

Électronique

IV — Modulation, démodulation

Nécessité de la modulation

Contexte : transmettre un signal $s(t)$ de basse fréquence f (fréquence audio par exemple) par voie hertzienne (ondes électromagnétiques).

Inconvénient de transfert une onde de même fréquence que $s(t)$:

- faible puissance des antennes émettrices aux basses fréquences ;
- longueur d'onde $\lambda = c/f$ très grande ; il faut des antennes gigantesques (dimension typique $\lambda/4$) ;
- impossibilité de transmettre simultanément des signaux de sources distinctes (brouillage car fréquences du même ordre de grandeur).

Principe de la modulation : utilisation d'une porteuse

On utilise une porteuse harmonique de fréquence f_p élevée : $p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$.

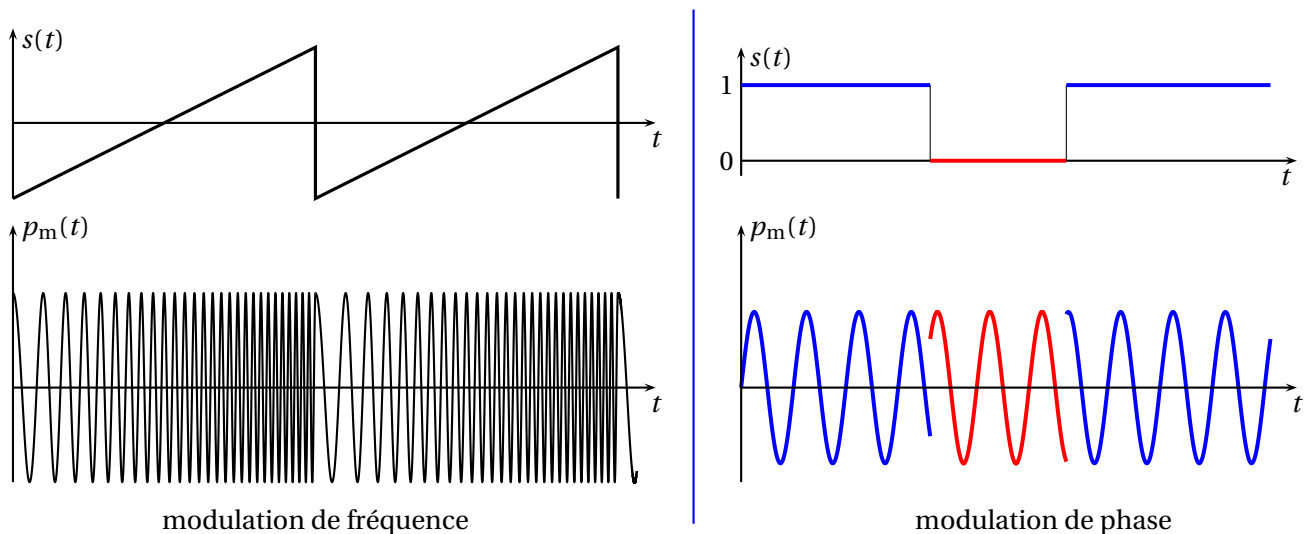
Modulation : l'un des trois paramètres (A_p , f_p ou φ_p) est fonction affine du signal à transmettre.

Expression de la porteuse modulée dans les trois types de modulations :

Modulation d'amplitude : $p_m(t) = A_0[1 + \alpha s(t)] \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$.

Modulation de fréquence : $p_m(t) = A_p \cos[2\pi f_p[1 + \alpha s(t)]t + \varphi_p]$.

Modulation de phase : $p_m(t) = A_p \cos[2\pi f_p t + \varphi_p + \pi s(t)]$.

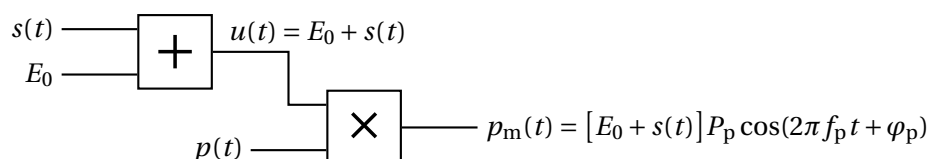


- La modulation de phase est utilisée avec des signaux binaires ($s(t) = 0$ ou 1).

Modulation d'amplitude

Réalisation du signal

On obtient le signal modulé $p_m(t) = A_0[1 + \alpha s(t)] \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$ par le schéma fonctionnel suivant :



- L'enveloppe supérieure $E_{\text{sup}}(t)$ correspond à $\cos(2\pi f_p t + \varphi_p) = +1$, soit $E_{\text{sup}}(t) = A_0[1 + \alpha s(t)]$.
- L'enveloppe inférieure $E_{\text{inf}}(t)$ correspond à $\cos(2\pi f_p t + \varphi_p) = -1$, soit $E_{\text{inf}}(t) = -A_0[1 + \alpha s(t)]$.

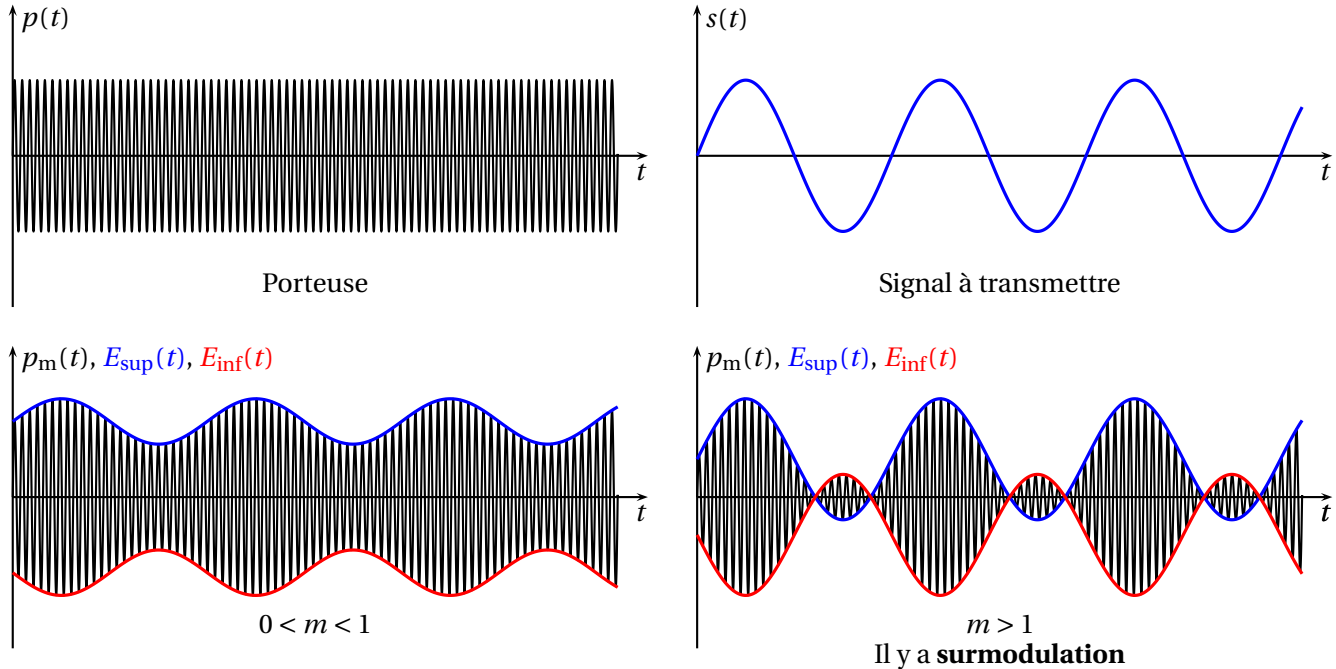
Cas d'un signal à transmettre sinusoïdal

On considère un signal harmonique, de fréquence f_s : $s(t) = S_0 \cos(2\pi f_s t)$.

La porteuse modulée $p_m(t) = A_0[1 + \alpha s(t)] \cos(2\pi f_p t + \varphi_p)$ peut s'écrire

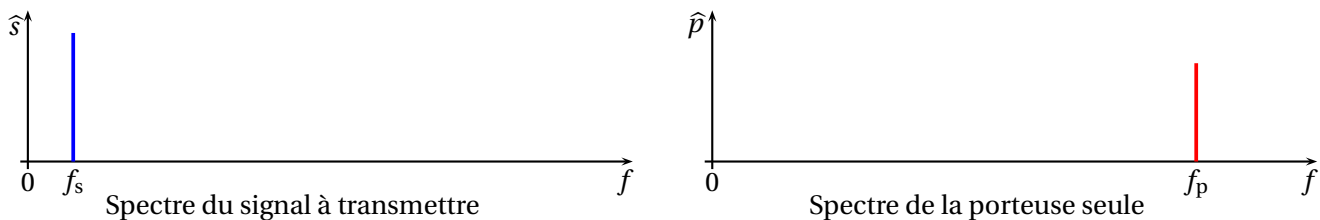
$$p_m(t) = A_0 [1 + m \cos(2\pi f_s t)] \cos(2\pi f_p t + \varphi_p) ,$$

où m est l'**indice de modulation**¹, ou **taux de modulation**.



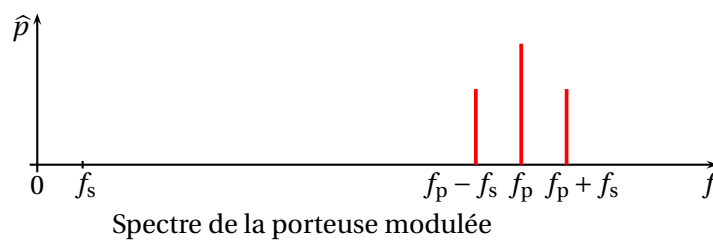
Spectre du signal modulé

On considère un signal harmonique, de fréquence f_s : $s(t) = S_0 \cos(2\pi f_s t)$.



Linéarisation de la porteuse modulée :

$$p_m(t) = A_0 \cos(2\pi f_p t + \varphi_p) + \frac{mA_0}{2} \cos[2\pi(f_p - f_s)t + \varphi_p] + \frac{mA_0}{2} \cos[2\pi(f_p + f_s)t + \varphi_p] .$$

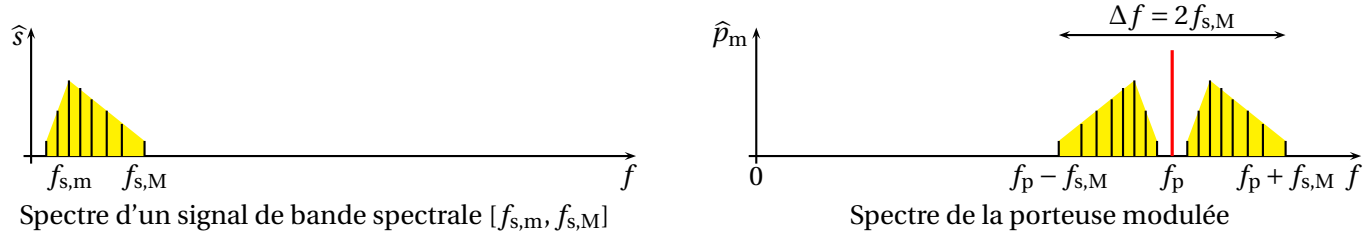


- La construction du signal modulé est une opération non linéaire : les fréquences $f_p - f_s$ et $f_p + f_s$ apparaissent. L'élément non linéaire est le multiplieur.

1. Il y a surmodulation si $m > 1$.

Dans le cas où le signal à transmettre présente une bande spectrale $[f_{s,m}, f_{s,M}]$:

- dans le spectre de la porteuse modulée on retrouve le spectre du signal symétriquement de part et d'autre de la porteuse ; on parle de modulation **à double bande à porteuse transmise** ;
- la bande de fréquence occupée par la porteuse modulée est $\Delta f = 2f_{s,M}$.



Démodulation

Nécessité d'un élément non linéaire

Démoduler le signal modulé $p_m(t)$, c'est restituer le signal $s(t)$ à transmettre, c'est-à-dire obtenir un signal $s_d(t)$:

- de même forme, soit $s_d(t) = ks(t)$;
- dont le spectre est identique (à un facteur k près).

- L'amplitude du signal importe peu, c'est sa forme et son spectre qu'il faut retrouver.
- La fréquence f_s à restituer étant absente du spectre du signal modulé, on ne peut pas la retrouver avec un montage linéaire.

La démodulation d'amplitude nécessite d'utiliser un élément non linéaire.

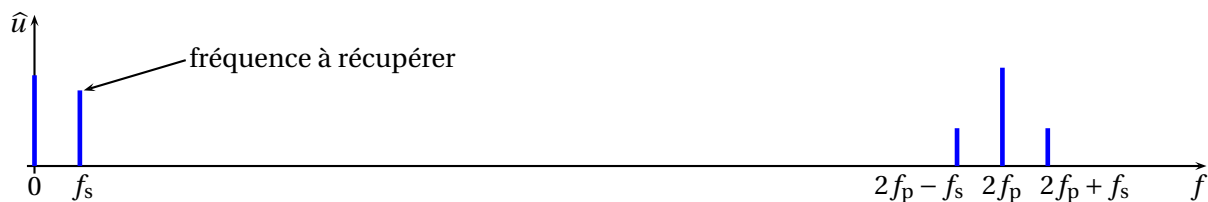
Démodulation par détection synchrone

On multiplie le signal modulé par la porteuse seule :

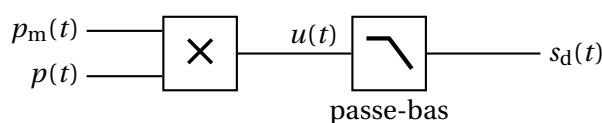
$$u(t) = p_m(t)p(t) = A_0^2 [1 + m \cos(2\pi f_s t)] \cos^2(2\pi f_p t + \varphi_p)$$

$$= \frac{A_0^2}{2} + \frac{mA_0^2}{2} \cos(2\pi f_s t) + \frac{A_0^2}{2} \cos(2\pi 2f_t + 2\varphi_p) + \frac{mA_0^2}{4} \cos[2\pi(2f_p - f_s)t + 2\varphi_p] + \frac{mA_0^2}{4} \cos[2\pi(2f_p + f_s)t + 2\varphi_p]$$

Spectre du signal obtenu :



On retrouve la fréquence du signal à l'aide d'un filtre passe-bas² de fréquence f_c avec $f_s < f_c \ll 2f_p$.
Schéma fonctionnel de la détection synchrone :



- Le multiplieur et l'élément non linéaire.
- La démodulation par détection synchrone est possible même en cas de surmodulation.

2. Il reste ensuite à supprimer la composante continue.