

Document 1

Source : « Techniques de codage sur fibre optique ou paire torsadée », mémoire de F. Lusteau, décembre 1999.

FDM (Frequency Division Multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence (MRF). Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques. Le multiplexage fréquentiel consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes plus étroits et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou à un usage exclusif.

On trouve un bon exemple de l'utilisation de FDM avec ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line). ADSL est né de l'observation qu'une ligne téléphonique possède une bande passante d'environ 1 Mhz dans laquelle seule, une largeur de bande de 4 KHz est utilisée pour les communications téléphoniques. Il reste donc une bande passante importante disponible pour un autre usage. C'est un multiplexage en fréquence qui va permettre son utilisation. Une bande de 4 kHz est réservée pour la téléphonie classique (POTS : Plain Old Telephone Service) Une bande est réservée pour le flux de données usager vers réseau. (Upstream Data : Voie montante). Une bande est réservée pour le flux de données réseau vers usager. (Downstream Data : Voie descendante). L'ensemble de la bande passante s'étend sur 1,1 MHz. Le canal dédié au téléphone est séparé des canaux dédiés aux données par un filtre passe-bas (Splitter) passif. Le filtre envoie également l'intégralité du signal au modem ADSL (ATU-R : ADSL transceiver unit-remote). Celui-ci est doté d'un filtre passe-haut qui élimine le canal dédié au téléphone. Le signal est ensuite traité par la technologie DMT pour être transmis à l'équipement informatique via une liaison de type Ethernet 10BaseT ou ATM25.

DMT (Discrete MultiTone) est une technique de modulation utilisée dans certaines technologies xDSL. L'ANSI (American Standards Institute) a défini la modulation de type DMT dans sa norme T1.413. C'est DMT qui a été choisie comme technique de modulation pour ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line) au détriment de CAP (Carrierless Amplitude/Phase). DMT est également candidate pour être la modulation normalisée pour VDSL (Very high data rate Digital Subscriber Line). Le principe de DMT est de diviser la bande passante disponible en un grand nombre de sous-bandes distinctes et de placer le signal digital sur des porteuses analogiques. Le spectre utilisé est compris entre 26 kHz et 1,1 MHz. A chaque canal est attribuée une bande de 4,3 KHz. La division de la bande passante en un ensemble de sous-canaux indépendants est la clé de la performance obtenue par DMT. La mesure de la qualité de chaque sous-canal détermine le nombre de bits qui lui sera alloué. Ce procédé a pour but d'adapter le taux de charge de chaque canal en fonction de ses performances. Le maximum possible est de 15 bits par symbole par canal. Les zones de la bande passante pour lesquelles l'atténuation du signal est importante ou le rapport signal bruit trop faible, auront moins de bits/symboles d'alloués afin de garantir une bonne qualité à la réception. Si la qualité est vraiment trop faible pour

un canal, il peut ne pas être utilisé. (...) En fait, tel qu'il a été normalisé par ADSL, le premier canal est en réalité celui du téléphone, les canaux 2 à 6 constituent la bande de garde entre la voix et les données. Le canal montant occupe 32 sous-canaux à partir du canal 7. Le canal descendant occupe 250 sous-canaux. La séparation des canaux montants et descendants s'effectue par une bande suffisamment large à l'aide d'un multiplexage FDM de manière à éviter les phénomènes d'écho.

Document 2

Source : Magazine Objectif Multimédia, septembre 1998.

La bande au dessus du téléphone (de 26kHz à 1,1MHz) est répartie en sous-bandes contenant des porteuses régulièrement espacées de 4,3kHz. La fraction basse de cette bande est attribuée à la voie montante, la fraction la plus haute est allouée à la voie descendante. Chacune des porteuses est modulée avec un débit de symboles constant (4kbauds). Les modulations utilisées sont de type QAM. Ces modulations sont à géométrie variables. Elles permettent de transmettre un débit d'information variable dans une même bande de fréquence. Il suffit pour cela d'ajuster le nombre de bits qui constitue un symbole. La bande de fréquences occupée par une porteuse modulée en QAM ne dépend que de la fréquence des symboles. Toutefois, plus les symboles sont riches en nombre de bits, et plus le signal modulé est sensible au bruit. Selon les conditions de transmission qui règnent dans la bande de chaque porteuse, le modem optimise en permanence le schéma de modulation de manière dynamique. Les limites vont des conditions les plus exécrables, dans lesquels le modem décide de ne pas utiliser la porteuse concernée, jusqu'aux conditions les plus favorables où le modem peut décider de transmettre un maximum de 15 bits par symbole.

Document 3

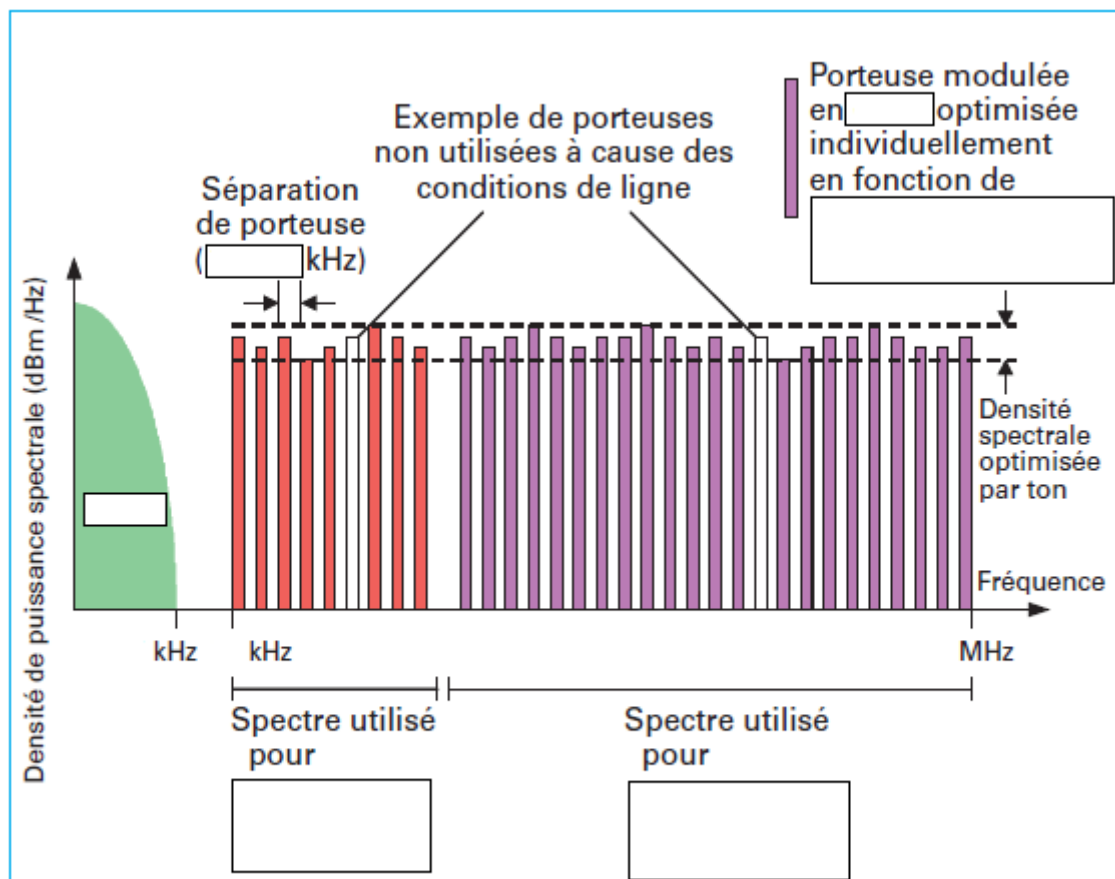
Source : « DSL : le support physique et les techniques de modulation. » Techniques de l'Ingénieur, novembre 2006

Le principe de la modulation multi-porteuses (DMT) utilisée par l'ADSL est de transmettre les bits d'information en parallèle sur un nombre important de porteuses (tons). Chaque porteuse est modulée en QAM. La fréquence des porteuses est un multiple d'une fréquence fixe. (...) Le nombre de bits qui est alloué à chaque porteuse et son niveau de puissance émise sont déterminés par le récepteur (le modem d'abonné pour la voie descendante et la carte de ligne pour la voie montante) durant l'initialisation du système sur la base du rapport signal sur bruit (SNR) de la porteuse et du débit total souhaité puis communiqués à l'émetteur.

En fonctionnement, une adaptation de l'allocation de bits ou une modification de la puissance émise par porteuse sont possibles pour compenser des changements des conditions de ligne, causés par une variation du bruit ou une dérive dans la fonction de transfert du câble (due par exemple à une variation de température). Ces adaptations en ligne n'interrompent pas le flux de données.

Répondre aux questions ci-dessous :

- 1) A l'aide des 3 documents, et du cours, compléter le schéma ci-dessous.
- 2) A quelle grandeur du cours correspond le « débit de symboles » évoqué dans le document 2 ?
- 3) Quel est le débit théorique maximal par sous-bande ? Quel est le débit minimal ?
- 4) Quelle est la valence d'une modulation MAQ caractérisée par 15 bits par symbole ?
- 5) Quel serait le débit de la voie montante si la moitié des sous-bandes est caractérisée par une modulation MAQ-128 et l'autre moitié par une modulation MAQ-64 ?
- 6) Expliquer, en 10 lignes maximum, la technique de modulation utilisée dans les technologies DSL.



Utilisation de la modulation DMT : spectre ADSL