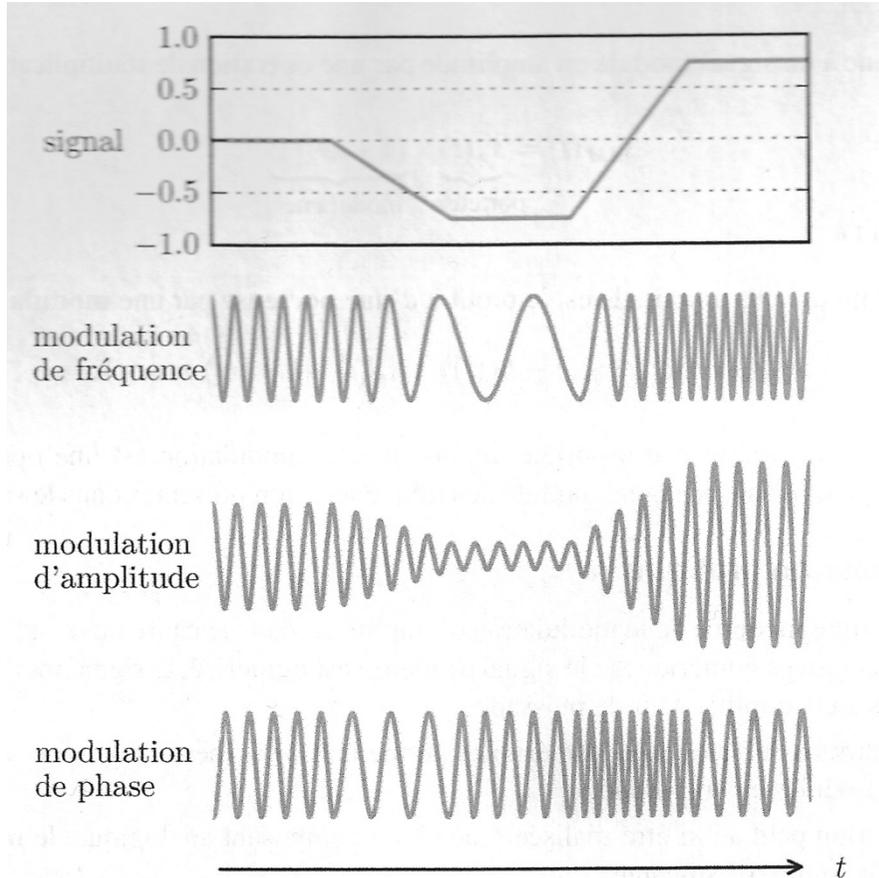
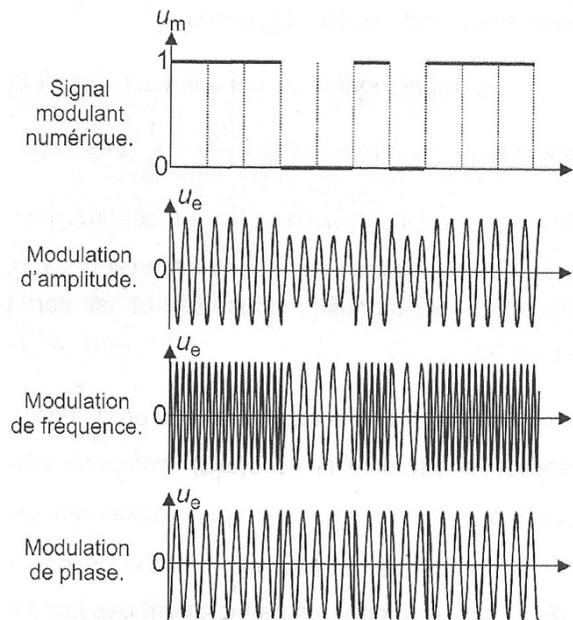


## Les différents types de modulation

➔ Modulations d'amplitude par porteuse et modulation angulaire par modulation de fréquence ou de phase



## Modulation numérique : codage des signaux



$$s(t) = [S_1 + m(S_2 - S_1)] \cos(\omega_p t + \varphi).$$

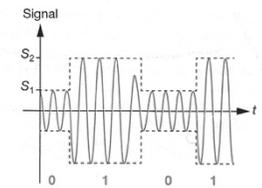


Figure 3

La fréquence ou la phase de la porteuse peuvent aussi être utilisées pour transmettre une information binaire. À titre d'exemple, le signal de la figure 4 présente une fréquence différente, selon que le nombre à transmettre vaut 0 ou 1, on parle de codage par sauts de fréquence.

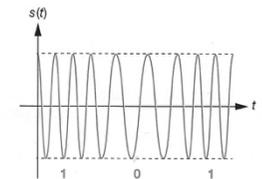


Figure 4

C'est au contraire la phase du signal de la figure 5 qui est égale à 0 ou  $\pi$ , selon la valeur 0 ou 1 du message  $m$  :

$$s(t) = S_m \sin(\omega_p t + m\pi).$$

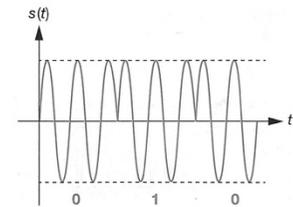
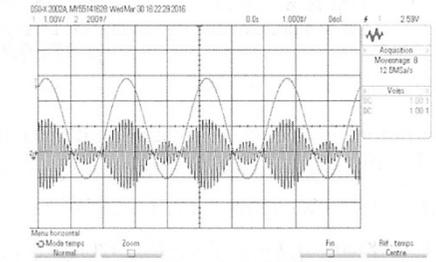
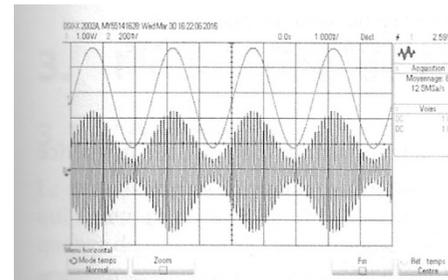


Figure 5

Des codages plus sophistiqués peuvent porter simultanément sur amplitude, fréquence et phase.

# Bandes de fréquences porteuses hertziennes en France

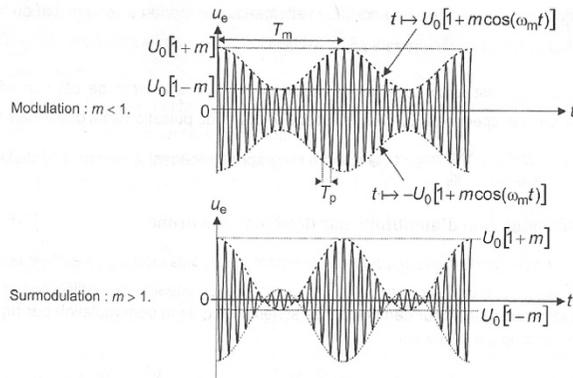
Type	Fréquence	Longueur d'onde typique	Exemples d'utilisation
VLF	< 30 kHz	10 km	communications sous-marines
LF	< 300 kHz	1km	grandes ondes (A.M) [150 kHz, 300 kHz]
MF	< 3 MHz	100 m	petites ondes (A.M) [500 kHz, 1,6 MHz]
HF	< 30 MHz	10 m	téléphone sans fil, radiocommande [26 MHz, 28 MHz]
VHF	< 300 MHz	1 m	armée [30 MHz, 37 MHz]
			radioastronomie [37 MHz, 38 MHz]
Micro Ondes	< 300 GHz	10 cm	radiocommande 41 MHz
			aviation 75 MHz
			gendarmerie [77 MHz, 80 MHz]
			taxis 80 MHz
			CRS / police / pompiers/ SAMU [83 MHz, 87 MHz]
			bande F.M [87 MHz, 108 MHz]
			aviation militaire [108 MHz, 136 MHz]
			satellites météorologiques [136 MHz, 138 MHz]
			aviation [328 MHz, 355 MHz]
			Argos 406 MHz
T.N.T [470 MHz, 790 MHz]			
GSM bande 900 MHz			
GPS 1,228 GHz ; 1,575 GHz			
GSM bande 1,8 GHz			
four micro-onde 2,45 GHz			
bluetooth [2,40 GHz, 2,48 GHz]			
wifi [2,40 GHz, 2,48 GHz]			
satellite TV [10,7 GHz, 12,7 GHz]			



a. Cas  $m < 1$ . Le signal basse fréquence est toujours de même signe, positif ici. b. Cas  $m > 1$ . Le signal basse fréquence change de signe.

Figure 6.4. Modulation d'amplitude : influence de la profondeur de modulation  $m$  sur le signal modulé, en mode balayage temporel.

## Modulation d'amplitude, contenu spectral, taux de modulation



On a  $u_e(t) = U_0 [\cos(\omega_p t) + m \cos(\omega_p t) \cos(\omega_m t)]$ , soit :

$$u_e(t) = U_0 \left[ \cos(\omega_p t) + \frac{m}{2} \cos[(\omega_p + \omega_m)t] + \frac{m}{2} \cos[(\omega_p - \omega_m)t] \right]$$

le spectre de  $u_e / U_0$  contient trois raies de pulsations  $\omega_p - \omega_m$ ,  $\omega_p$  et  $\omega_p + \omega_m$ , beaucoup plus grandes que la pulsation  $\omega_m$  du signal modulant.

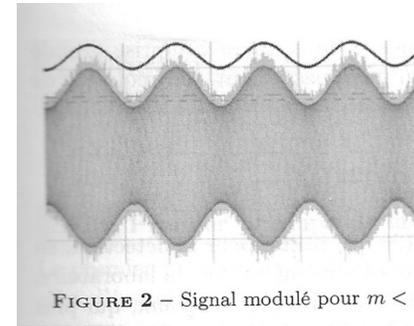
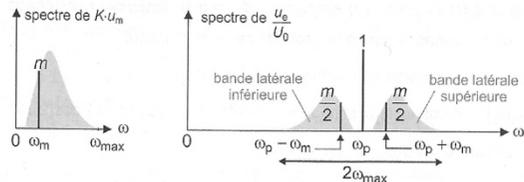


FIGURE 2 – Signal modulé pour  $m < 1$

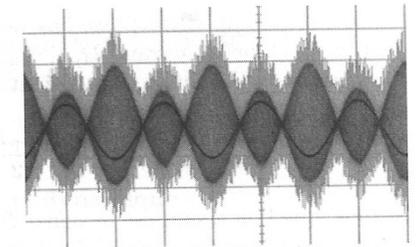


FIGURE 3 – Signal modulé pour  $m > 1$

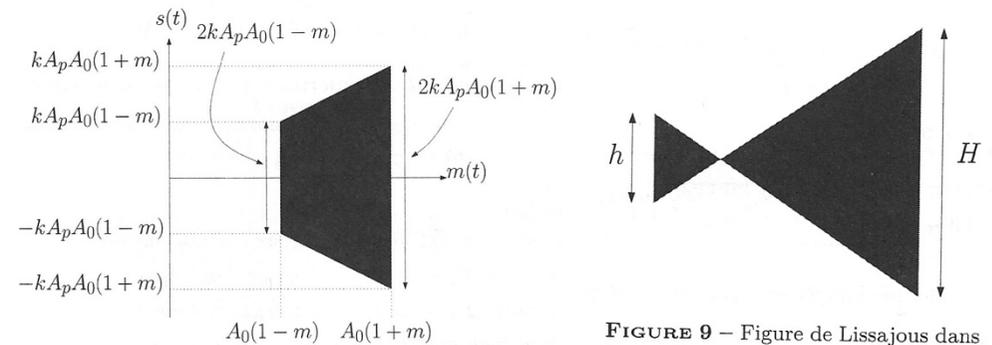
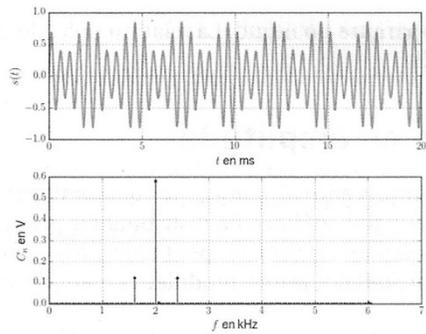
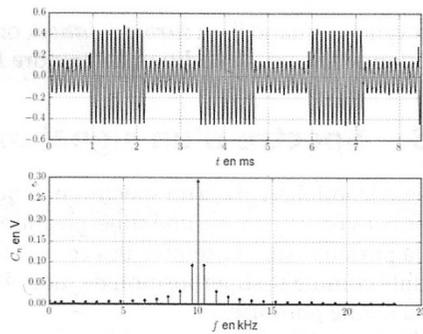


FIGURE 9 – Figure de Lissajous dans le cas où  $m = 2 > 1$

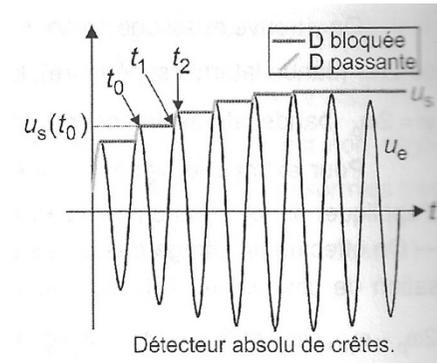


**Figure 6.6.** Signal sinusoidal modulé en amplitude : aspect temporel et spectre calculé par FFT. On note, dans le spectre, les trois raies attendues.

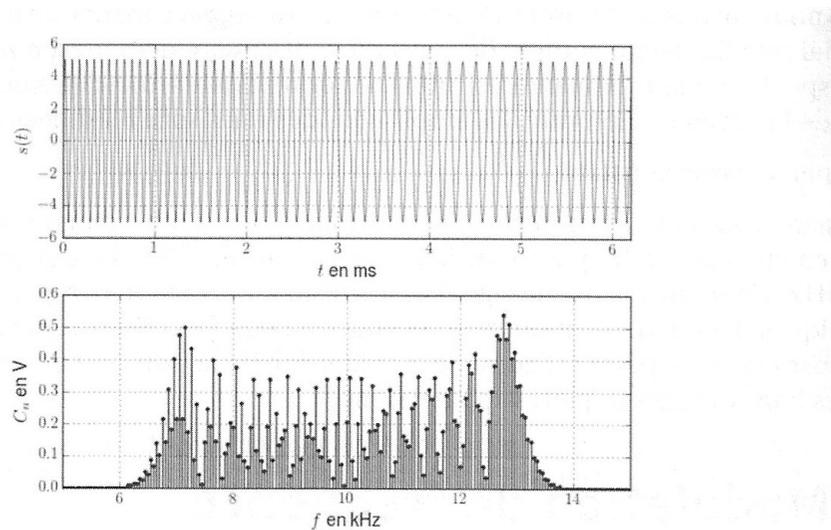


**Figure 6.7.** Analyse spectrale (FFT) d'une modulation d'amplitude en créneau.

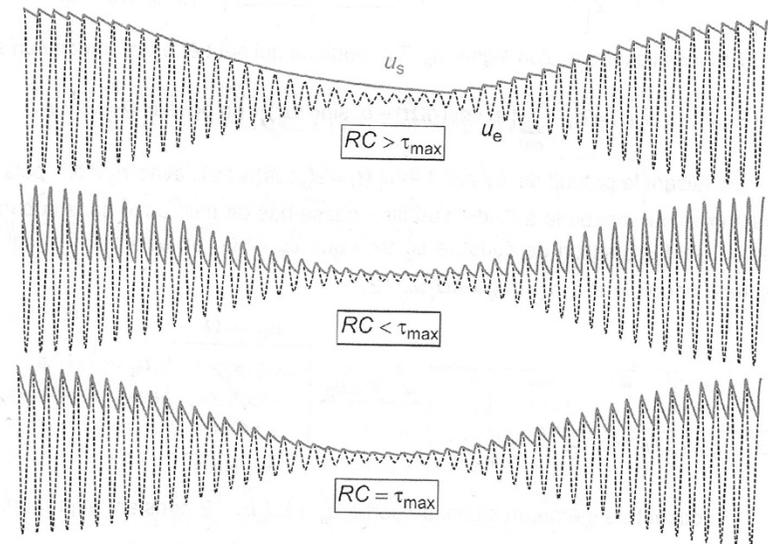
## Démodulation par détecteur de crête



## Modulation de fréquence



**Figure 6.8.** Modulation sinusoidale de fréquence : allure temporelle et FFT. Le spectre présente de très nombreuses raies.



Si  $\tau > \tau_{\max}$ , certaines crêtes ne sont pas détectées : le signal est mal démodulé.

Si  $\tau < \tau_{\max}$ , toutes les crêtes sont détectées, mais le condensateur se décharge trop rapidement entre deux crêtes, ce qui rend plus délicat le filtrage permettant de récupérer  $u_m$ .

$\tau = \tau_{\max}$  est la valeur optimale pour un signal  $u_m$  sinusoidal. Il reste encore, comme pour la détection synchrone, à utiliser un filtre passe-bas pour éliminer la composante de pulsation  $\omega_p$  restant dans le signal  $u_s$ , et un filtre passe-haut pour éliminer la composante continue.