

P7 Modulation d'amplitude ; démodulation

Le son est une onde mécanique. La voix humaine par exemple a une plage de fréquence entre 100 et 7500Hz. Pour un orchestre, la plage est plus grande et s'étend de 30 à 20 000Hz.

Avec l'aide d'un microphone (système piézo-électrique), nous sommes capables de convertir ces oscillations en un signal électrique. Il suffit alors d'une antenne pour les transmettre sous forme d'un signal électromagnétique. On parle alors d'ondes hertziennes du nom de leur inventeur (H.R. Hertz 1857-1894). Le but est donc de transmettre un signal sonore sur de longues distances sans recourir à l'usage de câbles.



Ce n'est pourtant pas chose aisée :

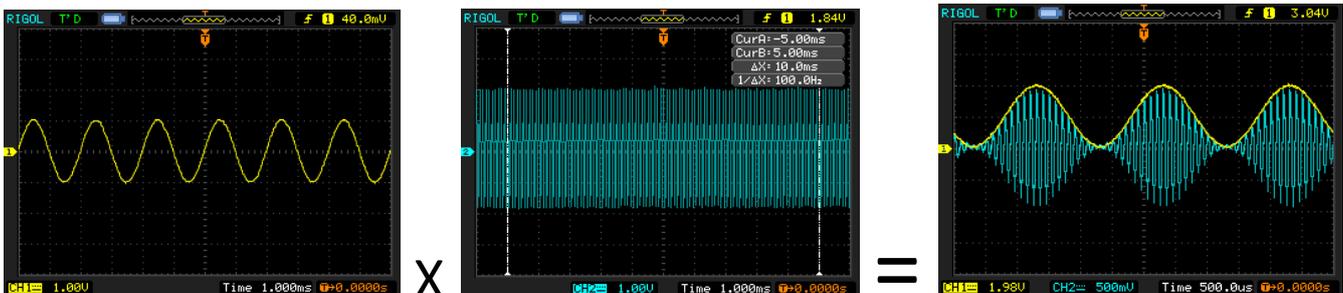
- Pour être efficace, une antenne doit avoir une longueur du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du signal qu'elle transmet. Ici on a $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.10^8 m/s}{100 Hz} = 3\,000 km$. Il est difficile d'envisager une antenne aussi imposante.
- Même dans le cas où le signal pouvait être émis, il se perdrait dans les signaux électriques qui nous entourent (à 50Hz).

La première solution à ce problème fut donnée par la TSF qui utilise la modulation d'une onde porteuse plus adaptée à la transmission du signal (c'est-à-dire d'une fréquence beaucoup plus élevée). Nous allons étudier, dans ce montage, le phénomène de modulation et son principe (fonction émetteur). Nous verrons ensuite comment récupérer le signal original à partir du signal modulé (fonction récepteur).

1. MODULATION D'AMPLITUDE

1.1. PRINCIPE

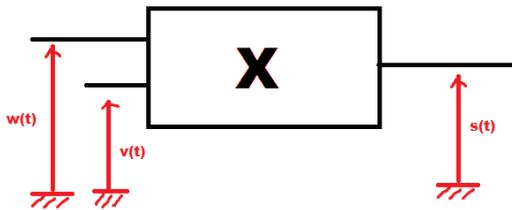
La modulation d'amplitude consiste à multiplier le signal à transmettre (**signal modulant**) de basse fréquence par une onde de fréquence très supérieure (**porteuse**).



Les radios à onde courte utilisent la modulation d'amplitude (AM) et émettent avec des ondes porteuses dont les fréquences varient entre 1 et 30MHz. On aura alors $\lambda \leq 300m$: les antennes correspondantes sont d'une longueur plus « raisonnable ». De plus la portée du signal est augmentée grâce à la fréquence élevée de la porteuse.

L'autre avantage vient du fait que l'on peut transporter simultanément plusieurs signaux sonores différents bien qu'ils soient dans les mêmes plages de fréquences. On utilise pour cela des porteuses de fréquences différentes. Il faut néanmoins un écart suffisant entre les différentes fréquences porteuses afin de bien distinguer les signaux indépendamment. Il existe donc un nombre limité « d'emplacements » sur une bande de fréquence.

1.2. MISE EN ŒUVRE

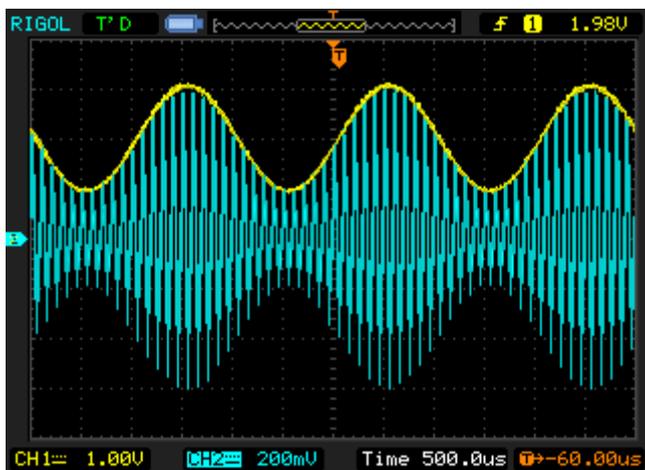
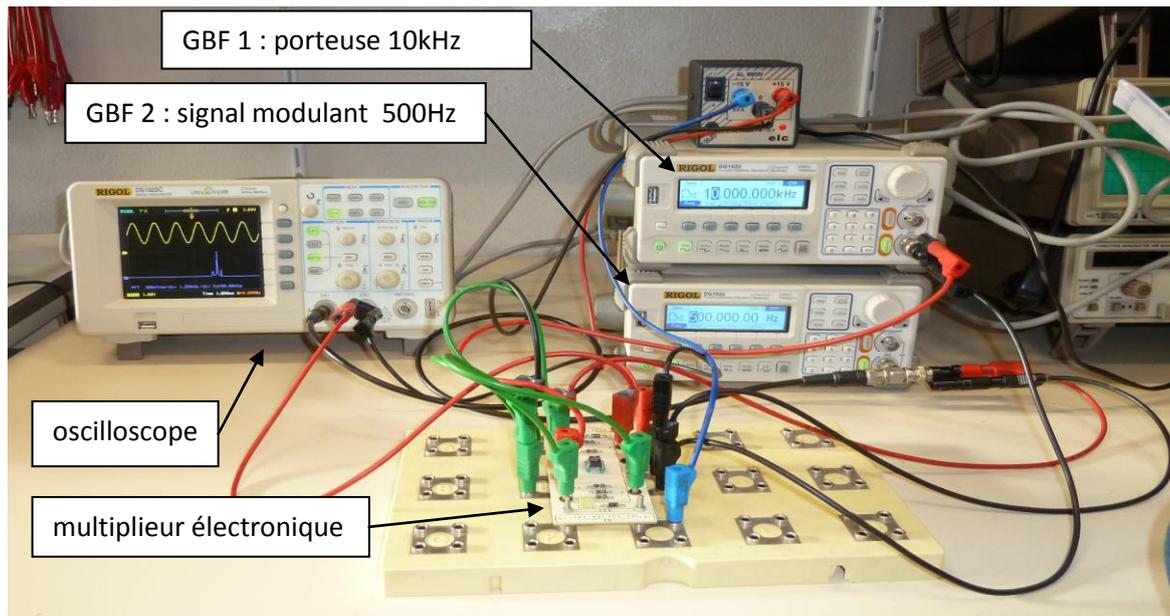


Afin de combiner deux signaux, on utilise un multiplieur électronique. Le modèle AD633 donne une tension de sortie $s(t) = 0,1.w(t).v(t)$

Le signal que l'on veut transporter est une sinusoïde

$$u(t) = U_0 + U_m \cos(\omega t) \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} U_0 &= 2V \\ U_m &= 1V \\ \omega &= 2\pi \times 500\text{Hz} \end{aligned}$$

L'onde porteuse est $v(t) = V_m \cos(\Omega t)$ avec $\begin{aligned} V_m &= 2V \\ \Omega &= 2\pi \times 10\text{kHz} \end{aligned}$



En sortie, le signal modulé est donc $s(t) = 0,1 V_m [U_0 + U_m \cos(\omega t)] \cos(\Omega t)$

Que l'on peut mettre sous la forme $s(t) = A [1 + m \cos(\omega t)] \cos(\Omega t)$

avec $A = \frac{0,1 V_m U_0}{U_0}$

et $m = \frac{U_m}{U_0}$ appelé **taux de modulation**.

Oscillogramme correspondant :

- en jaune le signal modulant
- en bleu le signal modulé

On observe un phénomène de battements sur

l'oscillogramme. On retrouve la fréquence de la porteuse dans les oscillations et l'enveloppe de celles-ci correspond au signal modulant (que l'on a superposé ici).

1.3. CARACTERISTIQUE ET ANALYSE SPECTRALE DU SIGNAL

Décomposition en série de Fourier

En utilisant l'oscilloscope, on réalise la transformée de Fourier du signal $s(t)$.

On observe trois pics. On mesure les fréquences avec les curseurs :

- le pic central est à 10,04kHz
- les pics latéraux sont à 9,54kHz et à 10,50kHz

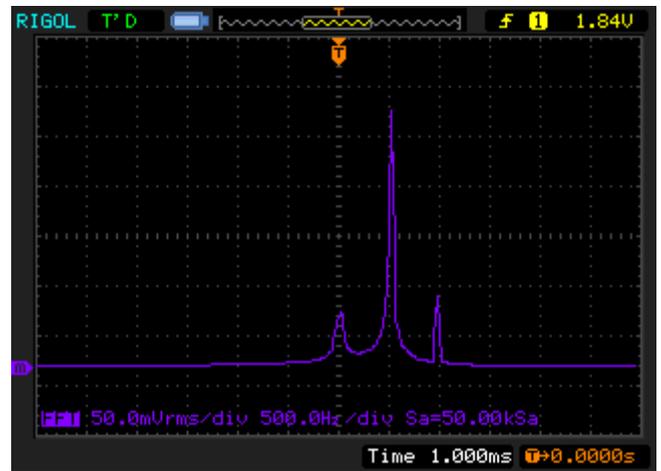
On identifie le premier à la pulsation Ω de la porteuse et les deux autres de part et d'autre de celle-ci à $\Omega - \omega$ et $\Omega + \omega$.

On peut expliquer ceci par la forme de $s(t)$:

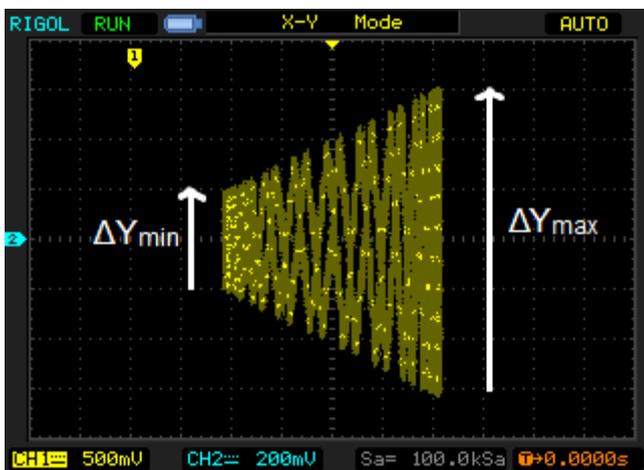
$$s(t) = A[1 + m \cos(\omega t)] \cos(\Omega t)$$

qui peut aussi s'écrire
$$s(t) = A \cos(\Omega t) + \frac{A.m}{2} \cos[(\Omega + \omega)t] + \frac{A.m}{2} \cos[(\Omega - \omega)t]$$

On voit réapparaître les trois pics de la transformée de Fourier.



Mesure et influence du taux de modulation



Pour mesurer le taux de modulation, on bascule l'oscilloscope en mode X-Y. En activant la persistance sur l'écran, on obtient la figure ci-contre.

La forme du trapèze est telle que

$$\Delta Y_{max} = 0,1 Vm (U_0 + Um)$$

$$\Delta Y_{min} = 0,1 Vm (U_0 - Um)$$

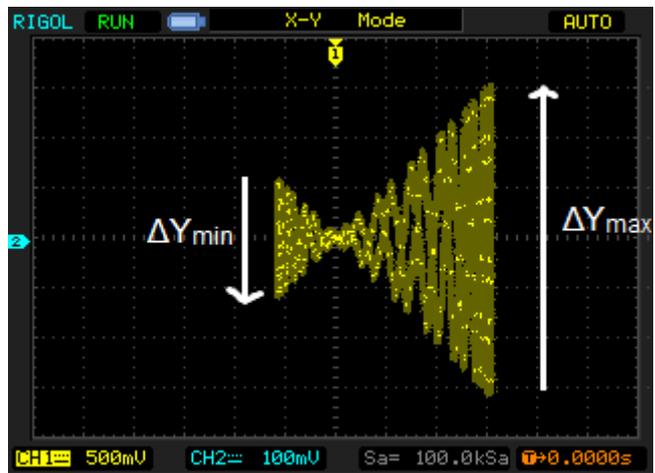
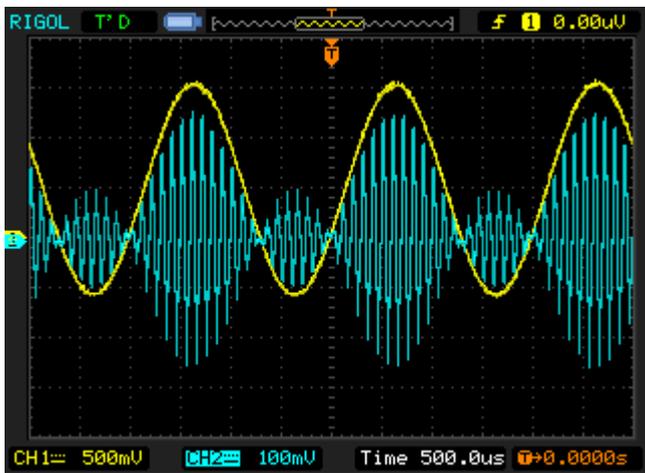
Soit
$$m = \frac{Um}{U_0} = \frac{\Delta Y_{max} - \Delta Y_{min}}{\Delta Y_{max} + \Delta Y_{min}}$$

Avec les paramètres précédents, on obtient $\Delta Y_{max} = 1,26V$ soit $m = 0,511$
 $\Delta Y_{min} = 0,408V$

On retrouve à peu près la valeur attendue $m = \frac{U_0=1V}{Um=2V} = 0,500$.

Ici l'enveloppe correspond exactement au signal modulant. On dit que l'on est dans le cadre d'une modulation réussie : $m < 1$.

Ceci est vrai car comme $U_0 > Um$. Si on diminue l'offset du GBF générant le signal modulant, on perd la forme de l'enveloppe. Pour $U_0 = 0,5V$ (en conservant $Um = 1V$), on obtient l'oscillogramme suivant et le diagramme X-Y correspondant :



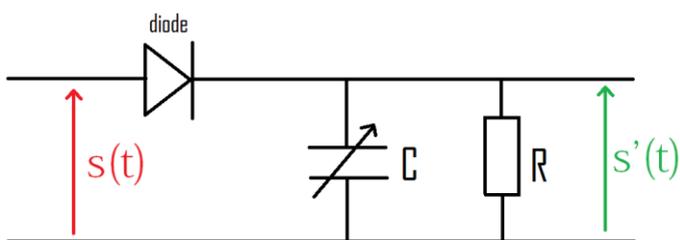
Cette fois, on mesure $\Delta Y_{\max} = 632\text{mV}$ soit $m = 2,01$
 $\Delta Y_{\min} = -212\text{mV}$

Dans un cas tel que celui-ci où $m > 1$, on parle de surmodulation.

Lors d'une modulation en amplitude, il va donc falloir choisir intelligemment les paramètres U_0 et U_m afin d'avoir un taux de modulation $m \approx 1$. En effet on a vu que si $m > 1$, il y a perte du signal modulant. Mais si on prend une valeur de m trop faible, cela signifie que l'offset U_0 est très important. Or cet offset consomme de l'énergie. Il est donc préférable de le minimiser.

2. DEMODULATION D'AMPLITUDE

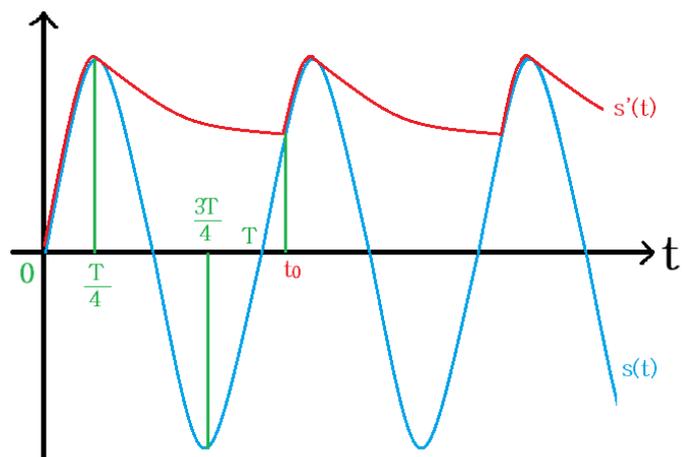
On a présent réussi à transmettre un signal modulé. La seconde étape logique correspond à créer un système à même de restituer le signal modulant. Un tel système doit réaliser deux tâches. La première est la sélection de la fréquence de la porteuse contenant le signal modulé. Il s'agit d'un filtre passe-bande qui ne sera pas étudié ici. Une fois la fréquence sélectionnée, on extrait l'enveloppe du signal modulé grâce au circuit suivant :



De $t = 0$ à $T/4$, $s(t) > s'(t)$ et la diode est passante. Le condensateur se charge et $s'(t) = s(t)$.

- De $t = T/4$ à $3T/4$, $s(t)$ commence à décroître et le condensateur est chargé. $s(t) < s'(t)$ et la diode se bloque. Le condensateur se décharge librement suivant un temps caractéristique $\tau = RC$.
- Pour $t = 3T/4$ à $5T/4$, $s(t)$ croît de nouveau et éventuellement $s(t) > s'(t)$ en $t = t_0$. La diode redevient alors passante. Le condensateur se charge à nouveau jusqu'à ce que $t = 5T/4$.

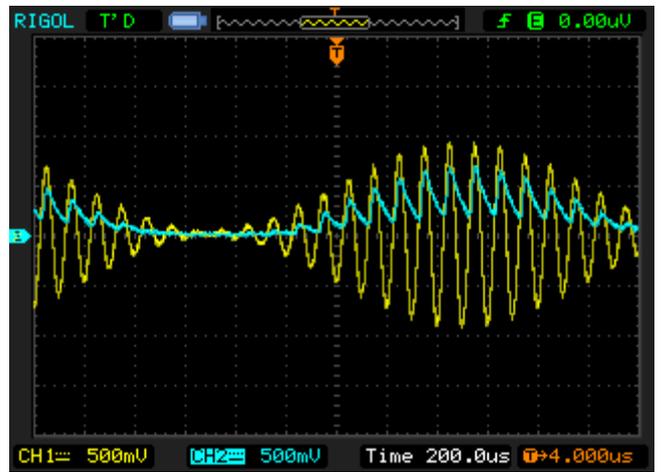
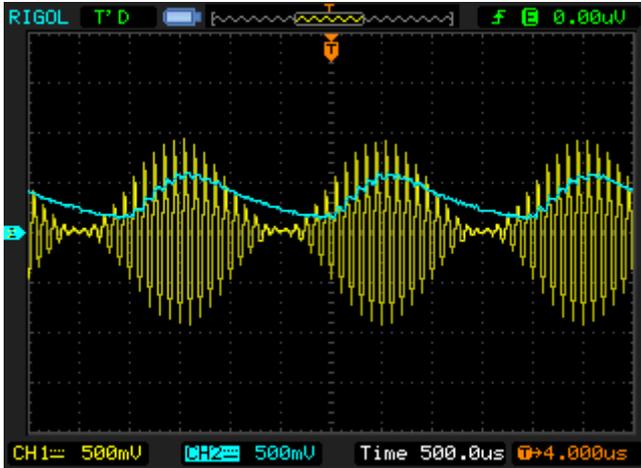
On considère la diode comme étant parfaite. On appelle T la période des oscillations de l'onde porteuse.



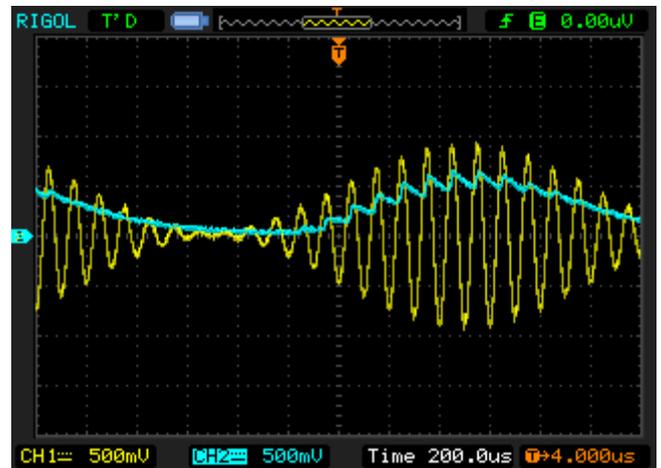
Influence du temps caractéristique τ du filtre

On fixe la résistance $R = 1,4k\Omega$ et on fait varier la valeur de la capacité C du condensateur :

- Si on prend un temps caractéristique τ trop court, la démodulation est insuffisante.
 → Il faut que $\tau > T_{\text{modulant}}$
ci-contre : $C = 60nF \rightarrow \tau = 80\mu s$



- Inversement si τ est trop grand, la décharge du condensateur ne suit pas l'enveloppe du signal.
 → Il faut que $\tau \ll T_{\text{porteuse}}$
ci-contre : $C = 800 nF \rightarrow \tau = 1,12ms$



Afin de pouvoir recevoir le signal correctement, on prendra donc un filtre RC approprié.

$$\rightarrow \Omega \gg \frac{2\pi}{RC} > \omega.$$

ci-contre : $C = 200nF \rightarrow \tau = 280\mu s$

CONCLUSION

La modulation d'amplitude est toujours utilisée pour les radios même si le système de démodulation est différent et beaucoup plus complexe (filtre plus efficace). Cependant le son est de moins bonne qualité et la porteuse, étant limitée en fréquence, se propage moins bien.

On préférera utiliser la modulation en fréquence où la fréquence de la porteuse est modifiée selon l'amplitude du signal modulant. Ce sont les radios que l'on utilise tous les jours (NRJ, RTL, ...).

Cependant, dans certains cas, on favorise encore la modulation d'amplitude. C'est le cas par exemple des radios de montagne. La longueur d'onde des porteuses se prête à la diffraction sur une montagne. On évite ainsi le problème posé par cet obstacle : la montagne devient elle-même l'émetteur du signal.