

Chapitre 4

Introduction aux modulations

4.1 Structure d'une transmission



FIG. 4.1 – Structure générale d'une transmission de signaux.

Toute transmission d'information a une structure qui est décrite par la figure 4.1. Trois grands ensembles peuvent être distingués ¹ :

- un émetteur, dont le rôle est de mettre en forme l'information à transmettre, vis à vis d'un canal de transmission donné.
- un canal de transmission, qui est le support de transport de l'information. Ce canal peut être :
 - l'atmosphère. C'est le cas lors d'une transmission directe de la voix ou d'une image (par exemple, une discussion directe entre deux personnes), ou encore lors d'une propagation via une onde électromagnétique (transmission optique point à point, transmission radiofréquence ou hyperfréquence ...).
 - le vide. C'est le cas d'une transmission entre satellites par exemple. C'est le seul canal caractérisé par une absence d'absorption.
 - un diélectrique. C'est le cas d'une fibre optique, dans laquelle une onde électromagnétique infra-rouge (ou éventuellement visible) transporte l'information à travers, le plus souvent, de la silice.
 - un conducteur. C'est le cas des transmissions par câble (basse fréquence) : câble téléphonique, câbles réseaux, bus de données, câbles coaxiaux, câble électrique simple, etc ...
 - les guides d'ondes en hyperfréquence (guides rectangulaires métalliques, guides planaires etc ...).
- un récepteur, dont le rôle est de retranscrire l'information initiale.

Enfin, on classe les transmissions en deux grands types, selon le mode de propagation utilisé :

¹on suppose ici que le signal à transmettre est déjà sous forme électrique. On ne se préoccupe pas de la transformation du signal physique en un signal électrique.

- propagation en espace libre. Le signal émis peut atteindre tout point de l'espace disponible. C'est le cas des transmissions à travers l'atmosphère (téléphonie mobile, radio, TV, ...) ou dans l'espace.
- propagation guidée. L'onde est guidée à travers le canal, qui est généralement conçu pour cette propagation et dont les dimensions et les caractéristiques sont adaptées à la transmission. C'est le cas d'un câble électrique, d'un guide d'onde métallique (pour les hyperfréquences), d'une fibre optique.

La connaissance des caractéristiques d'un canal de transmission est donc à priori très importante, puisque c'est le canal de transmission qui va conditionner la fréquence du signal véhiculant l'information ou les caractéristiques du signal reçu. La transmission d'un signal dans l'atmosphère dans le domaine des micro-ondes permettra par exemple de fixer les domaines de fréquences possibles, en fonction des caractéristiques de propagation et des plages de fréquences encore disponibles. Connaissant la puissance émise, c'est grâce à la connaissance des conditions de propagation que l'on connaîtra la puissance du signal reçu.

Les canaux sont caractérisés essentiellement par deux phénomènes :

- **l'absorption.** Tout milieu, excepté le vide, est caractérisé par un coefficient d'absorption α qui peut être fonction de la fréquence ou de la longueur d'onde d'émission. La puissance décroît généralement de manière exponentielle : $P \propto e^{-\alpha x}$.
- **la dispersion.** Certains milieux sont dispersifs, c'est à dire que la vitesse de propagation des ondes est fonction de la fréquence ou de la longueur d'onde d'émission. Ce phénomène peut être gênant dans la mesure où les différentes composantes spectrales sont véhiculées à des vitesses différentes : le signal se reconstruira mal à l'arrivée, les différentes composantes spectrales n'étant plus en phase. Il s'en suivra des distorsions plus ou moins importantes du signal

4.2 Nécessité des modulations

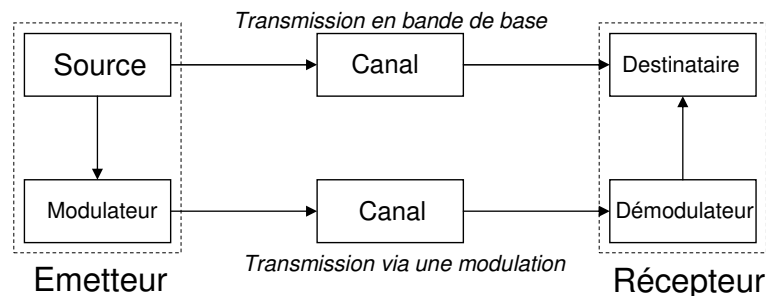


FIG. 4.2 – Deux types de transmission : en bande de base (en haut), ou via une modulation (en bas).

Afin de transmettre une information entre deux points, deux solutions existent (cf figure 4.2), dans le cas général, selon la nature du message à transmettre et de son environnement :

- on transmet sans aucune modification significative l'information. C'est par exemple le cas très simple de deux personnes qui discutent (la voix et la vue ne sont pas modulés). C'était également le cas de la transmission téléphonique à ses débuts : la voix, dont le spectre est compris pour le téléphone entre 300 Hz et 3,4 kHz, était transmise via un signal électrique directement par câble d'un point à un autre. Le spectre du signal électrique, identique au spectre de la voix à transmettre, ne subissait que des amplifications. De telles transmissions sont dites "**en bande de base**", c'est à dire que leur spectre ne fait l'objet d'aucune modification, excepté les opérations d'amplification et éventuellement de filtrage.
- on transmet l'information en modifiant son spectre (afin de transporter cette information à plus haute fréquence). C'est par exemple le cas de la radio : l'information initiale, dont le contenu spectral correspond au spectre d'un signal audible (quelques Hz - 16 kHz), est transmise à plus haute fréquence (entre 88 et 108 MHz par exemple pour la radio FM). C'est également le cas en téléphonie (fixe ou mobile) et pour la télévision. L'opération qui consiste à décaler le spectre initial en bande de base vers les fréquences plus élevées est appelée **modulation**.

Il existe un certain nombre d'avantages à utiliser une modulation, et à transmettre les informations à plus haute fréquence, plutôt qu'une transmission en bande de base. Nous allons donner quelques raisons, la liste n'étant pas exhaustive :

- dimension des circuits . Si l'on souhaite par exemple transmettre un signal par onde électromagnétique à travers l'atmosphère, étant donné que les signaux à transmettre sont de faible fréquence, cela signifie que la longueur d'onde associée est grande. Prenons l'exemple de la voix, associée à un signal électrique de même fréquence, signal que l'on souhaite transmettre par onde électromagnétique. Une fréquence de 1 kHz correspond à une longueur d'onde dans le vide de 300 km ... Il faudrait donc pour une telle transmission en bande de base des circuits associés volumineux. Augmenter la fréquence permet de réduire la taille de l'antenne associée au circuit, ce qui est un atout ² pour les dispositifs portables.
- encombrement du canal. Si nous souhaitons transmettre la voix par câble en bande de base, il faut donc un câble par conversation téléphonique (sans multiplexage temporel) ... Nous verrons succinctement que des opérations dites de "multiplexages" fréquentiels, possibles à plus haute fréquence permettront de transmettre dans un même canal plusieurs informations. En outre, la bande passante disponible est plus grande à mesure que la fréquence augmente, ce qui permet de réduire le nombre de canaux à utiliser et l'encombrement spectral.

²Mais la montée en fréquence, a aussi des inconvénients : la distance de propagation est généralement plus faible à haute fréquence qu'à basse fréquence, l'atmosphère absorbant davantage les ondes électromagnétiques à haute fréquence. En outre, les circuits sont plus complexes à réaliser ...

4.3 Multiplexage

Afin d'augmenter la quantité d'information à transmettre tout en réduisant la bande de fréquence occupée ou le nombre de canaux, deux solutions complémentaires existent ³ :

- le multiplexage temporel. Il s'agit d'envoyer des paquets d'informations (différentes) les uns à la suite des autres dans le temps. Ce multiplexage est utilisé pour la téléphonie.
- le multiplexage fréquentiel. On attribue une plage de fréquence à chaque information. Les informations (différentes) sont envoyées sur un même canal. C'est le cas en téléphonie ou pour l'ADSL (cf figure 4.3) où les trois types de signaux (le téléphone en bande de base et les données internet en émission et en réception) sont présents en même temps sur la ligne téléphonique. C'est aussi le cas de la radio FM, où les différentes radio sont juxtaposées en fréquences entre 88 et 108 MHz.



FIG. 4.3 – Exemple de multiplexage fréquentiel : signaux ADSL.

4.4 Les différentes modulations analogiques

Nous n'étudierons en détail dans ce polycopié que les modulations analogiques (c'est à dire de signaux analogiques), excepté dans le dernier chapitre, dans lequel nous verrons en quoi les modulations analogiques permettent de transmettre des données numériques, sans rentrer dans les détails des modulations numériques.

Effectuer une modulation consiste donc à modifier la fréquence du signal à transmettre pour profiter des atouts d'une transmission à plus haute fréquence. Soit $s_u(t)$ le signal à transmettre (en bande de base), signal caractérisé par un spectre en basse fréquence (BF). On l'appellera dans la suite de ce cours le signal **modulant**, correspondant ainsi au signal "utile". Soit $s(t)$ le signal haute fréquence (HF) qui devra véhiculer le signal s_u . Avant l'étape de modulation, ce signal haute fréquence porte le nom de **porteuse**, et sera noté $p(t)$. Lorsque la modulation est réalisée, il contient alors l'information utile et sera appelé le signal **modulé**. Supposons dans un premier temps (par soucis de simplicité) que le signal s soit sinusoïdal. Alors, il peut se mettre sous la forme la plus générale :

$$s(t) = S(t) \cos(\varphi(t))$$

³lorsque la transmission se fait par fibre optique, un autre multiplexage est possible : il s'agit du multiplexage en longueur d'onde, qui permet de transmettre simultanément et sur une même fibre plusieurs signaux sur différentes longueurs d'onde optique, augmentant ainsi la quantité de canaux disponibles et le débit.

Cette expression nous montre que l'on peut avoir deux solutions pour transmettre le signal s_u à l'aide du signal s :

- Soit on transmet s_u dans l'amplitude $S(t)$ de s : il s'agit alors d'une modulation d'amplitude.
- Soit on transmet s_u dans la phase $\varphi(t)$ de s : il s'agit alors d'une modulation angulaire. Nous verrons plus tard que les modulations angulaires sont soit des modulations de phase, soit des modulations de fréquence.

On pourrait alors se poser la question suivante : quelle modulation adopter pour une transmission donnée ? La réponse est assez difficile à faire et ce cours ne permettra pas de répondre simplement à cette interrogation. Le choix d'un type de modulation peut se faire sur un certain nombre de critères, et tout dépend du cahier des charges que l'on se fixe. Il n'y a pas, à priori, une modulation plus avantageuse qu'une autre dans le cas général. Le choix d'une modulation peut être fait sur l'un des critères suivants :

- largeur de bande utilisée (débit, nombre de canaux disponibles)
- facilité de réalisation du multiplexage
- rapport signal à bruit et immunité face aux perturbations du canal (c'est généralement le critère le plus important)
- complexité des circuits de modulation et de démodulation : taille et coût

Cette liste n'est pas exhaustive et l'ingénieur doit donc décider selon ses propres critères.

4.5 Glossaire

$\varphi(t)$	: phase instantanée
$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt}$	: fréquence instantanée
porteuse $p(t)$	: signal haute fréquence qui transportera le signal utile (ie le modulant)
modulant $s_u(t)$	: signal basse fréquence qui correspond à l'information utile
modulé $s(t)$	: signal haute fréquence qui contient l'information utile (s_u) et la porteuse (p)
modulation	: opération permettant de translater vers les hautes fréquences le spectre du signal modulant (utile)
démodulation	: opération permettant de translater le signal modulé vers les basses fréquences afin de retrouver le spectre du signal initial (utile)

