

# L'accès au canal dans les réseaux sans fil personnels

Daniel Trezentos\*, Xavier Lagrange\*\*, Isabelle Moreau\*

\* MITSUBISHI ELECTRIC ITE-TCL

\*\* Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications de Bretagne (ENST-B)

## Résumé

Parmi les systèmes pour réseau sans fils personnel WPAN™ (Wireless Personal Area Network) les plus prometteurs, on trouve Bluetooth et le futur standard haut débit pour WPAN™ IEEE 802.15.3. Dans cet article nous présentons et comparons les mécanismes d'accès au canal de ces systèmes. Bluetooth est conçu sur un modèle maître-esclave et l'utilisation du saut de fréquence. Le futur standard haut débit pour WPAN™ IEEE 802.15.3 combine les mécanismes maître-esclave à un accès CSMA/CA repris du standard pour réseau local sans fil IEEE 802.11.

## 1. Introduction

Depuis quelques années, le concept de réseau sans fil personnel ou WPAN™ se fait jour.

Les WPANs™ sont caractérisés par un rayon d'action faible. Un WPAN™ a vocation à faire communiquer tous les appareils numériques situés dans le POS (*Personal Operating Space*). Le POS correspond à une sphère de 10 mètres de rayon centrée sur un individu. Des réseaux ne nécessitant pas d'infrastructure préalable (réseau ad hoc) se forment alors à l'intersection ou à l'intérieur même des POSs pour faire communiquer les différents appareils numériques portatifs. L'autre caractéristique forte des WPANs™ est un faible coût par unité, condition essentielle à un déploiement massif assurant l'adoption d'un tel système.

Le système radio Bluetooth fait partie de la catégorie des WPANs™. La spécification du système initialement produite par des industriels, a été reprise par l'IEEE (*the Institute of Electrical and Electronics Engineers*) pour en faire un standard.

L'étude des WPANs™ au sein de l'IEEE a commencé en 1997. Cette activité, démarrée dans le groupe 802.11 WLAN (*Wireless Local Area Network*) sous l'appellation *wearable computing*, a donné naissance en 1998 au groupe 802.15 [8]. Ce groupe est composé aujourd'hui de quatre sous-groupes d'étude. La mission du premier sous-groupe (TG1 ou 802.15.1) est de reprendre la spécification Bluetooth afin d'en faire un standard IEEE. Le second, TG2, a pour but de proposer des recommandations pour la coexistence et l'interopérabilité des systèmes opérant dans la bande de fréquence des 2,4 GHz. En particulier, ce groupe étudie comment les WLANs, principalement 802.11b ([6] [7]) et les WPANs™ peuvent coexister voire interagir. Le troisième sous-groupe, TG3, développe un standard WPAN™ haut débit (entre 22 et 55 Mbit/s) dont les applications phares sont la diffusion audio et vidéo de haute qualité. Enfin, le dernier sous-groupe, TG4, développe une solution bas débit (200 kbit/s maximum) à coût très réduit. Cette technologie est destinée à être embarquée dans des badges électroniques, des capteurs industrielles ou utilisée par des applications domotiques. Les travaux du TG4 en sont à leur début. Il n'en sera pas fait mention dans la suite.

Le but de ce document est d'étudier et comparer les systèmes Bluetooth et 802.15.3 en se focalisant plus particulièrement sur les mécanismes d'accès au canal. Des informations sur les autres caractéristiques de ces systèmes sont disponibles dans [1] [2] [4] [9]. La première partie détaillera le système Bluetooth, la seconde résumera la proposition actuelle pour les systèmes 802.15.3. La troisième partie dressera un comparatif des deux systèmes.

## 2. Le système Bluetooth

La spécification du système radio Bluetooth [1] est la résultante des efforts conjugués d'un groupe d'industriels réunis autour d'Ericsson dans le SIG (*Special Interest Group*) Bluetooth.

Bluetooth a initialement été conçu comme un système de remplacement des câbles de connexions utilisés entre les appareils portatifs tels que les téléphones portables, les PDAs (*Personal Digital*

*Assistant*) et les ordinateurs portables. En particulier, il avait pour but de s'affranchir des problèmes d'interconnexions et de configuration liés à l'utilisation d'interface filaire propriétaire.

Le cahier des charges initial a évolué pour donner naissance à un système répondant aux caractéristiques des WPANs™. Les applications supportées par Bluetooth sont le transfert de données (à environ 720 kbit/s maximum) et la transmission audio à 64kbit/s.

## 2.1. La couche radio Bluetooth

La couche radio Bluetooth utilise la bande de fréquence sans licence ISM (*Industrial Scientific and Medical*) à 2,4 GHz. Cette bande de fréquence qui s'étale de 2400 à 2483,5 MHz est découpée en 79 canaux de 1 MHz. La modulation utilisée est la GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) avec un débit de 1 Mbit/s sur la voie radio.

Trois classes de puissance ont été définies : 100 mW (portée d'environ 100 mètres), 2,5 mW et 1 mW. Seules les deux dernières sont actuellement autorisées en France. Les récepteurs Bluetooth doivent quant à eux avoir une sensibilité au moins égale à -70 dBm.

## 2.2. Le canal de transmission

Le canal de transmission est divisé temporellement en slots de taille fixe (625  $\mu$ s). En fonctionnement nominal, un slot accueille la transmission d'un paquet. Un paquet est composé de trois parties : un code d'accès, une entête et le corps. Le code d'accès est utilisé comme identifiant de piconet. L'entête de paquet qualifie le paquet. Elle contient des informations tels que le type de paquet, et l'adresse du destinataire. Le corps contient les données à transmettre.

La couche radio utilise l'étalement de spectre par saut de fréquence FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*). Chaque paquet à transmettre est émis sur une fréquence différente de celle utilisée précédemment (1600 sauts par seconde). La séquence de saut est pseudo-aléatoire. Deux réseaux distincts n'ont pas la même séquence de saut et ne sont pas synchronisés. Des collisions peuvent se produire. La Figure 1 illustre le mécanisme du saut de fréquence pour deux réseaux distincts.

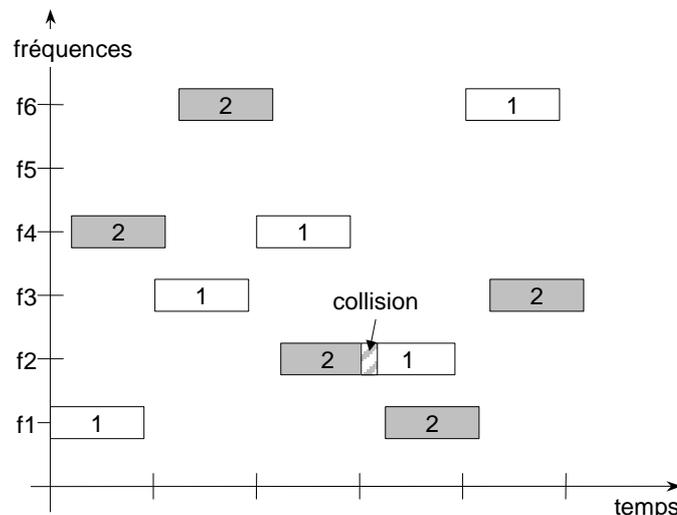


Figure 1 – Le saut de fréquence

Un duplexage temporel TDD (*Time Division Duplex*) est employé pour permettre les transmissions bidirectionnelles.

## 2.3. Le modèle de réseau

Dans la suite, le terme station sera utilisé pour désigner tout appareil (PDA, appareil photo numérique, etc.) susceptible de contenir un module de transmission Bluetooth.

Bluetooth a inauguré le concept de piconet : réseau éphémère se créant au gré des besoins. La gestion du piconet est centralisée et confiée à une station appelée maître. Par extension, toutes les stations non-maître incluses dans un piconet sont appelées esclaves.

Ce sont les caractéristiques du maître qui définissent celles du piconet. En particulier chaque station Bluetooth possède une adresse IEEE802 (48 bits) ainsi qu'une horloge interne. La séquence de saut

pseudo-aléatoire qui définit le canal est initialisée en utilisant l'adresse IEEE802 du maître. La synchronisation au sein du piconet s'effectue en utilisant les paramètres d'horloge du maître.

Le maître gère également l'accès au piconet en attribuant à chaque nouvelle station une adresse courte sur 3 bits (AM\_ADDR, *Active Member ADDRESS*) permettant à la station de communiquer au sein du piconet. La taille de l'adresse limite à 7 le nombre maximum d'esclaves actifs par piconet. L'adresse '000' est réservée au maître. Cette limitation peut en partie être levée grâce à l'interconnexion de plusieurs piconets par une station charnière. L'ensemble constitué d'au moins deux piconets interconnectés est appelé *scatternet*.

La Figure 2 nous montre deux exemples de topologies réseau. Sur la gauche est schématisé un piconet. Sur la droite est représenté un scatternet constitué de 3 piconets.

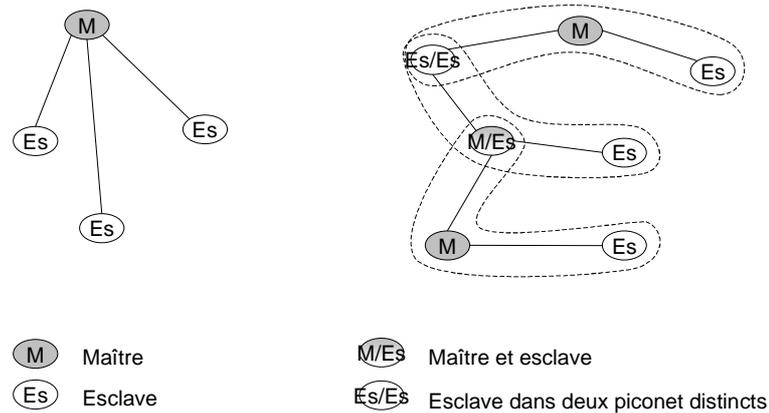


Figure 2 - Topologie de réseau Bluetooth

Au sein d'un scatternet, une station charnière peut à la fois être maître d'un piconet et esclave d'un autre. Dans les faits, à un instant donné une station charnière n'est connectée qu'à un piconet à la fois. La station séquence les différentes opérations dans le temps pour assumer les deux rôles.

2.4. Service support

Au sein d'un piconet, deux types de liens sont possibles. Les liens SCO (*Synchronous Connection-Oriented link*) et les liens ACL (*Asynchronous Connection-Less link*).

Le lien SCO est un lien point-à-point entre le maître et un esclave. Il peut y avoir jusqu'à trois liens SCO par piconet. Le lien ACL est un lien point-à-multipoint entre le maître et l'ensemble des esclaves. Il n'en existe qu'un par piconet. Les liens directs entre esclaves ne sont pas possibles mais peuvent éventuellement être simulés au niveau application.

Les liens SCO sont utilisés pour le transport de la voix. Ils sont établis après négociation entre le maître et l'esclave concerné. Le maître réserve à des instants périodiques deux slots (un dans chaque sens) qui seront consacrés au flux SCO.

Le lien ACL utilise les slots non réservés par les liens SCO. Le maître attribue les slots afin de satisfaire au mieux les besoins des différents esclaves. Un esclave est habilité à émettre sur le canal s'il a reçu dans le slot précédent une trame du maître contenant son adresse comme adresse destination. La Figure 3 illustre le principe d'allocation des slots pour le lien ACL.

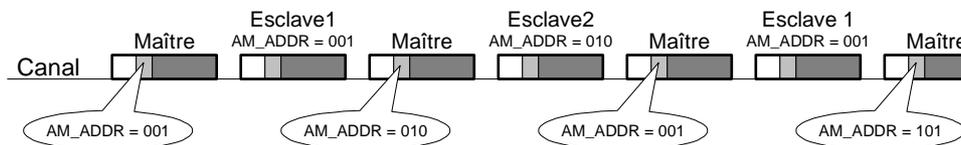


Figure 3 – Principe d'allocation de ressource pour le lien ACL

Le lien ACL est utilisé pour le transfert de données en tout genre. Les débits sur le lien sont rendus variables par l'utilisation de paquets plus ou moins longues. Celles-ci peuvent occuper jusqu'à 5 slots. Le Tableau 1 résume les caractéristiques principales des paquets disponibles sur le lien ACL.

Tableau 1 – Principaux paquets disponibles sur les liens ACL

Type de paquet	Nombre de slot occupés	Taille des données utilisateurs (octets)	Débit symétrique max. (kbit/s)	Débit asymétrique max. (kbit/s)	
DM1	1	0-17	108,8	108,8	108,8
DH1		0-27	172,8	172,8	172,8
DM3	3	0-121	258,1	387,2	54,4
DH3		0-183	390,4	585,6	86,4
DM5	5	0-224	286,7	477,8	36,3
DH5		0-339	433,9	723,2	57,6

Il existe deux types fondamentaux de paquets : les paquets DM (*Data Medium*) incluent une redondance de type FEC (*Forward Error Correction*) pour permettre la correction d'erreurs éventuelles de transmission, les paquets DH (*Data High*) ne bénéficient pas de cette protection et peuvent donc, à taille totale équivalente, transporter plus de donnée utilisateur.

**2.5. Les processus de la couche bande de base**

La couche bande de base (*baseband*) est placée au-dessus de la couche radio. Elle abrite les processus fondamentaux permettant l'établissement du piconet [3], [5]. Par défaut, une station mise sous tension est en veille (*standby state*). Lorsqu'une station se connecte à un piconet, elle quitte cet état pour parvenir à l'état connecté (*connection state*). Pour l'aider à atteindre cet état, deux familles de procédure ont été définies. D'une part, les procédures d'*inquiry* utilisées pour permettre à une station Bluetooth de découvrir son environnement. D'autre part, les procédures de *page* destinées à établir la connexion entre deux stations. L'ensemble des activités réalisables par une station en veille est représenté sur la Figure 4.

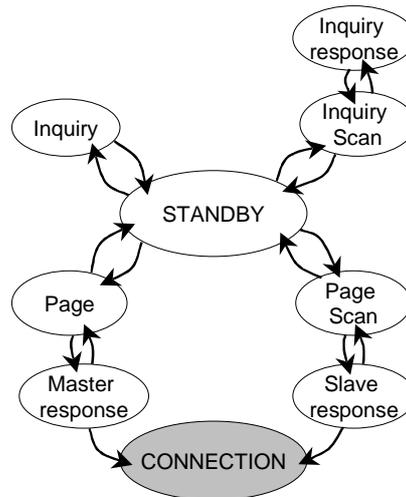


Figure 4 - L'état « en veille »

**2.5.1. Les procédures d'inquiry**

Les procédures d'*inquiry* et d'*inquiry scan* permettent la rencontre des stations souhaitant se faire connaître (*inquiry scan*) et de celles souhaitant découvrir l'environnement qui les entoure (*inquiry*) en vue d'une connexion. Ces procédures sont réalisées de manière périodique afin d'actualiser les informations recueillies.

Une station procédant à un *inquiry* envoie sur un canal radio une trame de courte durée invitant les stations à l'écoute à envoyer leurs informations personnelles. La station réalisant un *inquiry scan* se contente d'une écoute passive sur un canal radio donné. Afin d'augmenter la probabilité de succès, ces procédures utilisent un sous-ensemble de 32 canaux radio parmi les 79 canaux disponibles et on utilise des demi-slots. La fréquence des sauts, côté émetteur, est doublée. Ceci permet de balayer l'ensemble des 32 canaux réservés en l'espace de 20 ms. Côté récepteur, les stations procédant à un *inquiry scan* balayent les différentes fréquences beaucoup plus lentement.

Une fois que la rencontre a eu lieu, la station procédant à l'*inquiry scan* passe dans l'état d'*inquiry response* et envoie ses informations personnelles à la station procédant à l'*inquiry*. Ces informations incluent l'adresse IEEE802, la classe de station, la périodicité des *page scan* et l'horloge interne.

### 2.5.2. Les procédures de page

Les procédures de *page* et de *page scan* permettent l'établissement d'une connexion entre deux stations. Elles fonctionnent sur le même principe que les procédures d'*inquiry*. En particulier, un sous-ensemble de 32 canaux radio est utilisé mais il est distinct des 32 canaux des procédures d'*inquiry*.

Pour accélérer la procédure de connexion, l'émetteur va exploiter les informations recueillies lors de l'*inquiry* précédent. En particulier, il va tenter de prédire le canal sur lequel le récepteur sera à l'écoute lors de la transmission de la demande de connexion. Ainsi les trames de demande de connexion seront envoyées en premier lieu sur le canal radio prédit.

Lorsqu'une station va répondre avec succès à la procédure de *page* elle va quitter l'état de veille pour passer en état connecté. Elle sera alors intégrée, en tant qu'esclave, au sein du piconet dont le maître n'est autre que l'initiateur de la procédure de *page*.

### 2.6. L'état connecté et ses différents modes

Aussitôt connectée, une station peut intervenir dans le piconet. Elle suit les règles d'accès et de transmission qui ont été établies. En particulier, elle doit écouter le lien ACL tous les deux slots même si elle n'a pas à intervenir.

Afin d'optimiser les ressources énergétiques, des modes adaptés à ce type de situation ont été définis libérant la station des contraintes d'écoute régulière du canal.

Dans l'ordre décroissant de consommation d'énergie nous avons: le mode actif, le mode *sniff*, le mode *hold* et finalement le mode *park*.

Le mode actif est le mode par défaut où une station doit impérativement écouter toutes les trames transmises par le maître sur le lien ACL. Elle doit bien évidemment répondre aux obligations des liens SCO si elle en est pourvue.

Le mode *sniff* permet à une station de n'écouter le canal qu'à des intervalles prédéfinis et périodiques.

Le mode *hold* permet à une station de se libérer de toutes ses obligations au sein du piconet pour un période donné. Cette période de liberté est utilisée pour procéder à des opérations d'*inquiry* ou de *page*.

Le mode *park* est utilisé pour les stations n'ayant pas à intervenir dans l'immédiat au sein du piconet. Au maximum 255 stations peuvent ainsi rester synchronisées au maître sans toutefois pouvoir intervenir au sein du piconet. Ce mode a l'avantage de permettre une réintégration rapide des stations. Il permet également de lever partiellement la limitation à 7 esclaves par piconet. La Figure 5 illustre les différents états et les différents modes accessible depuis l'état connecté par une station Bluetooth.

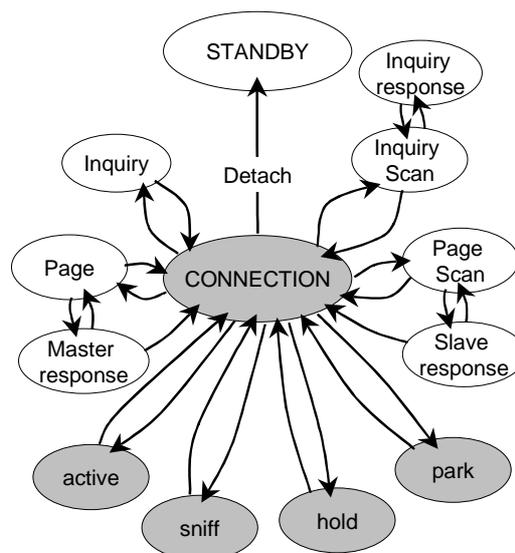


Figure 5 - L'état connecté

Une fois connectée, une station peut continuer à effectuer les opérations de *page* et d'*inquiry*. L'opération d'*inquiry* va permettre à une station déjà connectée de rafraîchir les informations

concernant son environnement. Elle doit également effectuer périodiquement des *inquiry scan* pour fournir aux autres stations les informations la concernant.

Les procédures de *page* ou *page scan* sont également accessibles aux stations connectées. Elles permettent la création de scatternet. Lorsque le maître actuel d'un piconet répond à un *page* (en effectuant un *page scan*), il devient esclave dans un nouveau piconet. Lorsque le maître actuel du piconet effectue un *page* avec succès, il ajoute un esclave à son piconet. De même, lorsqu'un esclave répond à un *page* il devient esclave dans deux piconets à la fois. Lorsqu'un esclave effectue un *page* avec succès, il reste esclave dans son piconet d'origine et devient maître dans le piconet nouvellement créé.

La procédure *detach* permet à tout moment à une station de quitter l'état connecté. Concrètement, la station quitte le piconet dans lequel elle a effectué cette procédure.

### 2.7. Scénario de connexion

Un cycle classique accompli par une station Bluetooth commence par la mise sous tension. La station est en veille. Lorsqu'une requête de demande de service parvient du niveau supérieur au module Bluetooth, une procédure d'*inquiry* est lancée afin de détecter les stations à portée. Une fois la phase de découverte terminée, la station entame une connexion avec l'une des stations. Cette station est choisie d'après sa « classe de station » compatible avec le service recherché. La procédure de *page* est utilisée pour créer la connexion radio. Un lien ACL est créé au-dessus du lien radio. Le protocole SDP (*Service Discovery Protocol*, protocole défini dans la spécification Bluetooth) permet à la station cliente de s'assurer de la disponibilité du service qu'elle recherche et d'obtenir tous les paramètres lui permettant de l'utiliser. Une connexion spécifique est créée vers le service requis. Une fois le service rendu, les connexions sont rompues. Eventuellement, la station se déconnecte totalement et revient dans l'état de veille.

## 3. 802.15.3 WPAN™ Haut débit

Entièrement développé au sein de l'IEEE, le futur standard pour WPAN™ haut débit adopte une architecture tout à fait classique. Comme l'ensemble des standards de communication de la famille 802, le standard spécifie une couche MAC (*Medium Access Control*) supportée par une couche physique (PHY).

Comme pour Bluetooth, le modèle de réseau ad hoc avec une gestion centralisée par un maître a été adopté. Le maître est appelé ici PNC (*PicoNet Coordinator*). Il endosse toutes les responsabilités liées au piconet. Un PNC peut avoir jusqu'à 253 stations actives connectées à son piconet.

### 3.1. La couche physique

La couche physique comme celle de Bluetooth et du standard 802.11 pour WLAN utilise la bande ISM à 2,4 GHz. Une modulation de phase O-QPSK (*Offset Quadrature Phase Shift Keying*) est utilisée pour le mode de base avec un débit de 22 Mbit/s (11 Msymboles/s). Trois autres modulations sont également définies: 16 QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), 32 QAM et 64 QAM fournissant des débits respectifs de 33, 44 et 55 Mbit/s.

La bande ISM a été divisée en quatre canaux de 15 MHz. Ces canaux sont utilisés pour la transmission radio. Un mode compatible 802.11b n'utilisant que trois canaux et destiné à améliorer la coexistence entre les systèmes 802.15.3 et 802.11b est également disponible. La puissance de transmission est de 8 dBm pour une couverture radio d'environ 10 mètres.

### 3.2. Le canal de transmission

Le canal de transmission est divisé temporellement en supertrames. Chaque supertrame se décompose en trois parties : une trame balise (*beacon*), la CAP (*Contention Access Period*) et la CFP (*Contention Free Period*). La Figure 6 illustre le découpage du canal de transmission en supertrame.

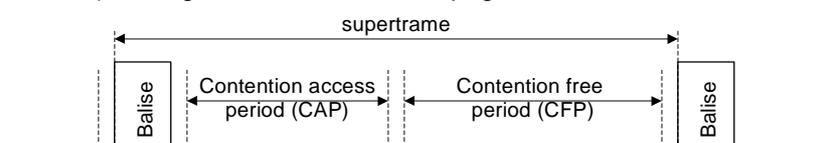


Figure 6 – Format du canal de transmission

La supertrame a une durée variable fixée par le PNC pour répondre aux besoins des participants du piconet. La trame balise, la CAP et la CFP ont elles aussi des tailles variables d'une supertrame à l'autre.

La taille de la trame balise est fonction des informations à transmettre. Cette trame est transmise par le PNC au début de chaque supertrame. Elle est destinée à l'ensemble des stations pour les informer des paramètres du piconet. Parmi ces paramètres on trouve la durée de la supertrame, de la CFP mais aussi la taille maximale des bursts pouvant être transmis.

La durée de la CFP est fonction des besoins des stations en ressource. Plus les demandes sont importantes, plus la part de la CFP dans la supertrame est importante. Le temps restant est alloué à la CAP.

La CAP est utilisée pour la transmission des trames de commande mais aussi pour les trames de données utilisateur ne nécessitant pas de qualité de service. L'accès au canal pendant la CAP se fait avec contention. Des mécanismes similaires à ceux présents dans la couche MAC du standard 802.11 sont utilisés pour gérer l'accès au médium [6]. En particulier on retrouve l'utilisation du CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), du NAV (*Network Allocation Vector*) et du mécanisme RTS/CTS (*Ready To Send/Clear To Send*).

La CFP est utilisée pour la transmission de flux nécessitant de la qualité de service. Les applications de diffusion (*streaming*) multimédia audio ou vidéo en sont les utilisateurs cibles. La CFP est divisée en slots dont le coordinateur gère l'allocation en fonction des besoins. Une station qui se voit attribuer un slot est assurée qu'aucune autre station ne transmettra durant cette période. Lorsqu'une station demande de la ressource réseau pour une application donnée, elle négocie avec le coordinateur l'établissement d'un flux (*stream*). Si la négociation aboutit, un identifiant (*stream index*) est attribué au flux et un ou plusieurs slots de la CFP lui sont dorénavant réservés. L'algorithme utilisé pour gérer l'attribution des slots n'est pas spécifié par le standard. Il fait partie de la valeur ajoutée par les implémenteurs permettant de différencier les produits. Les allocations sont transmises sous forme de blocs CTA (*Channel Time Allocation*) dans la balise avec les autres informations concernant le piconet. Toute station n'ayant pas correctement reçu cette trame n'est pas autorisée à intervenir dans la CFP. Les blocs CTA contiennent un offset caractérisant le début du slot alloué, l'index de flux ainsi que la taille maximale du slot.

Une fois le flux établi, l'émetteur dispose d'une grande souplesse de gestion des acquittements. Quatre politiques sont en effet disponibles : non acquittement, acquittement immédiat, acquittement différé (*delayed ack*) et acquittement implicite (*implied or piggybacked ack*). Les deux premières peuvent également être utilisées avec les transmissions intervenant dans la CAP. Les deux suivantes sont exclusivement réservées aux flux CFP. L'acquittement différé permet de grouper les acquittements au sein d'une commande envoyée une fois qu'un nombre, négocié à l'avance, de trames ont été transmises. Lorsque l'acquittement implicite est choisi par l'émetteur, à la réception d'une trame, le récepteur a le choix entre envoyer un acquittement immédiat ou bien une trame de donnée. L'acquittement implicite permet au récepteur de profiter de son droit d'émission pour transmettre des données.

### 3.3. Les mécanismes de la couche MAC

Avant de pouvoir émettre sur le canal, les stations doivent s'associer au piconet. Ce processus est similaire à celui effectué par les stations 802.11 auprès d'un point d'accès (AP, *Access Point*).

Lorsqu'une station rentre dans un espace physique (mise sous tension ou pénétration de l'espace suite à un déplacement), elle commence par parcourir l'ensemble des canaux définis dans le standard 802.15.3 comme étant valides (au maximum 7 fréquences). Suivant sa configuration, la station tentera de s'associer à un piconet existant ou bien de créer son propre piconet. Certaines stations sont configurées pour toujours créer leur propre piconet. Celles-ci disposent en général d'une source d'énergie continue et sont assimilables aux points d'accès 802.11. Typiquement ces stations sont fixes, gèrent l'accès dans un lieu clos et sont connectées à des ressources particulières (réseau Internet, Intranet, serveur de fichier) dont elles assurent l'accès. A l'opposé, certaines stations sont configurées pour jouer toujours le rôle d'esclave. Une oreillette sans fil par exemple n'a aucun intérêt à créer son propre piconet en l'absence d'une source audio. D'autres stations peuvent assurer les deux rôles comme par exemple les PDAs.

#### 3.3.1. La sélection du PNC

La station souhaitant créer un piconet envoie une trame spécifique destinée à informer toutes les stations alentours de son intention. Cette trame contient des informations relatives aux caractéristiques de la (dite) station tel que sa capacité mémoire, le nombre de ses interfaces extérieures, etc. Toute station apte à devenir PNC et recevant cette trame doit répondre par une

trame similaire. Ainsi commence un processus d'élection du PNC. Une fois l'élection terminée, le vainqueur établit son piconet en envoyant de façon régulière la trame balise.

### **3.3.2. L'association des stations**

Une fois un piconet établi, une station décidant de se connecter envoie une trame d'association à destination du PNC. Cette trame est transmise durant la CAP dans le respect des règles d'accès du CSMA/CA. La station doit donc au préalable écouter la voie balise afin de recueillir les paramètres du piconet tels que le début de la CAP, la taille maximale des paquets, etc.

Suivant la capacité disponible, le PNC accepte ou non l'association de la nouvelle station au sein du piconet. Si cette association intervient, le PNC attribue une adresse à la station. Cette adresse sera dorénavant utilisée par cette dernière pour toutes ses transmissions au sein du piconet. Jusqu'à cette attribution, le PNC utilisait l'adresse IEEE802 sur 48 bits pour identifier cette station.

Une fois connectée, la station peut intervenir dans le piconet. Contrairement au système Bluetooth qui n'autorise que des liaisons entre les esclaves et le maître, ici les liaisons directes esclave-esclave sont permises.

### **3.4. Autres mécanismes**

Afin d'accroître la fiabilité des liens et de garantir une qualité de service constante tout au long de la vie du piconet, deux mécanismes ont été inclus au sein du standard : un service de répétition de paquets et le changement dynamique de canal.

#### **3.4.1. Le service de répétition de paquets**

A tout moment une station constatant une mauvaise qualité pour l'un de ses flux peut demander le support du PNC via le service de répétition (*repeat service*).

La mise en place du service s'établit après négociation entre les parties concernées. Le PNC peut refuser d'assurer ce service si les conditions nécessaires à son établissement ne sont pas réunies. Si la négociation aboutit, le PNC va alors servir de répéteur. Toute trame circulant entre les deux intervenant du flux concerné sera retransmise par le PNC à un moment qu'il aura choisi (dans la CAP ou la CFP). Le récepteur utilise les deux exemplaires de la trame pour réduire le taux d'erreur.

Le service peut à tout moment être interrompu par une des parties si les conditions ne sont plus réunies pour le maintenir efficacement.

#### **3.4.2. Le changement dynamique de canal radio**

Le PNC peut entreprendre de migrer son piconet vers un autre canal radio si les performances sont devenues inacceptables. Le seuil de déclenchement de la procédure est laissé à l'appréciation des implémenteurs du standard. Pour aider le PNC à prendre sa décision, des mécanismes de surveillance sont inclus lui permettant d'auditer son piconet avec précision.

La procédure se déroule en plusieurs étapes. Premièrement, le PNC demande à l'ensemble des stations de cesser d'émettre pendant un temps déterminé. Cette période de silence va permettre au PNC d'aller scruter les autres canaux. Si durant son balayage des canaux, le PNC détecte un canal qui convient, il retourne sur le canal initial afin d'informer l'ensemble de ses stations du changement à venir. Les informations de changement de canal sont transmises via la trame balise. Dès réception complète de la trame balise, les stations disposent d'un certain temps fixé par le PNC pour effectuer leur migration vers sur l'autre canal. Avant que cette période ne soit écoulée, le PNC transmet la trame balise sur le nouveau canal physique. Si une station ne détecte pas la trame balise avant expiration de la temporisation, elle se suppose déconnectée et recommence le processus d'association.

### **3.5. Remarques**

Les informations concernant les travaux du groupe 802.15.3 présentées dans cet article s'appuient sur une spécification partielle susceptible d'évoluer jusqu'à publication du standard. Néanmoins, les grandes lignes semblent tracées, seuls certains détails sont amenés à être modifiés avant publication définitive. En particulier pour la couche physique, les choix de bande de fréquence, de modulation semblent définitifs.

Les bases de la couche MAC semblent également solidement établies. Le découpage en trois parties de la supertrame est un fait acquis. Le format des trames fait partie des détails susceptibles d'être modifiés. En effet certains mécanismes comme la gestion de l'énergie ne sont pas encore complètement intégrés et sont susceptibles d'entraîner des modifications.

Le standard aujourd'hui est en cours d'écriture, une version complète soumise à approbation est prévue pour la fin de cette année. La sortie du standard est attendue début 2002.

#### 4. Comparatif

Force est de constater que malgré un segment identique, les systèmes Bluetooth et 802.15.3 n'ont en commun que la bande de fréquence. La plus grande différence se situe bien évidemment en terme de débits. Le standard 802.15.3 atteint des débits jusqu'à 55 fois plus important que le système Bluetooth. Cette différence s'explique par l'utilisation d'une modulation différente avec des canaux de fréquence plus large.

La gestion de la ressource radio est très différente d'un système à l'autre. Ainsi, Bluetooth utilise le saut de fréquence. Les collisions entre les transmissions de piconets co-localisés sont possibles. Le standard 802.15.3 utilise la sélection dynamique de canal. Ce mécanisme immunise un piconet contre les perturbations d'autres piconets 802.15.3. Il permet également de préserver les systèmes Wi-Fi™ (*Wireless Fidelity*, nom commercial des systèmes 802.11b) par l'utilisation d'un mode compatible.

Le nombre de stations actives au sein d'un piconet Bluetooth est environ 30 fois inférieur à celui admis au sein d'un piconet 802.15.3. Deux mécanismes permettent de lever partiellement cette limitation au sein d'un piconet Bluetooth : la possibilité de maintenir un grand nombre de stations synchronisées et la formation de scatternets. Un mécanisme similaire à la formation de scatternet est envisagé pour 802.15.3. Ce mécanisme permettrait à la fois de faire communiquer différents piconets mais aussi d'interconnecter un piconet avec des stations Wi-Fi™.

Deux types de liens sont possibles au sein d'un piconet Bluetooth : les liens point-à-point entre le maître et un esclave et les liens point-à-multipoint entre le maître et l'ensemble de ses esclaves. En plus de ces deux types de liens, le standard 802.15.3 permet la création de liens transversaux entre esclaves. En particulier, les liens point-à-point entre deux esclaves et les liens point-à-multipoint (*broadcast*) entre un esclave et l'ensemble des participants du piconet sont possibles.

L'utilisation du saut de fréquence par Bluetooth influe sur les performances. En particulier, le temps d'établissement de connexion est en moyenne 5 fois plus important.

Une certaine analogie existe entre les deux systèmes vis-à-vis de l'allocation des ressources. Dans Bluetooth, les liens SCO sont utilisés pour les flux audio. Ils sont assimilables à un mode circuit. De son côté, 802.15.3 dispose de la CFP qui fonctionne comme un mode connecté. Elle a l'avantage de pouvoir accueillir tous types de flux. Le temps non occupé par les liens SCO est disponible au lien ACL. De manière analogue, le temps non alloué à la CFP est laissé à la CAP. Les ressources du lien ACL et de la CAP sont destinées à être partagées entre les intervenants du piconet suivant leurs besoins. Dans le cas de Bluetooth, l'allocation est gérée de manière centralisée par le maître. Pour 802.15.3, c'est une méthode distribuée basée sur le CSMA/CA qui est utilisée. Le Tableau 2 reprend les principales caractéristiques de ces deux standards.

**Tableau 2 – Comparatif des deux standards pour WPANs™**

	<b>Bluetooth</b>	<b>WPAN™ HR</b>
<b>Couche radio/PHY</b>		
Bande de fréquence	ISM 2,4 GHz	
Modulation	GFSK	O-QPSK, 16, 32, 64 QAM/TCM
Débit (Mbit/s)	1	22, 33, 44, 55
Nombre de canaux	79	4 (3 en mode compatible Wi-Fi™)
Taille des canaux (MHz)	1	15
Gestion de la ressource radio	Etalement de spectre par saut de fréquence	Sélection dynamique de canal
Puissance de transmission	0 à 20 dBm	0 à 8 dBm
Portée (m)	10 – 100	10
Nombre de stations actives	8	254
Topologie des liens	Maître (1) – (1/n) esclave	PNC (1) – (1/n) esclave Esclave (1) – (1/n) esclave
<b>Couche Baseband/MAC</b>		
Temps de connexion (seconde)	<5	<1
Gestion de l'accès	Centralisé : polling	Mixte : CSMA/CA+polling
Nombre de canal vidéo	0	5

Cette grande disparité entre les deux systèmes trouve sa cause dans une approche différente des WPANs™ liée à des époques différentes de conception.

Le système 802.15.3 intégralement conçu au sein de l'IEEE adopte une architecture à la fois innovante et classique. En effet, à côté des mécanismes de réservation de canal destinés à garantir de la qualité de service, on trouve des mécanismes déjà éprouvés par le standard 802.11. L'interopérabilité promise entre Wi-Fi™, dont le succès est indéniable et 802.15.3 permettra de créer un système homogène pour la communication sans fil de courte et moyenne portée.

Les standards 802.15.3 et 802.15.4 font apparaître un choix clair : du haut débit à coût maîtrisé et du faible débit à coût très réduit. Face à cette offre, Bluetooth se positionne comme un système intermédiaire. Aujourd'hui, techniquement en retrait par rapport à la proposition 802.15.3, il reste le seul système à être d'ores et déjà disponible sur le marché. Le système Bluetooth a été un précurseur en terme de WPANs™. Il a permis l'avènement des nouveaux standards qui ont su profiter de l'expérience pour mieux cibler les besoins du segment. Il a également beaucoup contribué à la popularité des WPANs™ qui sont devenus en l'espace de quelques années un segment à part entière du monde des télécommunications sans fil.

## 5. Référence

- [1] Bluetooth Special Interest Group, *Specification of the Bluetooth System*, version 1.0B, volume 1 (Core) et volume 2 (Profile), disponible à l'adresse <http://www.Bluetooth.com>, décembre 1999.
- [2] Brent A. Miller, Chatschik Bisdikian, *Bluetooth Revealed: The insider's Guide to an Open Specification for Global Wireless Communications*, Prentice Hall, septembre 2000
- [3] Haartsen, J. C., "The Bluetooth Radio System," *IEEE Personal Communications*, vol. 7, no. 1, pp. 28-36, février 2000.
- [4] Bray Jennifer, Sturman Charles F., *Bluetooth Connect Without Cables*, Prentice Hall, 2000
- [5] Haarsten, J. C., "Bluetooth : A new radio interface providing ubiquitous connectivity", VTC 2000 Spring – Tokyo.
- [6] IEEE 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) specifications," 1999.
- [7] IEEE 802.11b, "Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band," 1999.
- [8] 802.15 working group activities <http://www.ieee802.org/15>
- [9] Draft clause 6,7,8,9 v0.3/0.4 disponible depuis <http://www.ieee802.org/15/pub/TG3.html>