

Powerline Communication

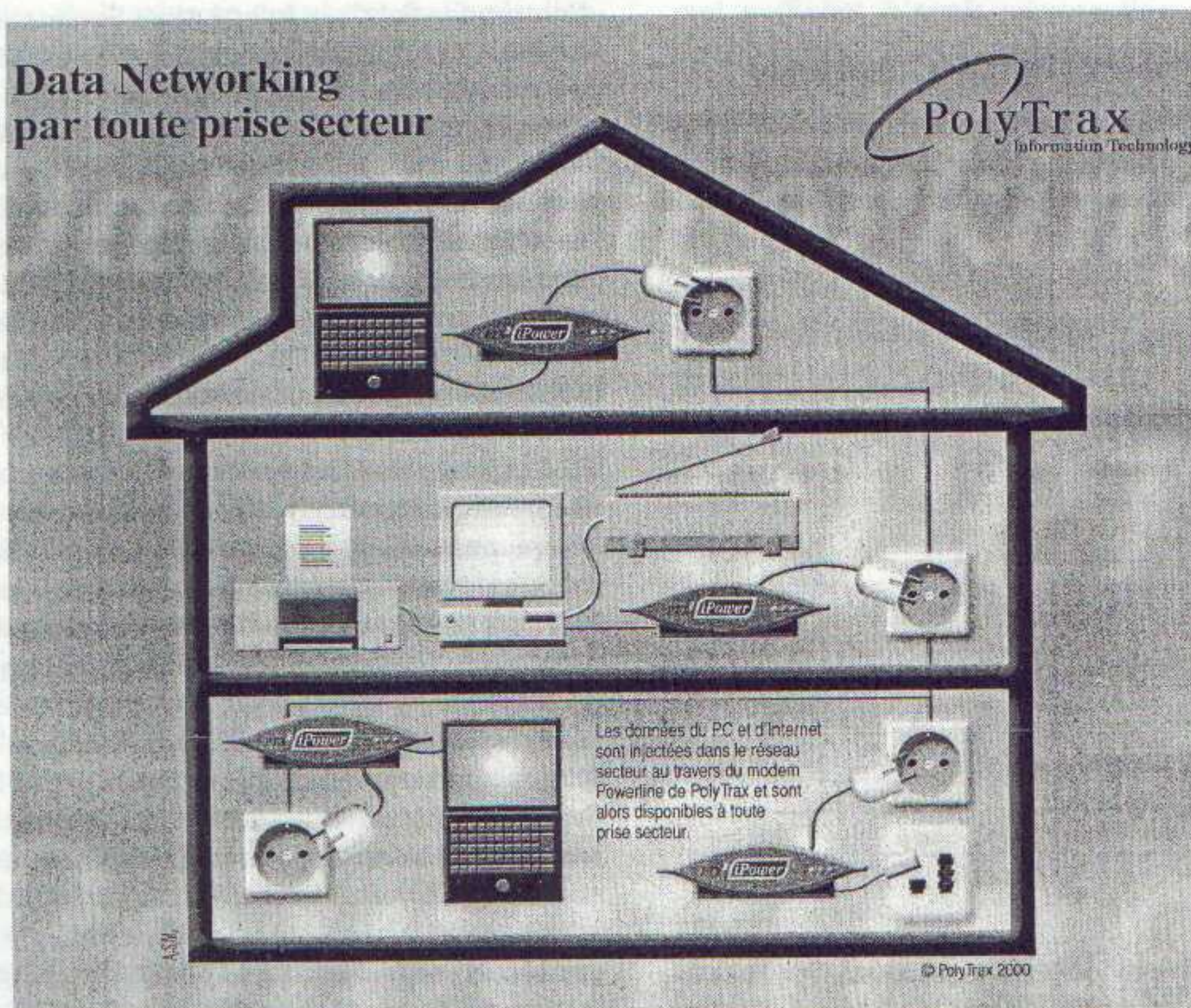
Transfert de données « en prise (de courant) directe »

Le réseau électrique à usage domestique permet de réaliser économiquement le transfert de données à haut débit. Loin d'être une nouveauté, cette méthode sert déjà aux sociétés de distribution d'électricité à transmettre des informations et des commandes. Ces entreprises ont aussi développé des méthodes permettant d'atteindre des débits de l'ordre du mégabit/s, ouvrant ainsi la porte au trafic Internet rapide. L'article décrit la technique PLC (Powerline Communication) et son stade de développement.

La communication par le réseau électrique ne constitue pas exactement une nouveauté. Il y a déjà plusieurs années que les entre-

prises de distribution d'énergie transmettent des signaux de commande et des données par les

réseaux haute tension grâce à la *téléphonie à fréquence porteuse sur ligne à haute tension (TFH)*, introduite en Allemagne en 1928 par une loi sur les télécommunications. Pour en revenir au domaine domestique, la méthode de *télécommande centralisée (TCC) à fréquence vocale* a été développée par Siemens en 1930 (système « Telenerg ») et par AEG en 1935 (système « Transkommando »). Ces 2 procédés permettent par exemple d'allumer et d'éteindre les chauffages électriques à accumulation nocturne. Le signal des baby-phones (surveillance d'un bébé par téléphone) qui existent depuis les années 80 est transmis par l'installation domestique. N'oublions pas Elektor, où l'on peut trouver des circuits permettant de transmettre des signaux par le câblage secteur. Le numéro 160 (octobre 1991, cela ne nous rajeunit pas, page 56 et suivantes) contient par exemple la description d'une télécommande secteur permettant de commuter jusqu'à 8 lampes à incandescence et d'atténuer leur intensité lumineuse par la modulation d'une porteuse 200 kHz,



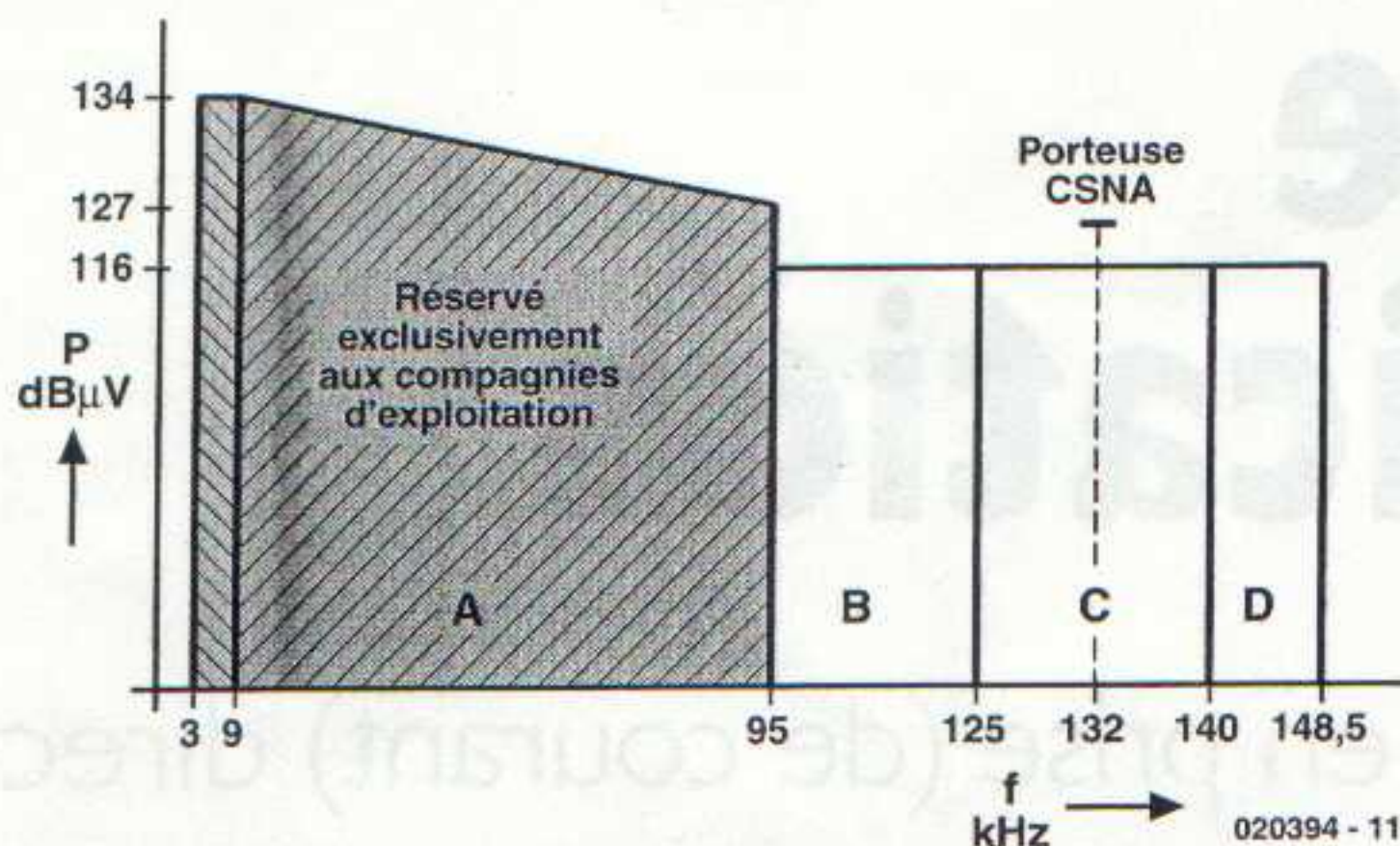


Figure 1. Bande de fréquence et niveau des signaux selon EN 50065.

montage que nous avons, à l'époque, baptisé Télé-gradateur. L'intérêt causé actuellement par la technique PLC est basé sur le fait que la zone de rattachement, autrement dit le « dernier kilomètre » (*last mile*) est responsable de la majeure partie des investissements dans un réseau de télécommunication. Les câbles et leur pose constituent la partie la plus onéreuse d'un réseau. Utilisons les liaisons existantes et nous réaliserons de substantielles économies ! C'est pourquoi, dans le domaine des télécommunications, les paires de conducteurs en cuivre du réseau téléphonique ont dû accueillir un canal de données ADSL (cf. *Elektor* n° 257, novembre 1999, page 20 et suivantes). C'est aussi pourquoi on commence à étudier les possibilités de transmettre des données par les réseaux de distribution

de courant.

La bande de fréquence au-dessous de 150 kHz est utilisée depuis longtemps. Ni la radiodiffusion ni la radiophonie des amateurs n'étant utilisées sous 150 kHz, le rayonnement, faible mais inévitable, des signaux perturbant les installations radio joue un rôle bien moins important qu'aux fréquences plus élevées. En outre, ces rayonnements sont plus faibles à ces fréquences peu élevées que dans la bande de fréquence finissant à 30 MHz. C'est pourquoi certains fabricants se concentrent sur cette bande de fréquence Powerline « officielle ».

La méthode classique

La norme européenne EN50065 définit la bande de fréquence pour la communication par les réseaux de

distribution comme allant de 9 kHz à 148,5 kHz (jusqu'à 500 kHz aux USA et au Japon). Du côté de la radiodiffusion, ces fréquences sont utilisées entre autres par les transmetteurs de signal horaire comme DCF77 (Allemagne, sur 77,5 kHz). La figure 1 indique les 4 bandes de fréquences prescrites par EN50065. La bande A, de 9 kHz à 95 kHz, ainsi que la plage entre 3 kHz et 9 kHz, ne sont utilisées que par les compagnie de distribution d'électricité pour des tâches de commande (installations de télécommande centralisée). Les bandes B, C et D sont disponibles pour l'utilisation privée. Le babyphone relié au secteur fonctionne par exemple dans cette plage. Mentionnons que l'utilisation de la méthode d'accès CSMA (Carrier-Sense Multiple Access) est obligatoire dans la bande C. Dans la méthode CSMA, tous les participants d'un réseau utilisent la même fréquence et chaque station écoute avant d'émettre pour savoir si le canal est déjà occupé. La fréquence de la porteuse du signal CSMA est de 132 kHz. Pour toute autre méthode de modulation, on est renvoyé aux bandes B et D dont le niveau maximum d'émission est fixé à 116 dBμV. On atteint actuellement un débit de plus de 100 kbit/s dans les bandes B et D. L'entreprise PolyTrax offre des modems PLC fonctionnant dans ce domaine de fréquence.

La méthode Powerline de PolyTrax

L'entreprise PolyTrax Information Technology à Munich (www.polytrax.com) s'est limitée au domaine de fréquence de 38,5 kHz de large des bandes B (de 95 à 125 kHz) et D (de 140 à 148,5 kHz) définies dans EN50065-1 et a réalisé un système fiable de transmission des données servant à la mise en réseau dans un bâtiment. La méthode DMT et la modulation OFDM QAM permettent aujourd'hui d'atteindre des débits d'environ 150 kbits/s, autrement dit de l'ordre de ceux de RNIS (figure 2).

DMT, qui signifie *Discrete Multi Tone*, est une forme de codage dans laquelle le domaine de fréquence utilisé est divisé en un grand nombre de canaux étroits contenant chacun une porteuse modulée. OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, signifie que la distance entre les porteuses voisines est choisie de telle sorte que l'échantillonnage de chaque porteuse ne soit pas perturbé par les autres. QAM, enfin, signifie *Quadrature Amplitude Modulation* (modulation d'amplitude en quadrature) : dans le cas de 64QAM, par exemple, la phase et l'amplitude de la porteuse peuvent avoir 64 états différents par rapport à un signal de référence. Le nombre

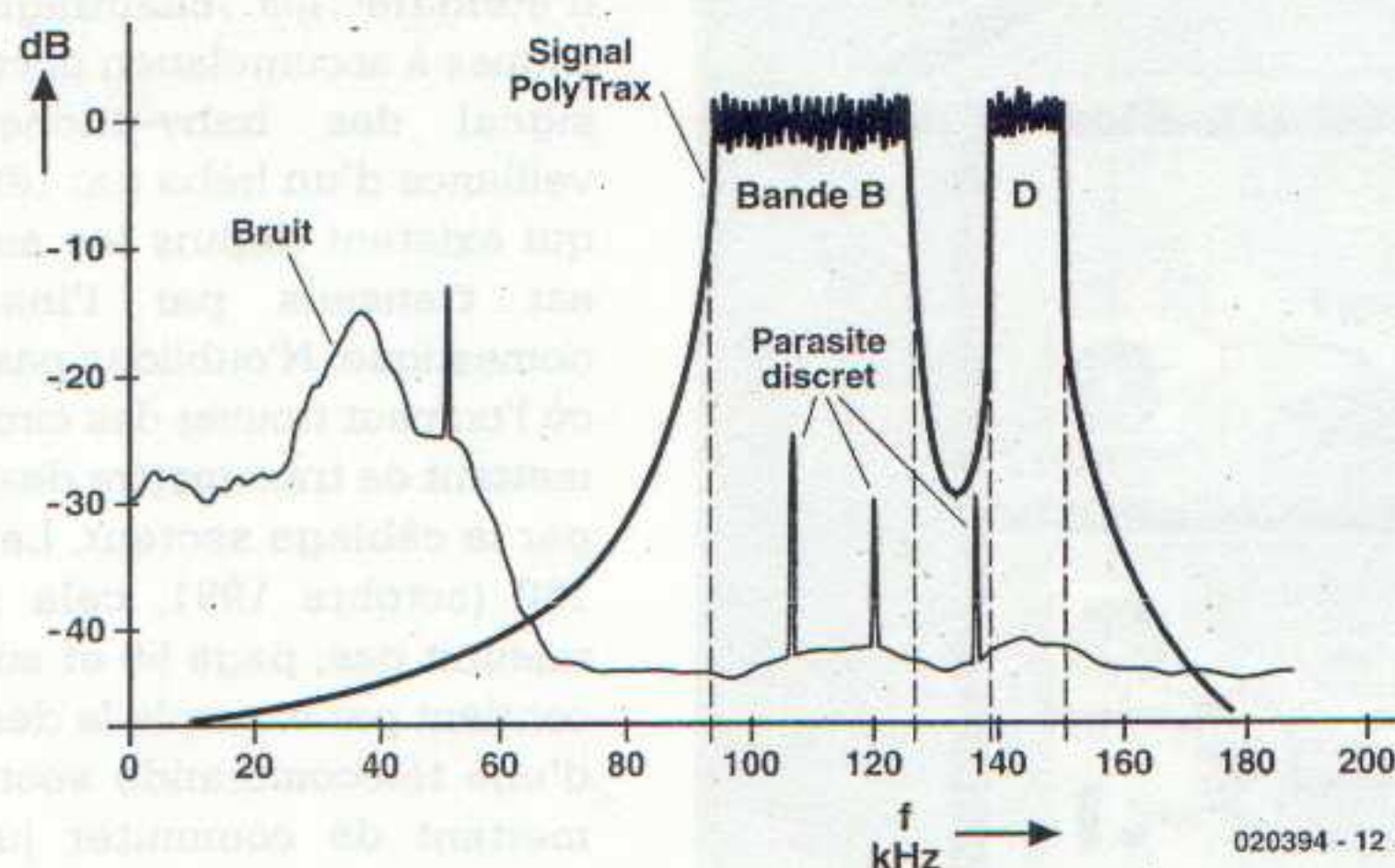


Figure 2. Spectre typique d'un signal Powerline de PolyTrax et spectre caractéristique du bruit.

d'états différents se réduit à 16 dans le cas de 16QAM.

Comme les fréquences autorisées hors de l'Europe pour les transmissions Powerline peuvent atteindre 500 kHz, il est possible de reprogrammer les modems PolyTrax de façon à produire des signaux DMT plus larges, ce qui permet d'augmenter le débit jusqu'à 2,5 Mbits/s. Des unités de traitement numérique du signal à programmation universelle permettent de réaliser sans difficulté cette fonction.

La méthode de modulation s'adapte périodiquement aux conditions de bruit et de perturbations au moyen d'une séquence d'ap-

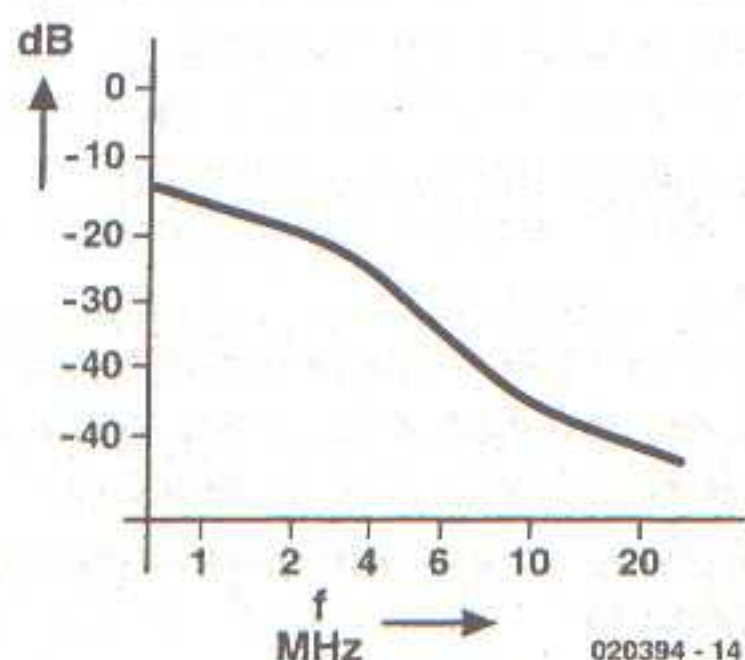


Figure 4. Atténuation du câble aux hautes fréquences (câble de 1 km).

prentissage (*training sequence*). En effet, ces conditions peuvent varier fortement en fonction de la mise en marche et de l'arrêt d'appareils. On parvient à éliminer les perturbations à fréquence discrète (exemple : fréquence de balayage horizontal des téléviseurs) en commutant le type de modulation de chaque porteuse, par exemple de 64QAM à 16QAM, et en adaptant la fréquence de chaque porteuse OFDM de façon à ce qu'elle ne coïncide pas avec celle de la perturbation. La transmission, enfin, est effectuée par paquets au moyen du procédé ARQ (*Automatic Repeat Request*) dans lequel un paquet de données présentant des erreurs est identifié et retransmis grâce au mécanisme FEC (*Forward Error Correction*). Il va sans dire que tous ces mécanismes réduisent le débit par rapport à un canal « propre ».

La méthode Powerline de PolyTrax présente l'avantage de limiter les fréquences au domaine non critique sous 150 kHz et la puissance de transmission maximale aux 116 dBuV exigés par la norme. On évite ainsi les perturbations désagréables sur ondes courtes auxquelles les réseaux PLC soumettent les nombreux services de radiocommunication, la radiodiffusion AM et les amateurs radio. Le rayonnement des lignes du signal

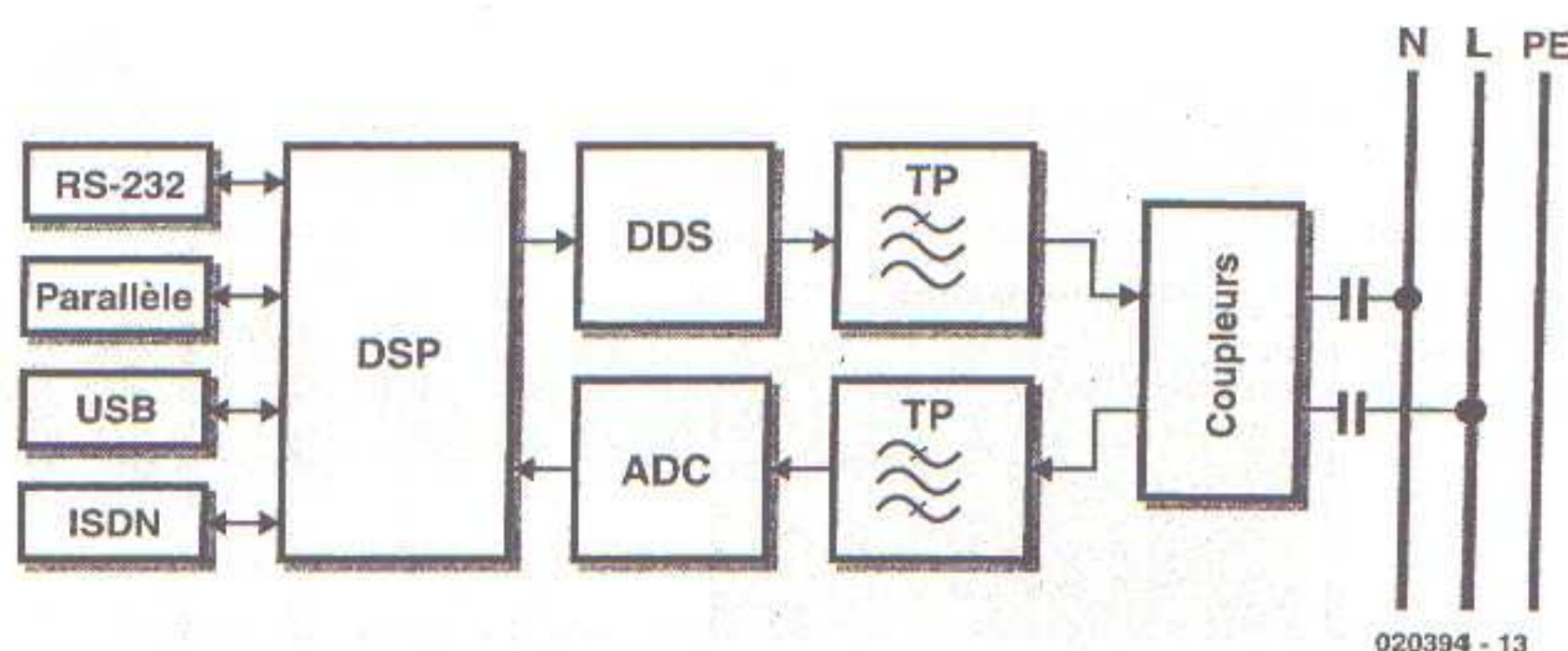


Figure 3. Schéma fonctionnel du modem PolyTrax. Pour info, N = Neutre, L = Phase et PE = Protection).

Powerline est en effet négligeable. La limitation du débit de cette méthode en restreint par contre l'utilisation aux applications domestiques car les lignes ne peuvent dépasser 100 mètres.

Le hardware des modems Powerline de PolyTrax (figure 3) comporte pour l'essentiel un DSP (*Digital Signal Processor*) très performant. La transmission est assurée par une puce DDS (*Digital Direct Synthesis*) suivie d'un filtre passe-bas. Le récepteur se compose d'un filtre de bande et d'un CAN. Un coupleur couple ou découple le signal du réseau de distribution. Ce matériel peut être utilisé partout. Les mises à jour du logiciel suffisent à tenir compte des changements d'attribution de fréquences dans n'importe quel pays. Même les dernières améliorations de la méthode de modulation peuvent être chargées de cette façon dans les modems.

Technologie Powerline entre 150 kHz et 30 MHz

Pour atteindre un débit de l'ordre du

Mbits/s, il est indispensable de choisir une limite supérieure du signal H.F. dépassant 150 kHz. Toutefois, l'atténuation et le rayonnement électromagnétique des transmissions par lignes peuvent augmenter considérablement avec la fréquence en fonction de la structure du câble. La figure 4 reproduit le comportement typique de l'atténuation dans un câble pour courant fort long de 1 km. On pourrait concevoir d'augmenter la puissance de transmission pour compenser cette forte atténuation. Mais le rayonnement des lignes – qui ne sont pas blindées – cause de fortes perturbations dans les services de radiocommunication utilisant ces fréquences. Il ne reste donc plus qu'à trouver des méthodes de modulation plus efficaces à faible puissance de transmission.

Par ailleurs, des perturbations se produisent aussi dans le réseau de distribution lui-même : il règne tout d'abord un certain niveau de bruit dans le domaine de fréquence PLC de 150 kHz à 30 MHz inhérent aux nombreux appareils raccordés au secteur. On peut aussi rencontrer

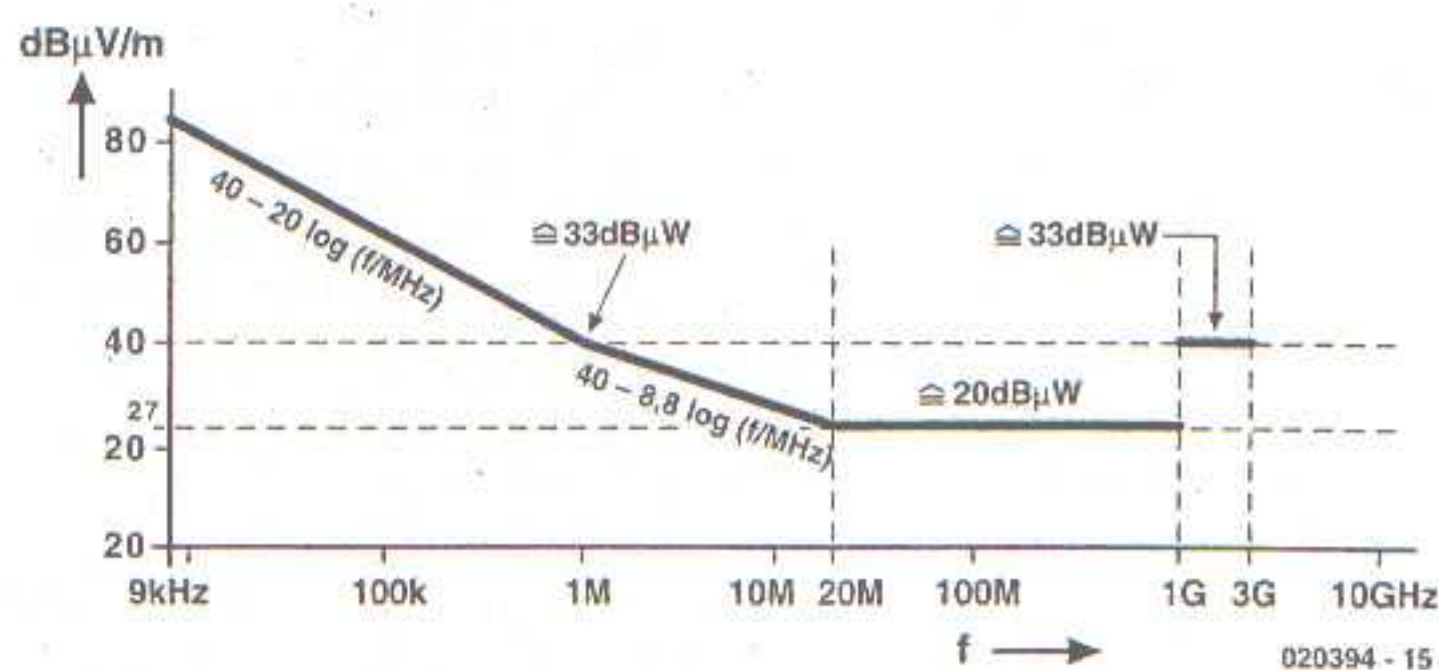


Figure 5. Limite NB30 en dBuV/m mesurée à 3 m de distance.

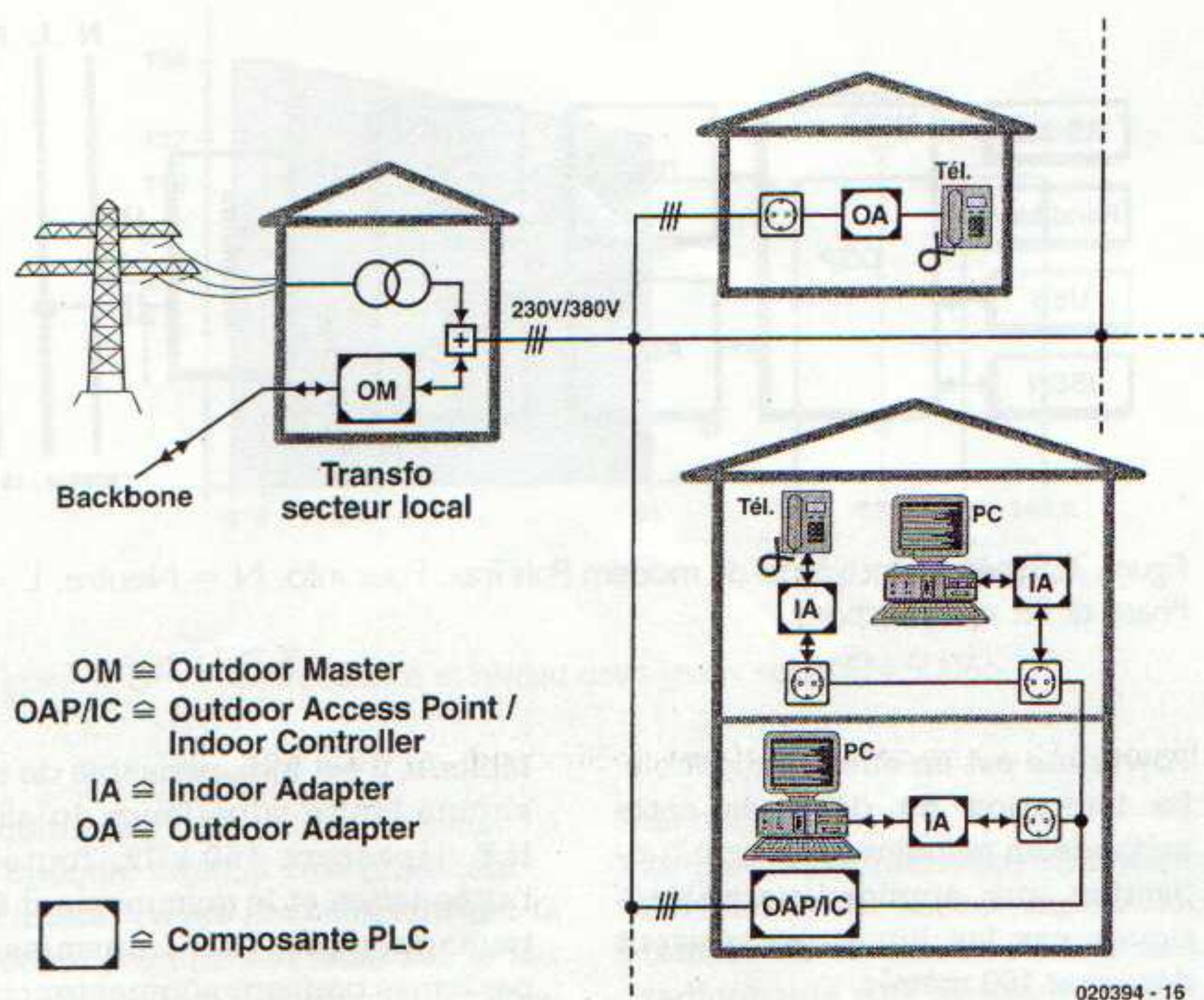


Figure 6. Système PLC à composants ASCOM.

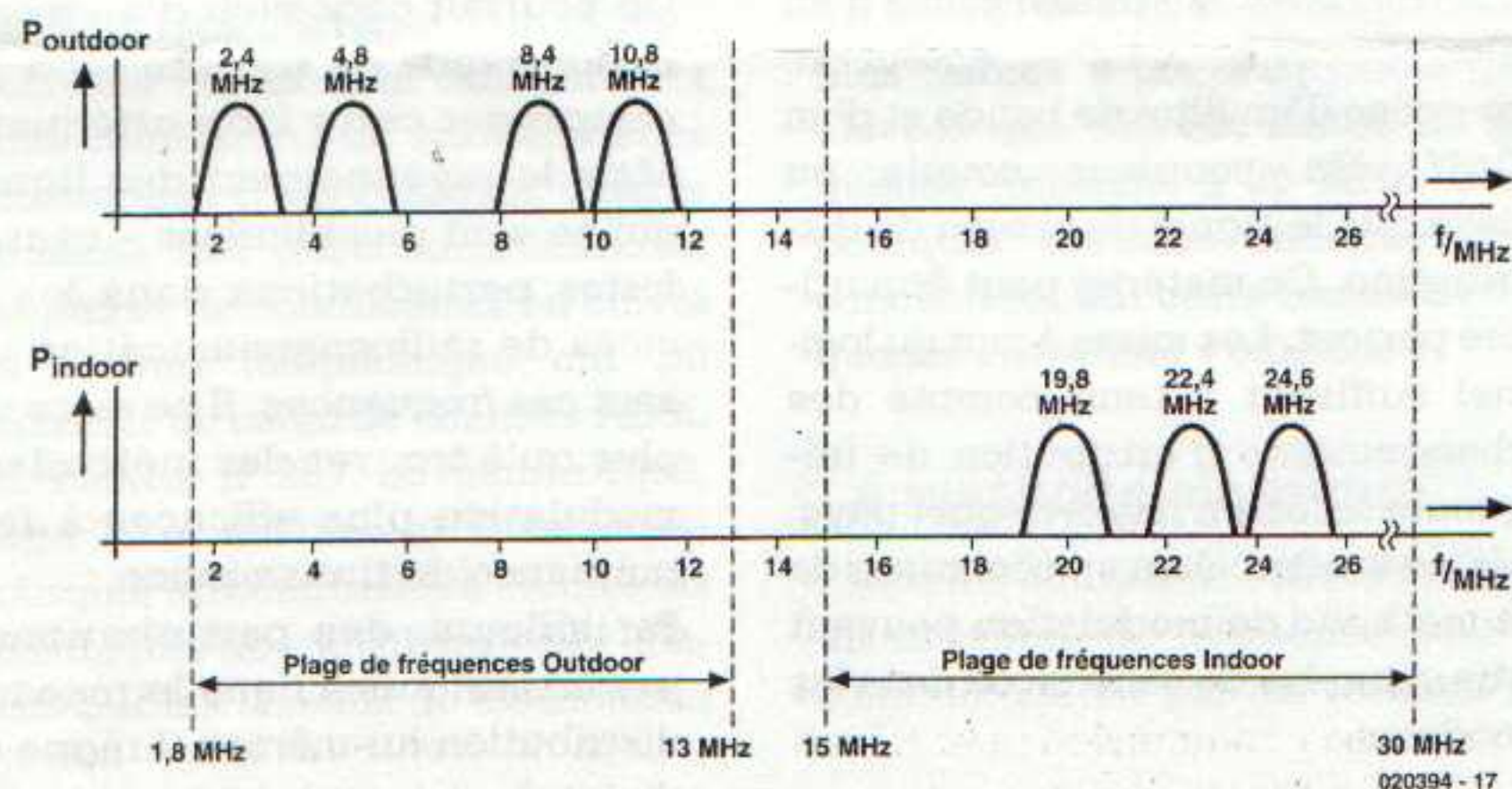


Figure 7. Plages de fréquence utilisées dans la méthode PLC d'ASCOM.

des porteuses à bande étroite échappées la plupart du temps d'émetteurs de radiodiffusion. Les alimentations à découpage, les écrans, etc. émettent périodiquement des impulsions parasites qui ne sont pas en synchronisme avec les 50 Hz du secteur. Mais les perturbations en synchronisme avec la fréquence du secteur ne manquent pas à l'appel : pensons aux atténuateurs et autres commandes par découpage de phase. Terminons ce tour d'horizon par les processus d'enclenchement et de déclenchement sur le réseau

qui produisent des impulsions de forte puissance. Ces impulsions empêchent momentanément toute transmission ; il faut donc envoyer les données par paquets de taille réduite qui peuvent être retransmis en cas d'erreur constatée par le récepteur (procédé ARQ, *Automatic Repeat Request*).

Conditions d'utilisation : l'exemple allemand NB30

Pour protéger les services de radio-communication sur ondes courtes

des rayonnements inévitables évoqués plus haut, il est nécessaire de fixer les limites auxquelles les méthodes Powerline en développement doivent être soumises. Ces nouvelles dispositions, édictées par les autorités réglementaires des télécommunications et de la poste (abréviation : RegTP), et baptisées NB30 (abréviation de « Nutzungsbedingung », conditions d'exploitation) ont été approuvées en mars 2001 par le Bundesrat allemand et sont entrées en vigueur le premier juillet 2001. Elles définissent les valeurs qu'un câble transportant un signal Powerline ne doit pas dépasser. Celles-ci, représentées dans la figure 5, sont mesurées à 3 mètres de distance au moyen d'un dispositif conçu spécialement (bande passante 10 kHz, détecteur de crête).

Nouveaux procédés de transmission PLC

Après avoir décrit le procédé PLC de PolyTrax conforme à EN50065, passons aux 2 autres approches des entreprises Ascom et Main.net, lesquelles reposent sur l'utilisation du domaine de fréquence se terminant à 30 MHz. Nous donnerons ensuite un aperçu des principaux fournisseurs d'accès Powerline à Internet.

La méthode Ascom

L'entreprise helvétique Ascom (www.ascom.ch) est un des principaux fabricants de techniques PLC comme moyen d'assurer la liaison du « dernier kilomètre » entre, par exemple, Internet et le domicile. Ascom traite les domaines « Extérieur » et « Intérieur » (*Outdoor* et *Indoor*) de façon complètement séparée. C'est pourquoi chacun d'entre eux possède son propre réseau PLC entre lesquels un module installé dans le boîtier du compteur électrique du client assure la liaison. Voici la liste (minimale) des appareils PLC qu'il faut acquérir pour réaliser un système PLC Ascom (figure 6) :

- Outdoor Master
- Outdoor Access Point / Indoor Controller
- Indoor Adapter

Le Outdoor Master (OM) se trouve généralement dans la station transformatrice locale et convertit les flux de données entre PLC et une dérivation dorsale (fibre, DSL, faisceau dirigé...).

Le Outdoor Access Point / Indoor Controller (OAP/IC), monté dans le boîtier du compteur électrique du client, effectue la conversion entre réseau extérieur (*Outdoor*) et réseau intérieur (*Indoor*). Il joue le rôle de maître (Master) du réseau intérieur. La portée de

l'OAP/IC est de 500 mètres à l'extérieur et de 100 mètres au niveau du câblage domestique. Il peut gérer jusqu'à 4 adaptateurs d'intérieur. Chaque connexion de données au réseau PLC domestique nécessite un « Indoor Adapter » (IA). Celui-ci possède 3 interfaces standardisées : Ethernet, USB et a/b (téléphone). Selon le fabricant, la portée atteint 100 mètres.

Outre ces 3 composants de base, Ascom propose toute une série d'appareils PLC pour utilisation spéciale. La figure 6 ci-dessus présente un exemple d'application : le raccordement d'un seul téléphone au réseau extérieur. Il serait quelque peu exagéré d'installer un OAP/IC pour un seul adaptateur d'intérieur. C'est pourquoi Ascom offre aussi un « Outdoor Adapter » (OA) permettant de se raccorder directement au réseau extérieur.

Ascom utilise des plages de fréquence différentes pour les réseaux PLC Indoor et Outdoor : Étant donné, comme nous l'avons vu plus haut, que l'atténuation dans les câbles augmente fortement avec la fréquence, on utilise des fréquences peu élevées dans le réseau extérieur, plus étendu. Les porteuses des signaux individuels sont situées entre 1,6 MHz et 13 MHz. Le réseau intérieur, moins étendu peut, par contre, fonctionner à des fréquences élevées entre 15 MHz et 30 MHz. Alors que les réseaux extérieurs doivent couvrir jusqu'à 500 m, la distance entre les installations intérieures et la prise la plus éloignée ne dépasse en principe jamais 100 m, la distance dépendant en premier lieu de la topologie du « réseau » domestique. Trop de branchements et de dérivations et adieu la portée !

La figure 7 montre des fréquences typiques de signaux individuels. Elles sont choisies de manière à empiéter le moins possible sur les bandes de fréquence des radioamateurs et de la radiodiffusion. Chaque signal partiel est large de 2 MHz et les signaux individuels sont écartés de 0,6 MHz. Les appareils Ascom comportent des paramètres programmables à cet effet.

Les porteuses sont modulées en GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) ; l'information se trouve dans la position de phase du signal. L'enveloppe du signal modulé est constante, un avantage dans la technique des amplificateurs H.F. On peut tolérer un certain taux de compression dans les amplificateurs de puissance, ce qui est par contre interdit dans le cas de la modulation d'amplitude en quadrature comme 16QAM ou 64QAM et provoquerait des erreurs de bits. Trois des quatre signaux possibles sont simultanément utilisés dans le réseau extérieur, tandis que ce sont toujours les 3 porteuses indiquées dans le réseau intérieur. Chaque signal partiel peut transmettre

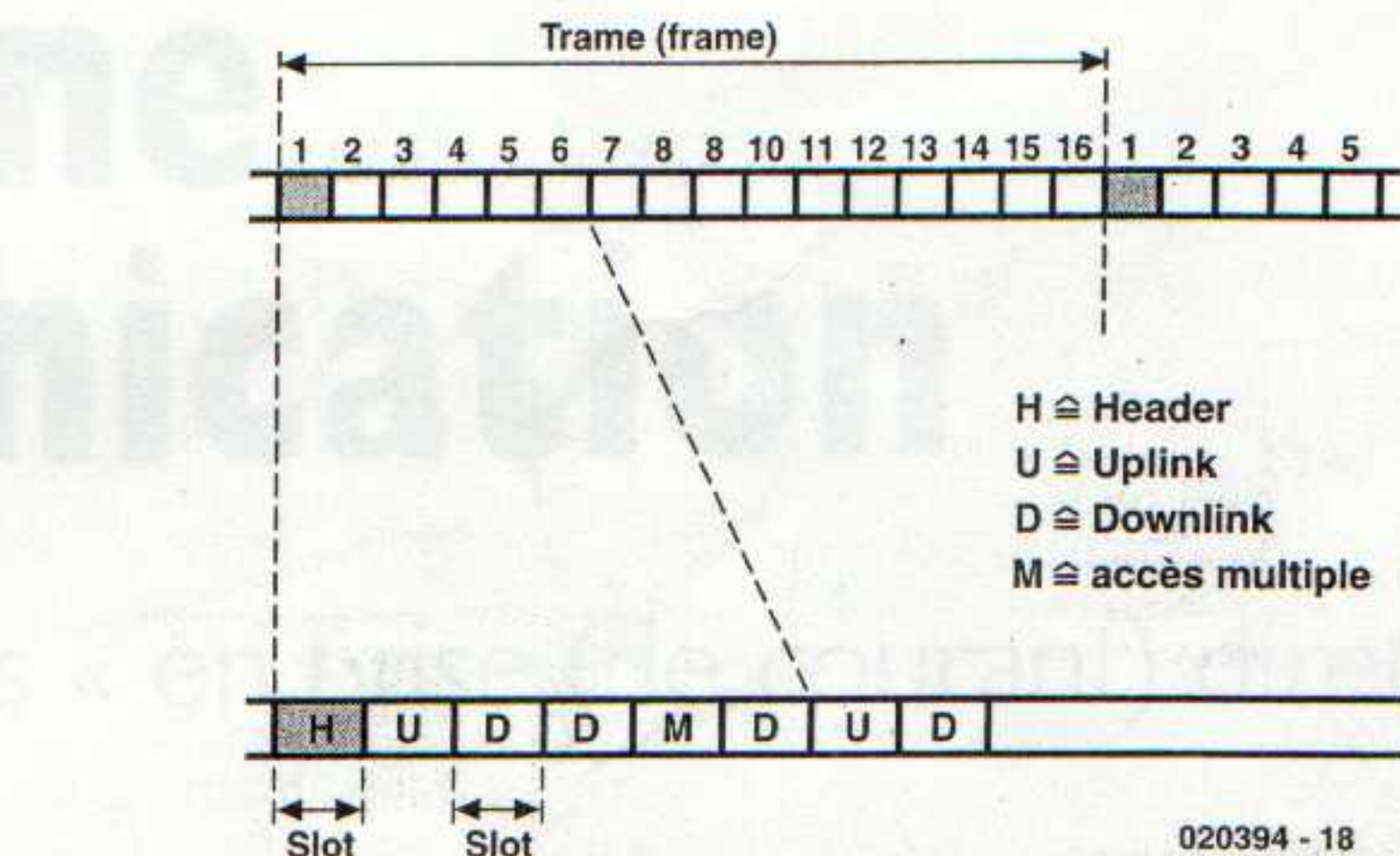


Figure 8. Structure des trames dans la méthode PLC d'ASCOM.

750 kbits/s (avec FEC) et 1,5 Mbits/s (sans FEC), car la protection contre les erreurs (FEC = *Forward Error Correction*, un codage Viterbi à taux $R = 1/2$) est désactivée lorsque le canal est « propre ». Il est donc possible de transmettre à 4,5 Mbits/s lorsque les conditions sont optimales dans les 2 réseaux. Notons toutefois que cette capacité totale doit, dans le cas du réseau extérieur, être répartie entre tous ses participants. Il se pourrait donc que chacun d'entre eux, selon la période de la journée, ne reçoive guère plus de 500 kbits/s. Le flux des données de chaque signal partiel est divisé en trames (frame) de 16 tranches (slot), chacune de celles-ci comportant 64 bits utiles. Les trames sont composées d'une tranche servant d'en-tête et de 15 tranches de données pour la liaison montante (Uplink) ou descendante (Downlink), comme on le voit dans la figure 8. Uplink est donc la direction de transmission de l'adaptateur d'intérieur (Indoor Adapter) au contrôleur d'intérieur (Indoor Controller), Downlink correspond à la transmission du contrôleur d'intérieur à l'adaptateur. Il est important pour le réseau PLC que les nouveaux adaptateurs d'intérieur, ou ceux que l'on raccorde à une prise différente, s'annoncent d'eux-mêmes au réseau intérieur et participent au transfert des données sans intervention de l'utilisateur (caractéristique *Plug-and-Play*, prêt à l'emploi). Pour ce faire, le maître distribue régulièrement des tranches d'accès multiple. Il enregistre pendant cet intervalle

de temps les éventuelles demandes de connexion de nouveaux adaptateurs d'intérieur. Le réseau extérieur comporte bien entendu une procédure similaire. La connexion SNMP (*Simple Network Management Protocol*) permet en outre au maître extérieur de contrôler et de commander intégralement le réseau ainsi que d'établir continuellement la facturation pour chaque client.

La séparation du réseau en une partie extérieure et une partie intérieure présente un avantage considérable : le réseau « domestique » peut tourner de façon autonome à débit maximum sans surcharger le réseau et le maître extérieurs. La protection des données ne pose pas non plus de problème car un simple filtrage basé sur la différence de fréquence entre réseau extérieur et réseau intérieur permet d'empêcher les signaux de celui-ci de parvenir à l'extérieur. Mentionnons pour terminer que cette séparation, loin de compliquer les choses, les simplifie, car le réseau extérieur appartient en règle générale à l'entreprise publique d'électricité tandis que le réseau domestique est la propriété du client.

Entre-temps, ASCOM a ajouté à son programme, qui comporte déjà le modem PLC initial et l'adaptateur d'intérieur, un modem PLC bien moins coûteux que le modèle haut de gamme et destiné à un marché de masse.

(020394)