

MODULATION d'AMPLITUDE « AM »

La transmission par voie hertzienne d'un signal « audio » (15Hz à 20kHz) est impossible. Outre le problème de l'amortissement du signal lors de sa propagation dans l'air, l'un des obstacles majeurs est dû à l'antenne d'émission. En effet celle-ci doit avoir au minimum une longueur égale au quart de la longueur d'onde de l'onde émise.

Calculer la longueur d'onde correspondant à un signal sonore de 440Hz. En déduire la longueur minimale de l'antenne. (On rappelle que la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air est très proche de la vitesse dans le vide).

D'autre part, si toutes les informations étaient transmises par des ondes hertziennes de même fréquence, il serait impossible pour le récepteur de distinguer et trier les différentes émissions.

Pour transporter une information sonore par voie hertzienne, on la superpose à un signal de fréquence élevée. Le signal utile (de basse fréquence f , correspondant au son) va moduler l'amplitude du signal transporteur (de fréquence élevée F).

La fréquence F caractérise la station radio émettrice : ainsi la fréquence d'émission de France Inter est 162kHz en modulation d'amplitude AM (et non FM, modulation de fréquence, autre mode de transmission non étudié cette année).

En Europe, les radios publiques et commerciales émettent en AM en ondes longues (OL ou GO ou LW de 150 kHz - 281 kHz), moyennes (OM ou PO ou MW de 520 kHz - 1 620 kHz) et courtes (OC ou SW sur 12 bandes de 2 300 kHz à 26 100 kHz).

I. Principe

La modulation d'amplitude consiste à modifier l'amplitude d'une onde porteuse de fréquence élevée par le signal à transmettre auquel on ajoute une tension continue.

La modulation d'amplitude est obtenue par **combinaison de deux signaux** :

- un signal sinusoïdal de **haute fréquence (F)**, ce qui permet la propagation à grande distance : il s'agit du **signal porteur**. L'expression de sa tension en fonction du temps est la forme :

$$v(t) = V_m \cdot \cos(2\pi F \cdot t) \quad V_m : \text{amplitude du signal} \quad F : \text{Fréquence du signal}$$

- un signal lié à l'information à transmettre. Celui-ci n'est pas forcément sinusoïdal, mais pour simplifier nous allons considérer que l'information se limite à une seule fonction sinusoïdale de **basse fréquence (f)**.

Il s'agit du **signal modulant**. L'expression de sa tension en fonction du temps est de la forme :

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f \cdot t) \quad U_m : \text{amplitude du signal} \quad f : \text{fréquence du signal}$$

Dans le cas de la modulation d'amplitude, on ajoute à cette tension une tension continue U_0 (appelée tension de décalage) pour que $u(t)$ module effectivement l'amplitude de la porteuse, ce qui nous donne :

$$u'(t) = u(t) + U_0$$

- La combinaison des deux signaux donne un signal modulé $s(t)$:

$$s(t) = k \cdot u'(t) \cdot v(t) \quad \text{soit} \quad s(t) = k \cdot [u(t) + U_0] \cdot v(t)$$

Où k et U_0 sont propres au circuit intégré qui constitue le multiplieur.

Montrer que cette $s(t)$ peut se mettre sous la forme : $s(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f \cdot t)] \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$

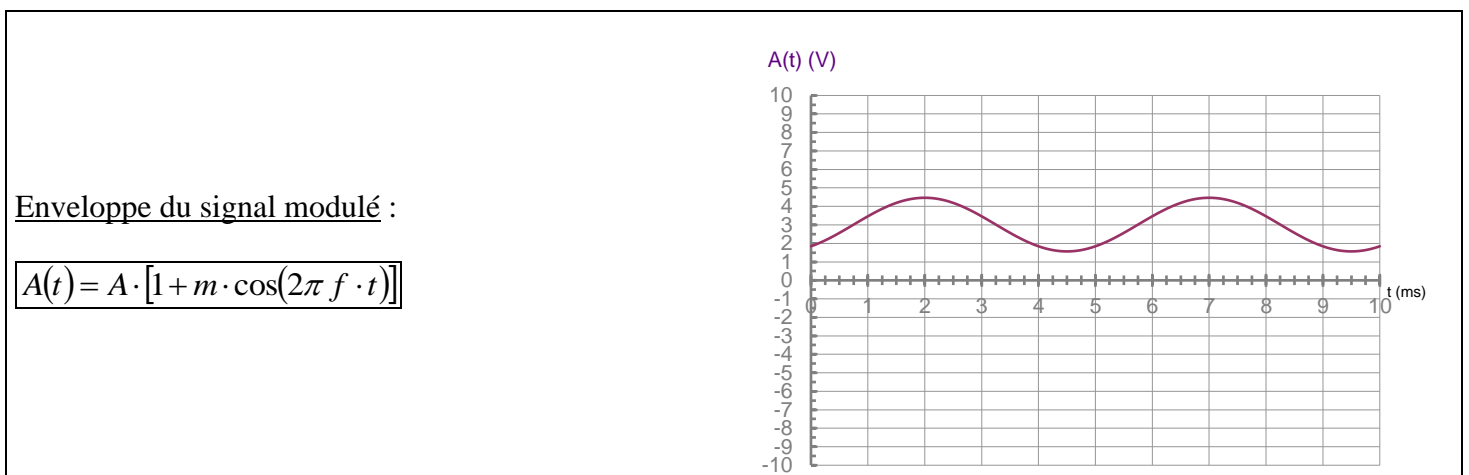
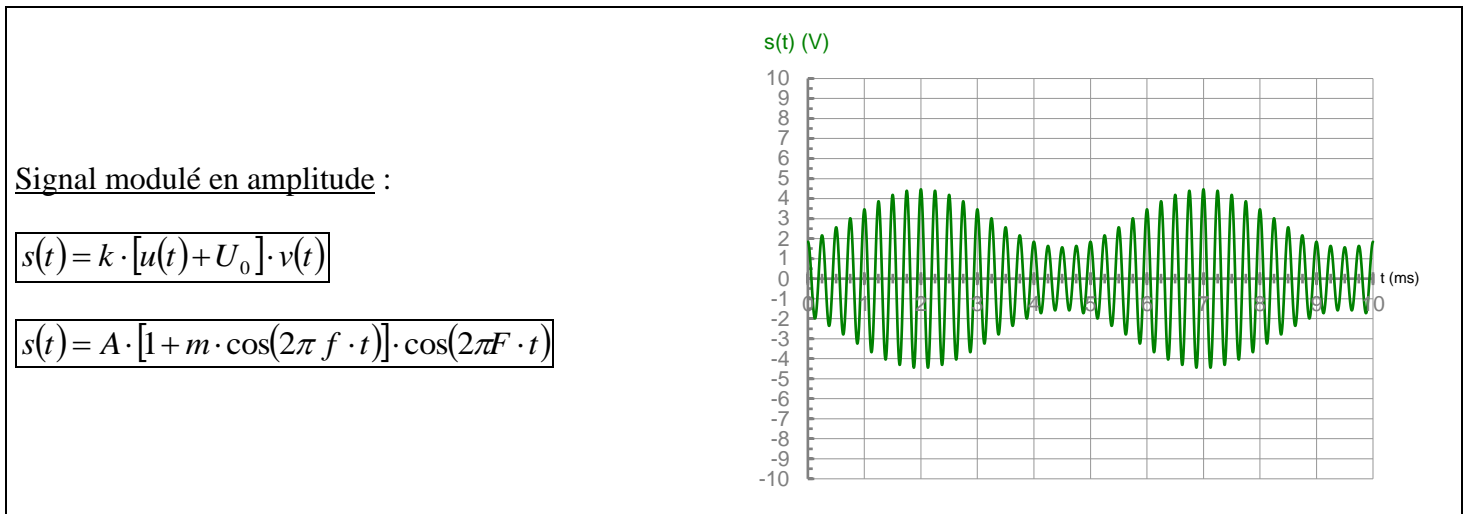
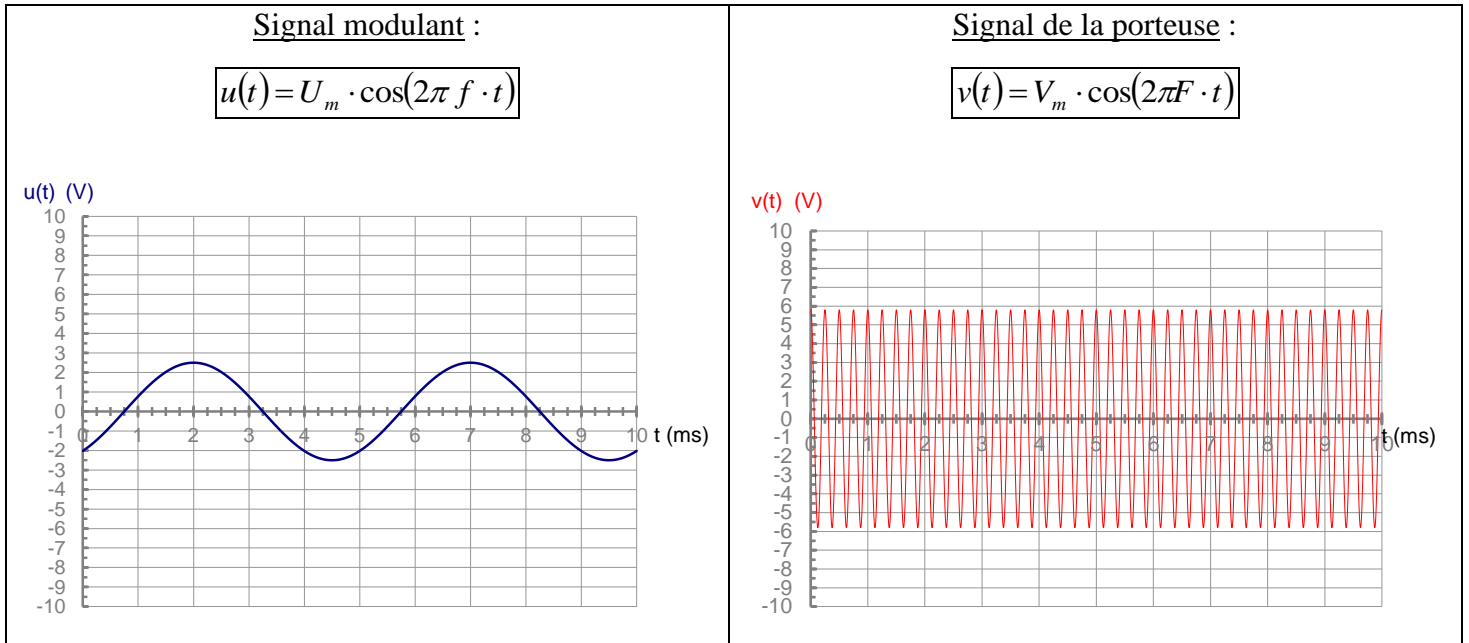
Définir A et m .

$$A = k \cdot U_0 \cdot V_m$$

$$m = \frac{U_m}{U_0} \text{ On appelle } m \text{ « taux de modulation »}$$

- En posant $A(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f \cdot t)]$, on peut écrire $s(t) = A(t) \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$
où $A(t)$ correspond à l'enveloppe du signal haute fréquence.

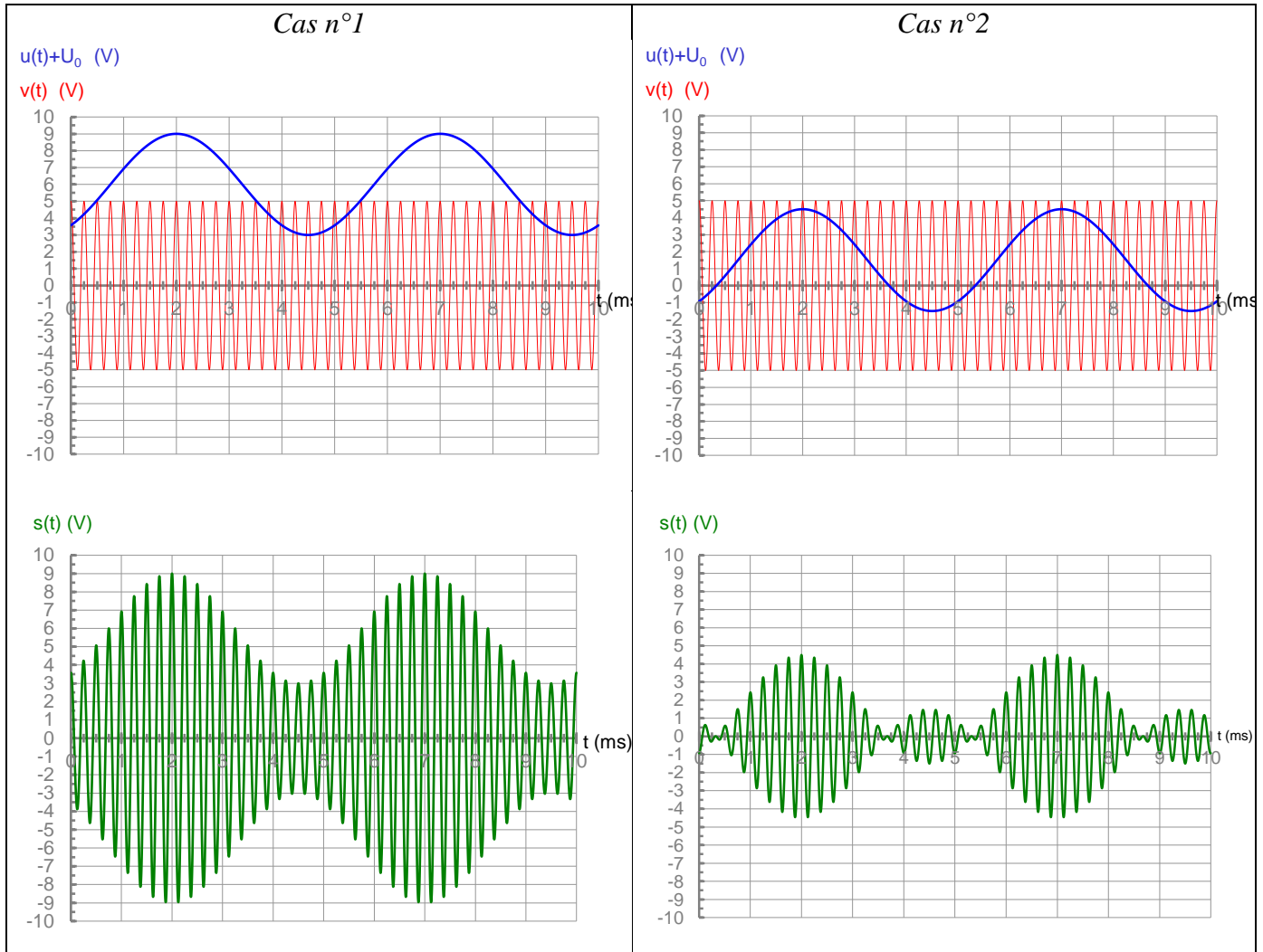
II. Tableau récapitulatif :



III. Condition d'une bonne modulation :

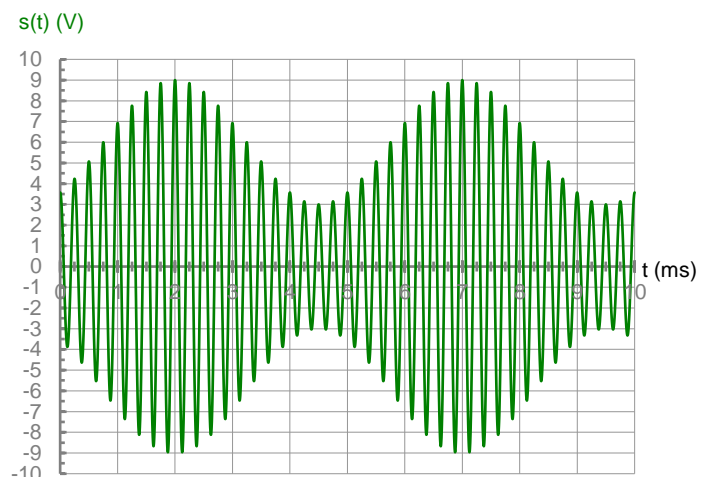
Lors de la réception du signal, il s'agira de détecter l'enveloppe de $s(t)$ pour reproduire $u(t)$, le signal à transmettre.

- Pour les cas suivants, repérer les courbes représentant $v(t)$, $u'(t)$ et $s(t)$. Ajouter U_0
- Sur la courbe représentant $s(t)$, dessiner l'enveloppe du signal.



- Dans quel cas la modulation n'est pas réussie ? Justifier.
Cas n°1 ; l'enveloppe du signal ne correspond pas au signal utilise à transmettre (signal modulant)
- En déduire une condition sur m et sur $A(t)$ pour obtenir une bonne modulation. Dans le cas contraire, on dira qu'il y a surmodulation.
Pour obtenir une bonne modulation, il faut : $U_m < U_0$
- Sur la courbe suivante, indiquer A_{\max} et A_{\min} (Valeur maximale et minimale de l'enveloppe) :
- A partir de l'expression de $A(t)$, donner les expressions de A_{\max} et A_{\min} en fonction de m .

$$\begin{aligned} A_{\max} &= A (1 + m) && \text{si } \cos() = 1 \\ A_{\min} &= A (1 - m) && \text{si } \cos() = -1 \end{aligned}$$



- Montrer que $m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$

$$\frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \frac{1+m}{1-m} \quad \text{soit} \quad A_{\max}(1-m) = A_{\min}(1+m)$$

$$\text{ou encore} \quad A_{\max} - A_{\min} = m(A_{\min} + A_{\max})$$

$$\text{soit} \quad m = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

- Déterminer numériquement f , F , A_{\min} , A_{\max} et m .

$$F = 4000 \text{ Hz} \quad f = 200 \text{ Hz} \quad A_{\max} = 9\text{V} \quad A_{\min} = 3\text{V} \quad m = 6/12 = 0,5$$

IV. Spectre du signal modulé :

On cherche à déterminer quelle largeur du spectre électromagnétique est couverte lors de la transmission d'un signal de fréquence f , porté par une onde de fréquence F .

On appelle cette grandeur la « largeur de bande » occupée par un émetteur.

On a montré que $s(t) = A \cdot [1 + m \cdot \cos(2\pi f \cdot t)] \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$

avec $A = k \cdot U_o \cdot V_m$

$m = U_m / U_o$: taux de modulation

En développant,

$$s(t) = A \cdot \cos(2\pi F \cdot t) + A \cdot m \cdot \cos(2\pi f \cdot t) \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$$

En utilisant la formule trigonométrique suivante : $2\cos p \cdot \cos q = \cos(p-q) + \cos(p+q)$

$$s(t) = A \cos(2\pi F \cdot t) + \frac{Am}{2} \cos(2\pi(f+F) \cdot t) + \frac{Am}{2} \cos(2\pi(F-f) \cdot t)$$

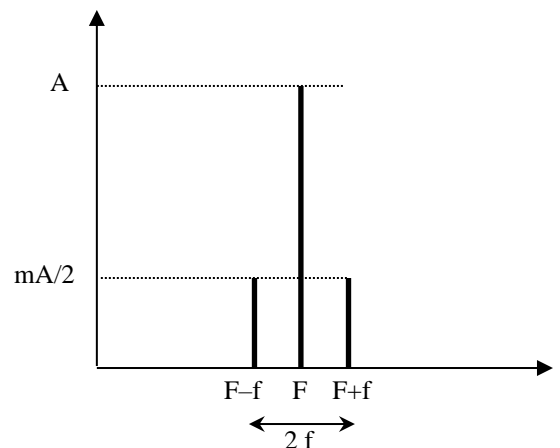
On voit ainsi que le signal $s(t)$, modulé en amplitude, est la superposition de trois tensions sinusoïdales de fréquences respectives F , $F+f$ et $F-f$.

Le spectre du signal $s(t)$, représenté ci-dessous, occupe une bande passante de largeur $2f$ centrée sur la fréquence F de la porteuse.

En Europe, la largeur de la bande est de 9kHz.

En déduire la fréquence des sons les plus aigus pouvant être transmis en AM. La modulation d'amplitude peut-elle garantir une qualité Hi-Fi ?

Non ; toutes les harmoniques des sons transmis dont la fréquence est $> 4500\text{Hz}$ sont supprimées.



Réception du signal modulé :

Il faudra que la bande passante du filtre récepteur englobe cet intervalle de fréquence.