

# Modulation - Démodulation

## Objectifs :

- Transmission & modulations usuels
- Modulation d'amplitude
- Démodulation d'amplitude

## Révision 1ère année :

- TP : modulation - démodulation
- Propagation d'un signal
- Les battements
- + Formules trigonométriques

## I - Transmission d'un signal codant une information variant dans le temps

### 1 - Modulations

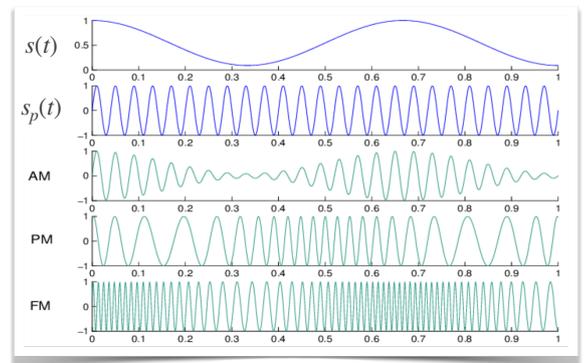
Soit  $s(t)$  un signal que l'on désire transporter, comme la voix humaine, de la musique, etc ... sur des antennes radio donc sous forme électromagnétique. Il y a beaucoup de contraintes sur la qualité de sa transmission : atténuation, absorption, diffraction qui nécessitent d'utiliser une onde support dite « porteuse » car elle porte le signal et permet de préserver son information lors de sa propagation.

Soit  $s_p(t)$  cette onde porteuse :

$$s_p(t) = A_p \cos(\omega_p t + \varphi_p)$$

On peut jouer sur les 3 paramètres de la porteuse :

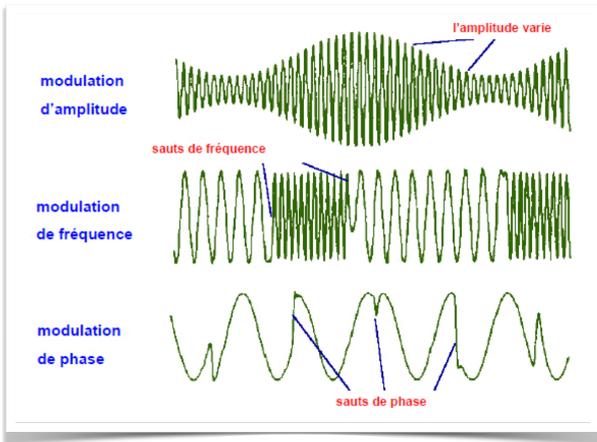
- **AM** Amplitude Modulation  
On fait varier l'amplitude du signal
- **FM** Frequency Modulation  
On fait varier sa fréquence
- **PM** Phase Modulation  
On fait varier sa phase



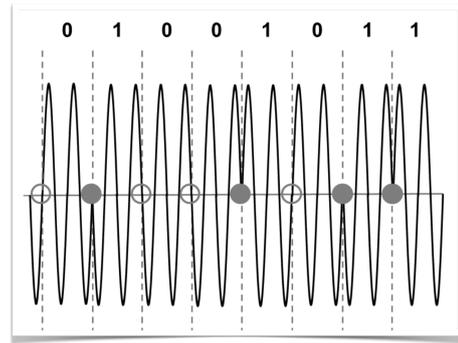
Chaque modulation offre des avantages et des inconvénients :

- La radio AM est bien plus simple à mettre en œuvre mais le signal est coupé au moindre tunnel voire un pont contrairement à la FM.
- La modulation de phase est généralement consacrée aux signaux numériques (wifi, ADSL)

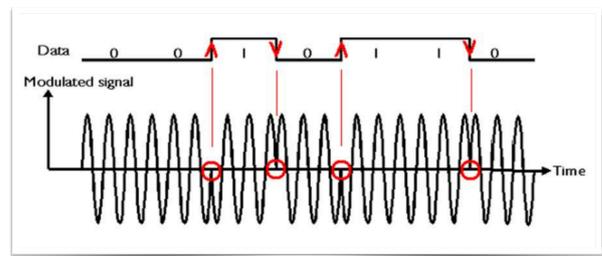
Les solutions sont multiples ...



« Phase shift » en wifi → onde radio



« Phase shift » en ADSL → fil de cuivre



## 2 - Attribution des fréquences



Désignation francophone	Fréquence	Longueur d'onde	Autres appellations	Exemples d'utilisation
UBF (ultra basse fréquence)	300 Hz à 3 000 Hz	1 000 km à 100 km		Détection de phénomènes naturels
TBF (très basse fréquence)	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	ondes myriamétriques	Communication avec les sous-marins, Implants médicaux, Recherches scientifiques...
BF (basse fréquence)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	grandes ondes ou ondes longues ou kilométriques	Radioamateur, Radionavigation, Radiodiffusion GO, Radio-identification
MF (moyenne fréquence)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	petites ondes ou ondes moyennes ou hectométriques	Radioamateur, Radiodiffusion PO, Service maritime, Appareil de recherche de victimes d'avalanche
HF (haute fréquence)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	ondes courtes ou décamétriques	Organisations diverses, Militaire, Radiodiffusion OC, Maritime, Aéronautique, Radioamateur, Météo, Radio de catastrophe, etc.
THF (très haute fréquence)	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	ondes ultra-courtes ou métriques	Radiodiffusion FM, Radiodiffusion RNT, Aéronautique, Maritime, Radioamateur, Gendarmerie nationale française, Pompiers, SAMU, Réseaux privés, taxis, militaire, Météo, etc.
UHF (ultra haute fréquence)	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	ondes décimétriques	Réseaux privés, militaire, GSM, GPS, téléphones sans fil (DECT), Téléphonie mobile, Wi-Fi, Télévision, Radioamateur, etc.
SHF (super haute fréquence)	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	ondes centimétriques	Réseaux privés, Wi-Fi, Téléphonie mobile, Micro-onde, Radiodiffusion par satellite (TV), Faisceau hertzien, Radar météorologique, Radioamateur, etc.
EHF (extrêmement haute fréquence)	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	ondes millimétriques	Réseaux privés, Téléphonie mobile, Radars anticollision pour automobiles, Liaisons vidéo transportables, Faisceau hertzien, Radioamateur, etc.

Les fréquences des porteuses sont attribuées de façon légale pour ne pas brouiller les signaux.

A chaque usage correspond une plage de fréquences réservée.

### Exemple :

La radiodiffusion FM se situe dans la gamme des moyennes fréquences MF.

A chaque station de radio sera associée :

- Sa fréquence de porteuse (107.7).
- une plage de +/- 20 kHz autour pour le son.

Rq : En réalité bcp. moins.

## II - Modulation d'amplitude

Soit  $s(t)$  le signal d'intérêt et  $s_p(t)$  la porteuse, on construit le signal par modulation d'amplitude :  
 ou généralement  $k = 0.1V^{-1}$  est un coefficient de multiplication

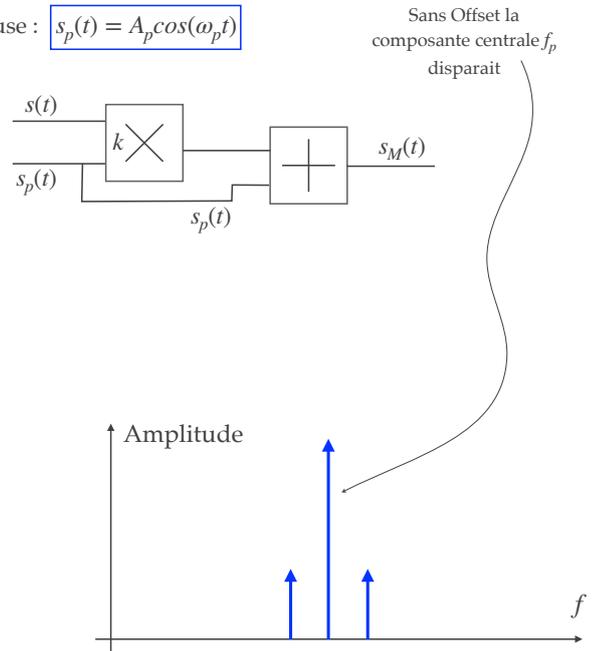
$$s_M(t) = [1 + ks(t)] s_p(t)$$

Offset => récupération de la porteuse

### 1 - Modulation AM harmonique

Soient un signal harmonique (1 seule fréquence) :  $s(t) = A_s \cos(\omega_s t)$  et la porteuse :  $s_p(t) = A_p \cos(\omega_p t)$

Calculer le signal modulé en amplitude :



On obtient 3 fréquences distinctes :

En effet l'opération de multiplication étant Non Linéaire (NL)

Il y a eu **enrichissement spectral** !

## 2 - Modulation AM d'un signal quelconque

On suppose ici que la fréquence du signal d'intérêt varie sur la plage 20 Hz - 20 kHz. On obtient ainsi 2 distributions de fréquences symétriques, à gauche et à droite de la fréquence de la porteuse.

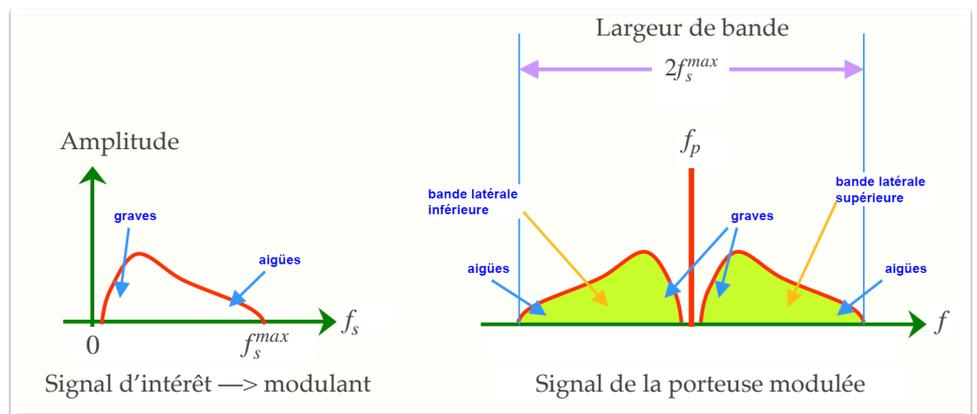
Le non-brouillage des stations radios impose donc une **largeur de bande** de ~ 40 kHz avec la porteuse au centre.

Toutes ces fréquences étant du même ODG que celle de la porteuse, elles sont inaudibles intrinsèquement.

La **démodulation** va permettre de ramener et d'isoler la plage de fréquence complète dans la gamme audible 20 Hz - 20 kHz.

Toutefois pour des raisons de place la plage est réduite à moins de 5 kHz ce qui réduit la qualité du son.

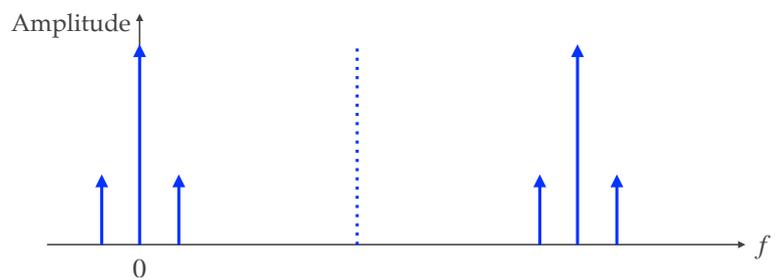
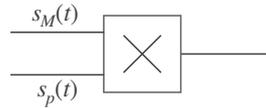
Q° : A partir des données du cours :  
 combien peut-on faire de stations  
 radio FM ?



### III - Démodulation synchrone

Il s'agit de **répéter l'opération de multiplication par la porteuse**. Une difficulté technique peut toutefois être de récupérer cette porteuse. C'est pourquoi l'offset ajouté au signal  $s(t)$  permet d'avoir la porteuse elle-même au sein du signal modulé (pic central). On isole cette dernière en phase avec un passe bande centré sur  $f_p$  pour la re-multiplier avec  $s(t)$ .

On récupère ainsi le signal d'origine une composante continue et des signaux de plus hautes fréquences. On isole le signal avec un passe bande sélectionnant les fréquences audibles.



A nouveau, la multiplication de signaux étant NL, elle produit un enrichissement spectral, mais le signal ainsi obtenu serait inexploitable. On isole le signal d'intérêt dans la plage sonore à l'aide d'un passe bande.

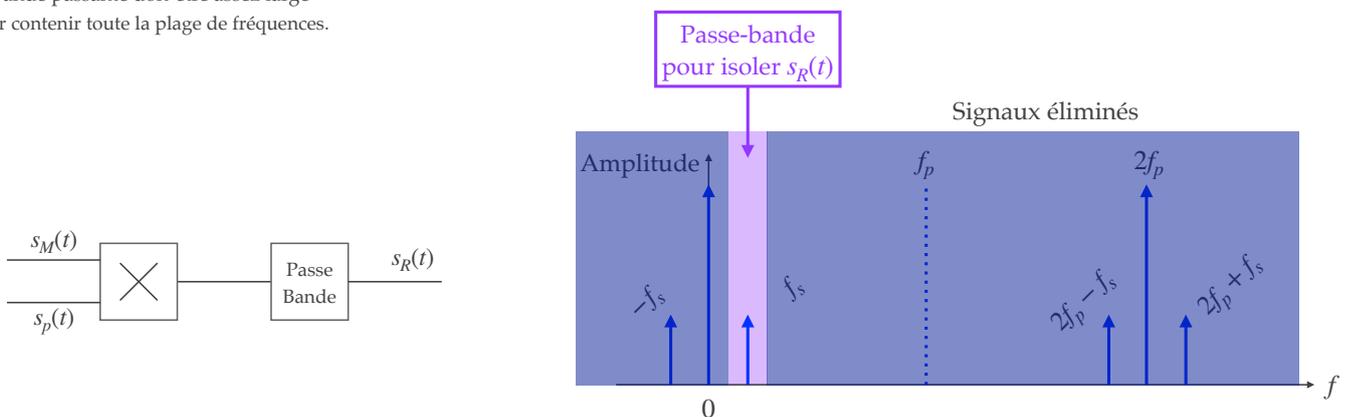
**Plus précisément :**

- sans l'offset initial un Passe Bas suffit car il n'y aura pas de composante continue.
- avec l'offset initial il faut de plus couper cette composante continue => Passe Bande.

Le signal reçu  $s_R(t)$  sera conforme au signal d'intérêt initial :  $S_R(t) \propto S(t)$  à quelques différences près :

- $S_R(t)$  est limité par la bande passante du filtre passe bande
- Certaines de ses composantes peuvent être altérées [effet de bord du passe bande, repli de spectre (échantillonnage)]

Rq : La bande passante doit-être assez large pour contenir toute la plage de fréquences.



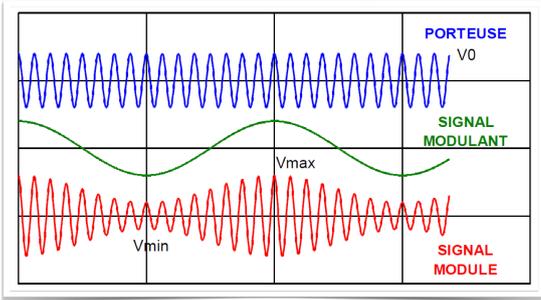
## Formes des signaux :

La forme des signaux nous informe peu quant à la **démodulation synchrone** qui fonctionnera toujours avec le filtre adapté.  
La représentation spectrale est plus pertinente dans ce cas.

En revanche d'autres techniques comme la **détection d'enveloppe**, (cf détecteur de crêtes) reposent entièrement sur l'allure de l'enveloppe du signal modulé.

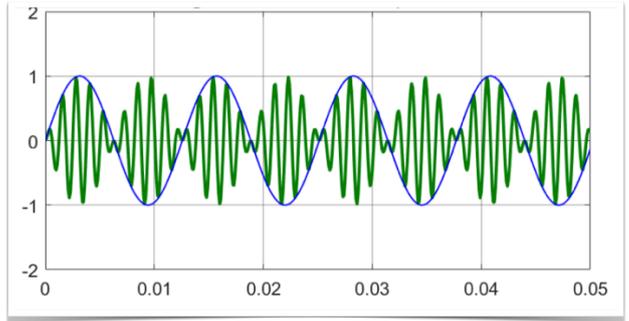
La détection d'enveloppe nécessite une porteuse mais avec  $m < 1$

Modulation  $m = 0.5$  avec porteuse

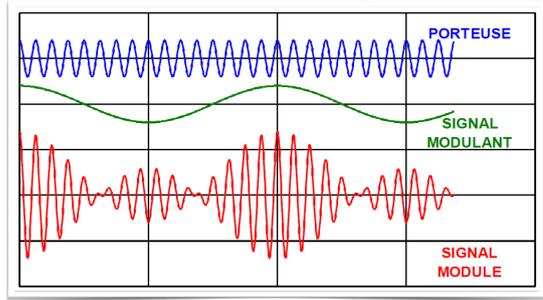


Tant que  $m < 1$  : le signal d'intérêt est obtenu en suivant l'enveloppe.

## Modulation sans porteuse : ce sont des battements



Modulation  $m = 2.5$  avec porteuse



Dans les 2 cas ci-dessus ne reconnait plus le signal dans l'enveloppe : Il y a un facteur 2 sur la fréquence  $\Rightarrow$  détection de crêtes impossible. On parle de « surmodulation »

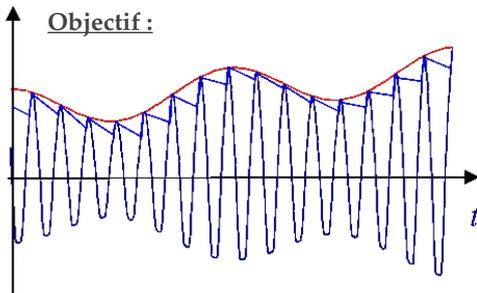
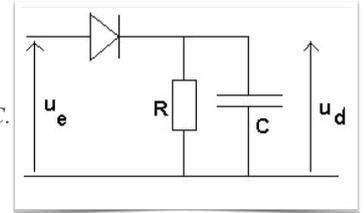
## Autre approche : le détecteur de crêtes

(Moins utilisé aujourd'hui)

L'idée est d'envoyer le signal modulé à travers une diode qui ne laisse passer que le courant associé à une tension positive (redressement) : on freine la redescende avec un filtre RC passe bas qui varie sur un temps typique  $\tau = RC$ .

On ajuste le temps RC pour suivre au mieux les variations : **détection d'enveloppe**.

On filtre ensuite éventuellement les hautes fréquences pour lisser le résultat.



- A la montée la sortie est identique à l'entrée : on charge C
- A la descente la sortie est comme « parachutée »
- C se décharge dans R sur un temps  $\tau$ .

Tout le PB est de réussir à ajuster  $\tau$  pour toutes les formes d'enveloppe. Ce n'est pas facile.

Les bons détecteurs de crêtes sont améliorés avec des AOs.

