

I. Ondes électromagnétiques- Transmission d'information

1. Les caractéristiques des ondes électromagnétiques

Comme les ondes mécaniques progressives sinusoïdales, les ondes électromagnétiques sont caractérisées par :

- * une fréquence f (en Hz) et une période T (en s) liées entre elles par la relation suivante : $f = \frac{1}{T}$
- * Une célérité (vitesse de propagation en m/s) : dans le vide et dans l'air elle est égale à la célérité de la lumière soit $c = 3.10^8 m/s$
- * La célérité des ondes électromagnétiques dans les milieux transparents (comme les fibres optiques) est également importante (de l'ordre de $10^8 m/s$)
- * Une longueur d'onde dans le vide λ (en m) qui correspond à la distance parcourue par l'onde se déplaçant à la célérité c durant une période temporelle T . On a aussi la relation suivante : $\lambda = c.T = \frac{c}{f}$

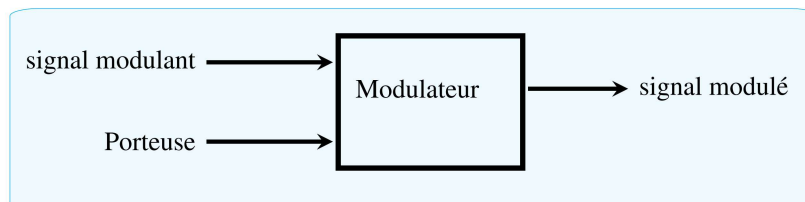
2. La nécessité de la modulation

On veut transporter un signal (musique, son, image , etc ...). Ces signaux ont une basse fréquence de l'ordre de $1 kHz$, en fait ces signaux ne peuvent pas être transmis directement pour plusieurs raisons :

- * Les ondes de basses fréquences sont fortement amorties ;
 - * Les dimensions de l'antenne réceptrice pour une onde donnée doivent être de l'ordre de $\frac{\lambda}{2}$ et $\frac{\lambda}{4}$
- Cela conduirait à des antennes irréalisables du fait de leurs dimensions : pour une onde de fréquence $1 kHz$ il faudrait une antenne de dimension $L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} = \frac{3 \times 10^8}{2.10^3} = 150 km$
- * L'intervalle des basses fréquences est très étroites qui a pour effet de rendre l'antenne incapable de sélectionner le signal transmis parmi d'autres . Il y aurait brouillage de l'information.

La solution :

C'est de transporter le signal dans une plage des hautes fréquences , ce qui nécessite l'utilisation d'une onde porteuse de haute fréquence qui porte le signal de BF sous forme d'une onde modulante.

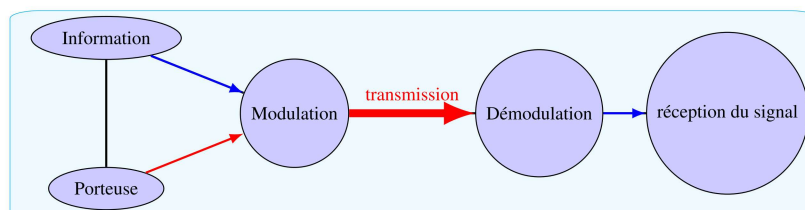


3. Le principe de transmission d'une information par une onde électromagnétique

L'information à transmettre est contenue dans un signal électrique de basse fréquence.

Pour le transporter, on utilise une " onde porteuse " de haute fréquence.

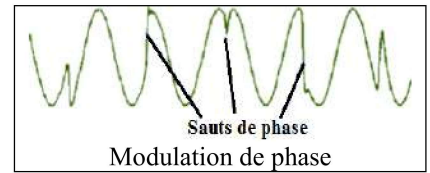
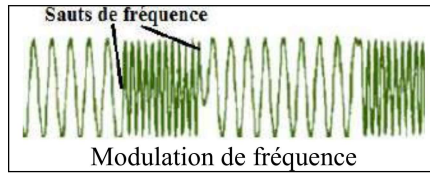
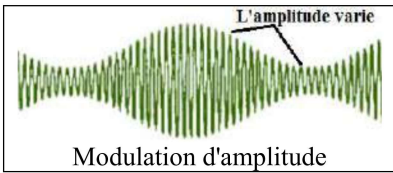
L'amplitude de l'onde porteuse est modulée par le signal électrique de basse fréquence. Ceci est effectué par un modulateur.



4. les types de modulations

Dans la porteuse $p(t) = P_m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot N \cdot t + \varphi)$, trois paramètres peuvent être modifiés :

- L'amplitude U_m : modulation d'amplitude
- La fréquence N : modulation de fréquence
- La phase φ : modulation de phase



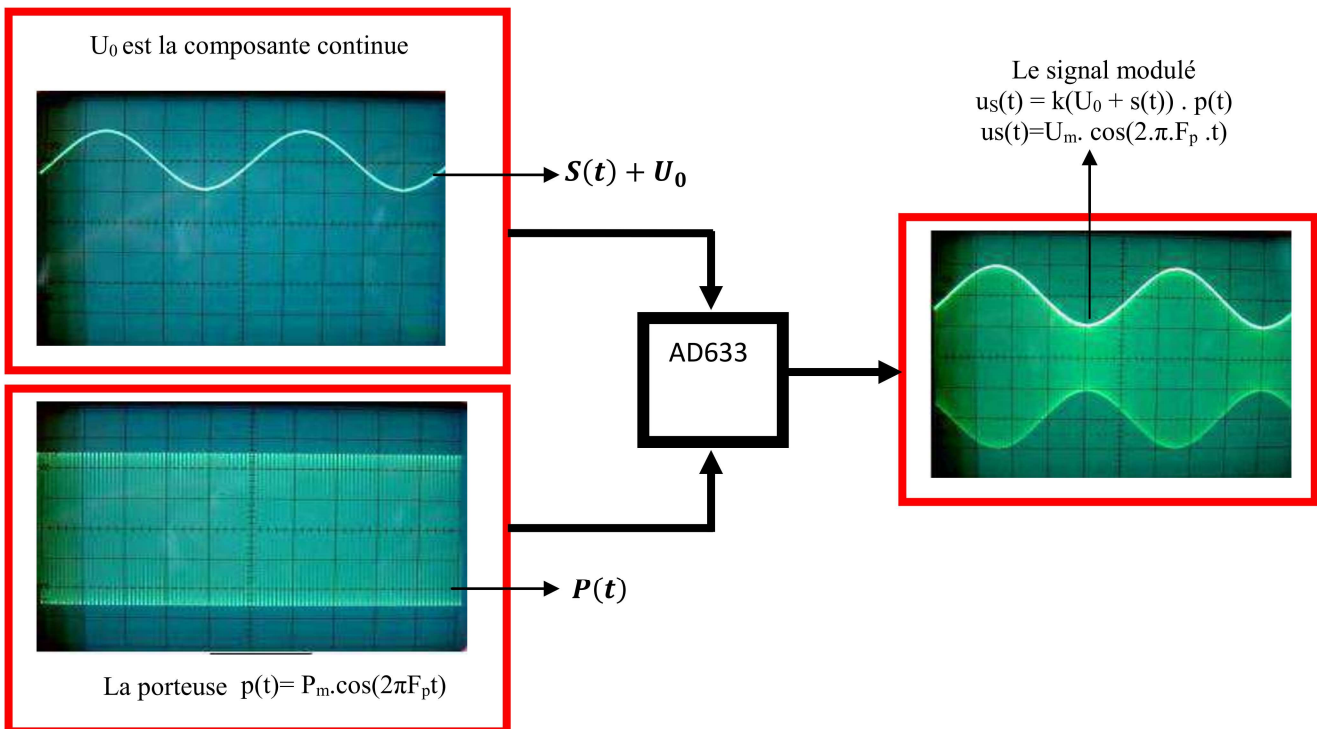
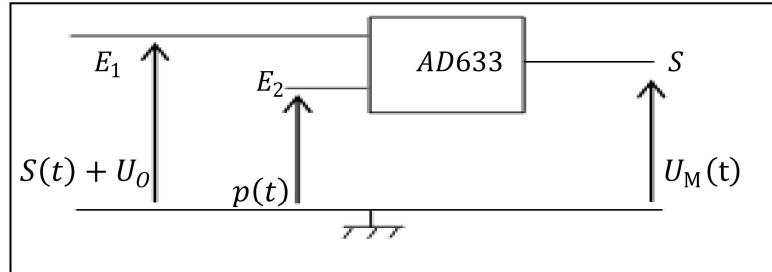
II. Modulation d'amplitude

1. Principe :

La modulation d'amplitude d'une tension porteuse $p(t)$ de haute fréquence F_p permet la transmission de signaux de faibles fréquences (une tension $s(t)$ de basse fréquence f_s) avec :

$s(t) = S_m \cos(2\pi f_s t)$: signal de faible fréquence: Le signal modulant contenant l'information à diffuser (à envoyer)

$p(t) = P_m \cos(2\pi F_p t)$: porteuse



2. Expression de la tension modulée en amplitude

À l'entrée E_1 du multiplieur , on a $s(t) + U_0 = S_m \cos(2\pi f_s t) + U_0$ avec U_0 une tension continue .

À l'entrée E_2 , on applique la tension porteuse : $p(t) = P_m \cos(2\pi F_p t)$.

À la sortie on obtient la tension $u_s(t) = k P_m (S_m \cos(2\pi f_s t) + U_0) \cos(2\pi F_p t)$

On sait que l'expression générale de la tension modulée en amplitude est : $u_s(t) = U_m(t) \cos(2\pi F_p t)$

$U_m(t)$ est l'amplitude de la tension modulée est une fonction affine de la tension modulante $s(t)$

Elle en reproduit les variations au cours du temps .

L'amplitude de la tension modulée s'écrit : $U_m(t) = k P_m (S_m \cos(2\pi f_s t) + U_0)$ $U_m(t) = k P_m U_0 \left(\frac{S_m}{U_0} \cos(2\pi f_s t) + 1 \right)$

On pose : $A = k P_m U_0$ et $m = \frac{S_m}{U_0}$ et la relation prend la forme suivante : $U_m(t) = A (m \cos(2\pi f_s t) + 1)$

On appelle m le **taux de modulation**

De la relation ci-dessous , montre que l'amplitude modulée $U_m(t)$ varie entre deux valeurs extrêmes : U_{mmax} et U_{mmin} tel que :

$$U_{mmax} = A(m + 1) \quad U_{mmin} = A(-m + 1) \quad \text{c'est à dire que : } U_{mmax} + U_{mmin} = 2A \quad U_{mmax} - U_{mmin} = 2Am$$

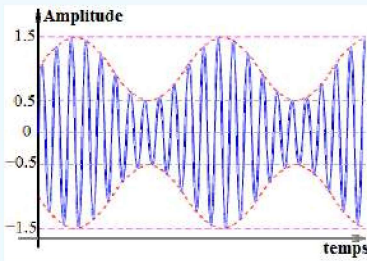
d'où le taux de modulation est : $m = \frac{U_{mmax} - U_{mmin}}{U_{mmax} + U_{mmin}}$

3. La qualité d'une modulation d'amplitude

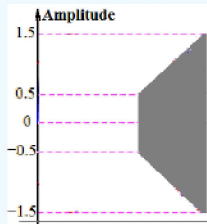
Pour une modulation parfaite il faut que :

- La fréquence F_p de la porteuse soit nettement supérieure à la fréquence de la modulante f_s : $F_p \gg f_s$ (Généralement $F_p \gg 10.f_s$)
- Le taux de modulation m soit inférieur à 1 : $m < 1$

Modulation parfaite (Bonne)

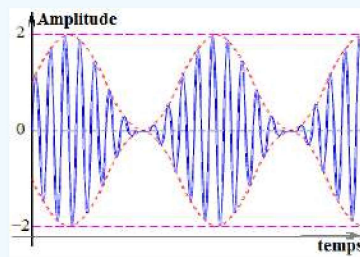


En mode XY on obtient :

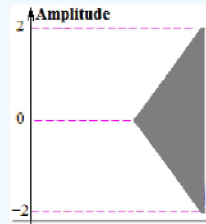


$$m = \frac{1.5 - 0.5}{1.5 + 0.5} = 0.5 < 1$$

Mauvaise modulation (Critique)

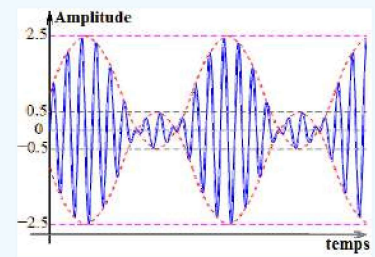


En mode XY on obtient :

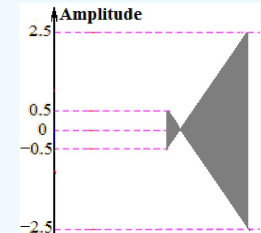


$$m = \frac{2 - 0}{2 + 0} = 1$$

Surmodulation



En mode XY on obtient :



$$m = \frac{2.5 - (-0.5)}{2.5 + (-0.5)} = 1.5 > 1$$

4. Spectre des fréquences :

Le spectre de fréquences du signal modulé est un graphe présentant l'amplitude de chaque composante sinusoïdale du signal.

On a $us(t) = A.(1 + A.m.\cos(2.\pi.f_s.t)).\cos(2.\pi.F_p.t) = A.\cos(2.\pi.F_p.t) + A.m.\cos(2.\pi.f_s.t).\cos(2.\pi.F_p.t)$

On sait que $2.\cos(a).\cos(b) = \cos(a+b) + \cos(a-b)$

$$us(t) = A.\cos(2.\pi.F_p.t) + \frac{A.m}{2}.\cos(2.\pi.(F_p - f_s).t) + \frac{A.m}{2}.\cos(2.\pi.(F_p + f_s).t)$$

Conclusion : la tension modulée est la somme de trois tensions sinusoïdales avec des fréquences différentes

La fonction	$A.\cos(2.\pi.F_p.t)$	$\frac{A.m}{2}.\cos(2.\pi.(F_p - f_s).t)$	$\frac{A.m}{2}.\cos(2.\pi.(F_p + f_s).t)$	
Amplitude	A	$\frac{A.m}{2}$	$\frac{A.m}{2}$	
Fréquence	F_p	$F_p - f_s$	$F_p + f_s$	

II. Démodulation d'amplitude

Une antenne réceptrice capte l'onde électromagnétique et restitue le signal électrique modulé. La **démodulation** permet alors d'**extraire le signal modulant s(t)** d'origine du signal modulé.

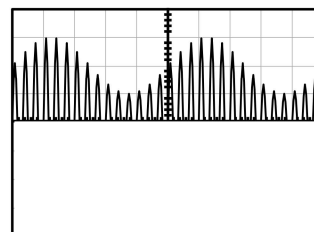
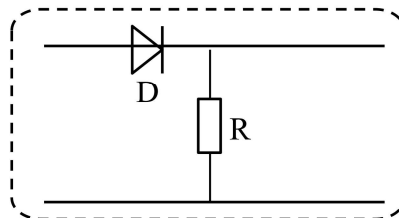
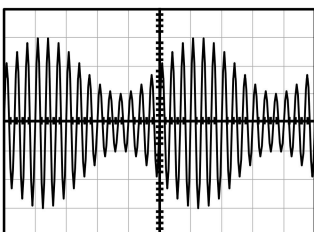
Pour restituer l'information de la tension modulante, il suffit ensuite de **démoduler** le signal reçu

Elle s'opère comme suit :

- La réception par une antenne réceptrice
- La suppression des alternances négatives (1)
- La détection d'enveloppe (2)
- L'élimination de la composante continue (3)

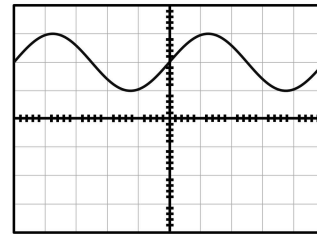
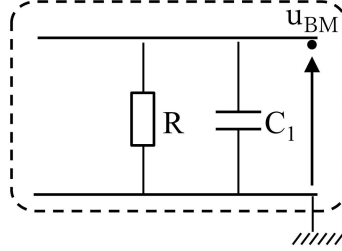
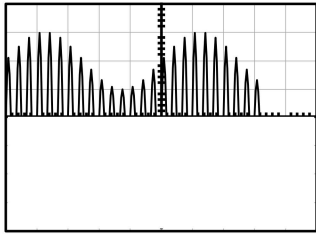
a) Première opération : la suppression des alternances négatives (1)

La diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une **tension modulée redressée**.



b) Deuxième opération : La détection de l'enveloppe et la suppression de la porteuse

Le montage à utiliser comporte un **filtre passe – bas** (Un condensateur en parallèle avec un conducteur ohmique), c'est-à-dire ne laissant passer que les composantes aux fréquences basses et arrêtant celles aux fréquences élevées.



NB :

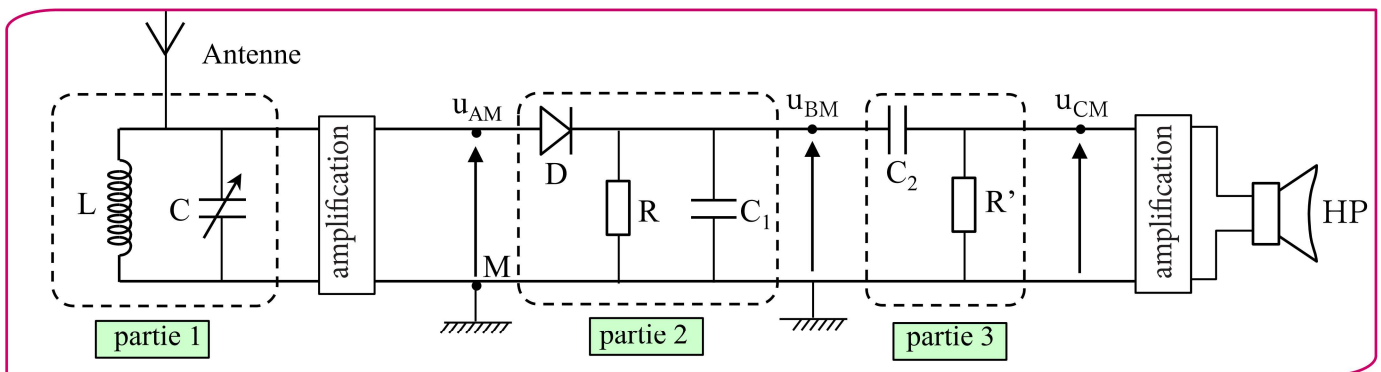
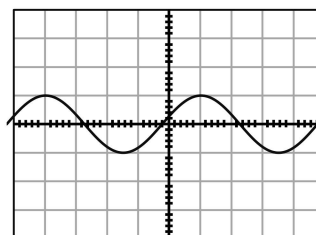
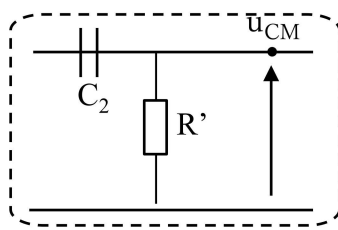
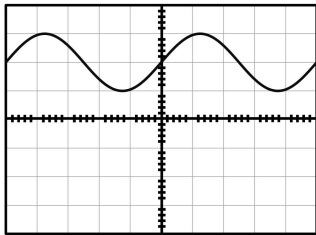
Pour retrouver une enveloppe de porteuse fidèle au signal modulant originel, il faut donc que :

$$T_p \ll RC < T_s \quad \text{avec} \quad T_s : \text{La période du signal modulant}$$

$$T_p : \text{La période du signal modulant}$$

c) Troisième opération : la suppression de la composante continue

Le montage à utiliser comporte un **filtre passe – haut**, c'est-à-dire ne laissant passer que les composantes aux fréquences élevées et arrêtant celles aux basses fréquences et continues.



Le rôle de chaque partie dans la démodulation :

Antenne	Réception des ondes électromagnétique
Partie (1) : Circuit LC	Sélectionner la fréquence F_p ; $F_p = \frac{1}{T_p} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$ $T_p = 2.\pi.\sqrt{L.C}$: période de la porteuse
Amplificateur	Amplifier le signal modulé sélectionné
Partie (2) : Circuit RC ou filtre passe – bas	Elimine les alternances négatives et détecte l'enveloppe $T_p \ll RC < T_s$ T_p : période de la porteuse T_s : période de la modulante
Partie (3) : Circuit RC ou filtre passe – haut	Suppression de la composante continue U_0
s(t)	La tension modulante