Modulation d'amplitude

1. Analyse d'un signal sinusoïdal

1.1. Les paramètres d'un signal sinusoïdal

Un signal sinusoïdal est un signal dont l'expression générique est :

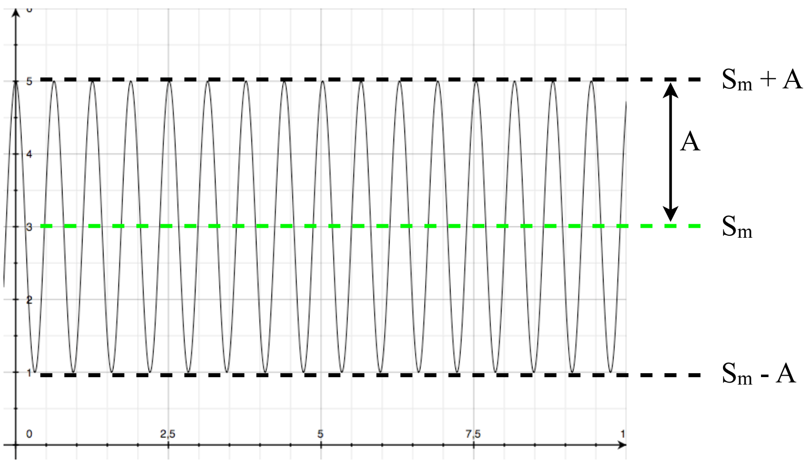
$$s(t) = A\ cos(\omega\ t) + S_m = A\ cos(2\pi f\ t) + S_m$$

où | A est l'amplitude du signal
ω la pulsation (ω = 2 π f et f est la fréquence du signal)
S_m est la composante continue (offset en anglais)

Ces trois grandeurs sont des paramètres du signal.

Puisque les valeurs de cos (ω t) sont comprises entre -1 et 1, les valeurs de s(t) sont telles que :

$$S_m - A < s(t) < S_m + A$$



1.2. Modulation

Si on change ces paramètres *lentement* dans le temps (temps caractéristique d'évolution beaucoup plus long que la période T du signal), on parle de modulation du signal. Il en existe alors plusieurs types:

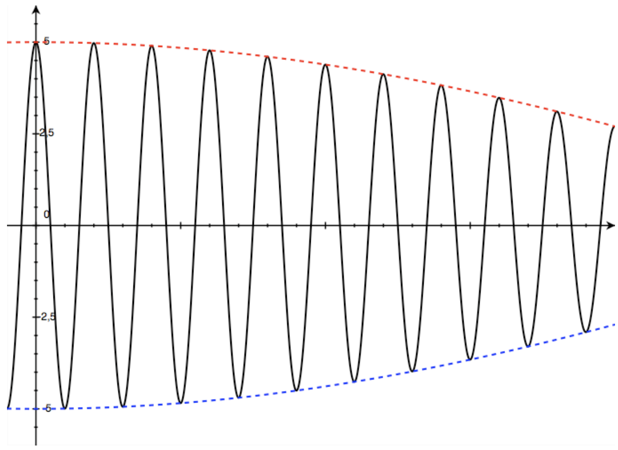
- modulation de fréquence (FM) si f évolue et devient f(t)
- modulation d'amplitude (AM) si c'est A qui évolue et devient A(t)
- Changer la valeur de S_m pourrait se faire mais n'apporte rien d'intéressant d'un point de vue des télécommunications.

2. Modulation d'amplitude

2.1. Du signal d'amplitude variable ...

Imaginons pour simplifier que la valeur moyenne du signal soit nulle : $S_m = 0$. Alors le signal est de la forme : $s(t) = A \cos(\Omega t)$. En changeant lentement l'amplitude, on obtient un signal de la forme:

$$s(t) = A(t) \cos(\Omega t)$$



Dans ce cas, les valeurs du signal sont telles qu'à chaque instant t :

$$S_m - A(t) < s(t) < S_m + A(t)$$

2.2. … à la modulation d'amplitude

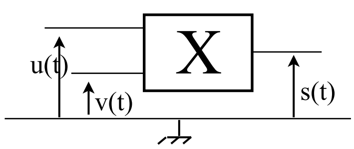
On souhaite moduler l'amplitude d'un signal sinusoïdal v(t) par un signal sinusoïdal variant très lentement u(t):

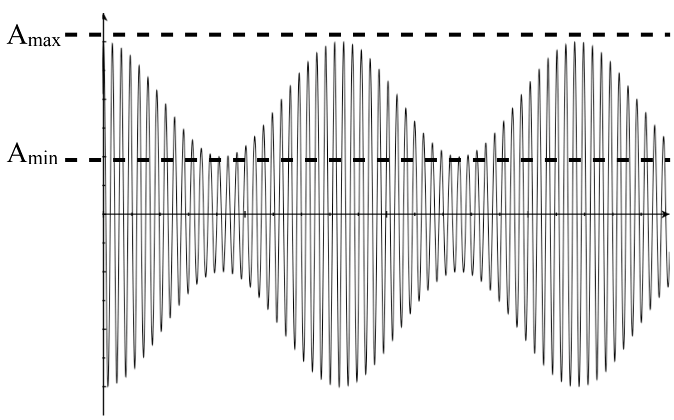
- $v(t) = V_m \cos(\Omega t)$ est appelé *signal porteur* (qui donnera l'onde porteuse)
- $u(t) = U_0 + U_m \cos(\omega t)$ est le *signal modulant* (qui donnera l'onde modulante)

Pour cela, on multiplie les deux signaux pour obtenir le signal modulé :

$s(t) = k\, u(t)\, v(t)$ avec k une constante.

En pratique, on utilise un circuit électronique multiplieur :



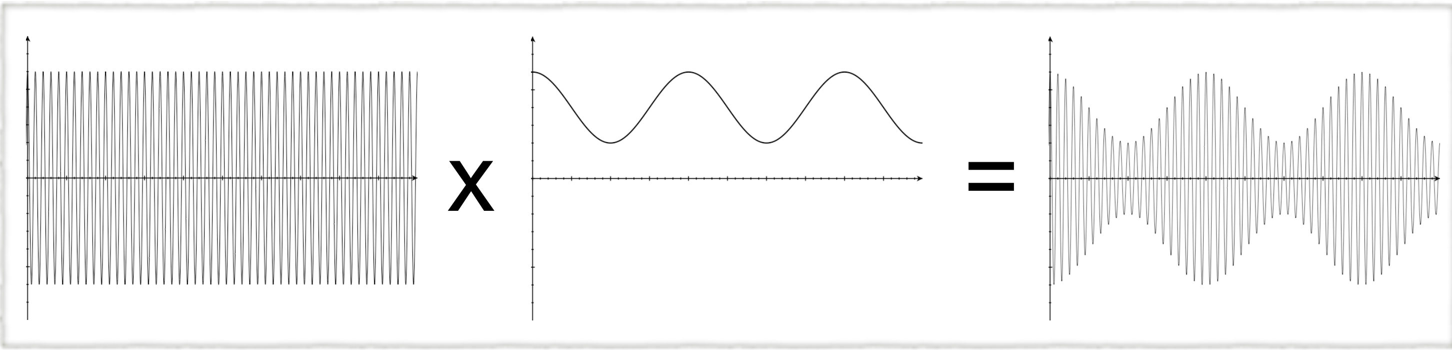


Signal modulé : l'amplitude est comprise entre les valeurs A_{min} et A_{max}.

On a alors:

$$s(t) = \underbrace{k \; [U_0 + U_m \cos(\omega t)] \; V_m}_{A(t)\text{ : amplitude du signal modulé } s(t)} \cos(\Omega t)$$

$$s(t) = A(t) \cos(\Omega t)$$



Aspect graphique

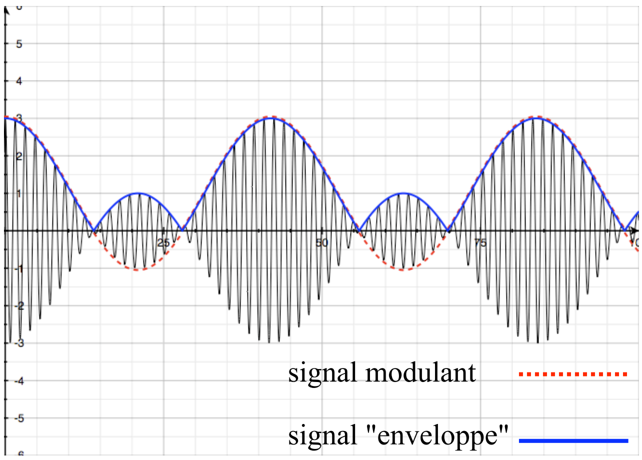
2.3. Taux de modulation

On définit le taux de modulation par: $$m = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}$$

2.4. Surmodulation

- Lorsque la courbe "enveloppe" de la tension modulée ne correspond plus au signal modulant, on parle de surmodulation.

- Pour pouvoir être utilisé en télécommunications, il ne faut pas que le signal soit surmodulé.



La surmodulation apparaît quand la valeur minimale A_{min} de A(t) devient négative (quand cos(ωt) = -1) :

$$k\ V_m\ [U_0 - U_m]\ <\ 0$$

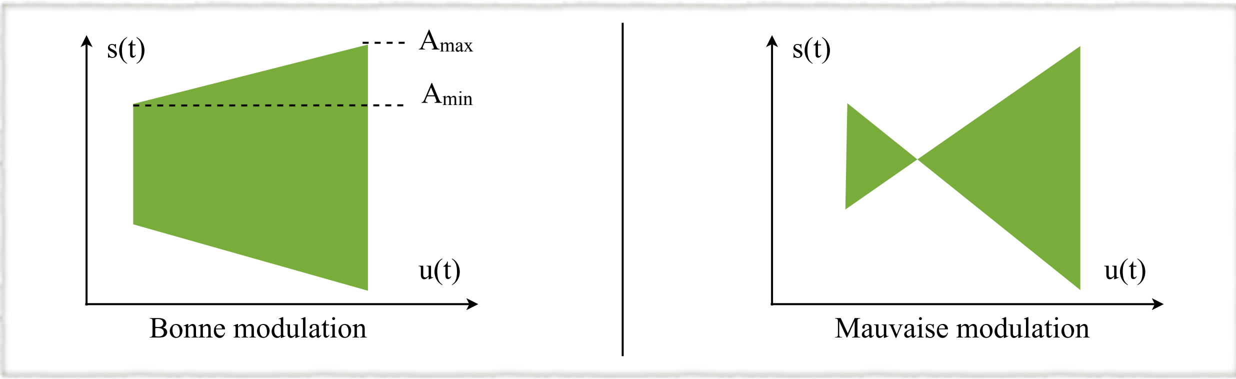
$$U_0 - U_m\ <\ 0$$

$$U_0\ <\ U_m$$

La surmodulation apparaît si $U_m\ >\ U_0$

2.1. Qualité de la modulation

Pour que la modulation soit correcte, il faut que l'enveloppe du signal modulé corresponde au signal modulant. En traçant le signal modulé s(t) en fonction du signal modulant u(t), on obtient :



<u>Remarque</u> : on obtient ce mode sur l'oscilloscope en se plaçant la base de temps en mode X-Y : la tension CH1 sert alors à l'axe X et CH2 à Y.

2.2. <u>Spectre du signal modulé</u>

- <u>Signal simple</u>

Dans les chapitres d'acoustique, on a appris qu'un signal pouvait être considéré comme la somme de plusieurs fonctions sinusoïdales. Ici, on a :

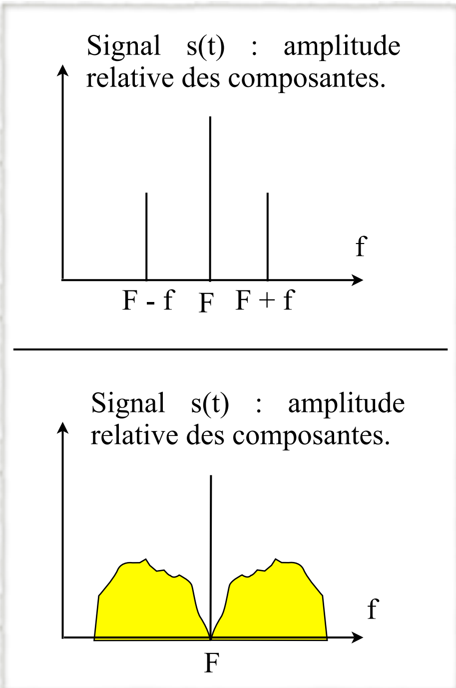
$$s(t) = k\ [U_0 + U_m\ cos(\omega\ t)]\ V_m\ cos(\Omega\ t)$$

$$s(t) =\ k\ U_0\ V_m\ cos(\Omega\ t)\ +\ k\ U_m\ V_m\ cos(\omega\ t)\ cos(\Omega\ t)$$

Or, on sait que $cos(a)cos(b) = \frac{1}{2}[cos(a+b) + cos(a-b)]$

$$s(t) =\ k\ U_0\ V_m\ cos(\Omega\ t)\ +\ \tfrac{1}{2}\ k\ U_m\ V_m\ [cos((\omega+\Omega)\ t)\ +\ cos((\Omega-\omega)\ t)]$$

$$s(t) =\ k\ U_0\ V_m\ cos(\Omega\ t)\ +\ \tfrac{1}{2}\ k\ U_m\ V_m\ cos((\omega+\Omega)\ t)\ +\ \tfrac{1}{2}\ k\ U_m\ V_m\ cos((\Omega-\omega)\ t)$$



On voit que le signal modulé peut être considéré comme la somme de trois signaux sinusoïdaux : l'un de fréquence F (F est la fréquence su signal porteur : F = Ω / (2π)), le deuxième de fréquence F+f (où f est la fréquence du signal modulant) et le dernier de fréquence F-f.

- <u>Signal complexe</u>

Dans le cas d'une transmission d'un son complexe comportant plusieurs fréquences (voix par exemple), le signal modulé en amplitude occupe un "canal de fréquence" de largeur 2 f_m, f_m étant la fréquence maximale du signal modulant.