

Bluetooth





- 1- Les réseaux et la mobilité
- 2- Les zones de couverture des réseaux radio
- 3- Le principe de l'interface Bluetooth
- 4- Les applications de Bluetooth
- 5- Les normes concurrentes
- 6- La topologie du réseau
- 7- La bande ISM allouée à Bluetooth
- 8- Les fréquences de travail
- 9- Les perturbations de fours à micro ondes
- 10- La protection contre les brouillages
- 11- Les sauts en fréquence de Bluetooth
- 12- Les caractéristiques de la modulation
- 13- La portée d'une liaison Bluetooth
- 14- La transmission par paquets
- 15- Longueur des paquets et débit
- 16- Les 2 types de liens maître-esclave
- 17- Les débits de Bluetooth
- 18- Illustration des liaisons SCO et ACL
- 19- Illustration de la retransmission automatique
- 20- La mise en place d'une liaison dans un réseau
- 21- Structure et caractéristiques d'un module RF
- 22- Exemple du module RF Bluetooth Ericsson





1- Les réseaux et la mobilité



L'informatique mobile permet aux utilisateurs de se déplacer tout en restant connectés au réseau. Pour cela, les machines doivent disposer d'interfaces de communication sans fil utilisant des ondes radio ou lumineuses comme mode de transmission.

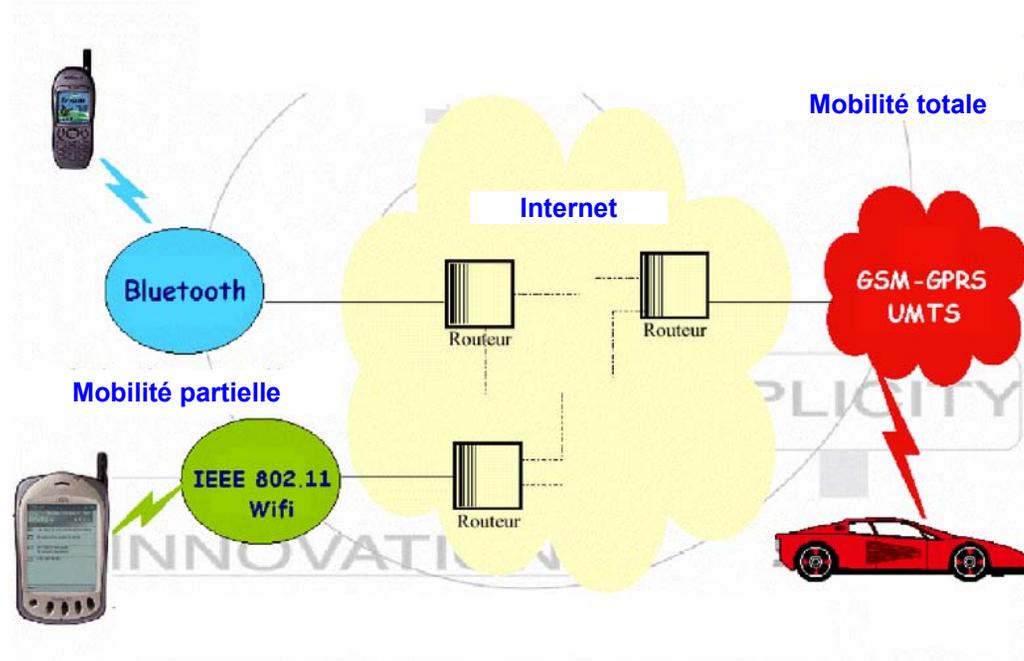
⇒ **solution 1** : le téléphone GSM-GPRS

- abonnement « data » pour l'échange des données par GSM à 9600 bits/s
- augmentation du débit avec le GPRS par l'utilisation de plusieurs time-slots par trame
- augmentation de débit et changement de technologie avec l'UMTS (à venir)
- avantage : offre une mobilité totale
- inconvénient : dépendance d'un opérateur, coût

⇒ **solution 2** : les réseaux locaux radio

Bluetooth ou Wifi qui offrent :

- un coût d'installation réduit
- la facilité de mise en oeuvre
- un débit intéressant (3Mbits/s pour Wifi, 720 kbits/s pour Bluetooth)
- inconvénient : mobilité limitée à une zone (100m pour Wifi, 10m pour Bluetooth), mais ceci est rarement gênant



Les réseaux locaux radio se positionnent comme des concurrents pour les opérateurs de téléphonie mobile et pourront même, selon certains, gêner le développement de l'UMTS.

2- Les zones de couverture des réseaux radio



⇒ WPAN (Wireless Personal Area)



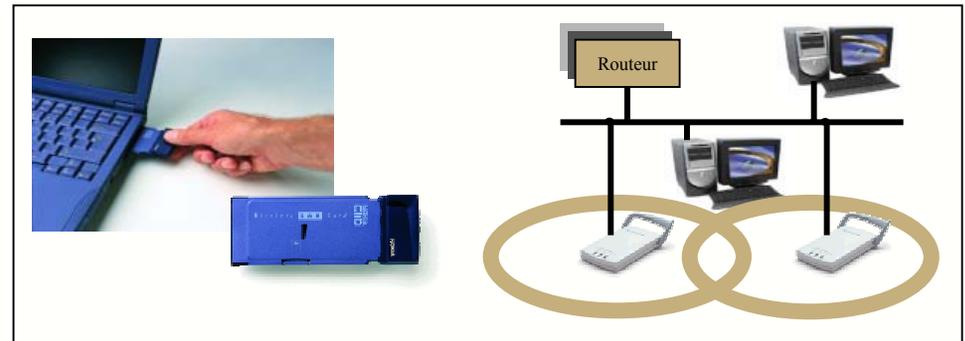
Le téléphone mobile, le baladeur MP3, la montre, l'écharpe communicante, le PDA et bien sûr le micro-ordinateur échangent des informations entre eux, tous situés "autour" de la personne ou d'un point fixe.

La norme **Bluetooth** lancée par Ericsson et Nokia semble actuellement la mieux adaptée pour ce type de liaison et les premiers objets Bluetooth (téléphones, PDA...) sont d'ores et déjà disponibles.

⇒ WLAN (Wireless Local Area Networks)

Un réseau sans fil Wlan est installé dans la maison, dans l'entreprise, dans un espace public tel qu'un campus universitaire, un café, un centre de conférence, un hôtel, un aéroport... Tous les appareils situés dans la zone de couverture et dotés d'une interface peuvent s'y raccorder.

Les normes les plus utilisées pour ces type de réseaux sont l'**IEEE802.11b** ou **Wifi** et l'**Hiperlan**.



Le WLAN autorise une totale mobilité sur la zone couverte, mais il ne permet pas de passer d'une cellule à une autre (couverte pas une autre borne) sans couper la liaison.

⇒ WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

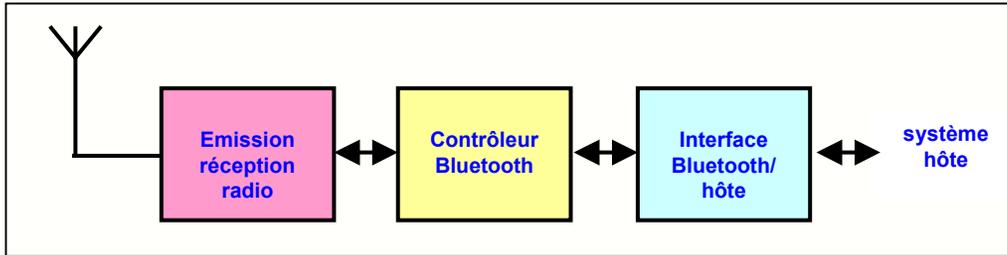
Un réseau sans fil peut se tisser sur une ville, permettant à tous les habitants d'être connecté entre eux. Relié à l'Internet ou non, il permet des échanges à haut débit, entre voisins, entre entreprises, etc... Des WMAN libres et pirates se mettent en place un peu partout à Seattle, San Francisco, Portland... en Europe également, et même en France bien que la loi interdise pour le moment les réseaux de ce type.



3- Le principe de l'interface Bluetooth



Le nom « **Bluetooth** » a été choisi en l'honneur du roi danois **Harald Blaatand** qui signifie en français **Harald à la dent bleue**. Il a vécu en Scandinavie de 910 à 986 et a christianisé et uni la plus grande partie de cette région.

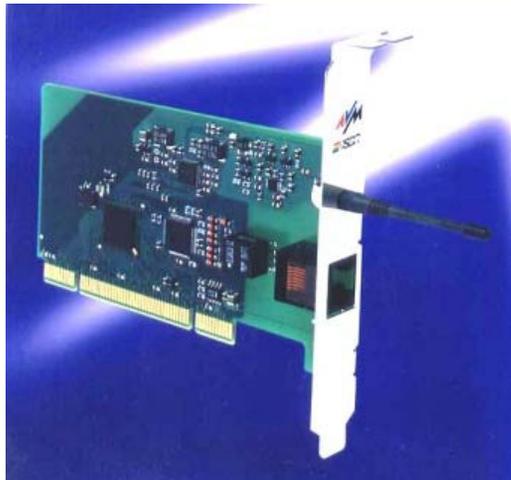


Une interface Bluetooth est constituée d'une interface radio, d'un contrôleur et d'une interface avec le système hôte.

Chaque système (téléphone, PC ...) compatible « Bluetooth » est équipé d'une interface identique grâce à laquelle il pourra communiquer avec les autres systèmes compatibles situés dans un rayon d'une dizaine de mètres.

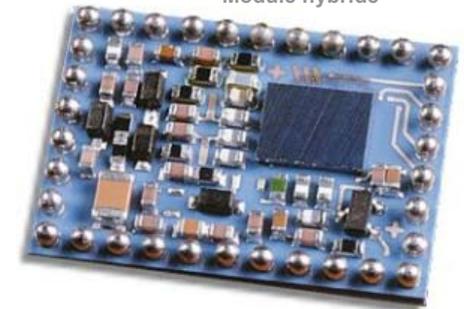
La liaison radio fonctionne dans une bande de fréquence située autour de 2,45 GHz libre dans la plupart des pays, ce qui permet d'utiliser les équipements Bluetooth partout dans le monde.

Carte pour PC



Interface sur carte mère

Module hybride



Mémoystick



4- Les applications de Bluetooth



Elles ne sont limitées que par l'imagination :

- liaisons sans fil entre PC, clavier, joystick, imprimante
- mise à jour des assistants personnels
- transfert de fichiers d'un appareil photo numérique ou d'un caméscope vers un PC
- accès à Internet à travers un téléphone portable
- liaison « main libre » entre un téléphone portable et un autoradio ou une oreillette
- contrôle à distance de l'autoradio, de la chaîne Hi-Fi, du chauffage, d'un distributeur de boisson ... via un téléphone
- messages d'avertissement en cas de panne d'un appareil domestique
- ajout d'intelligence dans les appareils domestiques



	2000	2004	2010
Systèmes de communication	88%	73%	26%
Ordinateurs	12%	25%	28%
Equipements domestiques	< 1%	2%	46%
Total	100%	100%	100%

Le nombre d'appareils différents équipés de cette technologie est amené à se développer de façon très importante dans les années à venir.

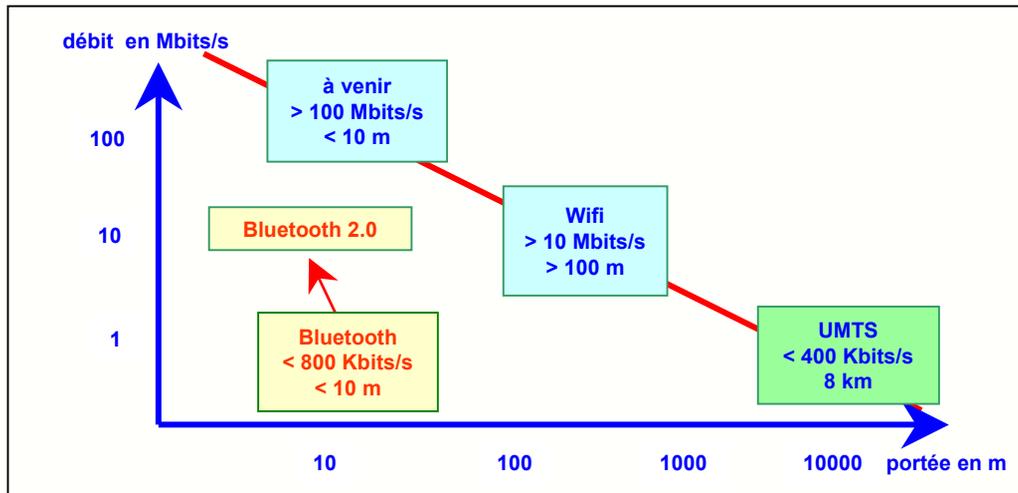


5- Les normes concurrentes



Bluetooth est en concurrence avec :

- la **liaison infra-rouges IrDA** (Infrared Data Association) avec une portée de quelques mètres et un débit offert élevé
- la norme **radio « HomeRF »** similaire à Bluetooth, 127 appareils par réseau, portée de 50 mètres, droits d'utilisation à payer
- la norme **DECT** à 1,8 GHz, portée de 500 mètres grâce à une puissance d'émission plus élevée, mais débit inférieur à Bluetooth
- la norme **Wifi** se développe rapidement depuis 1999 et devient le standard pour les réseaux locaux sans fil.



Le standard Wifi utilise des interfaces du même type que Bluetooth, avec une puissance d'émission plus élevée, une portée plus importante qui peut atteindre 100 mètres, ainsi qu'un mode de modulation différent.

Le débit offert théorique est de 11 Mbits/s soit 3 à 4 Mbits/s en réalité.

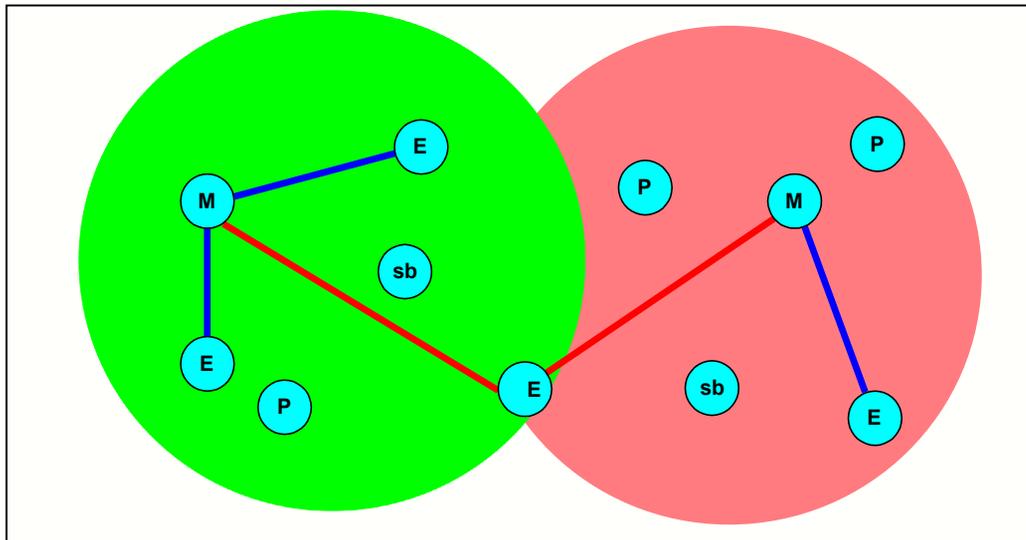
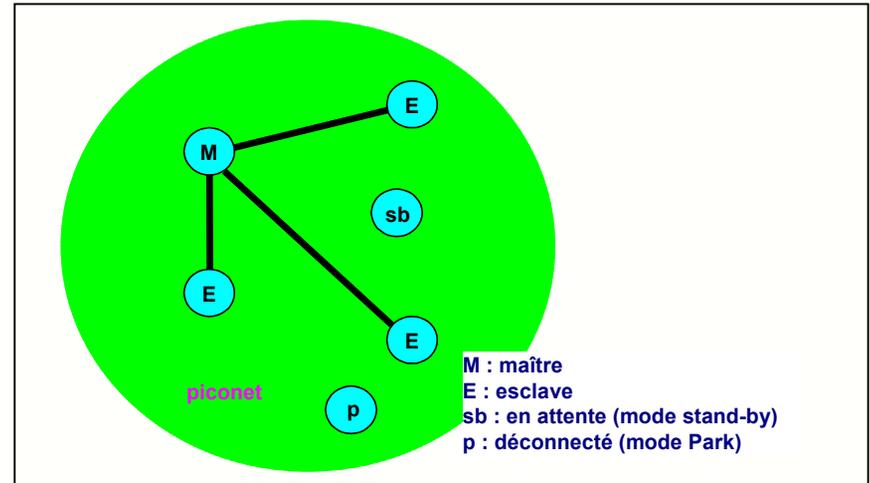


6- La topologie du réseau



Bluetooth est un réseau de type « ad-hoc » c'est-à-dire sans station de base :

- ce réseau est auto-configurable : deux machines mobiles se retrouvant dans le même secteur peuvent se reconnaître puis échanger des données
- chaque machine peut échanger des informations avec n'importe quelle autre machine
- les nœuds peuvent échanger des données uniquement lorsqu'ils sont à portée de réception l'un par rapport à l'autre



L'ensemble des appareils reliés définit un espace de communication appelé **piconet** :

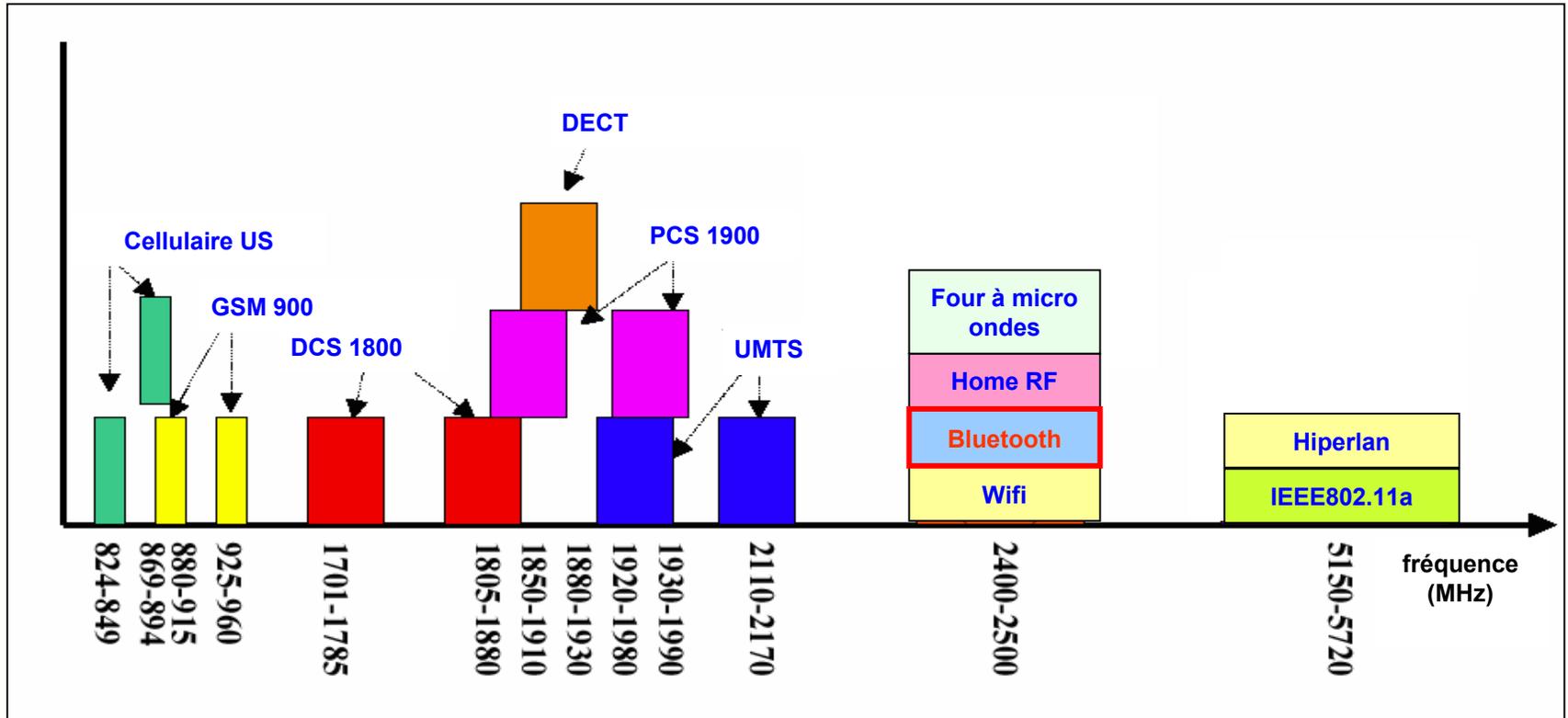
- un réseau **piconet** est constitué de 8 appareils au maximum (adresse codée sur 3 bits)
- l'appareil qui initie l'échange joue le rôle de **maître**, tandis que le ou les autres sont dits **esclaves**
- le maître impose son horloge aux esclaves (synchronisation) et les fréquences de travail
- les appareils ne faisant pas partie du piconet sont en mode « stand-by » ou « park »
- les piconets peuvent être interconnectés pour former un **réseau de diffusion** ou **scatternet** (10 piconets au maximum)



7- La bande ISM allouée à Bluetooth



Les bandes de fréquences affectées aux réseaux locaux radio sont les **bandes ISM** (Industrial, Scientific and Medical), destinées à l'origine aux chauffages micro-ondes, aux réseaux hertziens...



L'utilisation de la bande ISM des 2,4 GHz est libre à condition de respecter les exigences suivantes :

- puissance d'émission limitée, la limite étant plus basse en extérieur
- protection vis-à-vis des perturbations par l'utilisation d'une technique d'étalement de spectre

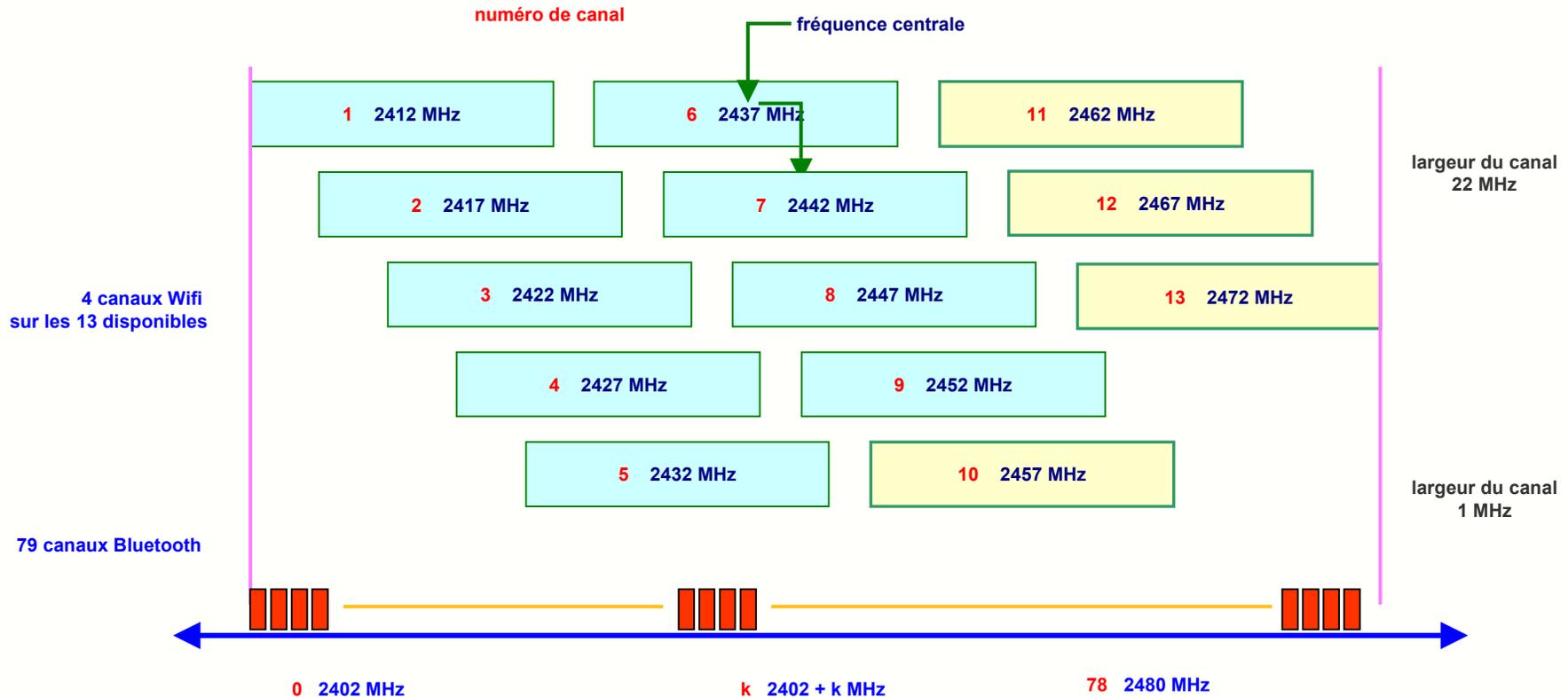


8- Les fréquences de travail



En France, une partie de la bande ISM est utilisée par l'Armée :

- pour **Wifi** : seuls les canaux 10 à 13 sont disponibles, pas d'autorisation nécessaire à l'intérieur des bâtiments si la puissance d'émission reste inférieure à 100 mW
- pour **Bluetooth** : 79 canaux de 1 MHz allant 2400 à 2483,5 MHz , utilisation libre à l'intérieur des bâtiments pour des puissances inférieures à 10 mW, et à l'extérieur si la puissance d'émission reste en-dessous de 4mW

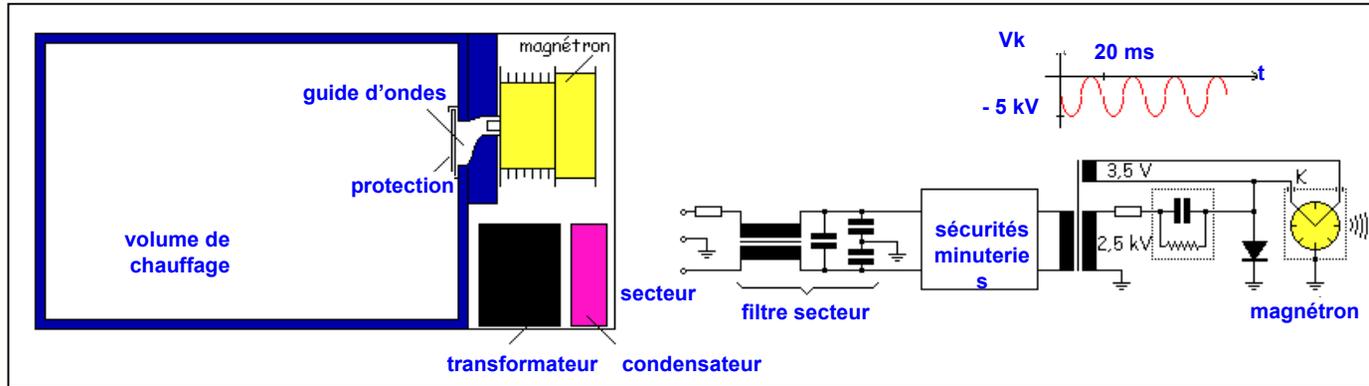




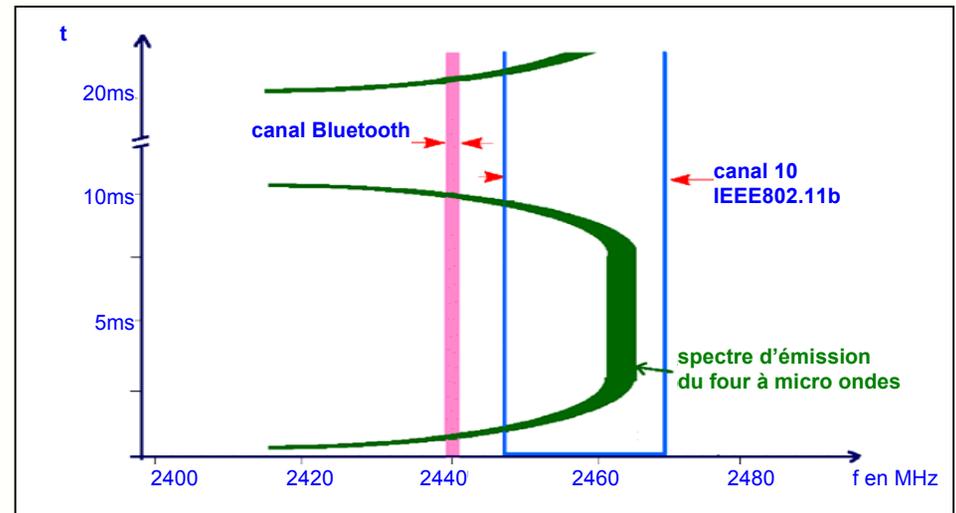
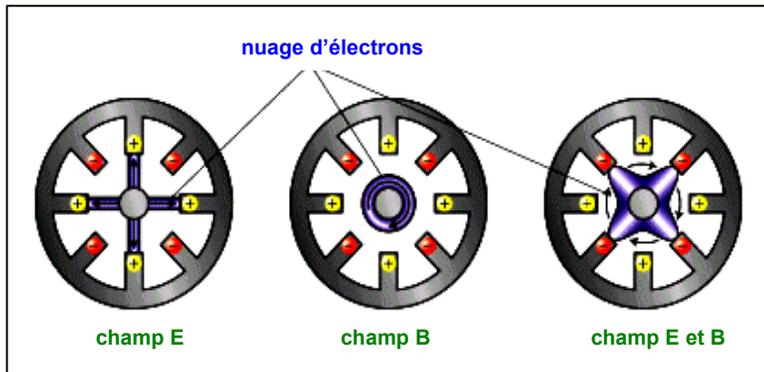
9- Les perturbations des fours à micro ondes



Le four à micro ondes est construit autour d'un générateur appelé **magnétron** qui comporte une **cathode chauffée** émettant des électrons dans une **cavité** métallique, une alimentation fournissant la haute tension V_k pulsée polarisant la cathode (-5kV, 400 mA) et un tronçon de guide d'onde conduisant les ondes du magnétron dans le four.



- les électrons s'éloignent de la cathode en tournant sous l'effet conjugué des champs électrique et magnétique
- le mouvement de ce nuage d'électrons induit des courants dans la structure métallique de la cavité et produit une onde EM
- la fréquence de l'onde dépend essentiellement des dimensions et du nombre d'ailettes de la cavité.
- l'onde produite est pulsée comme l'alimentation et dérive en fréquence



Conclusion : les fuites d'un four à micro ondes polluent « allègrement » toute la bande ISM

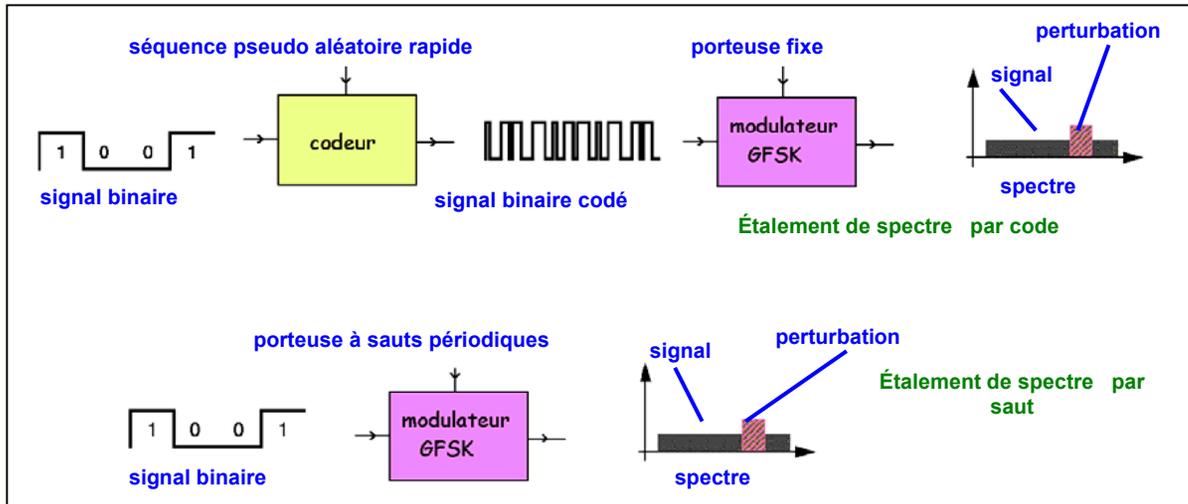


10- La protection contre les brouillages



A cause des perturbations, il a fallu protéger la transmission radio contre les brouillages par une technique d'étalement de spectre qui consiste à utiliser une bande de fréquence beaucoup plus large que celle qui est nécessaire :

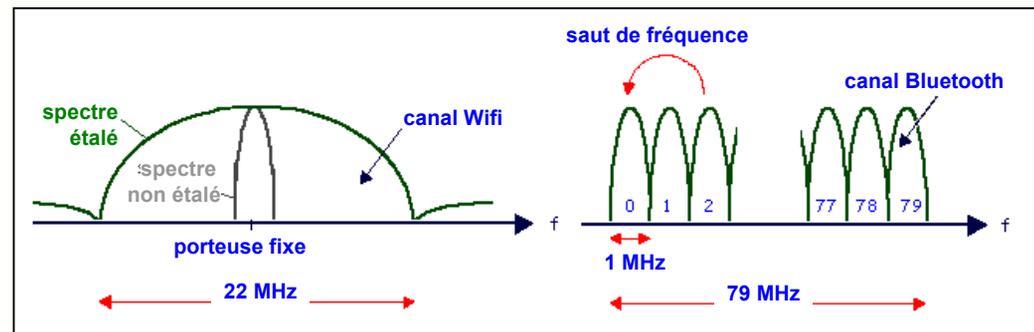
- **par saut de fréquence** : la porteuse saute d'un canal à l'autre, ce qui conduit à l'utilisation de la totalité des canaux (Bluetooth)
- **par code binaire** : avant de moduler la porteuse, on mélange le signal binaire à une séquence numérique pseudo aléatoire de débit nettement plus élevé (Wifi, CDMA, UMTS)



- chaque transmission Bluetooth utilise les 79 canaux et occupe la bande dans sa totalité, soit une largeur d'environ $B=80$ MHz pour un débit maximal de 1 Mbits/s
- pour une transmission Wifi le signal est mélangé à une séquence pseudo aléatoire à 11 Mbits/s, ce qui donne un spectre de largeur $B=22$ MHz

L'avantage est une relative insensibilité à la présence de signaux de brouillages au prix d'un encombrement spectral supérieur.

Remarque : pour mieux protéger Bluetooth, certains préconisent d'interdire les sauts dans les canaux utilisés par Wifi.





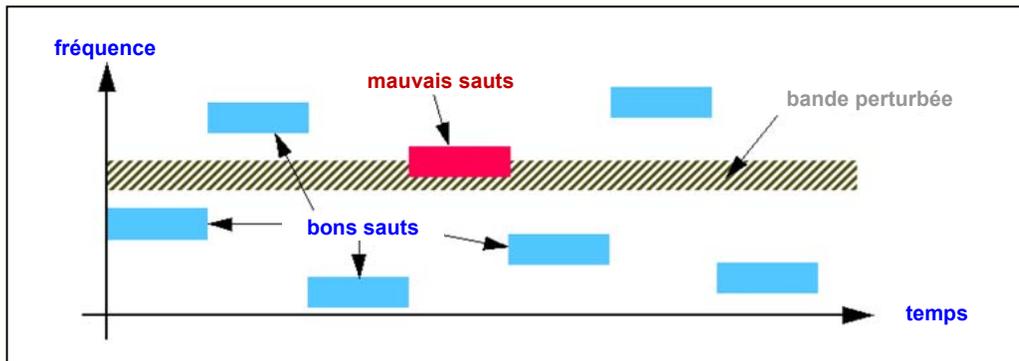
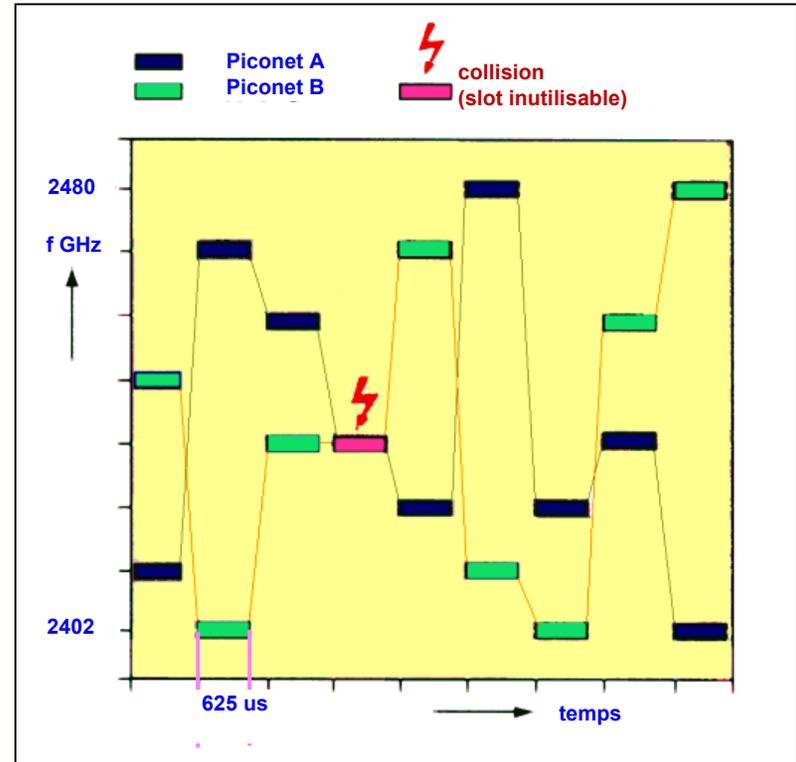
11- Les sauts en fréquence de Bluetooth



Les saut en fréquence dans le standard Bluetooth fonctionnent de la façon suivante :

- l'information est transmise sur une fréquence pendant un **time-slot de 625 μs**, puis l'émetteur passe sur la fréquence suivante
- les sauts en fréquence ($1/625\mu s = 1600$ sauts par seconde) ont une **amplitude de 6 MHz** au minimum et sont déterminés par calcul à partir de l'adresse du maître et de l'horloge
- ils sont donc aussi connus par le récepteur qui change de fréquence de manière synchrone avec l'émetteur pour récupérer le signal transmis
- chaque réseau piconet utilise une succession de fréquences différentes, et la probabilité pour que 2 piconets se retrouvent sur la même fréquence reste faible (**collision**)
- les collisions sont gérées par retransmission du paquet

Les **signaux perturbateurs** occupant une bande spectrale limitée ne perturberont donc la liaison que de temps en temps et pour une durée limitée à un time-slot soit 625 μs.



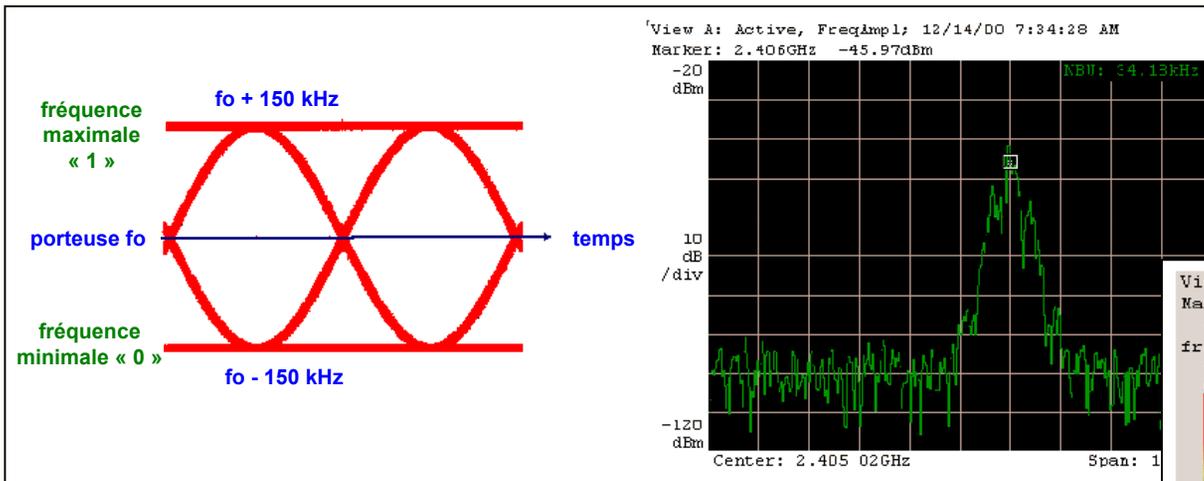
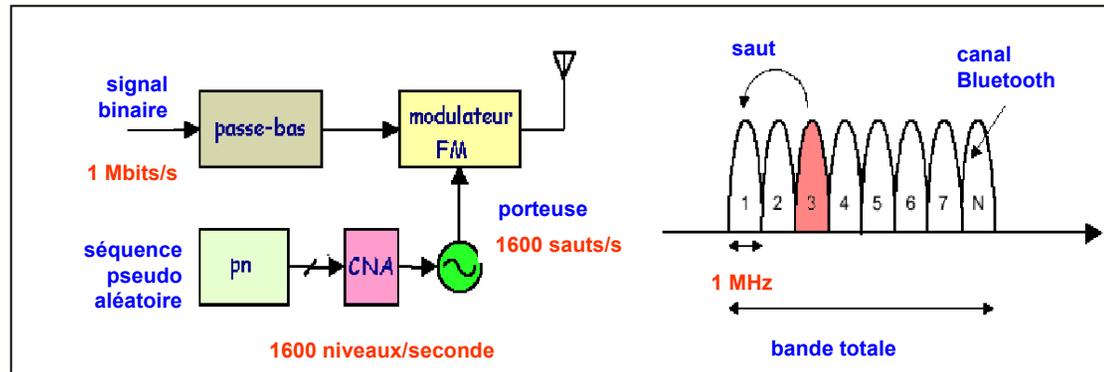
Le taux d'erreur global résultant sera bien inférieur au taux d'erreur qu'on aurait eu en travaillant à une fréquence fixe subissant une interférence.

12- Les caractéristiques de la modulation



La porteuse est modulée en fréquence par le signal binaire filtré par un filtre passe-bas gaussien, ce qui donne une **modulation GFSK** (Gaussian Frequency Shift Keying).

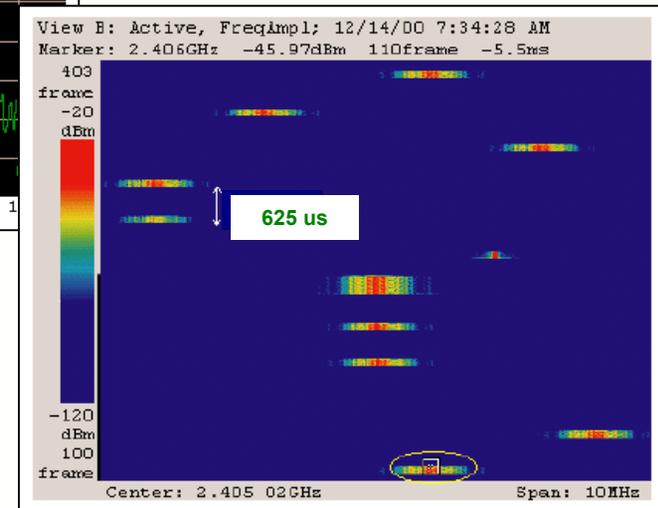
La fréquence de la porteuse change régulièrement en fonction d'une séquence pseudo aléatoire pn.



L'excursion en fréquence de la porteuse est de **150 kHz** environ, et le spectre est caractérisé par une largeur environ égale au débit binaire, soit 1 MHz.

Le spectre ne tient pas totalement dans le canal de 1 MHz, et on définit un certain gabarit que doit respecter l'émission.

L'enregistrement dynamique du spectre met en évidence les **sauts en fréquence** et la **durée variable des paquets**.





13- La portée d'une liaison Bluetooth

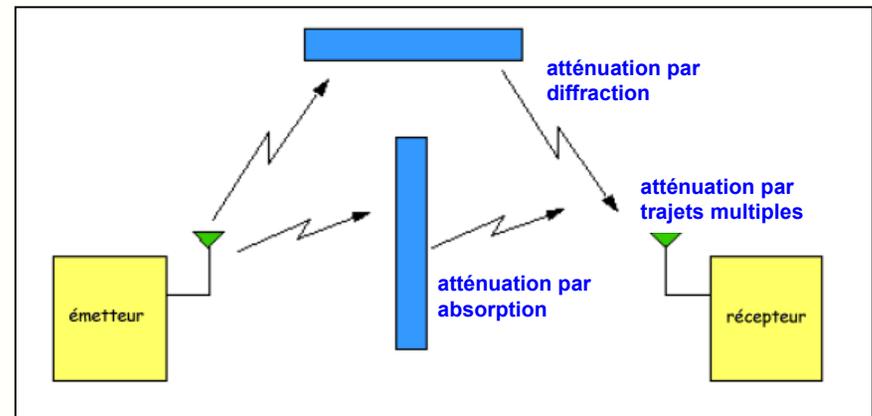


La portée d'une liaison RF à 2,45 GHz dépend :

- ⇒ **de la puissance émise** : 3 classes d'émission, possibilité de mettre en œuvre un contrôle de la puissance pour réduire le taux d'erreurs à un niveau acceptable, avec une consommation minimale
- ⇒ **du gain des antennes** : une antenne de bonne qualité permet d'augmenter la portée, mais est difficile à installer à l'intérieur d'un téléphone ou d'un PC portables
- ⇒ **de l'environnement** : l'onde radio doit contourner ou traverser plusieurs obstacles (corps humain, cloisons ...) qui absorberont une partie de l'énergie émise. Elle peut aussi être diffractée par un obstacle conducteur et renvoyée dans toutes les directions. Enfin l'arrivée sur l'antenne du récepteur d'ondes ayant suivi des trajets différents peut aussi conduire à des interférences destructives.

Les 3 catégories de puissance d'émission :

- **classe 1** : puissance maximale émise 100 mW soit 20 dBm, contrôle de la puissance par pas de 2 dB min / 8 dB max dans la gamme 4 dBm - 20 dBm
- **classe 2** : puissance maximale 2,5 mW soit 4 dBm, contrôle de puissance facultatif
- **classe 3** : puissance maximale 1 mW soit 0 dBm, contrôle de puissance facultatif



Une règle empirique permet de prévoir « en gros » la portée d'une liaison Bluetooth :

- atténuation de 50 dB pour les 6 premiers mètres
- atténuation de 10 dB par 10 mètres supplémentaires

Exemple : une puissance émise de 1 mW = 0 dBm est-elle suffisante pour une liaison de 35m ?

- **atténuation totale** : $50 + 3 \cdot 10 = 80 \text{ dB}$
- **niveau reçu** : $0\text{dBm} - 80 \text{ dB} = -80 \text{ dBm}$
- **sensibilité du récepteur** : -70 dBm la liaison n'est pas possible

L'atténuation totale permise n'est que de 70dB, ce qui correspond à une portée maximale sans obstacle de 26 mètres



14- La transmission par paquets

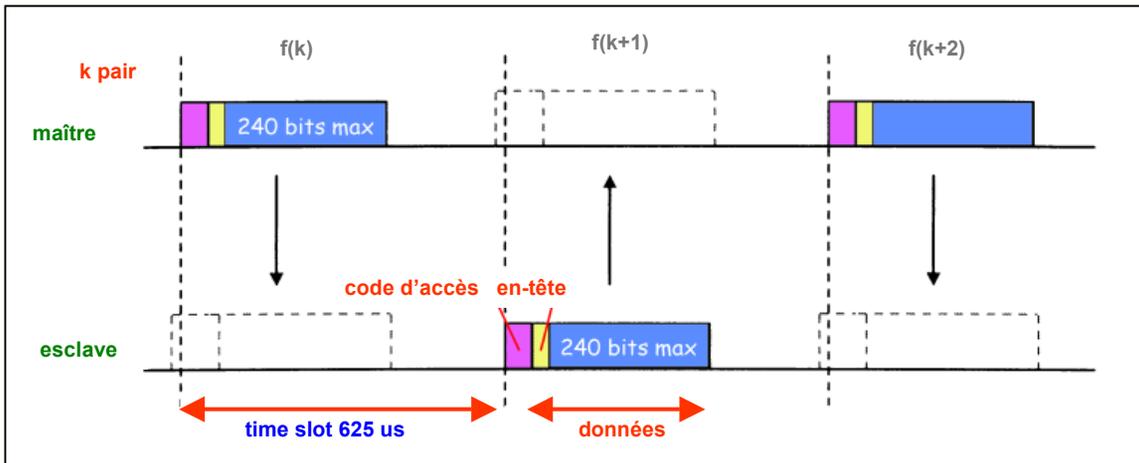


Pour la transmission, les données sont regroupées en paquets et associées à des informations d'adresse et de description du paquet :

⇒ **code d'accès (72 bits)** : chaque paquet débute par un code d'accès composé du code de canal ou CAC (Chanel Access Code) propre à un piconet, du code de composant ou DAC (Device Access Code) utilisé pour le paging et du code de recherche ou IAC (Inquiry Access Code) si le maître recherche d'autres équipements Bluetooth du piconet

⇒ **en-tête (54 bits)** : ce champ contient dans l'ordre l'adresse de l'esclave (codée sur 3 bits, soit 7 au maximum) qui échange des données, le type de paquet et des bits de contrôle (erreurs, buffer de réception ...)

⇒ **données binaires** : la taille de cette partie est variable et peut aller jusqu'à 240 bits



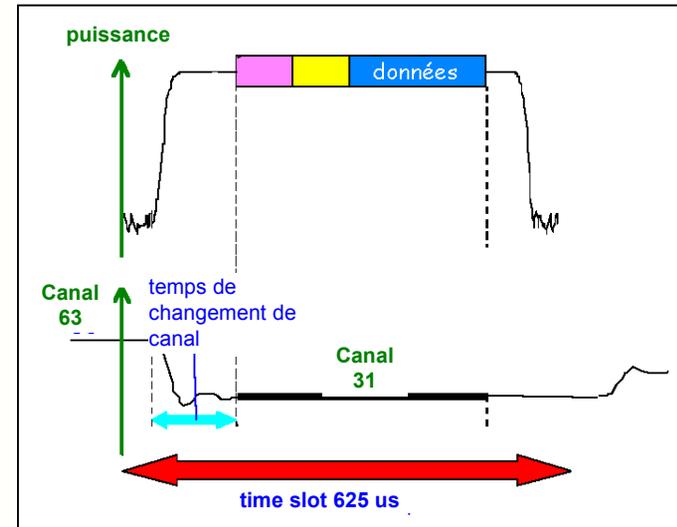
Dans ce mode de fonctionnement, le débit maximal dans les 2 sens est de :

$$D = 240 \text{ bits} / 2 \times 625 \mu\text{s} = 192 \text{ kbits/s}$$

Les échanges de données sont régis par les règles suivantes:

- le choix des fréquences se fait selon une **séquence pseudo-aléatoire** définie par le maître
- le maître émet dans les time-slots pairs et l'esclave dans les time-slots impair
- les **time-slots sont numérotés par le maître** de

$$k=0 \quad \text{à} \quad k=k_{\max}=2^{27}-1$$



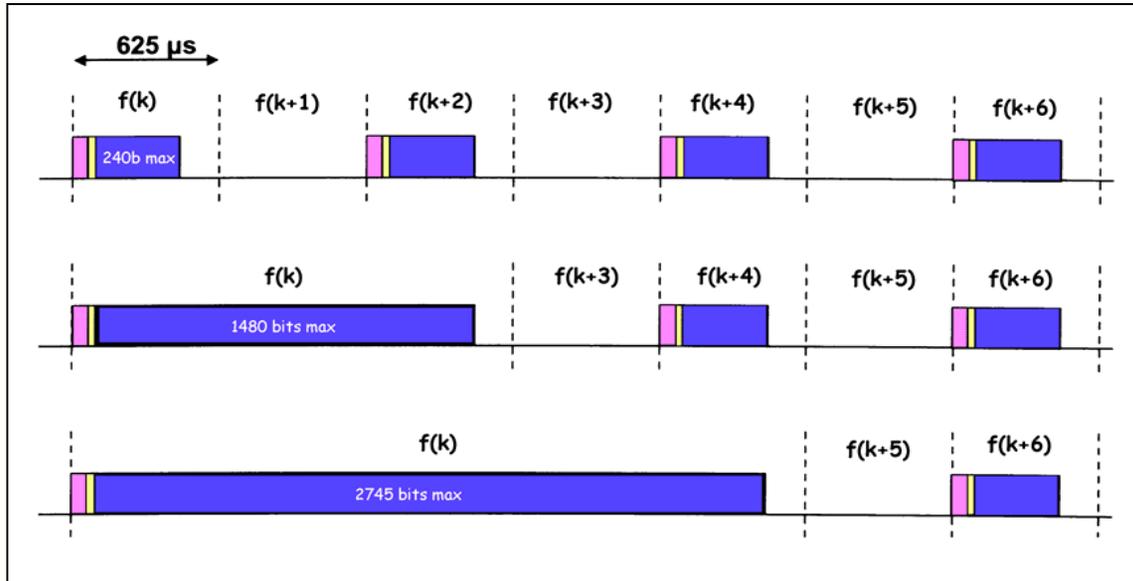


15- Longueurs de paquets et débits



Bluetooth peut utiliser des paquets de données courts (1 time-slot, 240 bits au maximum) moyens (3 time-slot, 1480 bits max) ou longs (5 time-slot, 2745 bits max).

Dans les 2 derniers cas le saut de fréquence ne se fait pas à la fin du time-slot, mais après transmission du paquet complet.



En fonction de la taille des paquets utilisés, le débit peut varier dans une large mesure :

- paquet long dans un sens, court dans l'autre
 $D1 = 2745 \text{ bits}/6 \times 625 \mu\text{s} = 732 \text{ kbits/s}$
 $D2 = 240 \text{ bits}/6 \times 625 \mu\text{s} = 64 \text{ kbits/s}$
- paquet moyen dans un sens, court dans l'autre :
 $D1 = 1480 \text{ bits}/4 \times 625 \mu\text{s} = 592 \text{ kbits/s}$
 $D2 = 240 \text{ bits}/4 \times 625 \mu\text{s} = 96 \text{ kbits/s}$
- paquet long dans les deux sens :
 $D1 = 2745 \text{ bits}/10 \times 625 \mu\text{s} = 439,2 \text{ kbits/s} = D2$

Le débit maximal de 732 kbits/s est obtenu en transmission asymétrique avec un paquet long dans un sens et court dans l'autre.

Protection : les données peuvent aussi être protégées par un **code correcteur d'erreurs FEC** (Forward Error Correction) :

- le code FEC 2/3 nécessite 3 bits pour en protéger 2, soit 160 bits utiles pour un paquet court
- le code FEC 1/3 nécessite 3 bits pour en protéger 1, soit 80 bits utiles pour un paquet court

Cette protection réduit bien-sûr d'autant le débit utilisable.

A cette protection par code s'ajoute, sauf pour les canaux vocaux où la perte d'un paquet est peu sensible, la possibilité d'une **demande automatique de retransmission ARQ** (Automatic Retransmission Query).

L'en-tête de chaque paquet est toujours protégé par une correction d'erreur en aval (FEC).



16- Les deux types de liens maître-esclave



Deux types de liens peuvent être mis en place entre le maître et l'esclave :

⇒ un lien synchrone ou SCO (Synchronous Connection Oriented)

- lien point à point entre le maître et un unique esclave du piconet
- slots réservés par le paramètre T_{SCO} (intervalle entre deux slots)
- utilisé pour transmettre la voix (débit garanti)
- le maître peut gérer jusqu'à 3 liens SCO
- l'esclave répond dans le time-slot suivant le time-slot de réception
- pas de renvoi en cas d'erreur de transmission

⇒ un lien asynchrone ou ACL (Asynchronous Connection Less)

- utilise les slots non réservés par un lien synchrone
- un seul lien ACL possible entre maître et esclave
- renvoi en cas d'erreur de transmission
- les paquets ACL reçus peuvent être renvoyés vers l'expéditeur pour vérifier l'intégrité des données
- l'esclave répond dans le time-slot suivant le time-slot de réception
- les paquets ACL « broadcast » seront lus par tous les esclaves

Code	slots	SCO	ACL	utilisation
0000	1	NULL	NULL	paquet ne transportant aucune donnée, informe le maître sur le succès de la transmission, l'état du buffer ...
0001	1	POLL	POLL	idem, mais du maître vers l'esclave pour l'obliger à répondre même s'il n'a rien à dire
0010	1	FHS	FHS	paquet de contrôle permettant entre autres de synchroniser les esclaves à la mise en place du piconet
0011	1	DM1	DM1	transporte des données (Data Medium), protégées par code 2/3 FEC et code CRC
0100	1		DH1	idem à DM1, mais sans code de protection CRC
0101	1	HV1		transporte des données vocales (High quality Voice) sur 240 bits, protégées par code 1/3 FEC, 1,25 ms de voix à 64 kbits/s, tous les 2 slots ($T_{SCO}=2$)
0110	1	HV2		transporte des données vocales sur 240 bits, protégées par code 2/3 FEC, 2,5 ms de voix à 64 kbits/s, à transmettre tous les 4 slots ($T_{SCO}=4$)
0111	1	HV3		transporte des données vocales sur 240 bits, non protégées, 3,75 ms de voix à 64 kbits/s, à transmettre tous les 6 slots ($T_{SCO}=6$)
1000	1	DV		transporte à la fois des données et de la voix non protégée
1001	1		AUX1	idem à DM1, mais les données ne sont pas protégées du tout
1010	3		DM3	idem à DM1, mais le paquet est plus long et utilise 3 time-slots
1011	3		DH3	idem à DH1, mais le paquet est plus long et utilise 3 time-slots
1100	3			
1101	3			
1110	5		DM5	idem à DM1, mais le paquet est plus long et utilise 5 time-slots
1111	5		DH5	idem à DH1, mais le paquet est plus long et utilise 5 time-slots

Les 16 différents types de paquets



17- Les débits de Bluetooth



paquets ACL

paquets courts

paquets moyens

paquets longs

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)	Asymmetric Max. Rate (kb/s)	
						Forward	Reverse
DM1	1	0-17	2/3	yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	0-27	no	yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	0-121	2/3	yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	0-183	no	yes	390.4	585.6	86.4
DM5	2	0-224	2/3	yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	0-339	no	yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0-29	no	no	185.6	185.6	185.6

paquets SCO

Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max. Rate (kb/s)
HV1	na	10	1/3	no	64.0
HV2	na	20	2/3	no	64.0
HV3	na	30	no	no	64.0
DV*	1 D	10+(0-9) D	2/3 D	yes D	64.0+57.6 D



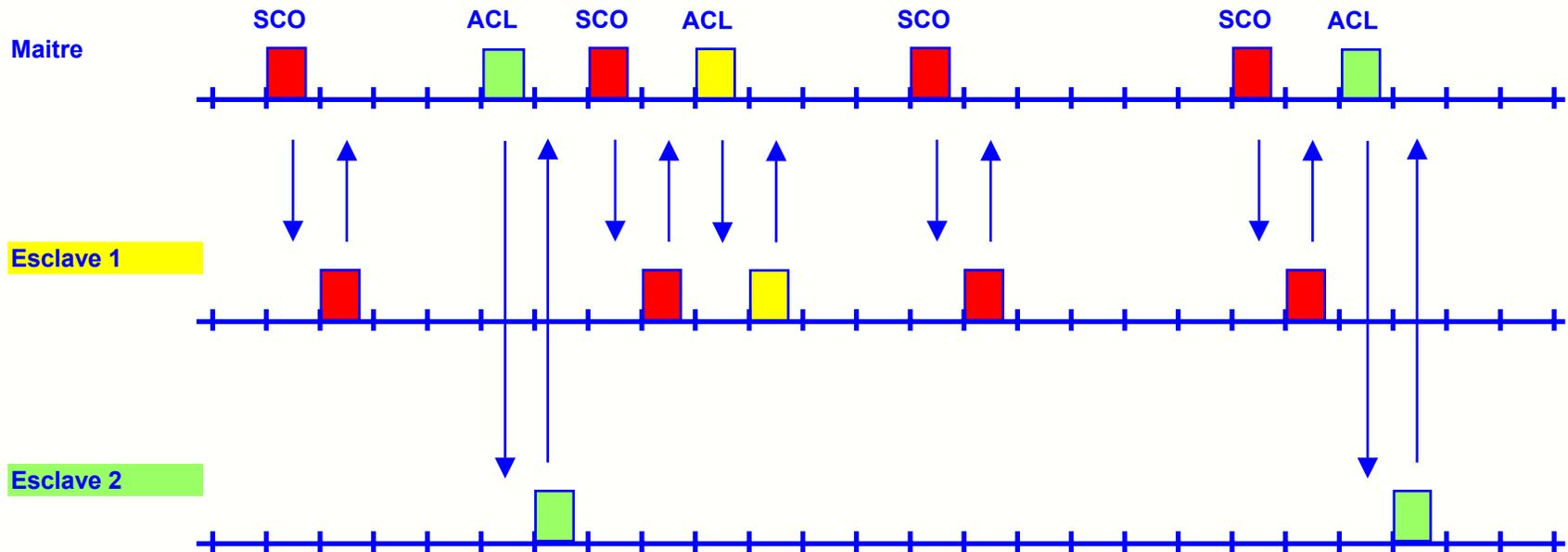
18- Illustration des liaisons SCO et ACL



Le maître échange des données avec 2 esclaves du piconet :

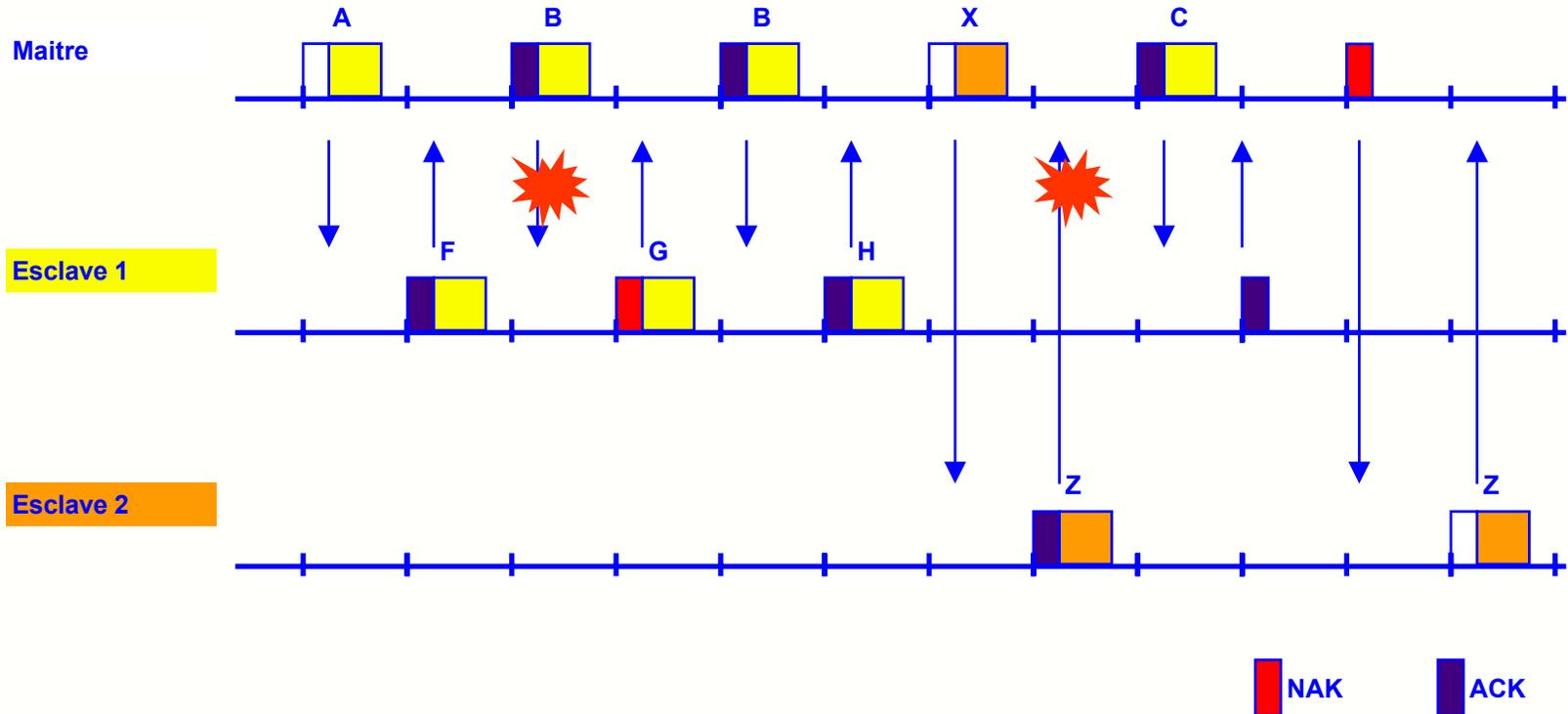
- avec l'esclave 1 un lien synchrone SCO pour une communication vocale et un lien asynchrone ACL pour des données
- avec l'esclave 2 un lien asynchrone ACL pour des données

Dans le cadre du lien synchrone, le maître envoie les données tous les 6 time-slots, le paramètre vaut donc $TSCO = 6$, le paquet est du type HV3 et le débit correspondant est de $D = 64 \text{ kbits/s}$.





19- Illustration de la retransmission automatique



La transmission du paquet B vers l'esclave 1 a été perturbée, l'acquiescement n'a pas eu lieu (NAK) et le paquet est renvoyé dans le time-slot suivant : c'est la [retransmission automatique](#).

La transmission du paquet Z envoyé par l'esclave 2 vers le maître a été perturbée. Le maître en avertit l'esclave dès qu'il est disponible pour recevoir une nouvelle transmission du même paquet.

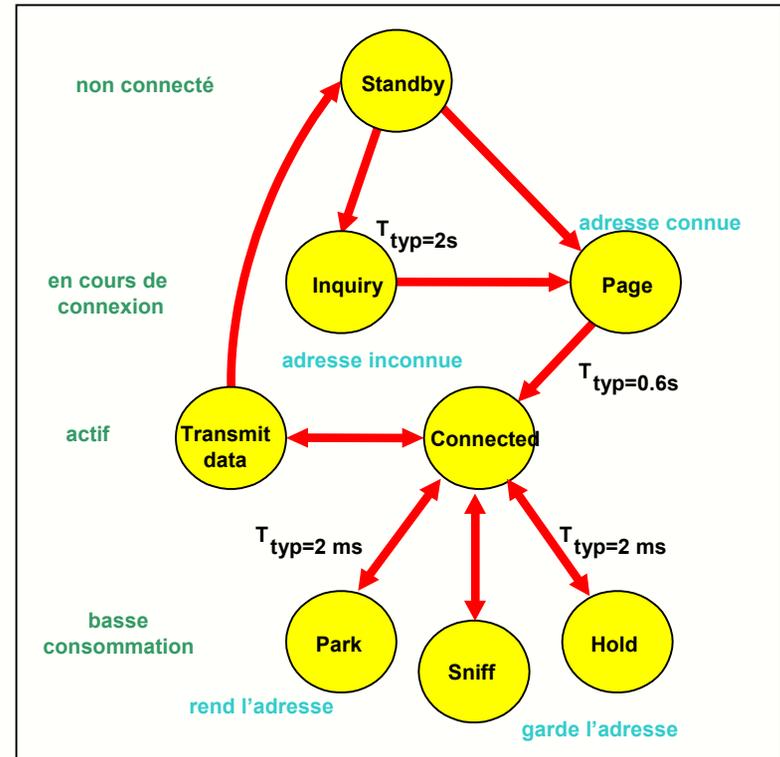


20- La mise en place d'une liaison



Les modules Bluetooth entrent en liaison de la façon suivante :

- ils sont au départ en **mode d'attente** et cherchent la présence de transmissions à proximité toutes les 1,28 secondes en écoutant successivement 32 « porteuses d'éveil » parmi les 79 fréquences
- le module Bluetooth qui souhaite communiquer envoie des requêtes (en **mode Inquiry** si les adresses sont inconnues et en **mode Page** si elles sont connues) par les porteuses d'éveil auquel répondent les modules situés à proximité. Il devient alors le maître du piconet, et son adresse définit la suite des sauts en fréquence suivie par les esclaves
- les autres modules (esclaves) **se synchronisent** sur l'horloge du maître, et répondent avec leur **numéro d'identification**. Le maître sait maintenant quels sont les modules présents, connaît leur adresse respectives et peut sélectionner le dispositif qui l'intéresse.
- s'il veut échanger des données, le maître passe en **mode d'appel** et définit avec le module esclave visé le type et les caractéristiques de la liaison qu'il veut mettre en place
- la liaison sera établie (état : Connected) au bout de 0,6 secondes, tout est prêt alors pour la transmission des données (Transmit Data)



Après l'échange de données, le module peut retourner en mode d'attente ou adopter l'un des trois états à faible consommation :

- le **mode de maintien** (Hold) au cours duquel l'appareil reste actif dans le picoréseau. Lorsque le temporisateur interne de l'esclave vient à expiration, l'esclave s'annonce brièvement au maître avant de recommencer le compte à rebours.
- le **mode « renifleur »** (Sniff), l'esclave est programmé pour se mettre périodiquement à l'écoute du picoréseau afin de déterminer si ce dernier désire lui envoyer des données
- le dernier mode à faible consommation fait appel au **parcage des esclaves** (Park) : l'esclave se retire du picoréseau, rend son adresse MAC (Media Access Control, de 0 à 7) et se resynchronise périodiquement sur le maître

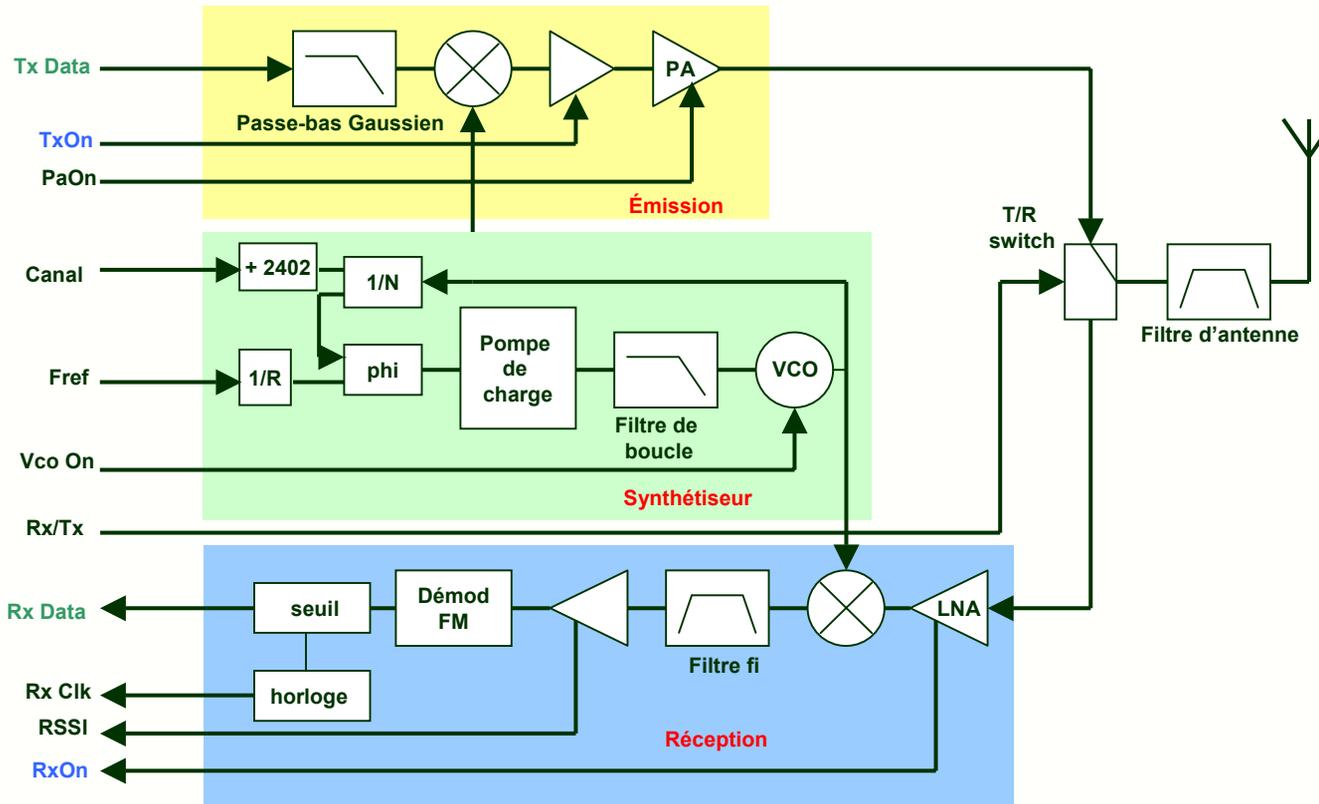


21 - Structure et caractéristiques d'un module RF



Une interface Bluetooth est constituée des éléments suivants :

- un **synthétiseur de fréquence**, qui sert alternativement pour l'émission et la réception
- le VCO du synthétiseur doit être **modulable en fréquence**
- un **amplificateur RF** de faible puissance
- d'une **antenne** (la moins encombrante possible)
- un **récepteur** à changement de fréquence
- un **processeur bande de base** qui gère la liaison et produit le signal binaire filtré



Émetteur :

- Puissance nominale : 0dBm
- Gamme possible : -30 à +20dBm
- Indice de modulation 0,28 – 0,35
- Déviation de fréquence ± 150 kHz
- Niveau canal adjacent -20dBm
- Émissions hors bande 50dB

Récepteur :

- Sensibilité : -70dBm
- Bande passante f_i : 1.0MHz
- Réjection f - image : 20dB

Synthétiseur :

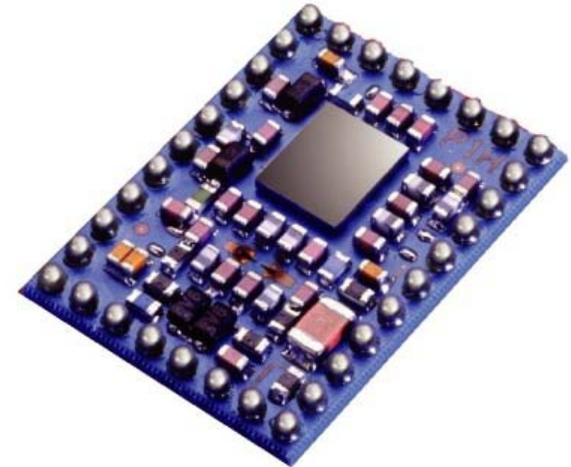
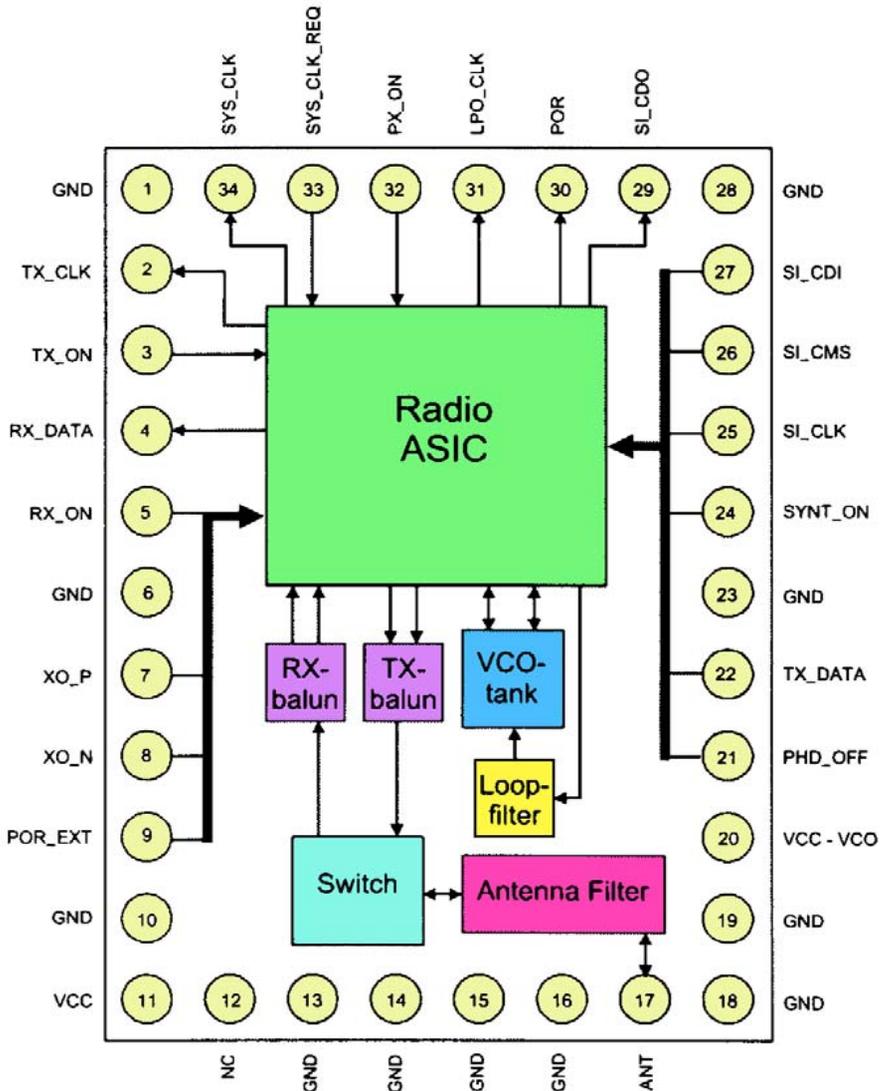
- Précision du timing : 20ppm
- L500kHz : -89dBc/Hz
- Temps de com. Canal : 220 μ s
- Temps de com. RX/TX : 220 μ s



22- Exemple du module radio Ericsson

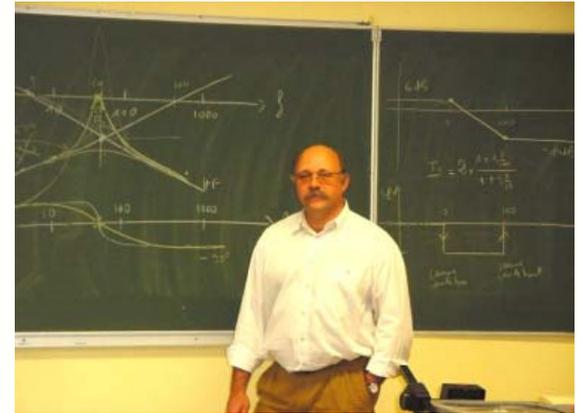


Le PBA 313 01/2 du Suédois est un module hybride en boîtier BGA dédié aux applications Bluetooth :



- le circuit RF est un Asic Bi-Cmos, qui réalise les fonctions d'émission classe 2 (+4dBm max) et de réception
- autour de ce circuit gravitent le filtre de boucle, le circuit d'accord du VCO, le commutateur et le filtre d'antenne, les transformateurs baluns des voies Rx et Tx
- la modulation GFSK est réalisée par le VCO dont les éléments critiques sont ajustés au laser
- le récepteur est à changement de fréquence, avec une $f_i = 3 \text{ MHz}$, et sa sensibilité en réception est conforme aux exigences soit meilleure que -70 dBm pour un taux d'erreur de 0.1%
- sous une tension d'alimentation de 2.8V , le PBA 313 consomme typiquement 40 mA en mode réception, 35 mA en émission et moins de $100 \mu\text{A}$ en veille

Pour réaliser une interface Bluetooth complète, le circuit doit être associé à un processeur en bande de base avec son « soft » de gestion, une horloge à 13 MHz et une antenne 50Ω .



FIN