

1-La modulation d'amplitude (AM)

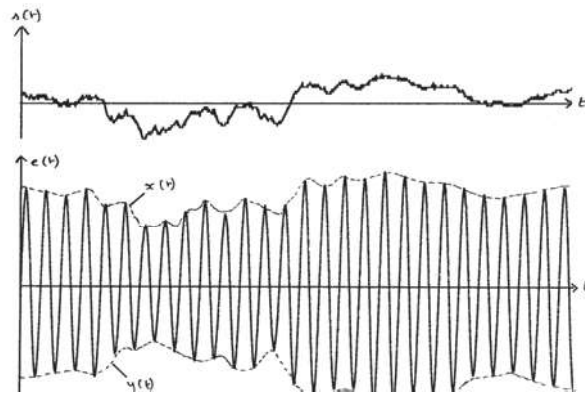
Une porteuse sinusoïdale $e_o(t) = E \cos(\omega t)$ modulée en amplitude par un signal modulant basse-fréquence $s(t)$ qui peut être un signal audiofréquence, vidéo, analogique ou numérique s'écrit :

$$e(t) = E (1 + k.s(t)) \cos(\omega t)$$

- en l'absence de signal modulant $s(t)=0$ et $e(t) = e_o(t) = E \cos(\omega t)$
- en présence de modulation l'amplitude de la porteuse s'écrit : $E(1+k.s(t))$

Pour représenter l'allure temporelle d'un signal AM, on utilise les propriétés suivantes :

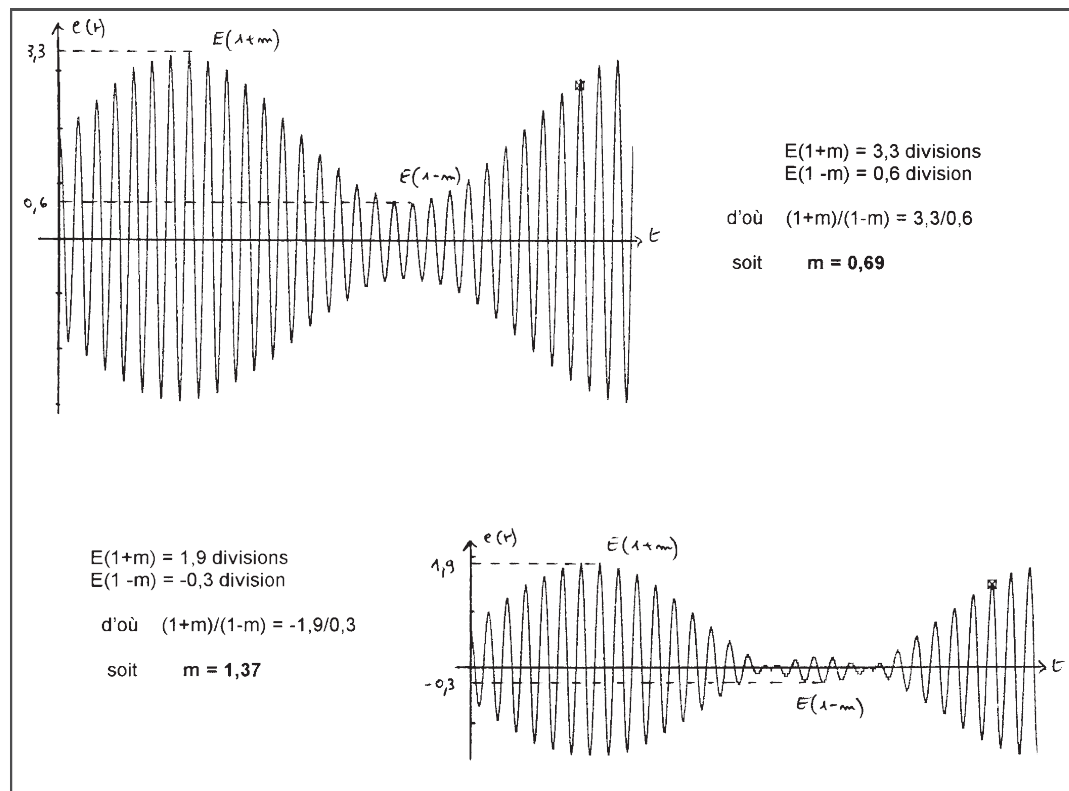
- la porteuse oscille entre deux limites qui sont les enveloppes supérieure et inférieure
- l'enveloppe supérieure a pour équation $x(t) = E (1 + k.s(t))$ (lorsque $\cos(\omega t) = 1$)
- l'enveloppe inférieure a pour équation $y(t) = -E (1 + k.s(t))$ (lorsque $\cos(\omega t) = -1$)
- on retrouve la forme du signal modulant $s(t)$ dans les deux enveloppes



Lorsque le signal modulant est sinusoïdal, on a $s(t) = a \cos(\Omega t)$ et la porteuse modulée s'écrit :

$$e(t) = E (1 + k a \cos(\Omega t)) \cos(\omega t) = E (1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega t)$$

m : indice de modulation



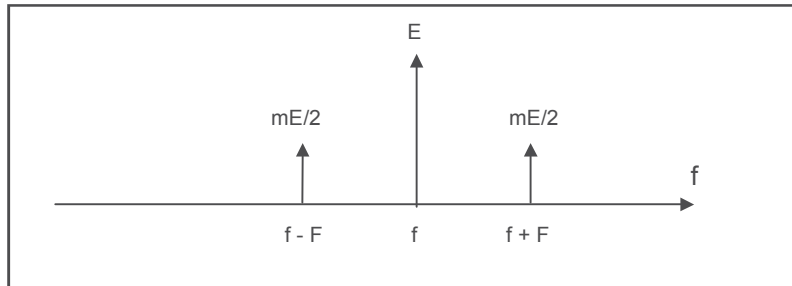
Lorsque l'indice de modulation est supérieur à 1, on parle de **surmodulation**. Lorsqu'on démodule ce signal à l'aide d'un détecteur crête, le surmodulation est à l'origine d'une distorsion inacceptable.

2- Spectre d'un signal AM

Si le signal modulant est sinusoïdal, le spectre se calcule facilement :

$$\begin{aligned} e(t) &= E (1 + m \cos(\Omega t)) \cos(\omega t) \\ &= E \cos(\omega t) + E m \cos(\Omega t) \cos(\omega t) \\ &= E \cos(\omega t) + \frac{E m}{2} \cos(\omega + \Omega)t + \frac{E m}{2} \cos(\omega - \Omega)t \end{aligned}$$

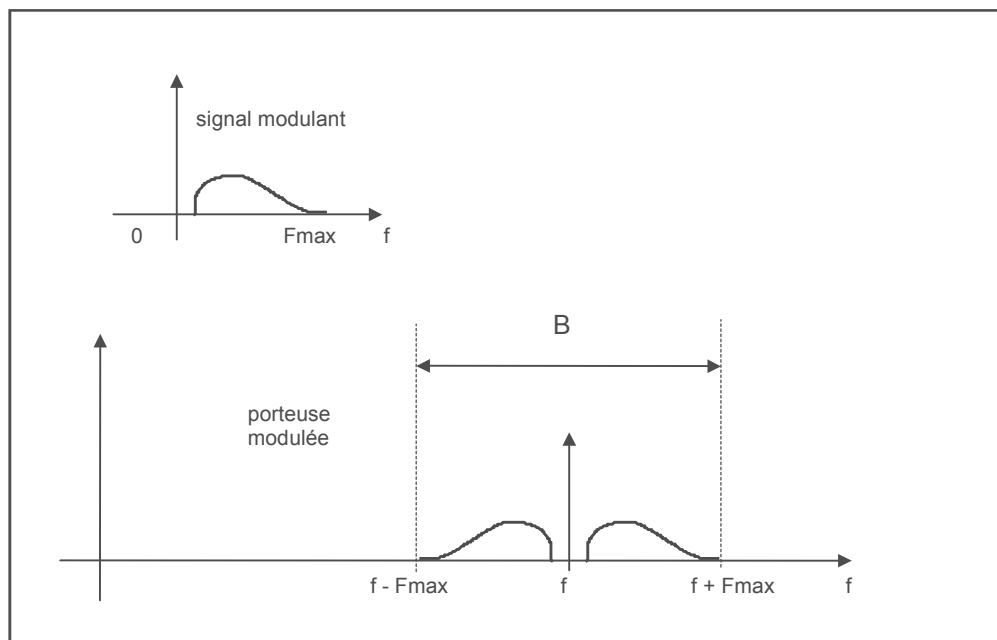
Le spectre est donc formé de 3 raies et a l'allure suivante :



Si le signal modulant est sinusoïdal (spectre limité à 1 raie), on retrouve cette raie de part et d'autre de la porteuse dans le spectre du signal modulé.

On démontre que ce résultat se généralise au cas d'un signal modulant $s(t)$ quelconque :

- la forme du spectre de $s(t)$ est plus riche qu'une simple raie
- on appelle F_{\max} la fréquence la plus élevée contenue dans le signal modulant
- le spectre de $s(t)$ se retrouve de part et d'autre de la porteuse dans le spectre du signal modulé



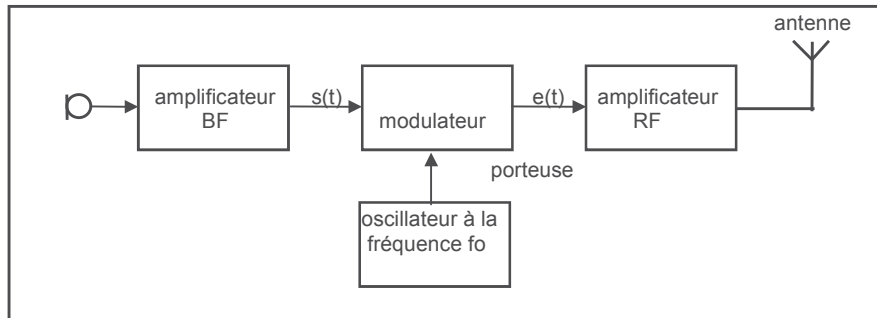
On constate que la bande B occupée par un signal AM vaut : **$B = 2.F_{\max}$**

Applications :

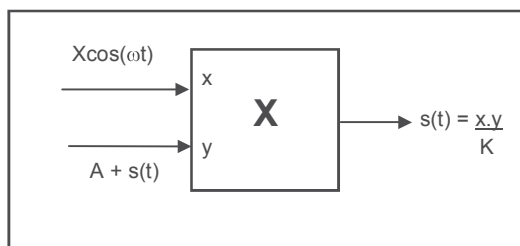
- en radiodiffusion PO ou GO, un émetteur a droit à une bande de 9 kHz, ceci ne peut être réalisé que si on limite le spectre basse-fréquence à 4 kHz
- un canal CB ayant une largeur de 10 kHz, le spectre basse-fréquence doit être limité à 5kHz

3- Production d'un signal AM avec porteuse

Lorsqu'on veut transmettre un signal en AM, on module la porteuse par l'information basse-fréquence à l'aide d'un modulateur :



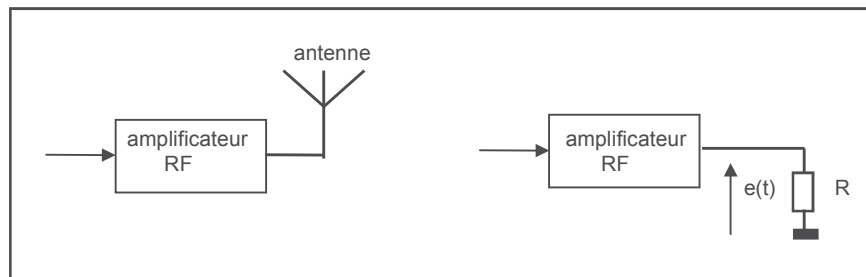
On peut créer facilement un signal AM en multipliant la porteuse par le signal modulant décalé d'une composante continue :



Si on appelle K le coefficient du multiplieur, on aura : $s(t) = \frac{X\cos(\omega t).(A + s(t))}{K} = \frac{XA}{K} (1 + \frac{1}{A}s(t))\cos(\omega t)$

On peut donc régler l'indice de modulation m en jouant sur la valeur de la composante continue A.

Le signal AM est appliqué à l'antenne qui se comporte vis-à-vis de l'amplificateur de sortie comme une charge résistive R :



La puissance totale dissipée dans l'antenne et donc émise vaut :

$$P = \frac{E^2}{2R} + \frac{(mE/2)^2}{2R} + \frac{(mE/2)^2}{2R} = \frac{E^2}{2R} (1 + \frac{m^2}{2})$$

Exemple numérique : $E = 50V$, $m = 0,5$, antenne $R = 50\Omega$

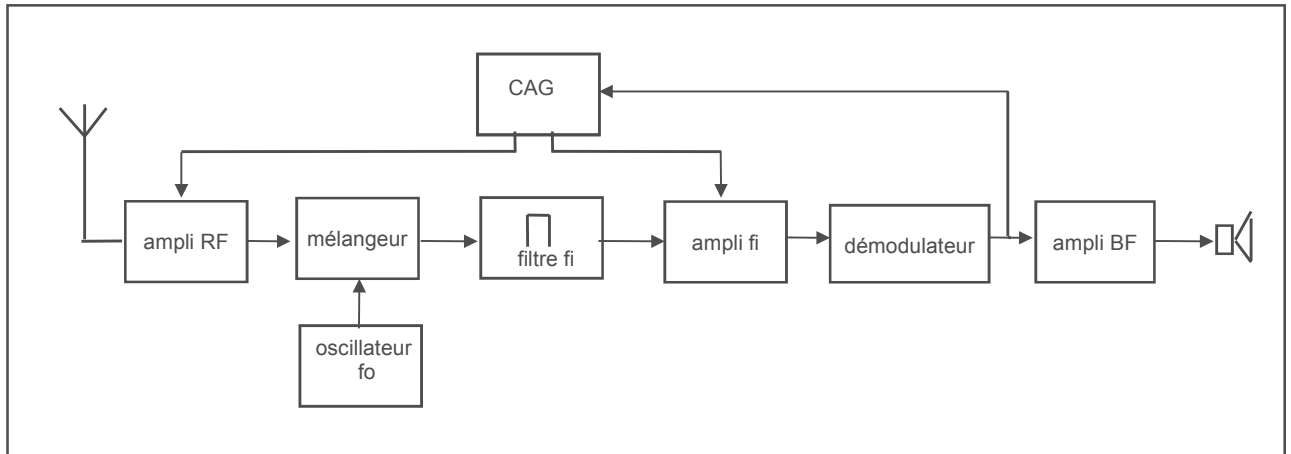
- puissance de la porteuse $P_p = 25 W$
- puissance pour une raie latérale : $P_s = P_i = 1,56 W$
- puissance totale de : $P = 25 + 1,56 + 1,56 = 28,12 W$

On peut noter l'importance de la puissance de la porteuse, qui est émise même en l'absence de signal modulant, alors que l'information se trouve dans les bandes latérales.

On a donc eu l'idée de supprimer la porteuse et d'émettre uniquement les deux bandes latérales (**modulation en bande latérale double**) ou une seule bande latérale (**bande latérale unique**), technique très utilisée aujourd'hui dans les communications mobiles.

4- Démodulation d'un signal AM : le détecteur crête

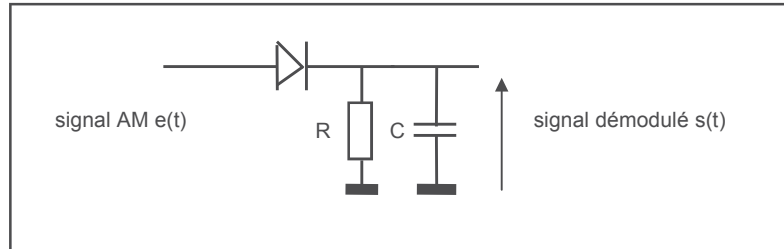
Dans un récepteur AM, le signal peut être démodulé une fois qu'on a sélectionné l'émetteur que l'on désire capter . La sélection est faite à l'aide de la structure habituelle : oscillateur local-mélangeur.



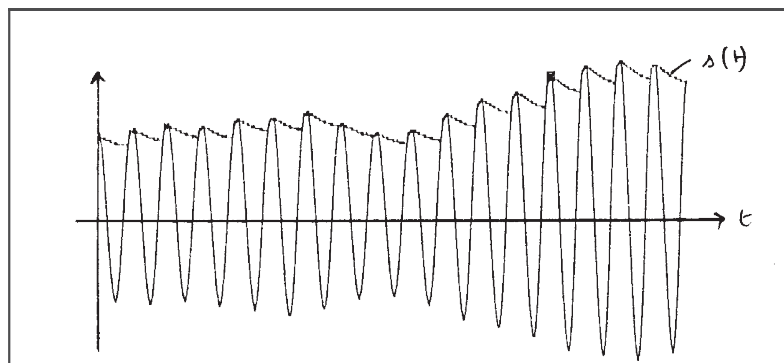
Le signal AM à démoduler, à la fréquence intermédiaire f_i , peut être traité par un **détecteur crête** ou un **démodulateur synchrone**.

Le **détecteur crête** a le mérite d'une simplicité apparente, mais à cause du seuil de la diode nécessite un niveau suffisant avant démodulation, typiquement de quelques centaines de mV.

On utilisera de préférence une diode à pointe au germanium caractérisée par un faible seuil (0,2V) et une faible capacité parasite.



La constante de temps τ du circuit RC doit être grande devant la période de la porteuse et faible devant la période de variation du signal modulant.



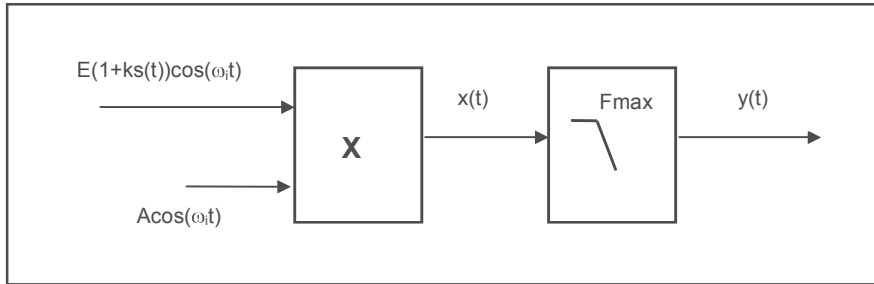
Choix de la constante de temps :

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{F_{\max} \cdot f_i}}$$

- si la constante de temps RC est trop grande ou trop faible, le signal démodulé ne reproduit pas fidèlement le signal basse-fréquence modulant
- en cas de surmodulation ce démodulateur introduit une distorsion inacceptable. On évite donc la surmodulation à l'émission en insérant un étage amplificateur à contrôle automatique de gain qui évite les excursions importantes de $s(t)$

5- Démodulation d'un signal AM : le détecteur synchrone

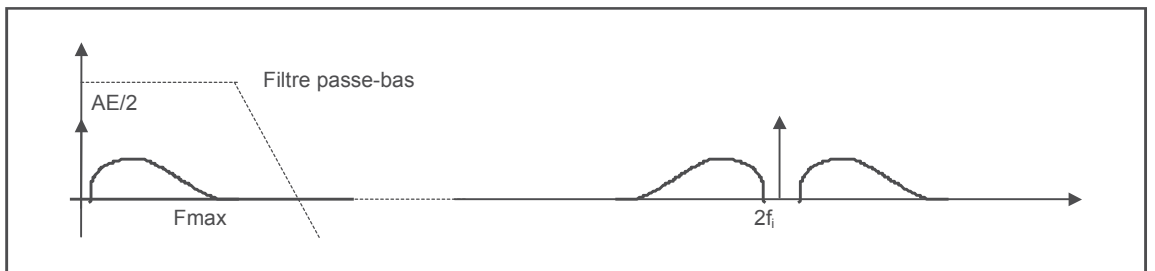
Dans un **démultiplexion synchrone**, on multiplie simplement le signal AM par un signal sinusoïdal en phase (synchrone) avec la porteuse :



$$x(t) = AE(1+ks(t))\cos^2(\omega_c t) = AE(1+ks(t)) \frac{1 + \cos(2\omega_c t)}{2}$$

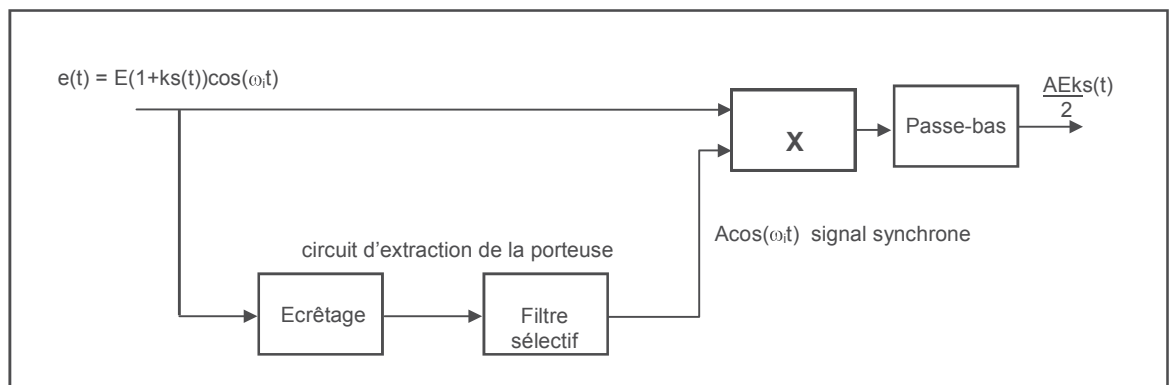
$$= \frac{AE}{2} + \frac{AEks(t)}{2} + \frac{AE(1+ks(t)) \cos(2\omega_c t)}{2}$$

Le tracé du spectre de $x(t)$ montre bien que ce signal contient, en partie basse, le signal basse-fréquence modulant $s(t)$ qui nous intéresse :



Après filtrage et suppression de la composante continue, nous obtenons le signal $y(t) = \frac{AEk}{2} s(t)$

La détection synchrone nécessite la présence d'un signal synchrone avec la porteuse. Pour l'obtenir dans un récepteur, on peut le fabriquer à partir du signal AM par écrêtage et filtrage sélectif :



Dans certaines applications, le circuit d'extraction de la porteuse est constitué par une boucle à verrouillage de phase accrochée sur la porteuse modulée.

Remarque : si le signal é démodulé est fortement bruité, le démodulateur synchrone permet encore la démodulation alors que le détecteur crête ne fonctionne plus.