

# Pourquoi moduler ?

**Bruno VELAY.** *Introduction à la modulation.* Bulletin de l'Union des Physiciens, n° 771.

Les systèmes de télécommunication ont pour objet de transmettre des informations à l'aide d'un signal se propageant dans l'espace ou le long d'une ligne, de son point d'émission à celui de réception. Que ce soit en transmission hertzienne (radio, TV...), en téléphonie ou en transmission de données, le procédé de modulation est la solution considérée comme la plus efficace. Le signal à transmettre (ou signal modulant) est utilisé pour moduler (faire varier) une des caractéristiques d'un signal porteur, de fréquence plus élevée.

**1. Pourquoi moduler ?** Quelques éléments de réponse.

**1.1. En radio-transmission.** Tout d'abord, rappelons que la voix humaine produit des sons dont les fréquences sont comprises entre 100 et 7500 Hz typiquement. Pour un orchestre la plage est 30/20 000 Hz. Supposons que l'on veuille transmettre de tels signaux par voie hertzienne. La transmission directe est impossible, en effet :

- il n'est pas possible à la réception de distinguer ce signal de tout autre signal encombrant la même plage de fréquence (signaux «industriels» à 50 Hz par exemple),
- les dimensions des antennes, de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde, auraient des valeurs irréalistes (exemple : pour  $f = 1$  kHz,  $\lambda = CT = C/f = 300$  km), [...]

**2. Que moduler ?** Le signal à transmettre (signal modulant) est utilisé pour faire varier au cours du temps l'une des caractéristiques du signal porteur. **Si le signal porteur est sinusoïdal**  $p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \varphi)$  il existe trois possibilités :

**a - modulation d'amplitude** :  $A_p$  varie au cours du temps, avec  $f_p$  et  $\varphi$  constantes. [...],

**b - modulation de fréquence** :  $f_p$  varie au cours du temps,  $A_p$  et  $\varphi$  restent constants,

**c - modulation de phase** :  $\varphi$  varie au cours du temps. [...]

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation\\_du\\_signal](https://fr.wikipedia.org/wiki/Modulation_du_signal)

La modulation et la démodulation sont deux étapes dans la communication d'une information entre deux utilisateurs. Par exemple, pour faire communiquer deux utilisateurs de courriels par une ligne téléphonique, des logiciels, un ordinateur, des protocoles, un modulateur et un démodulateur sont nécessaires. La ligne téléphonique est le canal de transmission, sa bande passante est réduite, il est affecté d'atténuation et de distorsions. La modulation convertit les informations binaires issues des protocoles et des logiciels, en tension et courant dans la ligne. Le type de modulation employé doit être adapté d'une part au signal (dans ce cas numérique), aux performances demandées (taux d'erreur), et aux caractéristiques de la ligne. La **modulation** permet donc de translatier le spectre du message dans un domaine de fréquences qui est plus adapté au moyen de propagation et d'assurer après démodulation la qualité requise par les autres couches du système. L'objectif des **modulations analogiques** est d'assurer la qualité suffisante de transmission d'une information analogique (voix, musique, image) dans les limites du canal utilisé et de l'application. L'objectif des **modulations numériques** est d'assurer un débit maximum de données binaires, avec un taux d'erreur acceptable par les protocoles et correcteurs amont et aval.

---

**Télécommunications - Traitement du signal.** *Préparation à l'agrégation de physique – ENS.*

Le principe des télécommunications est de transporter un message entre une source et un destinataire par le biais d'un canal. Les gammes de fréquence des différents messages sont très diverses : voix humaine (300 à 3000 Hz) pour le téléphone, musique (16 Hz à 20 kHz pour la HiFi), signal de télévision (30 Hz à 6 MHz pour un poste 625 lignes). Quatre types de canaux sont actuellement en utilisation et chacun a des limitations physiques quant aux gammes de fréquences utilisées pour le transport de l'information : les canaux hertziens (plus de 100 kHz), les câbles et lignes diverses (de quelques Hz à quelques GHz), les guides d'ondes et les satellites (de l'ordre du GHz), et les fibres optiques (10<sup>14</sup> Hz). Un message ne peut pas être envoyé directement sur le canal de transmission car, d'une part, les fréquences des canaux et des messages ne coïncident pas forcément (il faut adapter la fréquence du signal au mode de transmission) et, d'autre part, il s'agit surtout de pouvoir transmettre plusieurs messages sur un même réseau (multiplexage). La modulation qui a pour effet un décalage de fréquence répond à ces 2 exigences. À la réception, il faut effectuer l'opération inverse : la démodulation.

Il existe deux procédés de transmission : numérique et analogique, associés respectivement aux modulations numérique et analogique. Deux types principaux de modulation ont été développés pour la transmission analogique : modulation d'amplitude (AM), et modulation de fréquence (FM). Ils ont été étendus à la transmission numérique. Le terme "numérique" désigne un échantillonnage et un codage du signal analogique en éléments binaires (0 et 1) réalisés avant la transmission. La transmission numérique s'est développée intensément ces dernières années car elle permet entre autres d'augmenter le nombre de canaux disponibles dans une gamme de fréquences et de s'affranchir du bruit lié à la transmission de faibles signaux.