

# **Du SS Direct Sequence Spread Spectrum à l'UWB**

<http://www.>

# Origines & Historique

- Dans l'univers de la transmission radio, l'idée de « consolider » une information élémentaire à transmettre par un mot (de code) pour qu'elle soit plus compréhensible n'est pas nouvelle.
- Dans le monde de l'aéronautique pour parler de « Master » nous dirons « Mike Alpha Sierra Tango Echo Roméo » (code aussi appelé alphabet international). Chaque mot de ce code étant plus facile à identifier que les lettres
- Mais dans le monde des transmissions sans fil, il faut faire face à deux contraintes :
  - La résistance aux brouillages intentionnels ou non
  - La « discrétion » et la résistance aux interceptions

# Origines & Historique (2)

- La technique de l'étalement dans le spectre date des années 1950 pour des applications militaires
- L'origine théorique est attribuée aux laboratoires Bell telephone en 1948
- Les applications civiles débutent par un projet de réseau radio autorisé par la FCC (Federal Communications Commission) en Mai 1990 à Houston, et Orlando, aux US
- Nous vivons une époque tout à fait similaire vis à vis de l'UWB qui est en attente des différentes autorisations....

# Les Besoins civils se rapprochent des besoins militaires (1)

- *“Spread-spectrum radio communications, long a favorite technology of the military because it resists jamming and is hard for an enemy to intercept, is now on the verge of potentially explosive commercial development..”*
- Pouvoir superposer une nouvelle solution à l'existant (quelque soit le lieu et l'usage local du médium) Cohabitation avec les signaux à bande étroite
- Minimiser la détectabilité (solution : en essayant de faire passer le signal comme un bruit de fond)
- Échapper à la surveillance des autorités

# Les Besoins civils se rapprochent des besoins militaires (2)

- Être protégé contre les interférences intentionnelles (brouillage ou jamming)

## Contraintes supplémentaires

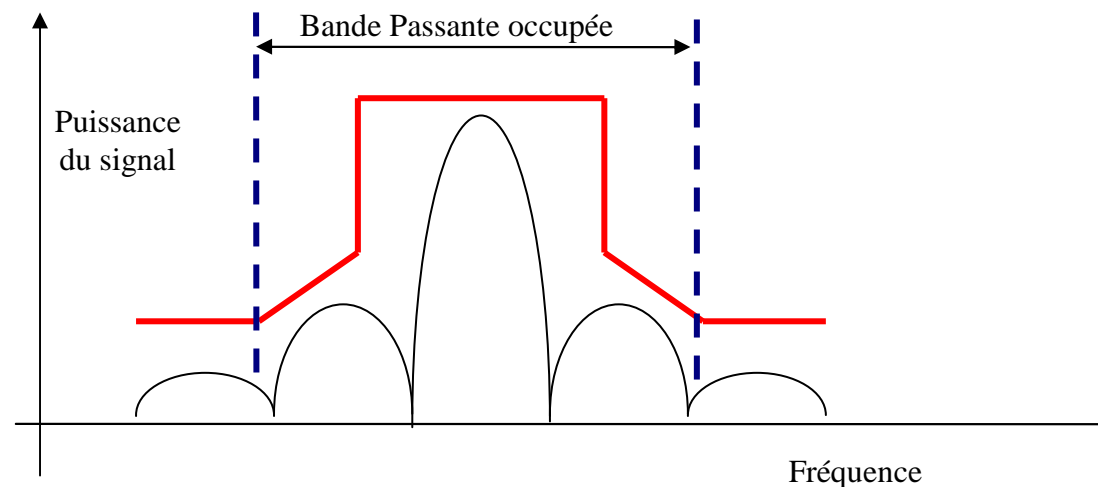
- Satisfaire aux normes d'allocation de bandes (taux d'occupation du médium, caractéristiques de la puissance rayonnée...)
- Réaliser un système qui permette de partager efficacement (voire équitablement pour une même classe de service) le médium par un nombre maximum d'utilisateurs
  - **Solution qui impacte de la modulation jusqu'à la méthode d'accès**

# L'étalement dans le Spectre par Séquencement Direct : Approche par les Complexes

- Les méthodes de modulation ou d'accès au médium traditionnelles reposent sur le fait qu'une transmission est confinée soit dans une bande de fréquence unique et plutôt étroite, soit dans une tranche de temps unique, précautionneusement isolée des canaux adjacents.
- La sélectivité du canal (en fréquence : effet Rayleigh ) la dispersion des délais, font que ces techniques ne sont pas adaptées au médium radio
- La mobilité oblige la solution à évoluer dynamiquement en fonction des conditions locales de propagation

# Rappels (1)

- Moduler une porteuse se traduit par une occupation d'une bande passante du canal composée d'un pic d'énergie pour la fréquence de la porteuse et des effets latéraux dus à la modulation.
- Le spectre en énergie permet d'identifier cette largeur de bande ainsi que les gardes à prévoir pour que ces canaux voisins n'interfèrent pas trop lors d'un partage de type AMRF par exemple



# Rappels (2)

- D'après les travaux de Shannon :

« Un signal de largeur de bande  $B$  peut être fidèlement représenté par ses échantillons au rythme de  $2B$  échantillons par seconde »

Dans une modulation traditionnelle on a  $B$  inférieur au égal à  $W$ .

Définition :

« L'étalement de spectre est un moyen de transmission pour lequel le signal occupe une bande passante beaucoup plus large que la largeur typiquement nécessaire pour un débit donné »

**Dans ce cas  $W \gg B$**

C'est la cas mécaniquement avec FH SS vu dans BT par exemple

Principe :

L'énergie du signal va être disséminée sur un spectre large.



# Approche par les complexes

Principes :

Une modulation est « modélisable » par une formule à base de fonctions trigonométriques

Une fonction trigonométrique peut être associée à une représentation dans le plan complexe.

Soit  $p(t) = \text{Re}(t) + j\text{Im}(t)$  la fonction complexe associée à la modulation considérée

Considérons une modulation duale dont la fonction complexe associée serait :

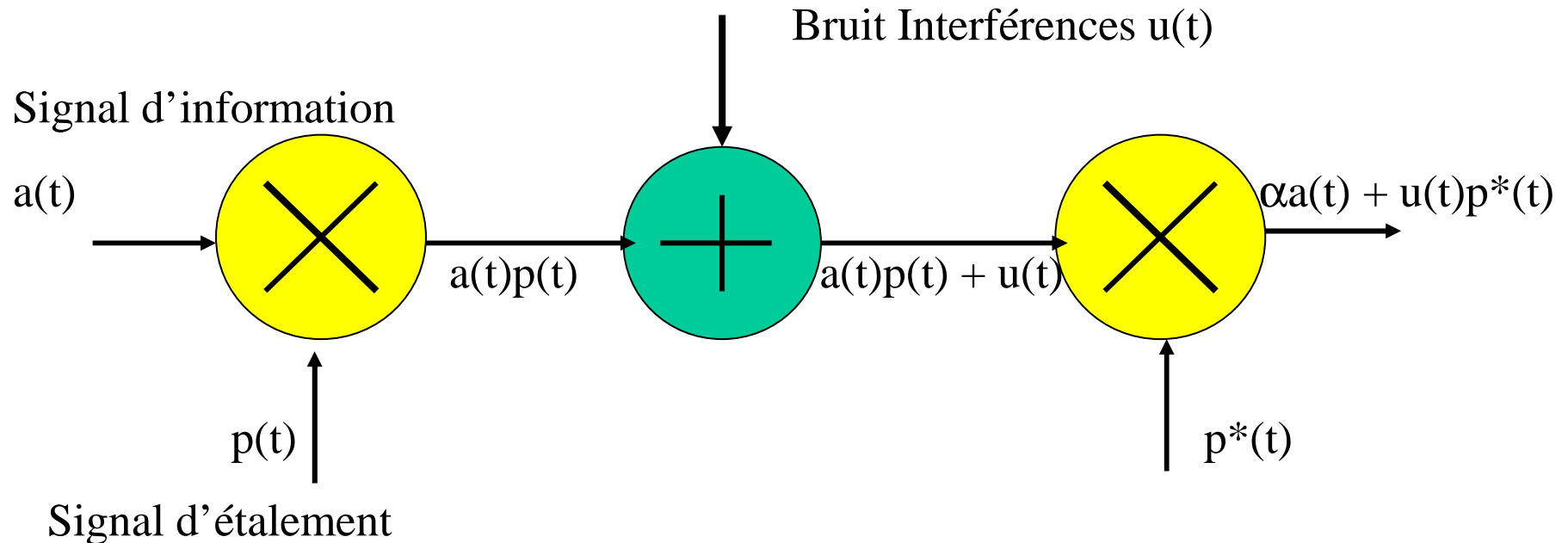
$$p^*(t) = \text{Re}(t) - j\text{Im}(t) \text{ tel que } p^*(t).p(t) = 1$$

Si de telles modulations existent et si je les applique successivement à un même signal  $S(t)$  elles se compenseront.

$$p^*(t).p(t) S(t) = S(t)$$

# Approche par les complexes

L'utilisation de ces deux méthodes de modulation successivement explique l'intérêt de l'étalement dans le spectre



Spread Spectrum Code

Code PN

MM MASTER

Version 10-11

10

# Approche par les complexes

Le signal d'information  $a(t)$  est multiplié par un signal  $p(t)$  appelé signal d'étalement de spectre, pseudo bruit,.... Ce dernier est indépendant de  $a(t)$  et la bande passante qui lui est nécessaire est bien supérieure à celle de  $a(t)$

Le résultat est  $x(t) = a(t) \times p(t)$

La bande passante de  $p(t)$  est grande devant celle de  $a(t)$  alors

$$BP(p(t)) = N \times BP(a(t)) \quad \text{et} \quad N \gg 1$$

En passant par les transformées de Fourier on en déduit que

$$BP(x(t)) \text{ sensiblement égale à } N \times BP(a(t))$$

$N$  est appelé le gain de traitement ou le Processing Gain

# Approche par les complexes

Le signal produit supporte les effets du bruit et les interférences provenant du canal (c'est une addition)

A l'extrémité de la chaîne le signal résultant est multiplié par le signal synchrone  $p^*(t)$  signal tels  $p(t) p^*(t) = 1$

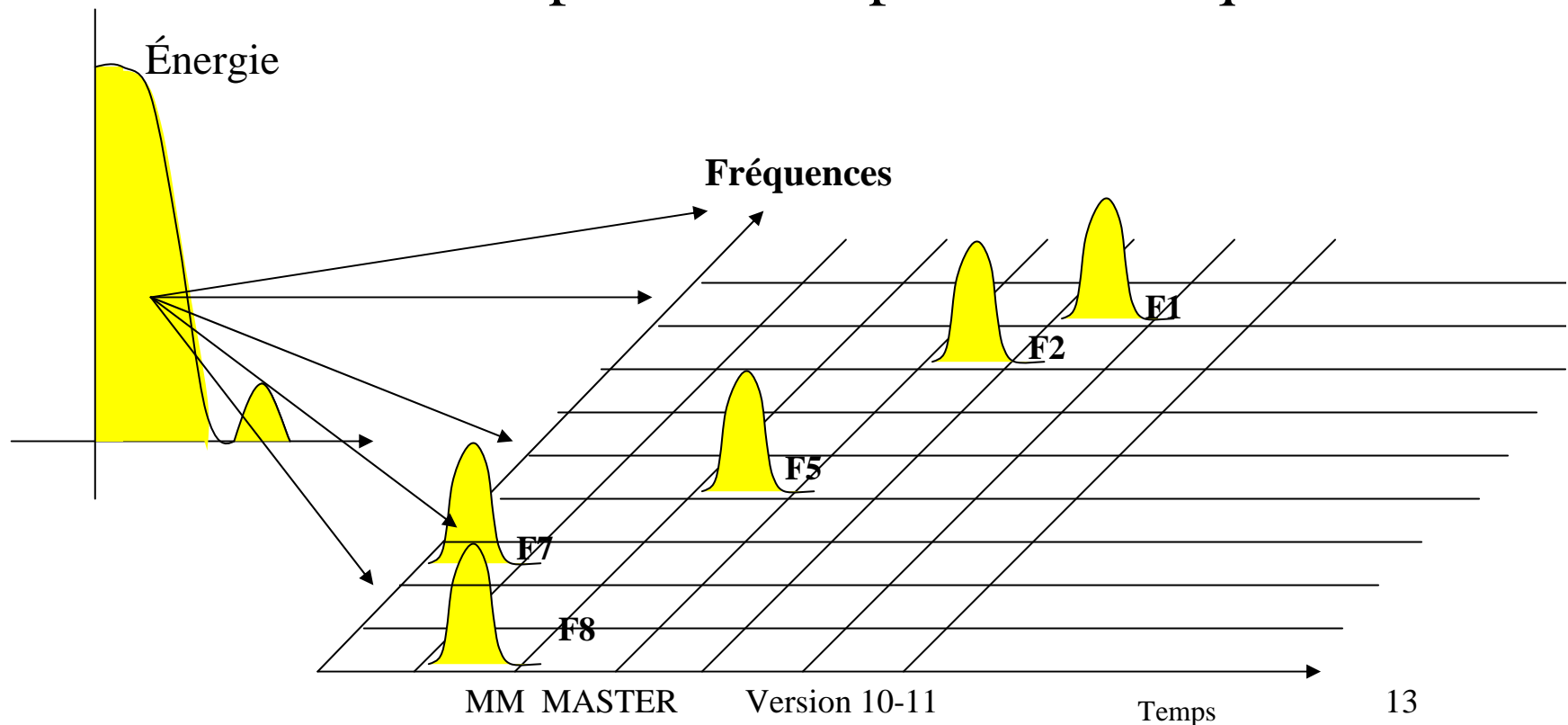
Le signal  $a(t)$  est alors recompacté (dé-étalé) est c'est le bruit qui est maintenant étalé

Il suffit de mettre un filtre passe bande qui englobe la bande passante de  $a(t)$  pour se débarrasser d'une très grande partie du bruit

Ce principe très simple ne doit pas cacher les difficultés liées à l'implémentation des deux fonctions  $p(t)$  et  $p^*(t)$  distantes, conjuguées complexes inverses, rapides (pour étaler un signal déjà rapide) devant s'exécuter de façon synchrone

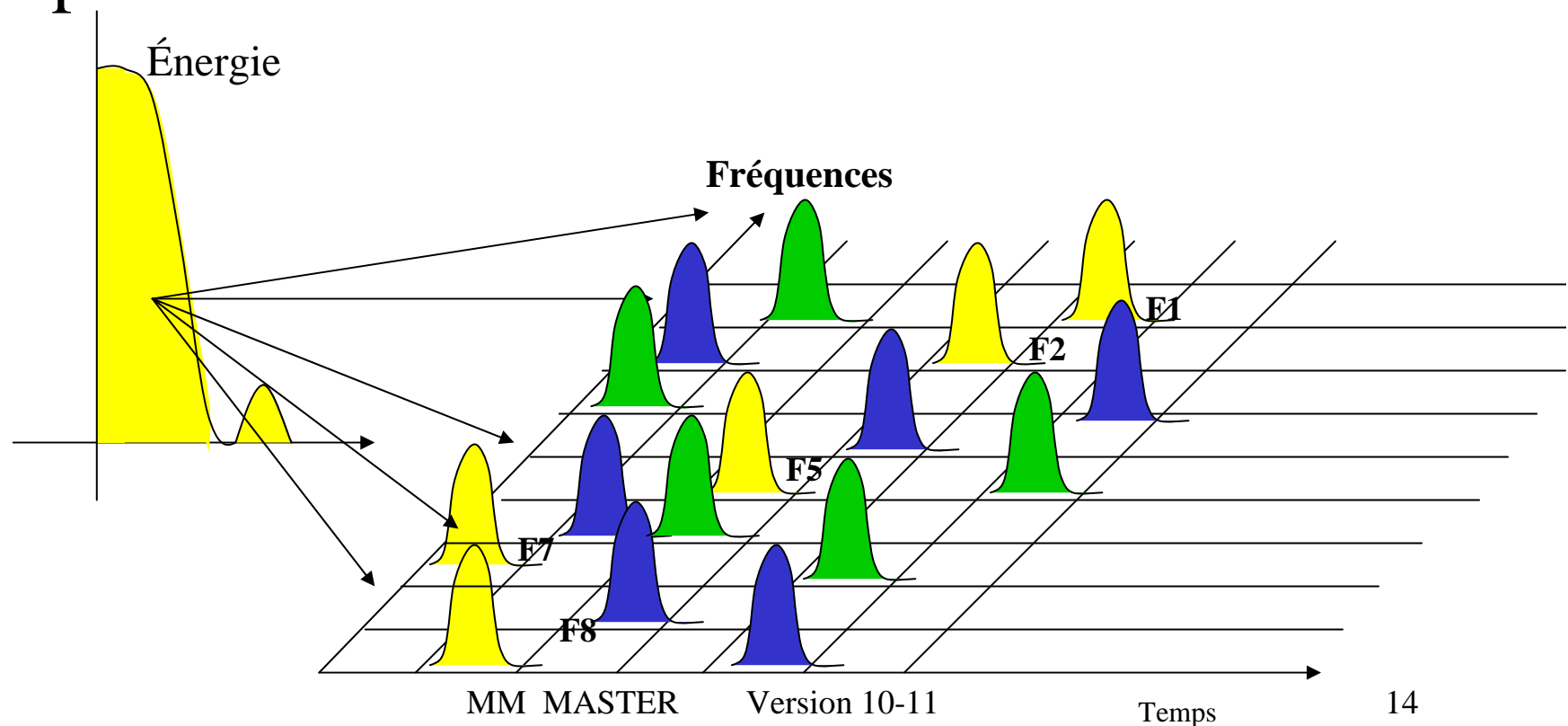
# Le FH SS (1)

- L'énergie utilisée pour transmettre une information élémentaire est dispatchée sur plusieurs fréquences



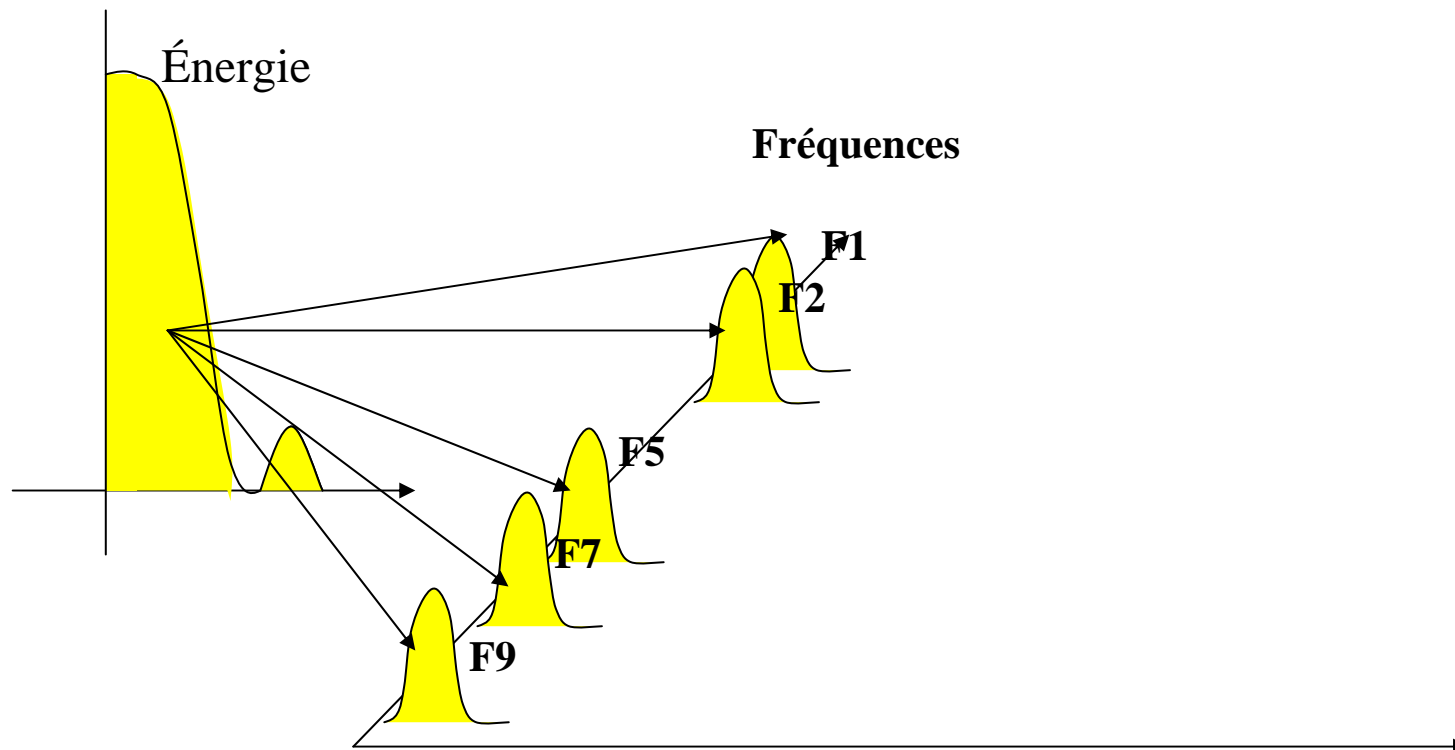
# Le FH SS (1)

- La bande passante peut-être utilisée pour plusieurs communications simultanées



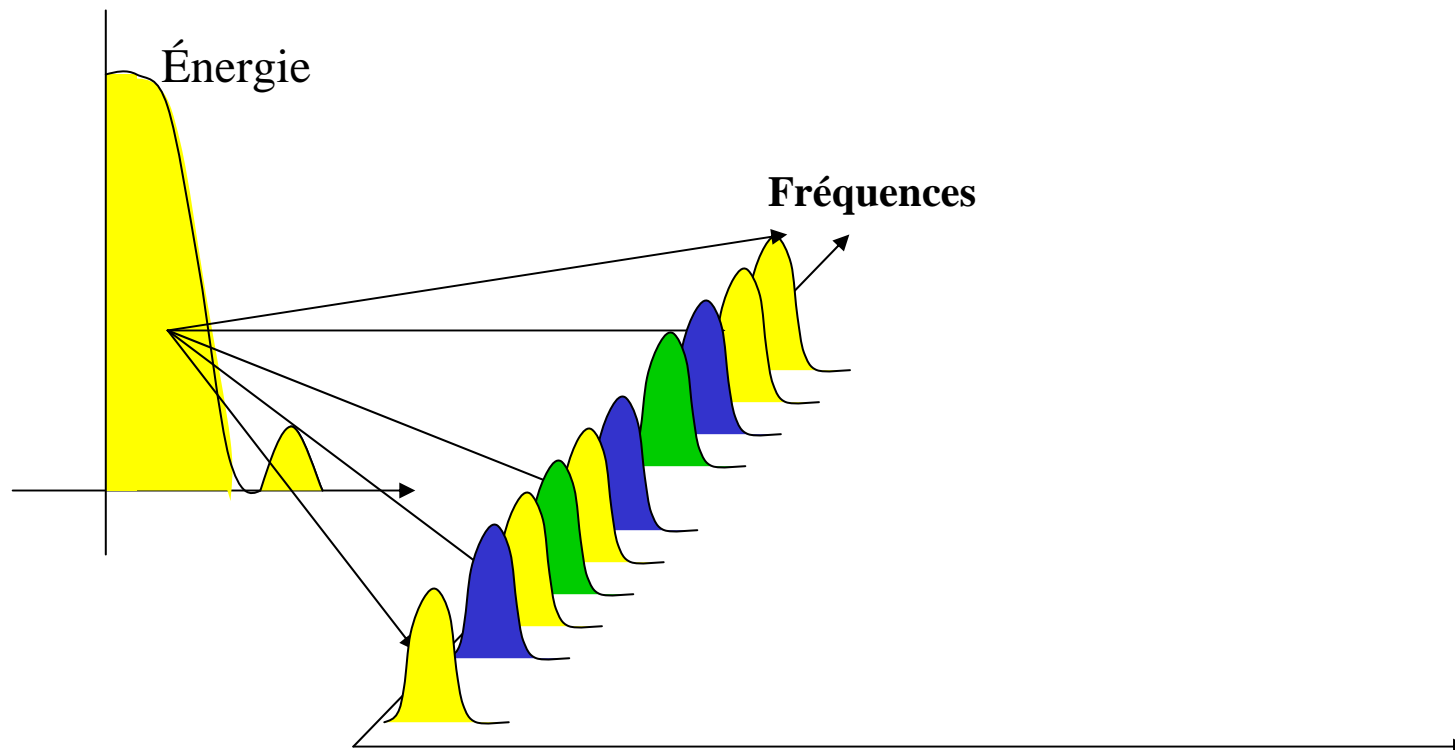
# Le DS SS Rappel Principe (1)

- L'énergie utilisée pour transmettre une information élémentaire est dispatchée sur plusieurs fréquences **en même temps**



# Le DS SS Rappel Principe (2)

- Plusieurs transmissions simultanées sont possibles (avec un lot de ships)





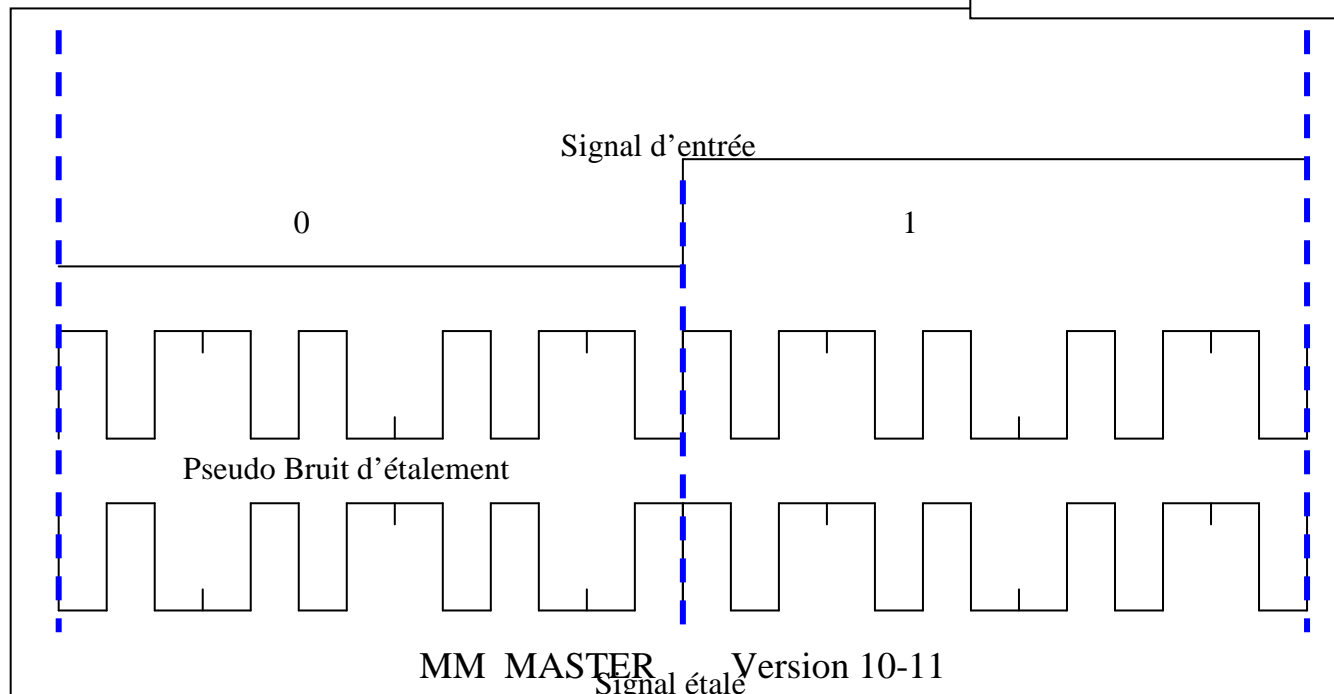
# En pratique comment étaler ?

C'est une surmodulation : Un bit est transmis sous la forme d'une séquence d'étalement (la plus connue est la séquence de Barker utilisée pour WiFi)

Un 1 c'est la séquence

Un 0 c'est son complément

Solution retenue pour  
WiFi version b



# Effets sur le rôle du bruit (1)

Si un signal de brouillage de puissance  $J$  se superpose au signal étalé, il est lui étalé à la réception

Résultat, il occupe maintenant une largeur de bande de  $W$  avec une puissance de  $J$  Watts, la densité spectrale de ce bruit peut-être assimilé à un bruit blanc à peu près uniforme

Soit  $N_0 = J/W$  en Watts/Hz

Si l'énergie du signal reçu est  $S$  Watts et si le débit est  $R$  bits/seconde, l'énergie reçue par bit est  $E_b = S/R$  Watts.seconde

## Effets sur le rôle du bruit (2)

Dans un système de communication numérique, le taux d'erreur (BER) est une fonction dépendant du rapport

$$E_b / N_0 = SW / JR$$

$$\text{Soit } J/S = (W/R)/(E_b / N_0)$$

Plus la bande passante résultant de l'étalement  $W$  est grande plus le bruit supporté pour un  $E_b / N_0$  donné, est grand. Le gain de traitement permet de réduire les effets du bruit

# Comment choisir les codes d'étalement

- Les codes doivent avoir certaines propriétés pour que :
  - le dé-étalement soit possible
  - la diversité de fréquence soit réelle

Propriété d'autocorrélation pour la synchronisation du receptr

Faible « cross-corrélation » avec les autres codes. Pour un code donné les autres doivent être perçus comme un bruit

*Balanced* c'est à dire équilibré pour le nombre de 1 et le nombre de 0 transmis soient égaux ou différents de 1

# Comment choisir les codes d'étalement (suite)

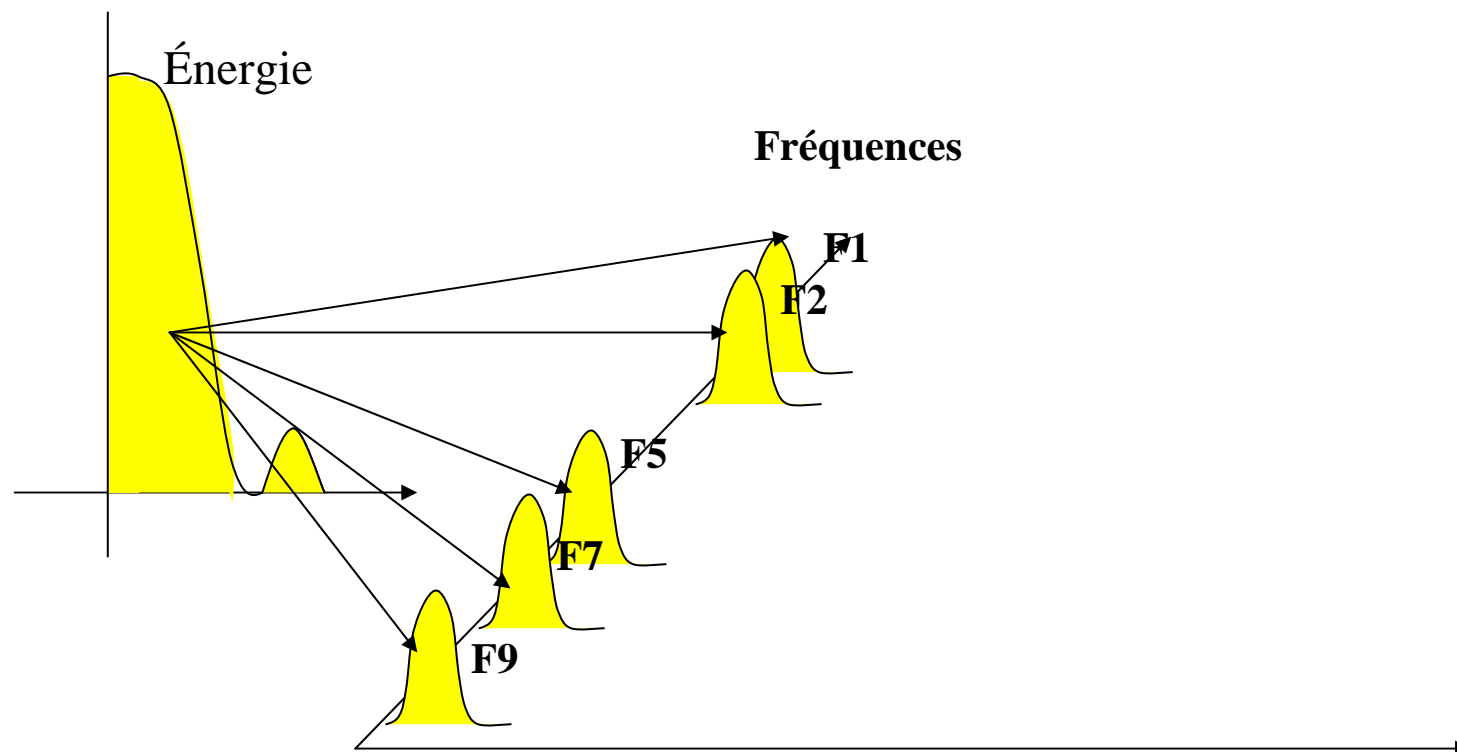
Pour un gain de traitement donné, la liste des codes d'étalement orthogonaux est donnée par les fonctions de Walsh (Codes Walsh-Hadamard);

L'orthogonalité stricte n'est pas toujours requise par contre la qualité du « spreading » le nombre de ships ... peuvent conduire à d'autres choix :

M Sequences, Gold Code, Code de Kasami...

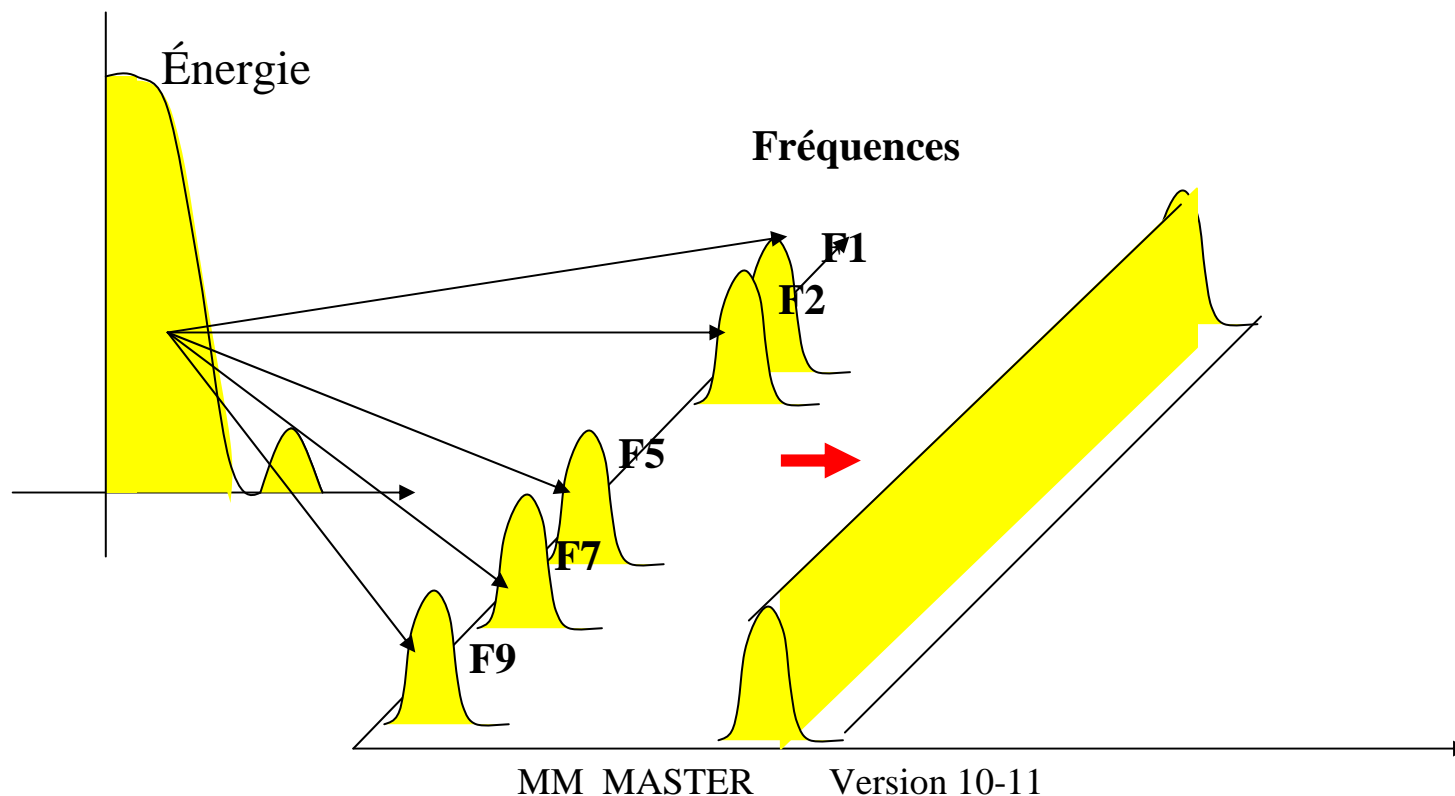
# Du DS SS à l'UWB

- En passant du FH SS au DS SS nous sommes passés du discret à l'étalement en continu



# Du DS SS à l'UWB

- Supposant que l'on puisse transmettre l'énergie sur toute la bande passante et non plus à l'aide de ships



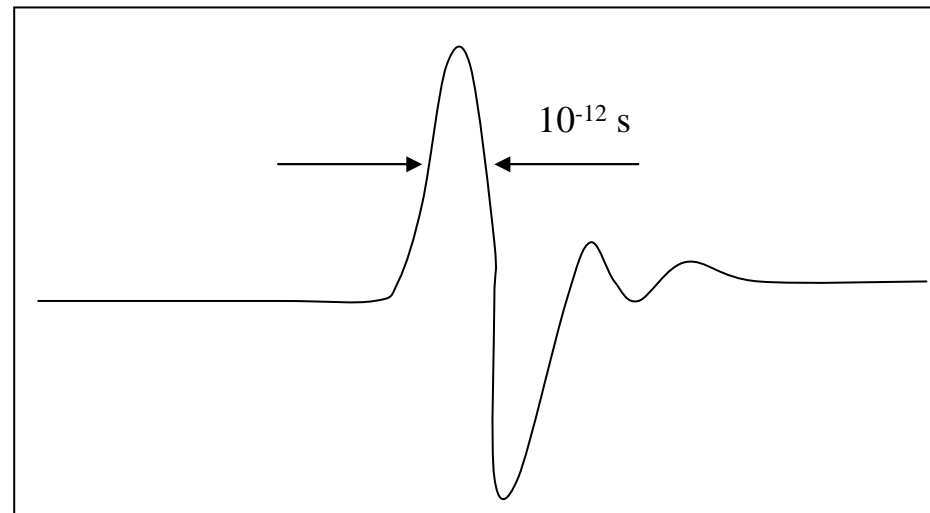
# **UWB : Ultra Wide Band.**

Nouvelle Technologie s'appuyant sur  
une nouvelle façon de transmettre par  
impulsions radio



# Principe

- Ultra-Wideband (UWB) est une technologie radio qui utilise très largement les avantages d'une transmission exploitant l'étalement dans le spectre :
  - Elle n'utilise pas de fréquence porteuse, mais envoie des pulsations électromagnétiques très courtes (de l'ordre de la picoseconde\*) et de faible puissance, simultanément sur une très large bande de fréquence.



## Principe (Suite)

- Elle devrait prendre sa place dans la plage de fréquences : de 3,1 GHz à 10,6 GHz
- L'énergie émise 50 à 70 mW étant largement étalée, en théorie, elle cohabite donc bien avec les technologies travaillant dans des bandes plus étroites, le signal pour chacune de ces bandes de fréquences est très faible et assimilable à un bruit.
- Elle est annoncée comme robuste et superposable à n'importe quel existant

# Performances de l' UWB

## 802.15.3

- Débits espérés environ 480 Mb/s soit plus de 400 fois ceux de Bluetooth
- Portée d'une dizaine de mètres (domaine des WPAN).
- Performances très sensibles à la distance, ordre de grandeurs : 400 Mbits/s à 1 m 100 Mbits/s à 10 m
- Propriétés intéressantes pour la géo-localisation fine.
- UWB traverse mieux les obstacles que les technologies à fréquence porteuse en raison de la grande diversité de fréquences qu'il offre.

# Historique

- Principes datant des années 1970
- Utilisé pour des applications militaires
- En 2002, la F.C.C. autorise une bande de fréquences pour l'Ultra Wide Band (En Amérique du Nord)
- En Europe pas encore (risque d'interférences et de concurrence déloyale). (Syndrome des OGM)

# Domaine d'utilisations

- Transfert de volumes importants d'informations, comme ceux de la vidéo.
- Interconnexion de périphériques USB, dans une limite maximale de 127
- La 1394 Trade Association a estimé que l'UWB pourrait aussi servir de support à la technologie FireWire sans fil
- Connexions domestiques
- Réseaux de capteurs...
- ....
- Et modulation sur le cuivre (comme de DS-FHSS pour les réseaux sur courant porteur)

# Norme : état des lieux

- Principes :

Le canal est associé par une séquence de délais inter-impulsions

- Challenges :

. Différend entre :

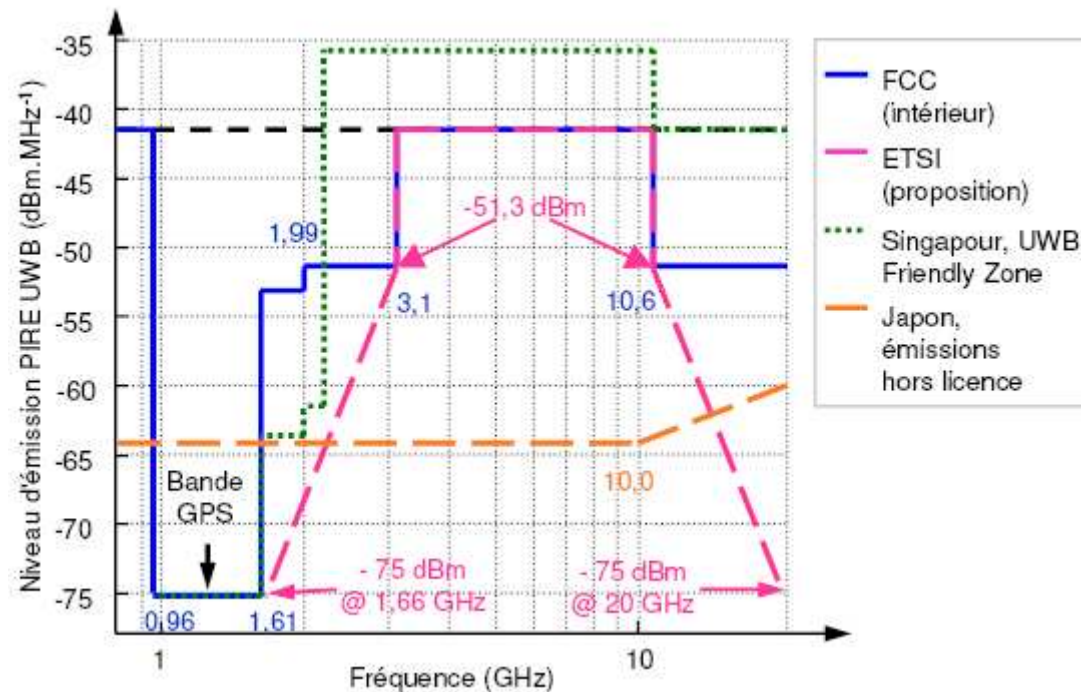
le groupe de travail 802.15.3 de l'IEEE

L'alliance MultiBand OFDM,

Les partisans du standard DS-CDMA

# La bataille se situe d'abord au niveau du spectre radio

- L'aviation civile, les opérateurs de la téléphonie,.... « protègent » leur solution



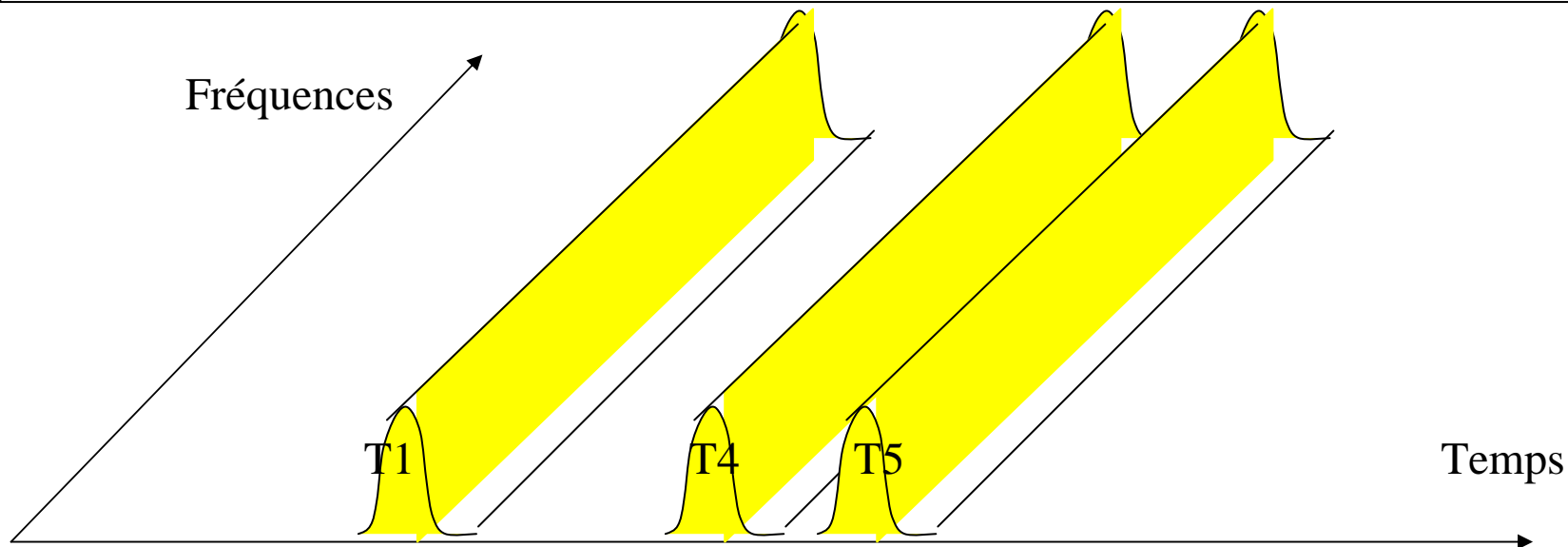
# Un Challenge parmi d'autres

- Il faut que l'ensemble des instances de régulations autorisent l'usage de cette bande de fréquences ultra large !
  - Partitionnement en 500 sous bandes (cf. 802.11 et ses canaux) ce qui va à l'encontre du principe de l'UWB
  - Partitionnement dynamique .... À suivre !



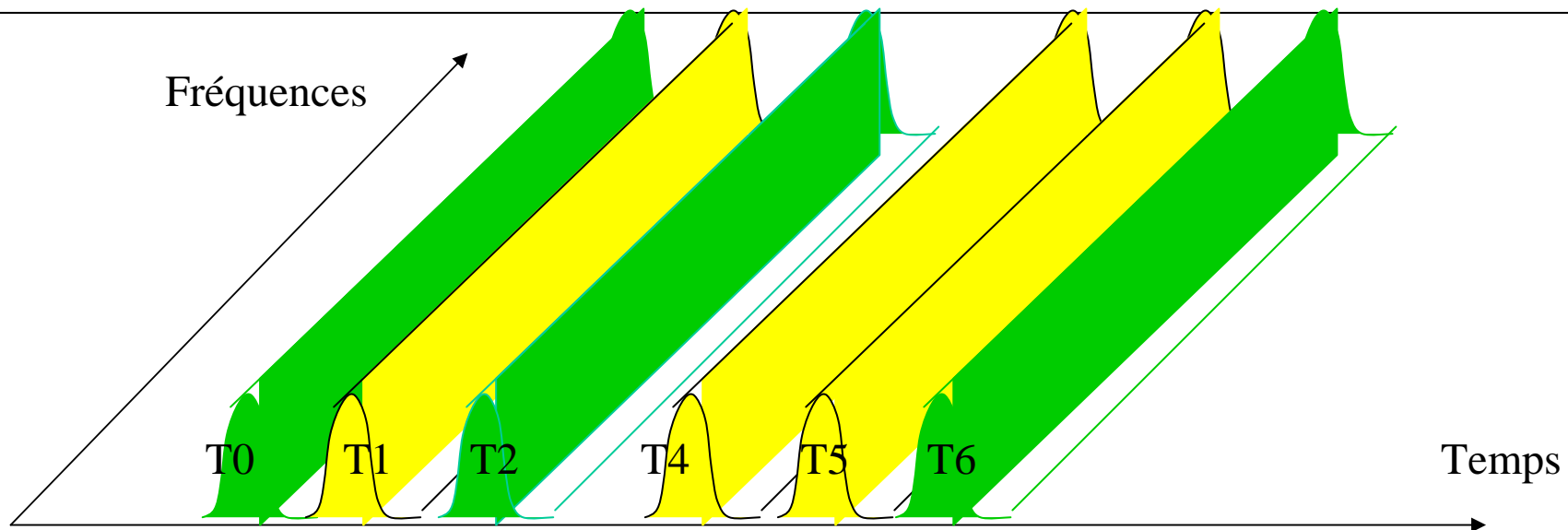
# Du DS SS à l'UWB

- Si toute la bande Passante est utilisée il faut distinguer les activités de transmission sur le temps, en transmettant l'information en respectant les instants d'émission ici T1 T4 et T5



# Du DS SS à l'UWB

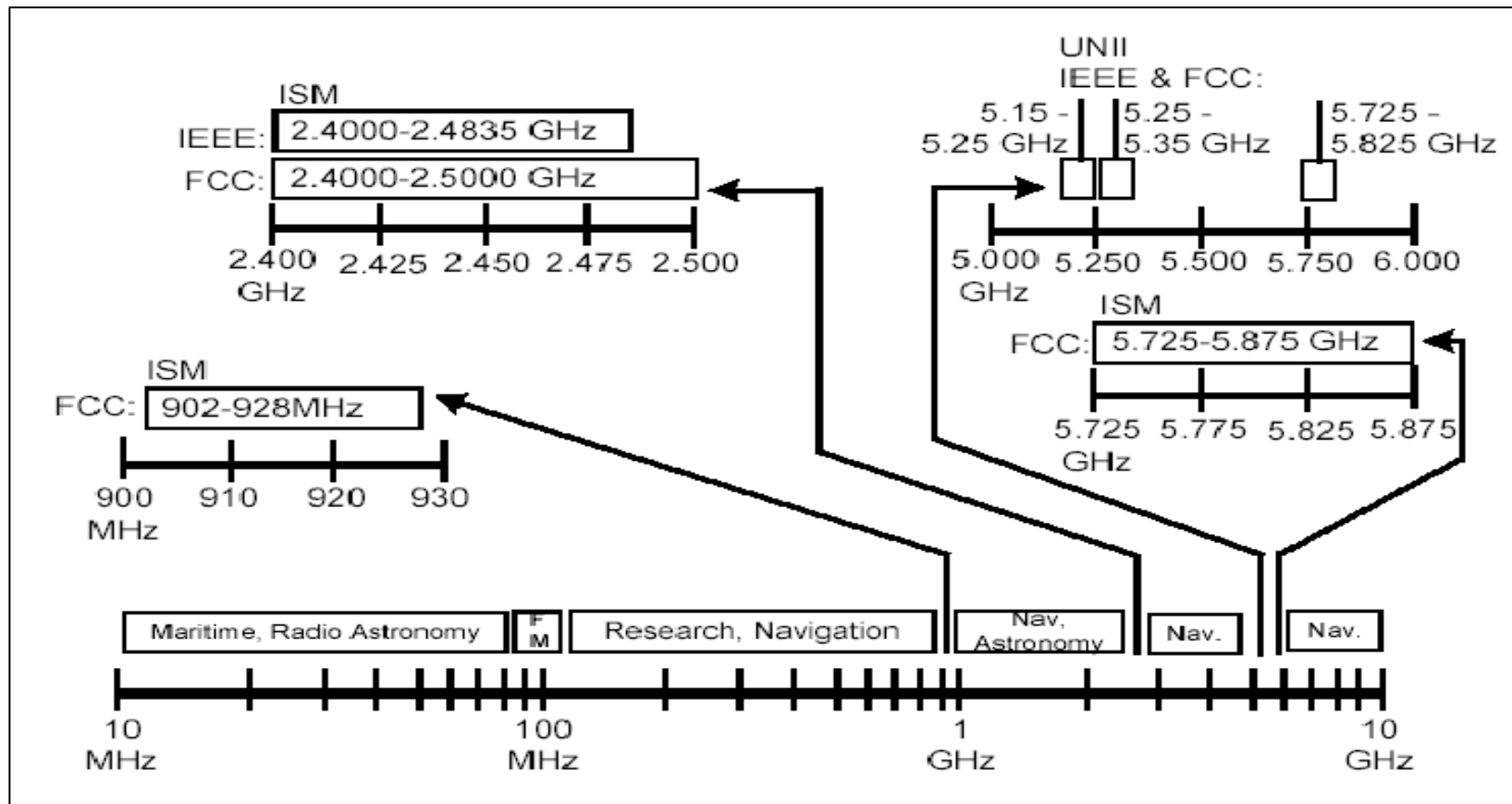
- Des transmissions simultanées sont possibles si le code n'est plus une combinaison de fréquences mais une combinaison d'instant (ici T0, T2 T6, et T1 T4 T5)



## Les Solutions existantes dans le monde des WLAN et des WPAN

- Trois normes ont permis réseaux sans fil de gagner une certaine crédibilité, qu'ils soient :
- Locaux (WLAN) : WiFi
- personnels (WPAN) : BT (Bluetooth)
- ou de capteurs (WSN) : ZigBee

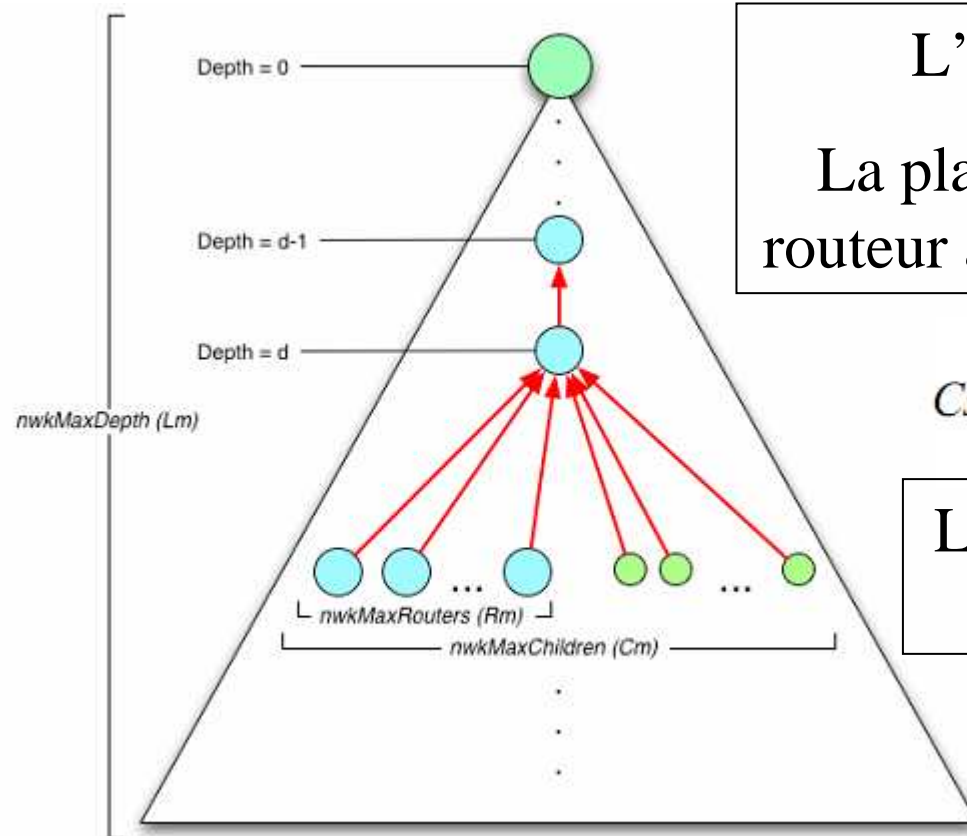
# Les Niches « sans licences »



# L'Adressage Hiérarchique (1)

- Un réseau ZigBee peut être vu comme un arbre dont :
  - la racine est le Coordinateur de CPAN
  - Les nœuds internes des Nœuds Routeurs
  - Les feuilles des Nœuds Capteurs/Actionneurs
- Si la profondeur maximale de l'arbre est :  $L_m$
- Si le nombre maximal de routeur fils est :  $R_m$
- Si le nombre maximal de fils est :  $C_m$

# L'Adressage Hiérarchique (2)



L'adresse de la racine est 0

La plage d'adresses donnée par un routeur au niveau d à ses routeurs fils :

$$Cskip(d) = \frac{1 + Cm - Rm - Cm \cdot Rm^{Lm-d-1}}{1 - Rm}$$

L'adresse de la nième feuille au niveau d+1 est donnée par

$$A_n = A_{parent} + Cskip(d) \cdot Rm + n$$

Le portable ça se pose  
à droite ou à gauche  
de l'assiette?

