

# La bataille Wi-Fi (IEEE)/HiperLAN (ETSI)

Par Philippe JACQUET  
Nokia Bell Labs France

À l'origine Wi-Fi et HiperLAN étaient des projets de standards pour des réseaux locaux sans fil. Le premier est américain, supporté par l'Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE), et l'autre européen, supporté par l'European Telecommunication Standards Institute (ETSI). En fait, Wi-Fi ne s'appelait pas encore Wi-Fi mais « IEEE 802.11 ». Encore la même question : HiperLAN a-t-il disparu corps et biens ? Wi-Fi ne serait-il pas un peu HiperLAN ?

Vous me direz, les jeux étaient faits : d'un côté, les Américains, puissants, arrogants et unis, et de l'autre, les petits Européens, timides et désunis. En fait, cette vision est entièrement fautive, en tout cas dans le domaine que je connais, celui des télécommunications.

Prenons l'exemple de la téléphonie mobile. Dans les années 1980, aux États-Unis, trois normes cohabitaient, avec chacune son acronyme (CDMA, AMPS, etc.). Elles n'avaient en commun qu'une seule chose : le fait d'être totalement incompatibles entre elles. La stratégie américaine de normalisation est la suivante : vous prenez les solutions des plus forts, qui ne feront aucun effort pour s'entendre et garderont jalousement leurs brevets ; vous en faites un paquet avec un joli ruban autour et vous avez une norme à tiroirs. Conséquence : les produits existent avant la promulgation de la norme et les opérateurs choisissent leur favori. Le territoire nord-américain est alors devenu couvert par un nombre incalculable de réseaux incompatibles entre eux. Pour voyager, un Américain avait besoin d'emporter trois combinés, chacun sur une norme différente, et de s'armer de beaucoup de patience pour pouvoir continuer à communiquer. La stratégie européenne est inverse. Pour forcer les acteurs à s'entendre, il leur est demandé d'inventer un système unique et innovant, et de partager leurs brevets. L'inconvénient de la méthode est que les produits ne précèdent pas la norme et que l'Europe prenait donc le risque de manquer le marché. En mettant les bouchées doubles, la norme GSM est sortie en une poignée d'années entre 1982 et 1987. La norme GSM était en tout point supérieure à ses précurseurs américains (débit, couverture, mobilité), avec, en cadeau de bienvenue, une norme unique sur un marché unique : cela a été l'explosion. En quelques années, la norme a envahi le monde : l'Afrique, le Moyen-Orient, puis l'Asie, etc., et finalement, sous la pression des utilisateurs et des opérateurs, les États-Unis.

Pourquoi ce succès ? Non, il n'est pas essentiellement dû à la qualité et à la vigueur des acteurs locaux, les ingénieurs européens ne sont pas nécessairement ni plus, ni moins forts que les ingénieurs américains. Ce sont les mêmes industriels qui sont intervenus sur les normes de part et d'autre de l'Atlantique. Mais d'un côté de l'océan ils étaient tenus de garder leurs terrains de chasse, et de l'autre côté ils devaient s'entendre. Avec plus ou moins de bonheur, mais je n'y étais pas et je ne veux pas rapporter les anecdotes de seconde main sur l'usage des machines à fax pendant les pauses entre les séances de normalisation du GSM... Si la méthode avait si bien marché, pourquoi ne pas l'appliquer à l'élaboration d'une norme de réseau local sans fil ? C'est ce qui débuta en 1991. Avant de raconter l'histoire et de décortiquer ce qui n'a pas marché comme prévu mais sans toutefois s'être passé à l'inverse de ce qui avait été prévu, nous allons faire une parenthèse et décrire la différence entre un réseau mobile cellulaire et un réseau sans fil local.

Les communications dans un réseau téléphonique cellulaire passent par plusieurs milliers de kilomètres de câbles électriques contre quelques centaines de mètres – au plus un kilomètre –, par la radio. C'est la distance qui sépare le combiné de l'abonné de l'antenne-relais. Au-delà de l'antenne-relais, c'est du fil, en deçà, c'est la cellule. Dans la cellule, le chef indiscuté c'est l'antenne-relais, et les combinés des utilisateurs sont des esclaves. Le combiné n'émet jamais sans être invité par l'antenne-relais, les combinés ne communiquent jamais entre eux, tout passe par l'antenne-relais. Ceci est d'autant plus vrai que les combinés n'ont qu'une faible puissance d'émission et une très pauvre sensibilité en réception. Même si deux combinés étaient séparés de quelques dizaines de mètres ils ne s'entendraient pas. En revanche, l'antenne-relais possède de grandes oreilles et une grande bouche. Toute la sensibilité et la puissance sont concentrées dans un seul côté : la technologie des réseaux cellulaires est une technologie asymétrique. De cette manière, les combinés moins demandeurs en technologie sont moins chers et plus durants.

En ces temps « préhistoriques », les réseaux cellulaires étaient entièrement dévoués à des communications téléphoniques bien ronronnantes, pas de *streaming*, pas de Facebook, pas de Web. À l'opposé, les réseaux sans fil d'intérieur étaient appelés à se faire brutaliser par des transferts, sporadiques et violents, de gros morceaux de données tels qu'on les rencontre sur Internet. Le train-train de l'antenne-relais qui collecte et distribue à raison de cent fois par seconde des petits bouts de conversations téléphoniques est alors complètement dépassé. Inutilité d'un chef d'orchestre pour battre la mesure, puisqu'on ne connaît pas la partition à l'avance, et que les morceaux doivent être exécutés le plus rapidement possible. En plus, les ordinateurs connectés étant égaux en droit, les réseaux locaux sans fil relèvent d'une technologie totalement symétrique. Imaginez un nuage d'ondes radio dans une pièce ou un bâtiment, où tous les terminaux sont en compétition pour communiquer entre eux. Le défi est d'éviter les collisions, ou tout au moins de les résoudre sans chef d'orchestre. Bien sûr, un terminal pourra servir de pont vers le câble d'un réseau traditionnel et alors le terminal sera peut-être affublé d'une petite lumière verte pour faire joli et de deux antennes pour parfaire la couverture de la pièce, mais la technologie dans la boîte reste la même que celle dans les autres terminaux.

Donc la clé est le fort débit et le protocole pour traiter les collisions. Nous allons passer ces deux points en revue. Nous allons voir comment le premier a été la cause de sa perte, et le second, sa probable résurrection.

Pour le point du débit, j'en devine qui commencent à ressentir des malaises, surtout s'ils utilisent le Wi-Fi pour lire ce texte. Comme nous voulions des débits de 100 à 1 000 fois plus élevés que ceux qui nous suffisaient pour le téléphone, on pourrait penser qu'il faudrait augmenter pareillement la puissance des signaux émis. Et de là à penser au risque de transformer notre portable en barbecue il n'y a qu'un pas. Qu'ils se rassurent immédiatement : nous sommes protégés par la théorie de l'information. Je ne peux pas résister au plaisir de glisser une petite équation, ne serait-ce que pour poser un défi aux lecteurs des *Annales des Mines*. En 1948, Claude Shannon, alors chercheur aux Bell Laboratories, montrait que la capacité d'une communication radio est donnée par l'expression  $W \log_2(1+S/B)$  où  $W$  est la largeur de la bande radio occupée par la transmission,  $S$  est l'intensité du signal reçu et  $B$  le bruit ambiant capté par ailleurs par le récepteur. La base 2 du logarithme provient du fait que le résultat s'exprime en bits par seconde. Il apparaît clairement que si on veut multiplier par 100 la capacité de la transmission, il faudrait multiplier par  $2^{100}$  la puissance du signal : inabordable. À la place, on multiplie par 100 la largeur de la bande de fréquence, et le tour est joué ! En fait, la loi de Shannon est intuitive : si vous voulez jouer une musique avec plus de notes, cela ne sert à rien d'augmenter le volume, il suffit de mettre plus de partitions dans l'orchestre. Et pour revenir à notre réseau local, la puissance d'émission peut même être diminuée par rapport au téléphone portable puisque les émissions y seront effectuées à courte portée. La norme américaine basée sur des produits existants dans les années 1980 est partie d'une

technologie ayant fait ses preuves depuis la Seconde Guerre mondiale : l'étalement de spectre, sur lequel d'ailleurs je ne vais pas m'étaler car c'est plutôt technique. Avec cela on arrivait à un débit très honorable de 1 million de bits par seconde (Mbps). La norme européenne a penché vers la démesure avec un débit de 23 millions de bits par seconde. Pour se le représenter il suffit d'imaginer que si HiperLAN avait été le Concorde qui a volé en 1969, alors, en termes de vitesse, Wi-Fi serait le Blériot XI qui a traversé la Manche en 1909 ! Il est clair que l'un était trop en avance ou l'autre trop en retard. Pour atteindre ces 23 Mbps, le groupe de l'ETSI paria sur la technique de l'égalisation puisque cela avait si bien réussi au GSM. Mais appliquée à HiperLAN elle nécessitait de plus gros calculs à faire, et en pratique entre 100 à 1 000 fois plus rapidement que sur le GSM. Faisable à coups de transformées de Fourier numériques, mais sans doute inadaptée aux technologies grand public des années 1990 ! Je me souviens que le premier prototype plutôt rudimentaire présenté à la Commission européenne en 1995 avait un fil discret qui reliait l'émetteur au récepteur pour assurer une synchronisation qu'on n'arrivait pas encore à faire par radio. Ce fil à la patte, allié au manque d'enthousiasme des industriels, allait ruiner les ambitions d'HiperLAN.

En ce qui concerne le point du protocole de collision, l'affaire tourna à l'avantage d'HiperLAN. Un algorithme efficace existait depuis les années 1970 mais déployé dans les réseaux câblés de type Ethernet. Les réseaux Ethernet, à ne pas confondre avec « Internet », sont une norme de réseau local sur fil de type accès multiples qui se sont imposés dans les réseaux locaux. Autant dire qu'ils faisaient dans un câble ce que Wi-Fi et HiperLAN devaient faire par radio. Le principe est simple : si plusieurs paquets entrent en collision, alors les paquets sont retransmis après de courtes durées choisies aléatoirement. Si une nouvelle collision se produit, l'algorithme se répète et en insistant les paquets finiront par passer. C'est un peu comme lorsque l'on croise une personne dans un couloir, on choisit au hasard d'esquiver à gauche, à droite, jusqu'à ce que ça passe. La résolution de la collision est aléatoire, elle peut être très courte ou très longue, surtout si d'autres paquets s'en mêlent. L'intérêt fondamental est que cela ne nécessite aucune supervision centralisée.

L'ancêtre de Wi-Fi a donc opté pour l'algorithme Ethernet, solution à la fois sage et économique car celui-ci impliquait peu de modifications dans les ordinateurs existants. Mais le premier comité IEEE avait omis un point essentiel : Ethernet nécessite de détecter rapidement une situation de collision afin d'interrompre immédiatement la transmission avant que la situation ne dégénère. Un peu comme la compétition pour une place de parking. Si les voitures se contentent de se frôler au niveau des pare-chocs, alors on se quitte bons amis et on cherche une autre place. Mais si les voitures viennent à s'accrocher sur toute leur longueur, votre parking sera devenu un amoncellement d'épaves à partir d'un certain débit de voitures à l'entrée. Or, détecter une collision en radio est impossible. Dans le câble, il suffit de comparer ce qu'on reçoit avec ce qu'on émet, et si une différence est constatée c'est qu'il y a une collision. Cette constatation est possible parce que l'atténuation du signal dans un câble est infime : ce qui y entre en sort pratiquement avec la même puissance. En radio, c'est une autre histoire : on émet dans un espace 3D et le signal diffuse fortement avec la distance. Le rapport entre le signal émis sur l'antenne et le signal reçu par un émetteur situé à trois mètres est supérieur à un milliard ; impossible de comparer.

Pour HiperLAN nous avons proposé un algorithme, appelé le « peigne », qui alterne de petites phases d'émission et de réception avant l'émission d'un paquet. Cet alternat permet de détecter les situations de collision et de les éviter. De plus, le peigne peut être calculé de façon à filtrer les paquets en fonction de leurs priorités ou de leur urgence. Cette option permet de superposer des échanges de données sur du *streaming* vidéo en retardant légèrement les échanges de fichiers non urgents pour laisser passer les paquets de vidéo lors des pics de congestion.

Abordons maintenant la question centrale : comment choisir la bonne norme ? La particularité de l'ETSI est que l'Institut dispose de fonds européens pour expertiser scientifiquement les normes, ce qui n'est pas le cas de l'IEEE. La particularité des normes européennes réside dans le fait que

l'Union européenne finance des projets pour construire les prototypes de ces normes. Ce serait une lapalissade de dire que les États-Unis n'ont pas de projets européens, mais c'est faux, car les industriels majeurs du domaine ont des filiales en Europe tout à fait éligibles. En revanche, sur leur territoire, les États-Unis ne disposent pas de dispositifs équivalents alliant industriels et scientifiques sur des projets ambitieux. Les académiques US disposent de la NSF qui finance des papiers et du mentorat d'étudiants, point à la ligne. Les contrats du gouvernement reçus par les industriels américains concernent des produits finis. Les industriels peuvent facturer trois fois leurs coûts de revient (et ainsi financer leur recherche amont) à condition que les B52 soient livrés dans les délais. De plus, les industriels US renâclent à travailler avec les académiques US qui ont une fâcheuse tendance à considérer comme une licorne la moindre de leur propriété intellectuelle.

Donc nous avons tous notre projet européen. Le nôtre s'appelait LAURA, acronyme dont j'ai oublié depuis la forme développée, car en général elle sert juste de prétexte pour forger un joli nom. Grâce à LAURA nous étions financés comme centre de recherche public (Inria) pour participer à l'élaboration de la norme HiperLAN. Avec mes collègues Pascale Minet et Paul Mühlethaler nous avons participé à toutes les séances de l'ETSI. Au début, les réunions étaient itinérantes puis elles se sont fixées au siège de l'ETSI à Sophia-Antipolis, à quinze kilomètres de la Côte d'Azur. Il y a pire comme endroit mais bon, c'était principalement en hiver... Les quartiers de l'ETSI sont une sorte de grande auberge espagnole où se côtoient toutes les nationalités du Vieux Continent. Un point de discorde ? La gastronomie. Mais une liste des restaurants locaux consensuels circulait, il nous a toutefois pris un petit temps avant de nous apercevoir que ces restaurants consensuels étaient en fait juste ceux où les serveurs comprenaient l'anglais, *o tempora, o mores...*

Wi-Fi et HiperLAN dans tout cela ? Ah oui ! C'est vrai, j'oubliais. Comme on s'y attendait, le Wi-Fi de la première génération (qui était proposé concomitamment auprès de l'IEEE et de l'ETSI) s'est complètement ramassé lors de la séance des simulations présentée au printemps 1994. Il terminait bien derrière le « peigne ». La proposition IEEE fut modifiée en catastrophe : pour les messages courts, la durée avant retransmission sera décomptée en petites tranches de canal vides, et suspendue en cas de signal, une sorte de peigne avec des paquets comme dents. Pour les paquets plus longs, le dispositif prévu est une sorte de peigne à deux dents où l'émetteur annonce le paquet (*request to send*), le récepteur acquitte l'annonce (*clear to send*) et les autres se taisent pendant le temps qu'il faut. À peu de chose près, c'est le standard Wi-Fi, inchangé depuis les années 1990. HiperLAN a fini avec un peigne à une dent mais de taille variable, donc le peigne s'est retrouvé moralement dans les deux normes.

Les parties purement radio ont beaucoup évolué depuis ces années en donnant naissance à une grande famille : IEEE 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11p, avec des débits en constante augmentation (jusqu'à 54 Mbps, à très courte portée, certes). Mais au niveau du protocole, le seul changement notable de la norme Wi-Fi se trouve dans les algorithmes de sécurité. Les concepteurs de Wi-Fi qui n'y connaissaient rien ont conçu un algorithme de chiffrement appelé WEP qui avait la fâcheuse particularité d'envoyer sa clé en clair si on était patient. Depuis, le protocole WEP a été remplacé par WAP (et ses déclinaisons), qui est à l'épreuve des balles. Nous, les concepteurs de HiperLAN qui n'en connaissions pas plus, allions aussi produire une idiotie mais fûmes arrêtés dans notre élan par le groupe SAG, expert de la sécurité de l'ETSI, qui nous a concocté un protocole du genre WAP. La coopération technique marchait à l'ETSI bien mieux qu'à l'IEEE.

HiperLAN avait donc plus d'un atout dans son jeu. Pour pallier les courtes portées radio, il était même prévu d'équiper les réseaux d'un routage interne pour couvrir les recoins cachés. Aussi curieux que cela puisse paraître, ce dispositif était aussi prévu dans la norme téléphonique GSM mais inappliqué pour cause de trop grande asymétrie des technologies. Le routage interne (*Intraforwarding*) se retrouvera plus tard dans Internet et les réseaux mobiles *ad hoc* sous le nom de OLSR, mais ceci est une autre histoire.

La moralité de l'histoire est que si la norme HiperLAN a bien été promulguée en 1995 (et ratifiée en 1996), en même temps que la norme Wi-Fi, aucun produit n'en est sorti. Alors que Wi-Fi, amélioré grâce à HiperLAN, s'est imposé et a finalement été importé tel quel dans les normes européennes (parfois déclinée sous le nom HiperLAN 2). Pourquoi ? Un manque de solidarité européenne ? Non, probablement du réalisme tout simplement. À l'époque, le marché des réseaux locaux sans fil n'était pas très important et ces réseaux, ne nécessitant pas de licence, intéressaient peu les opérateurs aux « poches profondes ». Donc pas d'argent pour développer cette sorte de Concorde des réseaux sans fil qu'était HiperLAN : la place était aux produits moins ambitieux et moins chers. Mais si HiperLAN n'a pas répété le succès du GSM d'un point de vue industriel, on peut dire que, d'un point de vue technologique, HiperLAN a survécu dans la norme Wi-Fi et a été probablement une des raisons de son succès.

## **Bibliographie**

IEEE 802.11 (legacy mode), Wikipédia.

HiperLAN, Wikipédia

IEEE 802.11 Working Group. (1999), Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band, *ANSI/IEEE Std 802.11*.

ETS 300 652 Radio Equipment en System (RES) High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN); Type 1 Functional Specification, 1995.

JACQUET P., MINET P., MÜHLETHALER P. & RIVIERRE N. (1997), "Increasing reliability in cable-free radio LANs low level forwarding in HIPERLAN", *Wireless Personal Communications*, 4(1), pp. 51-63.

JACQUET P., MINET P., MÜHLETHALER P. & RIVIERRE N. (1997), "Priority and collision detection with active signaling-the channel access mechanism of hiperlan", *Wireless Personal Communications*, 4(1), pp. 11-25.

JACQUET P., MINET P., MÜHLETHALER P. & RIVIERRE N. (1997), "Data transfer for hiperlan", *Wireless Personal Communications*, 4(1), pp. 65-80.

JACQUET P., MÜHLETHALER P., CLAUSEN T., LAOUITI A., QAYYUM A. & VIENNOT L. (2001), "Optimized link state routing protocol for ad hoc networks", in *Multi Topic Conference, 2001. IEEE INMIC 2001. Technology for the 21st Century. Proceedings. IEEE International* (pp. 62-68), IEEE.