position de l'impulsion d'un point de vue spectral par  $f_0$  ainsi que sa largeur de bande par  $\tau$ . Comme l'illustre la Figure (13), il est dès lors possible d'optimiser les paramètres de l'impulsion afin d'occuper

de façon optimale un gabarit fréquentiel donné comme un de ceux de la FCC.

## Architecture Emetteur/Récepteur de l'UWB

⇒ Comme le montre la figure (14), l'émetteur UWB est constitué d'un générateur d'impulsions UWB utilisées pour moduler le signal informatif.

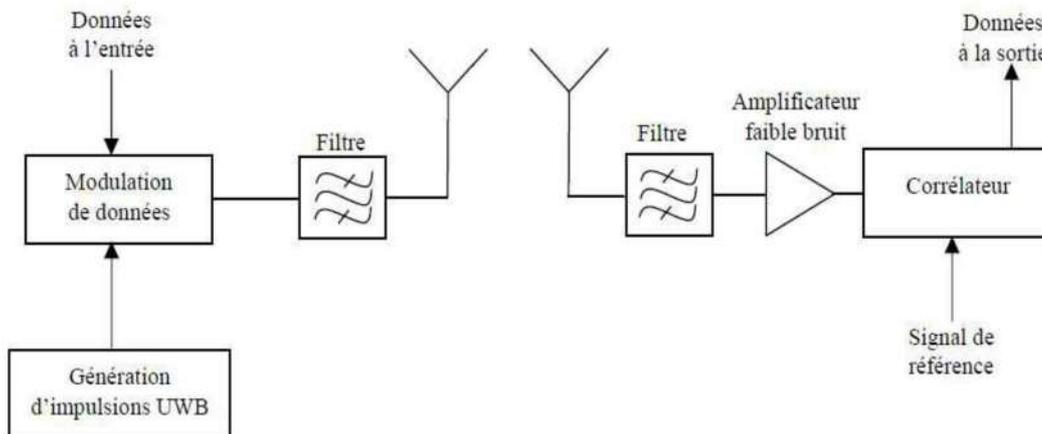


Figure.14. Emetteur/Récepteur UWB.

- ⇒ Pour le récepteur, même s'il existe une grande variété d'architectures, il est possible de les classer en deux grandes familles qui sont la famille des récepteurs cohérents et celle des récepteurs non-cohérents ;
- ⇒ La Figure (15) illustre le principe de fonctionnement des récepteurs de ces deux familles.

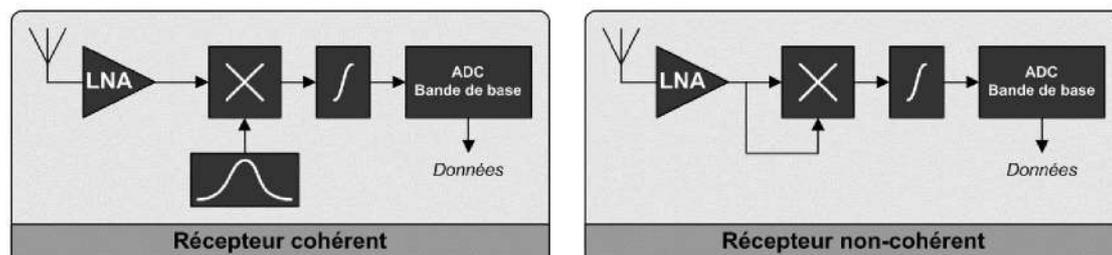


Figure.15. Récepteurs cohérents et non-cohérents

## Techniques d'accès multiples utilisées dans l'UWB

- ⇒ L'UWB impulsionnelle permet la mise en œuvre de techniques d'accès multiples afin d'augmenter la robustesse du lien de communication et permettre ainsi l'accès à un même médium pour plusieurs utilisateurs ;
- ⇒ Les techniques de Time-Hopping (TH) (Figure 16) et de Direct Sequence (DS) (Figure 17) sont les deux techniques les plus couramment utilisées dans l'UWB.

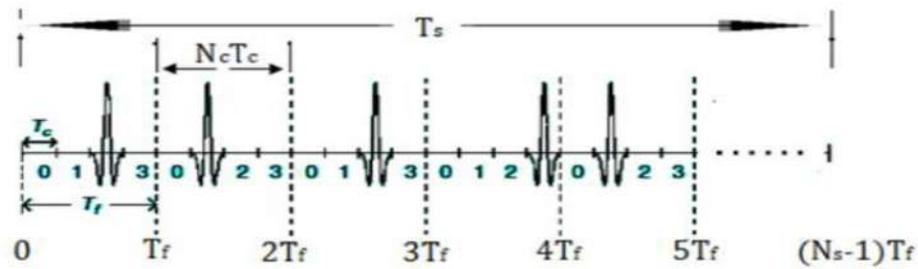


Figure.16. Technique TH utilisée dans l'UWB

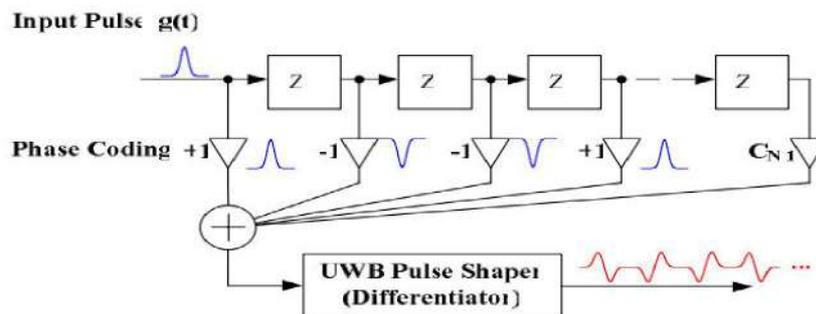


Figure.17. Technique DS utilisée dans l'UWB

## Technologie WBANS

- ⇒ La télésanté, omniprésente, est une technologie émergente qui promet d'augmenter l'efficacité, la précision et la disponibilité des traitements médicaux en raison des progrès récents de la communication sans fil et de l'électronique offrant de petits capteurs intelligents pouvant être utilisés sur, autour, dans ou implantés dans le corps humain ;
- ⇒ Dans ce contexte, les réseaux WBAN (Wireless Body Area Network en anglais ou réseau corporel sans fil en français) offrent un potentiel d'amélioration considérable dans le suivi des soins de santé.

## Principe du WBAN

- ⇒ Les WBAN consistent en un certain nombre d'éléments biologiques hétérogènes (capteurs) placés dans différentes parties du corps et peuvent être portables ou implantés sous la peau de l'utilisateur. Chacun d'eux a des exigences spécifiques et est utilisé pour différentes missions ;
- ⇒ Ces appareils sont utilisés pour mesurer les changements dans les signes vitaux d'un patient et détecter les émotions ou les états humains, tels que la peur, le stress, le bonheur, etc. Ils communiquent avec un nœud coordinateur spécial, qui est généralement moins contraint en énergie et a plus de capacité de traitement. Il est chargé d'envoyer les signaux

biologiques du patient au médecin afin de fournir un diagnostic médical en temps réel et lui permettre de prendre les bonnes décisions ;

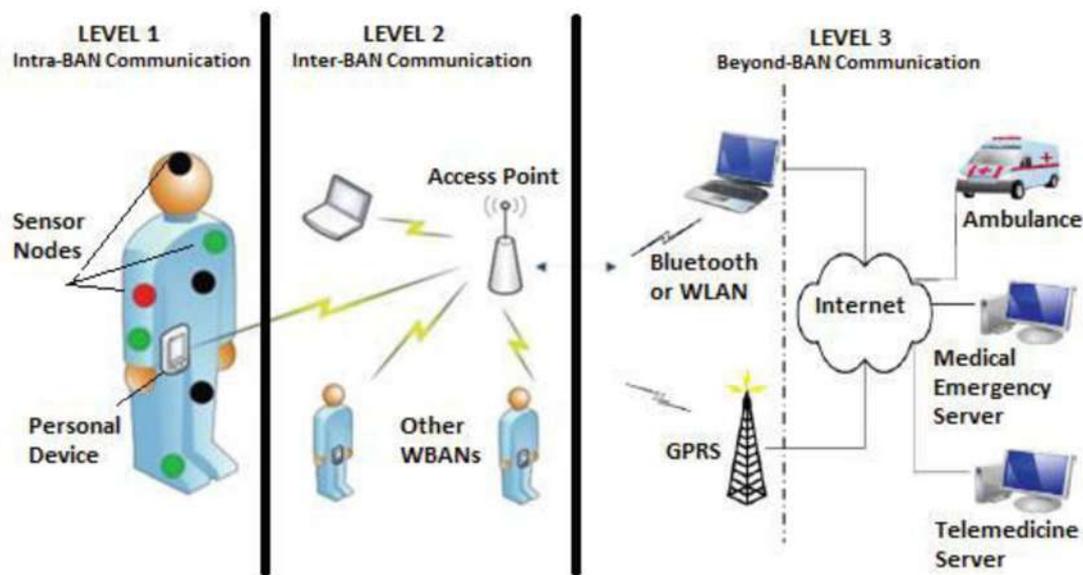


Figure.18. Architecture commune WBAN

- ⇒ Comme le montre la Figure (18), l'architecture commune WBAN se compose de communications à trois niveaux :
  - Communications intra-BAN,
  - Communications inter-BAN,
  - Communications au-delà de BAN.
- ⇒ Les communications intra-BAN désignent les communications entre les capteurs corporels sans fil et le nœud maître du WBAN ;
- ⇒ Les communications inter-BAN impliquent des communications entre le nœud maître et des appareils personnels tels que des ordinateurs portables, des robots de service à domicile, etc ;
- ⇒ Le niveau au-delà du BAN connecte l'appareil personnel à Internet. Les communications entre les différentes parties sont prises en charge par plusieurs technologies, telles que Bluetooth, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, conçues spécialement pour les applications WBAN tout en répondant à la majorité de leurs exigences.

### **Technologies sans fil proposées pour le WBAN**

- ⇒ Les principales technologies, proposées pour le WBAN, seront données dans ce qui suit.

### Technologie Bluetooth basse consommation pour le WBAN

- ⇒ Une option dérivée de la norme Bluetooth est le Bluetooth Low Energy (BLE), qui a été présenté comme un choix plus approprié pour les applications WBAN où une consommation d'énergie moindre est possible ;
- ⇒ Cette technologie a été conçue pour connecter sans fil de petits appareils à des terminaux mobiles ;



Figure.19. Bluetooth BLE VS Bluetooth Classique

- ⇒ Ces appareils sont souvent trop petits pour supporter la consommation d'énergie ainsi que les coûts associés à une liaison radio Bluetooth standard, mais sont des choix idéaux pour les applications de surveillance de la santé ;
- ⇒ La technologie BLE devrait fournir un débit de données allant jusqu'à 1 Mbps.

### Zigbee et 802.15.4 pour le WBAN

- ⇒ ZigBee est l'une des technologies de réseau sans fil qui est largement utilisée dans l'environnement à faible consommation d'énergie ;
- ⇒ ZigBee est destiné aux applications radiofréquence qui nécessitent un faible débit de données, une longue durée de vie de la batterie et un réseau sécurisé grâce à sa prise en charge de la sécurité permettant d'effectuer l'authentification et garantir l'intégrité et la confidentialité des messages ;
- ⇒ Grâce au mode veille, les appareils compatibles ZigBee sont capables d'être opérationnels pendant plusieurs années avant de devoir remplacer leurs batteries ;

- ⇒ Dans la norme IEEE 802.15.4 de Zigbee, l'accès au canal sans fil se fait par l'utilisation d'un mécanisme appelé CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) ;

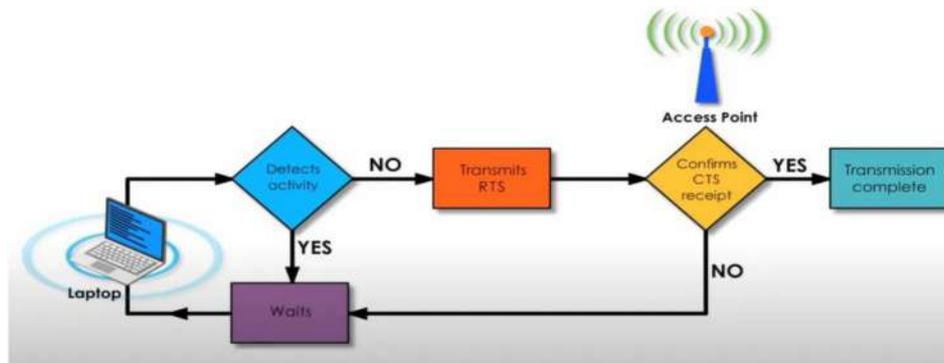


Figure.20. Mécanisme CSMA/CA

- ⇒ Les appareils sans fil basés sur ZigBee fonctionnent dans les bandes de fréquences 868 MHz, 915 MHz et 2,4 GHz.

#### Inconvénients du Zigbee

- ⇒ Un inconvénient important de Zigbee, pour les applications WBAN, est dû aux interférences avec la transmission du réseau WLAN, en particulier en 2,4 GHz où de nombreux systèmes sans fil fonctionnent ;
- ⇒ Un autre inconvénient de Zigbee est lié à son faible débit de données, ce qui le rend inapproprié pour les applications WBAN à grande échelle et en temps réel. En effet, du fait du faible débit, il est difficile de le mettre en œuvre en milieu hospitalier ou clinique (patients multiples) ; Mais, il est idéal pour un usage personnel (patient unique).

#### Avantages de Zigbee

- ⇒ L'un des plus grands avantages de Zigbee est son architecture de réseau maillé permettant la communication entre des centaines de nœuds sans avoir besoin d'être directement connectés ;
- ⇒ Un routage robuste, entre les nœuds connectés, permet au réseau de s'étendre sur une très grande zone. Les nœuds peuvent communiquer entre eux sans être à portée sans fil directe ;
- ⇒ Sa faible consommation d'énergie, son faible coût et sa facilité d'utilisation conviennent parfaitement aux applications à puissance limitée ;
- ⇒ Faciles à configurer à l'aide d'un jeu de commandes simple et direct ;
- ⇒ Zigbee utilise un cryptage avancé pour garantir une communication sécurisée entre les appareils.

- ⇒ Ces caractéristiques font de Zigbee une excellente option pour de nombreux types d'applications, notamment les systèmes de maison intelligente, les systèmes d'automatisation industrielle et les dispositifs médicaux ;
- ⇒ Les appareils Zigbee Green Power (L'énergie verte est un sous-ensemble des énergies renouvelables) offrent des capacités supplémentaires lorsqu'ils sont utilisés dans des solutions de récupération d'énergie.

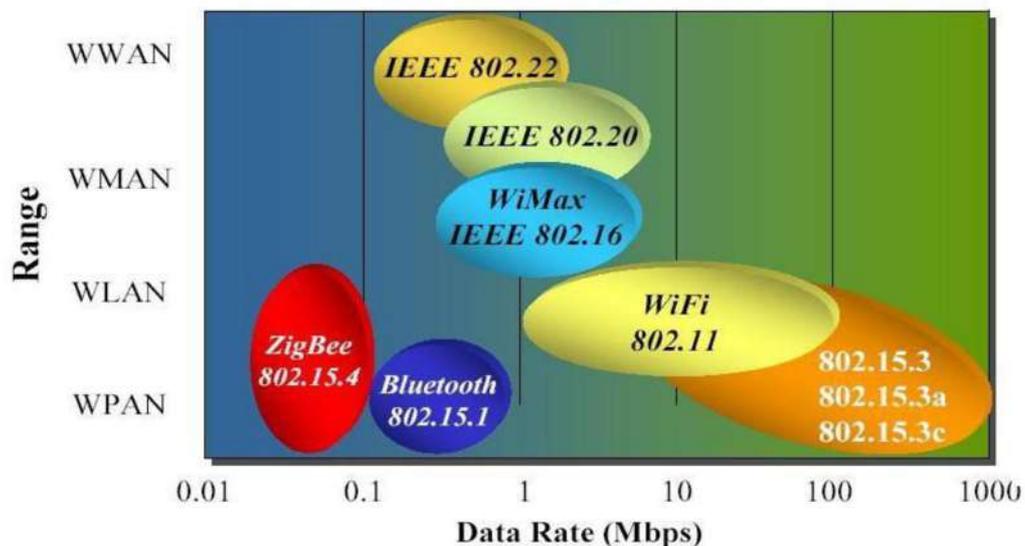


Figure.21. Emplacement du ZigBee par rapport aux autres normes.

### Réseau IEEE 802.11 pour le WBAN

- ⇒ C'est un ensemble de normes pour le réseau local sans fil (WLAN) ;
- ⇒ Basé sur les normes IEEE 802.11, le Wi-Fi permet aux utilisateurs de se connecter sur Internet à haut débit lorsqu'ils sont connectés à un point d'accès (AP) ou en mode ad-hoc ;

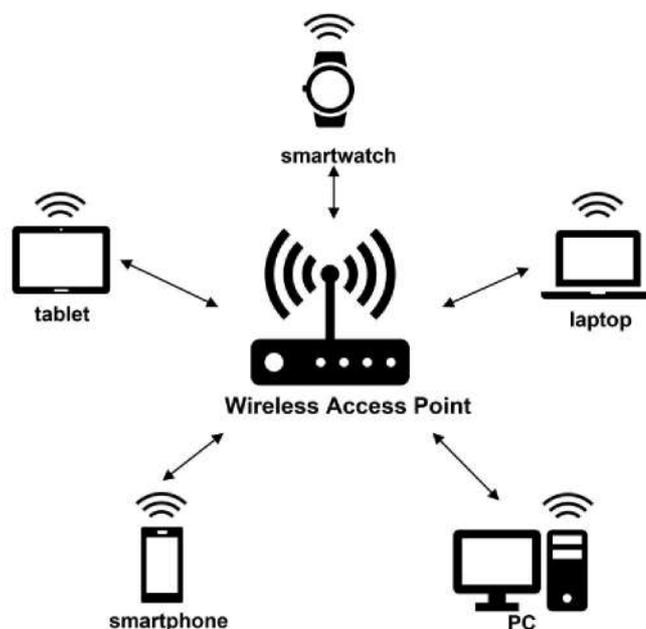


Figure.21. Réseau WLAN IEEE 802.11

- ⇒ Il est parfaitement adapté aux transferts de données volumineux en fournissant une connectivité sans fil à haut débit et en permettant la visioconférence, les appels vocaux et le streaming vidéo ;
- ⇒ Un avantage important est que tous les smartphones, tablettes et ordinateurs portables intègrent le Wi-Fi ; Cependant, la forte consommation d'énergie est un inconvénient important.

### Réseau IEEE 802.15.6 pour le WBAN

- ⇒ IEEE 802.15.6 est la première norme WBAN qui soutient diverses applications médicales et non médicales ;
- ⇒ Elle prend en charge les communications à l'intérieur et autour du corps humain ;
- ⇒ La norme IEEE 802.15.6 utilise différentes bandes de fréquences pour la transmission de données, notamment la bande étroite NB (pour narrow band en anglais) qui comprend les bandes 400, 800, 900 MHz et les bandes 2,3 et 2,4 GHz ;
- ⇒ Elle représente un pas en avant dans les réseaux de capteurs sans fil portables car elle est conçue spécifiquement pour une utilisation avec une large gamme de débits de données, une consommation d'énergie réduite et une faible portée ;
- ⇒ L'accès au canal est géré à l'aide de CSMA/CA ou d'une procédure d'accès Aloha à créneaux ;
- ⇒ Ce dernier offre une flexibilité dans les fonctionnalités de sécurité, car il définit trois schémas de sécurité ;

- ⇒ La norme IEEE 802.15.6 peut atteindre des débits de données allant jusqu'à 10 Mbps tout en étant extrêmement basse consommation.

### **UWB pour le WBAN**

- ⇒ La technologie UWB est utilisée pour les systèmes de communication à courte portée et fournit une bande passante élevée. Étant donné que la localisation des utilisateurs est particulièrement importante pour la localisation intérieure dans les résidences-services et les hôpitaux, UWB fournit la seule méthode de localisation fiable. Cependant, en raison de sa complexité, elle ne convient pas aux applications portables ;