

COMMUNICATIONS PAR RADIO FRÉQUENCES

Les liaisons radio Les réseaux Wavenis

▼ Avec Wavenis, nous poursuivons ici notre série sur les technologies de communication radio. Wavenis, inventé par la société française Coronis Systems, a été pensé pour les applications où une très faible consommation est impérative (applications fonctionnant sur piles). Il est prévu aussi pour assurer des transmissions sur des distances relativement importantes. La technologie était jusqu'ici considérée comme propriétaire, mais avec la fondation toute récente de la "Wavenis Open Standard Alliance", Coronis affiche désormais son ouverture.



Abondance de biens ne nuit pas, dit le proverbe. Et comme tous les proverbes, il contient une part de vérité. C'est le cas pour les communications radio. Il existe une multitude de standards (officiels ou "de facto") sur le marché, que l'on veut parfois opposer mais la plupart d'entre eux ont leur raison d'être. La technologie Wavenis en est la plus parfaite illustration. Quand Coronis a décidé de se lancer sur le marché, elle a d'abord fait un tour d'horizon pour voir ce qui existait pour répondre à un besoin bien défini : les

communications à très faible consommation, sur des distances importantes, avec un prix peu élevé. Les applications visées étaient très diverses et variées, englobant le télé relevé de compteurs, l'automatisation industrielle, le suivi à distance d'équipements comportant de la mesure (les réservoirs de stockage, par exemple), la surveillance médicale à domicile, la surveillance des bâtiments, le contrôle d'accès, le contrôle de la chaîne du froid, sans oublier les applications de type RFID pour la localisation sur de longues distances de personnes et d'objets.

L'essentiel

- Seulement après quelques années d'existence, Wavenis revendique déjà près d'un million et demi de nœuds installés.
- Cette technologie a été conçue pour les applications nécessitant de transmettre des petits volumes de données mais avec une faible consommation d'énergie et sur une distance pouvant atteindre plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de mètres.
- Wavenis définit uniquement les couches basses du modèle OSI. Les couches Application restent libres.
- Les grandes topologies de réseau (point à point, étoile, maillé) sont possibles. Il est également possible de synchroniser les équipements.



La technologie Wavenis mise au point par Coronis est déjà déployée à grande échelle comme ici aux Sables d'Olonne, où elle est utilisée pour la télé relève de 20 000 compteurs d'eau. En plus des émetteurs placés à proximité des compteurs, on trouve des répéteurs et des relais placés en des endroits judicieux, sur des lampadaires ou des parois d'immeubles, par exemple.

Les technologies radio existantes ne permettaient pas de répondre à ces besoins. Bluetooth avait une portée trop limitée (environ 10 mètres), DECT (utilisé pour les téléphones domestiques sans fil) et WiFi avaient une consommation trop élevée. ZigBee n'existait pas au moment de faire les choix mais, tel qu'il est spécifié, il n'aurait de toute façon pas répondu aux objectifs visés en termes de portée et de consommation. Dans les transmissions radio, il faut savoir que les objectifs de faible consommation, débits élevés et portée importante sont antinomiques. Pour cette raison, il n'y aura jamais de standard unique pour les communications radio. Wavenis ne se présente donc pas en concurrent des techniques de communication radio traditionnelles mais cherche à répondre à des besoins bien définis, impossible à satisfaire avec les standards existants.

Wavenis travaille dans des bandes de fréquences ISM "libres" (donc sans que l'utilisateur ait à faire une demande d'autorisation, qui sont différentes d'une zone géographique à l'autre). En Europe, le 868 MHz prédomine désormais. A l'avenir, rien n'interdit de travailler dans la bande 2,4 GHz (utilisable dans tous les pays du monde).

Vu les applications visées, Wavenis a été pensé pour transmettre des petits volumes de données, de quelques octets à quelques centaines d'octets. Il n'est donc d'aucun intérêt d'avoir un débit de transmission élevé. Celui-ci est typiquement de 19,2 kilobits par seconde. Grâce à ce faible débit, il est possible d'utiliser un récepteur à bande étroite, présentant donc une sensibilité très élevée, et donc au final de pouvoir réaliser des transmissions sur des relativement longues distances (jusqu'à 1 km en propagation en champ libre) avec des conditions de fonc-



Le panel des applications Wavenis est très étendu. Les cartes radio de Coronis sont intégrées dans de nombreux produits proposés par des fournisseurs d'un peu tous les horizons. Coronis propose également des produits intégrés (capteurs de température, de débit, etc.).

Une stratégie d'ouverture

Avec environ un million et demi de nœuds installés, Wavenis devient un standard de facto. Et Coronis Systems continue à étendre l'acceptation de sa technologie. Elle est très active au sein de l'association Bluetooth SIG (Special Interest Group) pour que Wavenis devienne une extension de Bluetooth pour les applications exigeant une très faible consommation et une portée importante (Wavenis, comme Bluetooth, utilise la technique FHSS).

Par ailleurs, Coronis vient de créer la "Wavenis Open Standard Alliance", dans le but de standardiser la technologie Wavenis

tionnement très satisfaisantes.

Une très grande sensibilité

Compte tenu que l'on cherche à diminuer la consommation des piles, mais aussi à réduire la taille des équipements, la puissance de sortie des émetteurs Wavenis est volontairement limitée. Pour optimiser le "budget" de transmission, un effort particulier a été fait au niveau des récepteurs, qui présentent une sensibilité très élevée. Celle-ci atteint un niveau équivalent à -113 dBm pour un débit de 19,2 Kbps et -116 dBm à 4,8 Kbps (sensibilité donnée pour un taux d'erreur trame de 0,1%).

Au-delà de la puissance de l'émetteur et de la sensibilité du récepteur, ce qui importe, c'est le "budget" de la transmission, car c'est lui qui fixe la portée. Ce budget est donné

par l'équation :

$$P_{\text{sortie}} \text{ (dBm)} + G_{\text{tx}} \text{ (dBi)} - \text{AttMax} \text{ (dB)} + G_{\text{rx}} \text{ (dBi)} - \text{Sensi} \text{ (dBm)} = 0$$

où P_{sortie} est la puissance de sortie de l'émetteur, G_{tx} est le gain d'antenne de l'émetteur, AttMax est l'atténuation maximale possible (cette atténuation englobe l'atténuation en champ libre et l'atténuation du signal à cause des obstacles rencontrés), G_{rx} est le gain d'antenne côté récepteur et Sensi la sensibilité du récepteur. Typiquement, si on prend une configuration où il n'y a pas de gain d'antenne (ni côté émetteur ni côté récepteur), et où on a un émetteur avec une puissance de sortie de 14 dBm (25 mW) et un récepteur avec une sensibilité de -110 dBm, l'atténuation maximale autorisée pour la propagation du signal est de 124 dB.

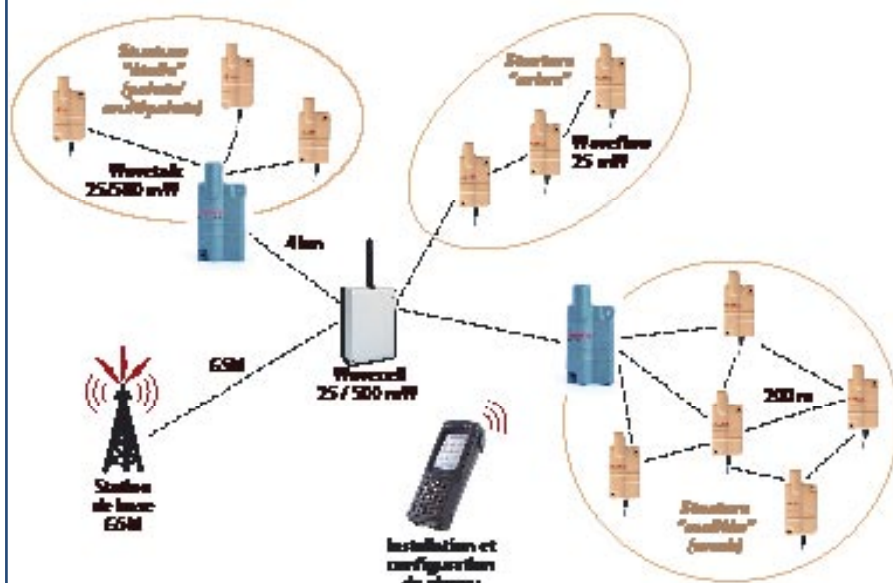
Ces performances sont obtenues pour une

utilisation à 868 MHz. Si on voulait travailler aujourd'hui à 2,4 GHz, on serait loin de ce résultat. En l'état de l'art actuel des semi-conducteurs, pour un débit de 19,2 Kbps, les meilleurs récepteurs obtenus ont une sensibilité de "seulement" -95 dBm (soit 15 dBm de moins qu'à 868 MHz) et la puissance de sortie (à consommation égale) est de 0 dBm (soit 14 dBm de moins qu'à 868 MHz). Avec une puissance moins élevée à l'émission et une sensibilité moindre au niveau du récepteur, il est évident que le budget de la transmission est bien moins intéressant à 2,4 GHz qu'à 868 MHz. Mais la technologie évolue, et il est certain que les performances vont s'améliorer. En travaillant à 2,4 GHz, on pourra alors réaliser des produits présentant une antenne plus discrète et présentant un gain de quelques dB de plus. Il faudra cependant être prudent dans la réalisation des applications, et éviter des antennes trop directives à 2,4 GHz (qui limiteraient la facilité d'installation des équipements).

Une consommation très faible

Le temps d'accès au réseau dépend des besoins de l'application. Si on n'a pas de contraintes au niveau de la consommation, on peut obtenir des temps d'accès très courts (jusqu'à quelques millisecondes, pour les applications les plus critiques). Dans certaines applications, on a besoin de capteurs alimentés sur piles tandis que les actionneurs n'ont pas de contraintes en énergie (c'est le cas par exemple des commandes d'éclairage) ; dans ces cas, Wavenis permet d'obtenir des temps d'accès "moyens" (disons moins de 150 ms). Par contre, si on a des contraintes d'alimentation tant au niveau des émetteurs que des récepteurs, on devra "se contenter" de temps d'accès plus longs, de quelques secondes (mais ce n'est en général pas gênant dans les applications à basse →

Toutes les topologies de réseaux



La technologie Wavenis permet de réaliser tous les types de configuration : point à point, point-multipoints (réseaux "étoile") et maillé. Elle permet également de réaliser une synchronisation entre les équipements.



→ consommation). Pour s'adapter à tous les cas de figure, Wavenis prend en considération le fait que les produits (capteurs, actionneurs) n'ont pas besoin de communiquer en permanence et travaillent de façon cyclique : une période de "veille" suivie d'une période "active". Le rapport cyclique, c'est-à-dire le rapport entre ces deux périodes est réglable, ce qui permet de régler le temps d'accès entre 12,8 ms (minimum) et 12,8 s (maximum), avec une valeur typique de 1,28 s dans 99 % des cas. En mode "actif", la période d'activation est de seulement 500 µs. Elle est prolongée à 1,6 ms si le récepteur capte la présence d'un signal mais que le message n'est pas cohérent. Si le message est cohérent, le récepteur reste activé le temps nécessaire qu'il faut pour que la transmission complète. La consommation de courant dépend bien évidemment du mode dans lequel se trouve l'émetteur/récepteur. En mode "veille", elle est d'à peine 2 µA. En mode émission, elle est de 45 mA (pour une puissance de sortie de 25 mW) et en mode réception à l'état "actif", elle est de 17 mA.

Dans des situations réalistes, pour quelques transmissions (à 25 mW) par jour, le courant de fonctionnement est en moyenne de 10 µA pour un temps d'accès de une seconde et de 5 µA pour un temps d'accès de 2 secondes.

Concentré sur les trois premières couches du modèle OSI

Wavenis définit seulement les couches basses du modèle OSI (les couches "physique", "liaison de données" et "réseau").

Contrairement à plusieurs standards existants, Wavenis n'est qu'une plate-forme de

Une offre à plusieurs niveaux

Coronis Systems (qui appartient depuis quelque mois au groupe allemand *Elster Group*) a été créée en 2000 à Montpellier et elle a réalisé un chiffre d'affaires de 7 M€ l'an passé. Les applications se situent un peu sur tous les marchés (industriel, médical, bâtiment, environnement, etc.). Les déploiements les plus importants à ce jour portent sur le télérelevé des compteurs d'eau (25 000 compteurs aux Sables d'Olonne) et de gaz (100 000 compteurs en Chine, dans la province de Hubei).

Le portfolio de *Coronis Systems* est étendu. À la base, on trouve les plate-formes de connectivité radio Wavenis sous forme

de cartes OEM (Wavecard ou Wavefront), destinées par exemple aux fabricants de compteurs d'eau ou de gaz.

Au-dessus, on trouve des produits conçus pour mettre en œuvre un réseau Wavenis : citons des répéteurs (Wavetalk), des passerelles pour GSM (Wavecell) et des concentrateurs (Wavehub).

Également au-dessus des cartes réseau, on trouve des produits intégrés destinés à être raccordés à des compteurs d'eau ou de gaz (Waveflow), des capteurs de process (Wavesense), de température (Wavetherm), de niveau (Wavetank) ou encore d'enregistrement d'événements (Wavelog) et de lecture d'étiquettes RFID (Wavetag).

connectivité radio. Il ne s'agit donc pas d'un protocole orienté "Applications". Les fournisseurs qui le mettent en œuvre peuvent donc implémenter leur propre couche "Applications". Cette ouverture permet à Wavenis de s'ouvrir un très vaste champ

d'applications. *Coronis Systems* (qui a conçu Wavenis) prêche par l'exemple, en intégrant Wavenis dans ses produits intégrés (Waveflow, Wavetherm, Wavesense, Wavelog, etc.) dotés d'une couche "Applications" propriétaire à *Coronis*.

La société a cependant étendu les fonctionnalités avec une fonction "état de la pile". Concrètement, un compteur enregistre les événements et leur durée afin d'estimer la capacité restante de la batterie ou de la pile. Pour la couche "Session" du modèle OSI, *Coronis Systems* peut implémenter, sur demande, des algorithmes de codage de données (3DES, AES-128, RSA, EMV, etc.) de façon à sécuriser la transmission des données (et éviter leur lecture par des intrus).

La couche "Réseau" assure la gestion des modes de communication, la mise en œuvre du protocole SDP (Service Discovery Protocol) et inclut un algorithme d'auto-routage et d'auto-correction.

Wavenis permet de réaliser aussi bien des communications point à point que point à

Wavenis et les autres "prétendants" aux faibles consommations

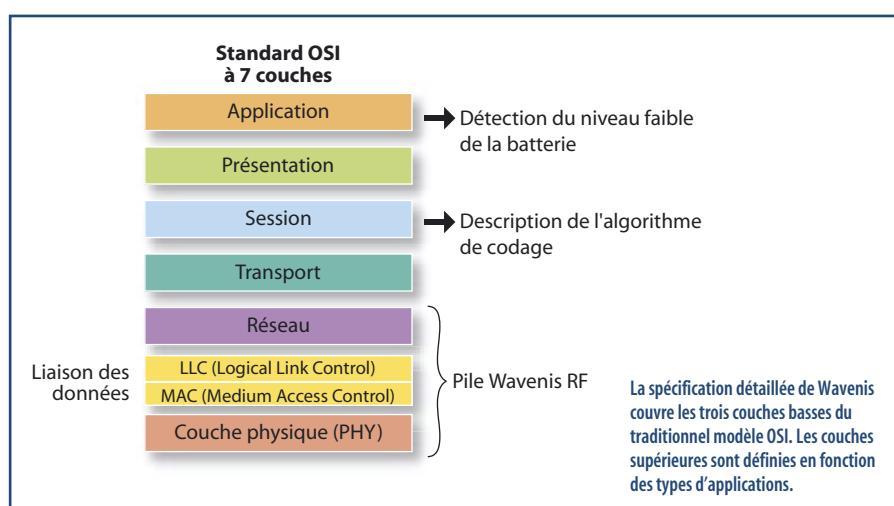
	Wavenis	802.15.4 ZigBee	KNX	Bluetooth
Bandes de fréquence	868 MHz (Europe) 915 MHz (USA) 433 MHz (Asie)	868 MHz (Europe) 915 MHz (USA) 2,4 GHz (monde)	433 MHz 868 MHz (Europe)	2,4 GHz
Couche physique PHY	FHSS Mono-canal	DSSS	Monocanal	FHSS
Débit effectif	4K < 20 K < 100 Kbps	25 Kps	16 Kbps	1 Mbps
Autonomie de la pile (typique)	10 ans	3 ans	2 ans	-
Portée	200 m à l'extérieur 1 km à l'extérieur	20 m	50 m	10 m

multi-points. Tous les composants Wavenis incorporent une fonction "répéteur", supportant jusqu'à 3 répétitions (et donc 4 sauts). Ceci n'est pas le cas de technologies concurrentes, qui font le distinguo entre les modules FFD (Full Function Device) et RFD (Reduced Function Device), ces derniers n'étant pas dotés de fonction d'autoroutage. Sur Wavenis, la fonction "répéteur" est très utile lorsque le réseau comprend des équipements difficilement accessibles. Cette fonction étant native, il n'y a pas de surcoût et il n'est pas nécessaire de prévoir de coûteux dispositifs de coordination et/ou d'extension de portée, comme cela existe sur d'autres solutions proposées sur le marché. Lorsqu'un chemin est établi entre deux équipements entrant en communication, les deux équipements mémorisent le chemin, et éventuellement les adresses des répéteurs si ce chemin passe par des répéteurs. Les répéteurs agissent uniquement comme des relais et ne stockent pas les chemins. La couche "Réseau" de Wavenis se charge de mettre en œuvre ces fonctions "relais". Cette approche permet d'économiser de la taille mémoire et de limiter la consommation.

Wavenis autorise toutes les topologies de réseau : en étoile, arbre ou maillé.

La couche "**liaison de données**" se décompose en deux sous-couches : LLC (Logical Link Control) et MAC (Medium Access Control).

La **couche LLC** est notamment chargée de segmenter et ré-assembler les trames radio qui contiennent les adresses MAC de tous les équipements. C'est également à ce niveau qu'est choisi le mode de communication (ACK, CSMA/CA, CSMA/TDMA), que sont contrôlés la puissance de sortie (ce qui permet d'économiser la batterie), les ré-émissions de messages (au bout de trois émissions sans succès, un message d'erreur est envoyé à la couche "applications").



Le protocole CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance, accès multiples avec détection de collision) est surtout utilisé dans les réseaux non synchronisés et où l'on a besoin d'une fiabilité des communications. Le mode CSMA/TDMA (Carrier Sense Multiple Access/Time Division Multiple Access) est quant à lui utilisé pour les réseaux synchronisés de type "point-multipoints" ou "étoile" (envoi de messages d'un équipement à un ensemble d'autres équipements).

La couche LLC assure également la gestion des liens rompus à l'intérieur des chemins comportant un ou plusieurs répéteurs. Si un équipement cible n'est pas accessible, Wavenis détecte l'équipement qui est responsable de la rupture du chemin.

C'est au niveau de la **couche MAC** que sont définies les adresses MAC des équipements Wavenis (ces adresses sont codées sur 48 bits et stockées dans une mémoire non volatile). La couche MAC assure également le codage des messages envoyés et le décodage des messages reçus. Pour assurer la fiabilité de la transmission et les éventuelles interférences avec les signaux envoyés par d'autres équi-

pements radio, les données Wavenis utilisent plusieurs mécanismes de codage (envoi des données selon une séquence pseudo-aléatoire, entrelacement de ces données, codes de correction d'erreur). Cela se traduit par un effet de filtrage du bruit numérique.

La **couche PHY** ("Physique") est la couche la plus basse du modèle OSI. C'est elle qui définit la bande de fréquence de transmission, en accord avec les réglementations télécoms : 433 MHz (EN300-220), 868 MHz (EN300-220), 915 MHz (FCC15.247 & 249). Wavenis pourra être aussi portée dans la bande 2,4 GHz, mais il faudrait pour cela que le marché en impose l'usage, et que les composants radio s'alignent sur les spécifications pour atteindre les meilleures performances.

La couche PHY implémente également la technique de transmission FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), c'est-à-dire une transmission avec étalement du spectre à sauts de fréquences (cette technique a été présentée dans le numéro 793 de mars 2007 de Mesures). Le FHSS, qui a pour but d'augmenter le rapport signal sur bruit dans une transmission (et donc de limiter les risques de perturbations) utilise un signal à bande étroite qui "saute" sans arrêt d'une fréquence à l'autre, suivant une séquence pseudo-aléatoire connue de l'émetteur et du récepteur. Bien entendu, les sauts de fréquence se font dans les sous-bandes (canaux) autorisées par les administrations des différents pays. Pour augmenter la robustesse, Wavenis combine un FHSS rapide, un entrelacement de données et un code correcteur d'erreurs BCH. Wavenis peut travailler en bande étroite et dans un canal unique (donc sans sauts de fréquences) ; cette propriété est intéressante lorsque la réglementation l'impose, comme c'est le cas en Europe pour des sous-bandes réservées aux applications de transmis- ➔

L'intérêt de la bande 868 MHz par rapport à la bande 2,4 GHz

Fréquence	868 MHz	2,4 GHz
Distance	Atténuation du signal radio	
10 m	51,2 dB	60 dB
100 m	71,2 dB	80 dB
1 km	91,2 dB	100 dB

Pour une fréquence donnée, plus le récepteur est éloigné de l'émetteur, plus le signal reçu est faible. Cela se conçoit aisément et démontre l'importance de disposer de récepteurs présentant une sensibilité élevée (Pour Wavenis, celle-ci atteint - 113 dBm pour un débit de 19,2 Kbps, et elle est supérieure encore pour un débit plus faible).

Par ailleurs, ce tableau montre que, pour une portée donnée, plus la fréquence est élevée, plus l'atténuation est forte (et donc plus le signal reçu est faible). De ce point de vue, il est donc plus

intéressant de travailler à 868 MHz qu'à 2,4 GHz. Par ailleurs, plus la fréquence est élevée, plus la consommation des amplificateurs de puissance est élevée. Si le module radio fonctionne sur piles, il aura une autonomie supérieure s'il travaille à 868 MHz plutôt qu'à 2,4 GHz. Typiquement, pour une consommation de 20 mA, un composant RF monolithique délivrera une puissance de 4 dBm à 868 MHz et de 0 dBm à 2,4 GHz.



→ sion d'alarmes.

Pour maintenir les performances dans le temps, Wavenis implémente un contrôle automatique des fréquences (AFC), de façon à compenser les dérives des composants radio (avec le temps, avec la température). À noter également le système de contrôle automatique de la sensibilité, qui consiste en quelque sorte à filtrer le bruit ambiant. Si un équipement Wavenis présent dans un tel environnement est en veille, il ne sera pas activé inutilement (il ne le sera que si c'est un autre équipement Wavenis qui cherche à entrer en communication avec lui). Cette fonctionnalité contribue à fortement économiser la batterie.

Une synchronisation sans dépense d'énergie

On notera enfin que les réseaux Wavenis offrent des possibilités de synchronisation, ce qui leur permet d'être utilisés dans des applications "temps critique", telles que celles définies par la norme FCC15.247 aux États-Unis. Le mécanisme de synchronisation imaginé prend en compte l'objectif de base de Wavenis, qui est de minimiser la consommation (contrairement à d'autres réseaux, Wavenis évite que les équipements du réseau soient en mode "sur-écoute"). Sur les réseaux Wavenis synchronisés, certains équipements jouent le rôle de "parents", et d'autres, le rôle d' "enfants". Le parent envoie périodiquement une balise ("beacon") aux enfants. Cette balise est envoyée toutes

les 80 minutes seulement. Lorsque les enfants reçoivent cette balise, ils alignent leurs propres horloges sur l'horloge du parent. Ceci permet d'atteindre un écart de 1 ms seulement entre l'horloge du parent et celle des enfants. Dans les environnements difficiles, où plusieurs ré-émissions sont nécessaires, l'écart entre les horloges est plus important et peut atteindre 4 ms (rappelons que Wavenis prévoit jusqu'à 3 répéteurs). Entre l'envoi de deux balises successives, les horloges des enfants peuvent évidemment dériver, surtout s'il y a des variations de température importantes. Mais du fait des compensations de température intégrées dans les équipements, cette dérive ne peut pas excéder 30 ms au bout de 80 minutes.

Si un enfant "manque" la balise de synchro-



nisation, il élargit la durée de sa fenêtre de réception de façon à ne pas manquer le prochain envoi (80 minutes plus tard). Si malgré cela, la synchronisation échoue à nouveau, l'enfant en question se déclare "hors du réseau". La couche "Application" du réseau détermine alors s'il faut chercher un nouveau chemin pour atteindre l'enfant, ou si celui-ci doit rester en mode "veille".

Dans certaines applications, un technicien équipé d'un PC portable ou d'un PDA doit pouvoir accéder au réseau. Pour certains réseaux proposés sur le marché, l'accès d'un tel équipement à un réseau synchronisé peut prendre une douzaine de secondes, voire plusieurs minutes car l'équipement (PC ou PDA) non synchronisé ne connaît pas la séquence du saut de fréquences. Dans bien des applications, les techniciens ne peuvent se permettre de passer autant de temps à attendre. Dans Wavenis, un mécanisme a été imaginé pour éviter cet inconvénient. L'astuce consiste à réserver (lors de l'installation du réseau) un canal pour l'équipement à connecter. Dans ces conditions, le temps d'accès au réseau est ramené à 6,4 s seulement (il peut même être raccourci, mais en sacrifiant sur la consommation).

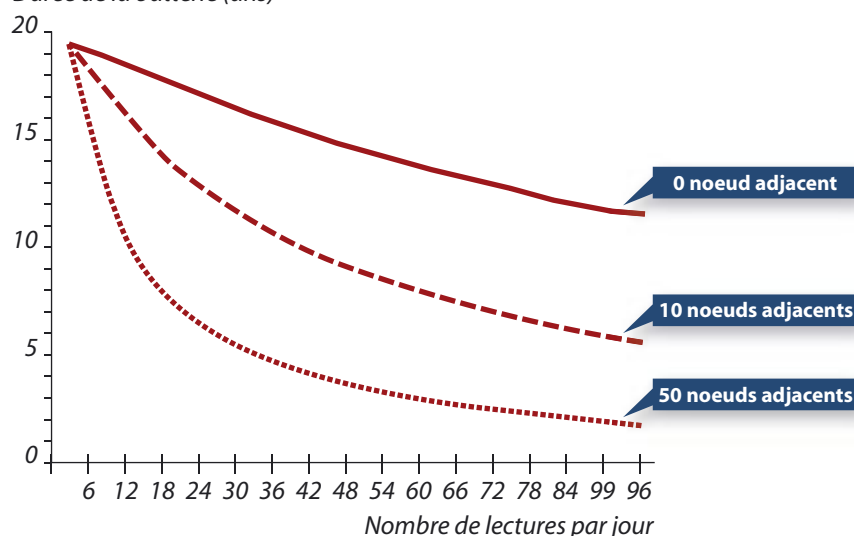
Christophe Dugas
Directeur du marketing
Coronis Systems

Découpage du message en plusieurs blocs

Taille du paquet de données utiles	Transmission	
	Durée	Nombre de sauts (FHSS)
De 1 à 5 octets	16 ms	16
De 6 à 26 octets	32 ms	32
De 27 à 47 octets	48 ms	48
De 48 à 68 octets	64 ms	64
De 132 à 152 octets	128 ms	128
De 237 à 257 octets	208 ms	208

La taille des paquets de données à transmettre dépendant des applications, Wavenis a défini des blocs de données de 32 octets chacun. Par conséquent, un paquet de données Wavenis est en fait un assemblage d'un ou plusieurs blocs de données concaténés : le premier bloc comprend 5 octets, les blocs suivants 21 octets. La vitesse de transmission est programmable de 4,8 Kbps à 100 Kbps.

Durée de la batterie (ans)



La durée de la batterie (ou de la pile) dépend bien entendu du rythme de lecture des données mais aussi, comme on le voit ici, du nombre d'équipements travaillant dans la même zone et synchronisés sur le même équipement "parent". Lors de la conception d'un réseau Wavenis, il faut donc éviter de multiplier le nombre d'équipements rattachés à un même parent.