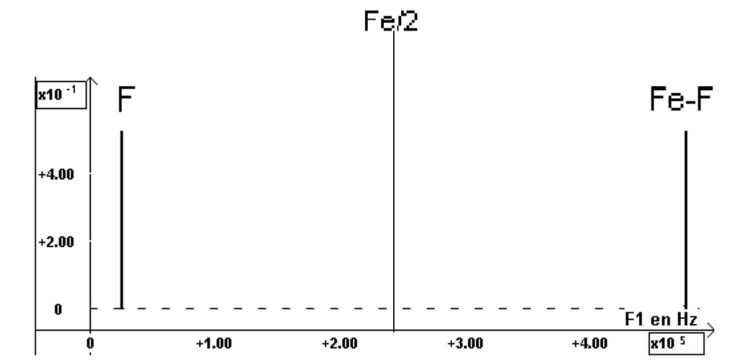
T.P. MODULATION D'AMPLITUDE
ANALYSE DE SPECTRE
Etude théorique

1 Analyseur de spectre numérique

L'oscilloscope numérique dispose d'un analyseur de spectre intégré, utilisant la méthode de la F.F.T.(Fast Fourier Transform) que nous avons déjà rencontré dans les logiciels REGRESSI et SYNCHRONIE.
Le principe est de numériser le signal à analyser et de le mémoriser sous la forme d'un enregistrement de N points (1024 dans le cas de l'oscilloscope H.P.).

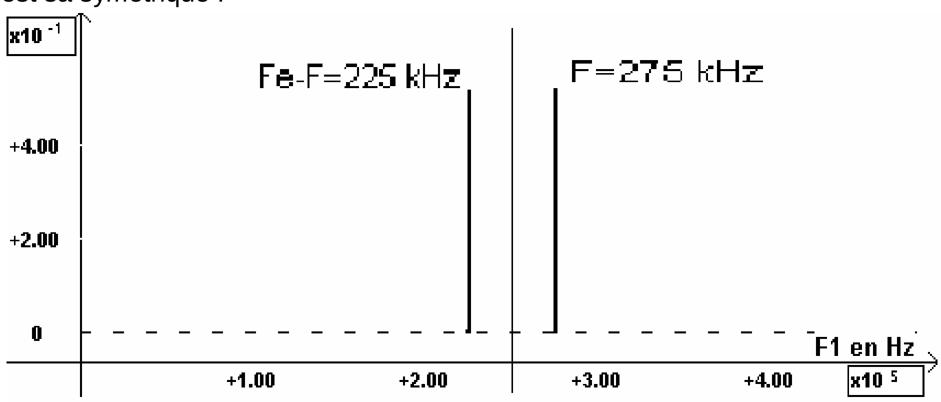
La durée entre deux points est appelé temps d'échantillonnage T_e et son inverse F_e est appelé fréquence d'échantillonnage.
Le temps total d'enregistrement est égal à $T_t = N \times T_e$, et on admet que son inverse f_t correspond à la résolution en fréquence de l'analyseur. ($T_e<T_t$ donc effectivement $F_e>f_t$). ***F_e et f_t dépendent donc du calibre.***

Le résultat du calcul du spectre d'un signal de fréquence F=25 kHz pour une fréquence F_e=500 kHz est le suivant :



La méthode de calcul produit un spectre sur la plage de fréquences **[0 , F_e/2**] et un spectre symétrique sur la page **[F_e/2 , F_e].** Ainsi seule la plage **[0 , F_e/2**] est utile et c'est elle qu'affiche l'oscilloscope H.P. .
La fréquence F_e/2 porte le nom de fréquence de Nyquist.

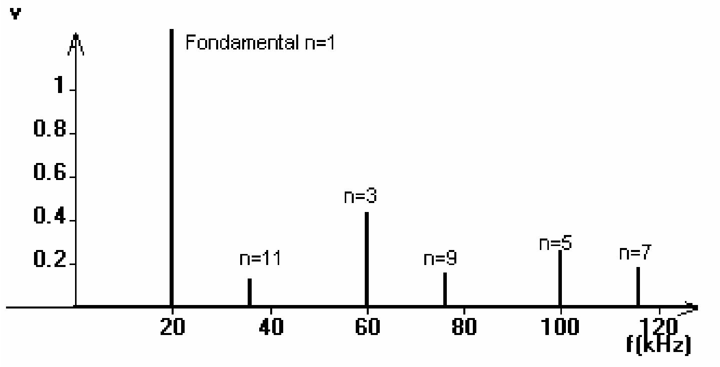
Sur le H.P. la fréquence F_e s'affiche quand on change de calibre (unité kiloéchantillons / s au lieu de kHz) mais comme on vient de le signaler, la plage affichée est **[0 , F_e/2**].
Si l'on garde la même fréquence d'échantillonnage mais que l'on augmente la fréquence F, la raie du spectre dans la zone **[0 , F_e/2**] se déplace vers la droite tandis que celle du spectre symétrique se déplace vers la gauche. Il ne faut donc pas que la fréquence F soit supérieure à la fréquence de Nyquist F_e/2 , sinon la raie à la bonne fréquence se trouve dans l'intervalle **[F_e/2 , F_e]** alors que la raie qui s'affiche est sa symétrique :



Ce phénomène est appelé aliasing ou repliement (comme si l'on repliait la partie droite du spectre sur la partie gauche).

Il faut donc prendre garde tout au long du T.P. à ce que le signal ne comprenne pas de fréquences supérieures à $f_e/2$, ou alors qu'elles soient d'amplitudes négligeables. Choisir f_e en conséquence

Par exemple pour un signal créneau, il est fort possible de voir dans la zone [0 , $F_e/2$].des harmoniques repliées qui ne sont pas à leur place.



Sur le spectre précédent du créneau de fréquence F=20 kHz avec F_e=256 kHz, le fondamental et les harmoniques 3 et 5 sont bonnes mais les harmoniques 7, 9 et 11 sont repliées.

2 Modulation d'amplitude (A.M.)

2.1 Etude du signal modulé

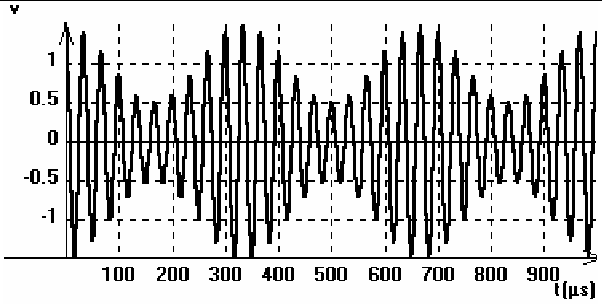
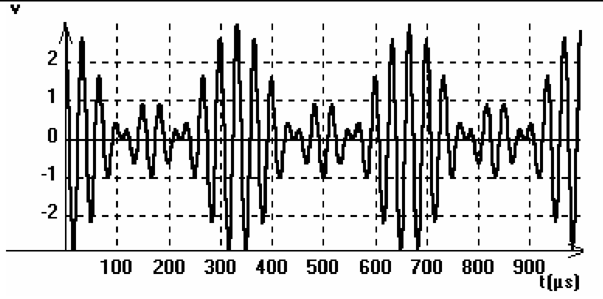
On désire obtenir un signal modulé en multipliant deux signaux de fréquences différentes. Dans toute l'étude on se limitera à des signaux sinusoïdaux puisque tout signal périodique est décomposable en somme de signaux sinusoïdaux.

Lorsqu'on ajoute un offset continu ε à la modulante, on parle de modulation d'amplitude. Le signal émis peut alors se mettre sous la forme:

Le signal basse fréquence (B.F.) ou signal modulant est $s_m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) + \varepsilon$.
Le signal haute fréquence (H.F.) ou porteuse est $s_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$.
Le signal modulé est :
$s(t)=k(\varepsilon+ A_m \cos(2\pi f_m t).)\ A_p \cos(2\pi f_p t)=k\varepsilon A_p(1+A_m/\varepsilon \cos(2\pi f_m t).)\ \cos(2\pi f_p t)$,
k étant une constante provenant du multiplieur électronique.

soit

$s(t) = B(1.+ m \cos(2\pi f_m t)) \cos(2\pi f_p t)$, avec $m = A_m / \varepsilon$ appelé indice de modulation et $B = kA_p\varepsilon$.

	
F_m=3 kHz, F_P=30kHz, m=0.5	F_m=3 kHz, F_P=30kHz, m=3

Dans le cas m>1 on dit qu'il y a surmodulation)

Si on linéarise le signal, on obtient :

$$s(t) = B\cos(2\pi f_p t) + \frac{mB}{2}\cos(2\pi(f_p + f_m)t) + \frac{mB}{2}\cos(2\pi(f_p - f_m)t)$$

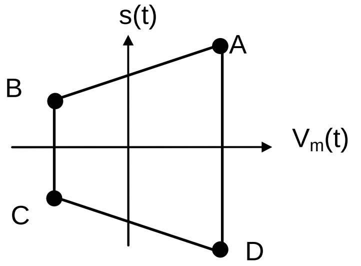
Le spectre de ce signal est constitué de trois fréquences f_m- f_p , f_p et f_p+ f_m, et les deux composantes ont même amplitude.

Le spectre de s(t) comprend la porteuse de fréquence f_p et deux composantes de fréquences f_m+ f_p et f_p- f_m.

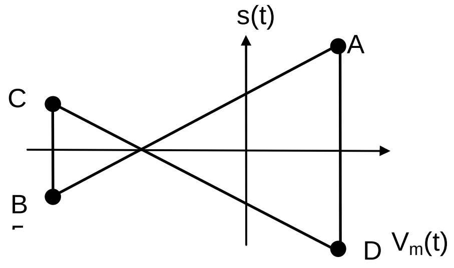
2.2 Etude en mode XY :

On envoie le signal s(t) sur la voie 2 de l'oscilloscope et le signal modulant $V_m(t)=A_m \cos(2\pi f_m t)$ sur la voie 1. On peut écrire s(t)=B(1+m/A_m V_m(t)) cos(2πf_pt).
On observe en mode XY (en couplage AC ce qui permet de ne pas voir l'offset) , on obtient comme enveloppes des courbes les deux figures suivantes suivant que m>1 ou m<1.

Cas m < 1



Cas m > 1



Les ordonnées des points A ,B C et D sont respectivement:

- s_A = B (1+m) ce qui correspond à V_m(t)=A_m.et cos(2πf_pt)=1.
- s_B = B (1-m) ce qui correspond à V_m(t)=-A_m et cos(2πf_pt)=1.
- s_C = - B (1-m) ce qui correspond à V_m(t)=-A_m et cos(2πf_pt)=-1.
- s_D = - B (1+m) ce qui correspond à V_m(t)=A_m et cos(2πf_pt)=-1.

Pour mesurer l'indice de modulation, il suffit de calculer le rapport des côtés du trapèze. Par exemple pour m=0.5, $\frac{AD}{BC} = \frac{1+m}{1-m} = 3$