

J.COURTIN

PSI — LYCÉE V.HUGO

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

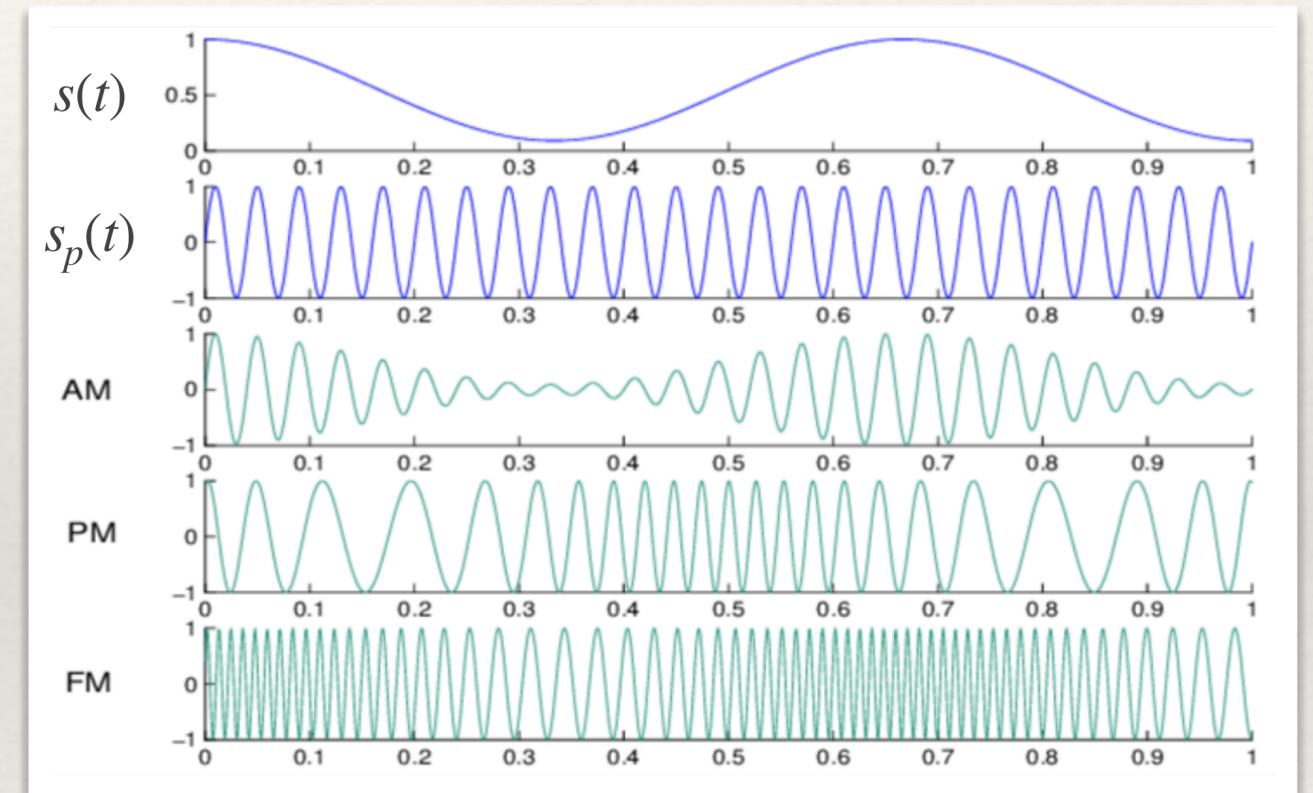
Soit $s(t)$ un signal que l'on désire transporter, comme la voix humaine, de la musique, etc ... sur des antennes radio donc sous forme électromagnétique. Il y a beaucoup de contraintes sur la qualité de sa transmission : atténuation, absorption, diffraction qui nécessitent d'utiliser une onde support 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 :

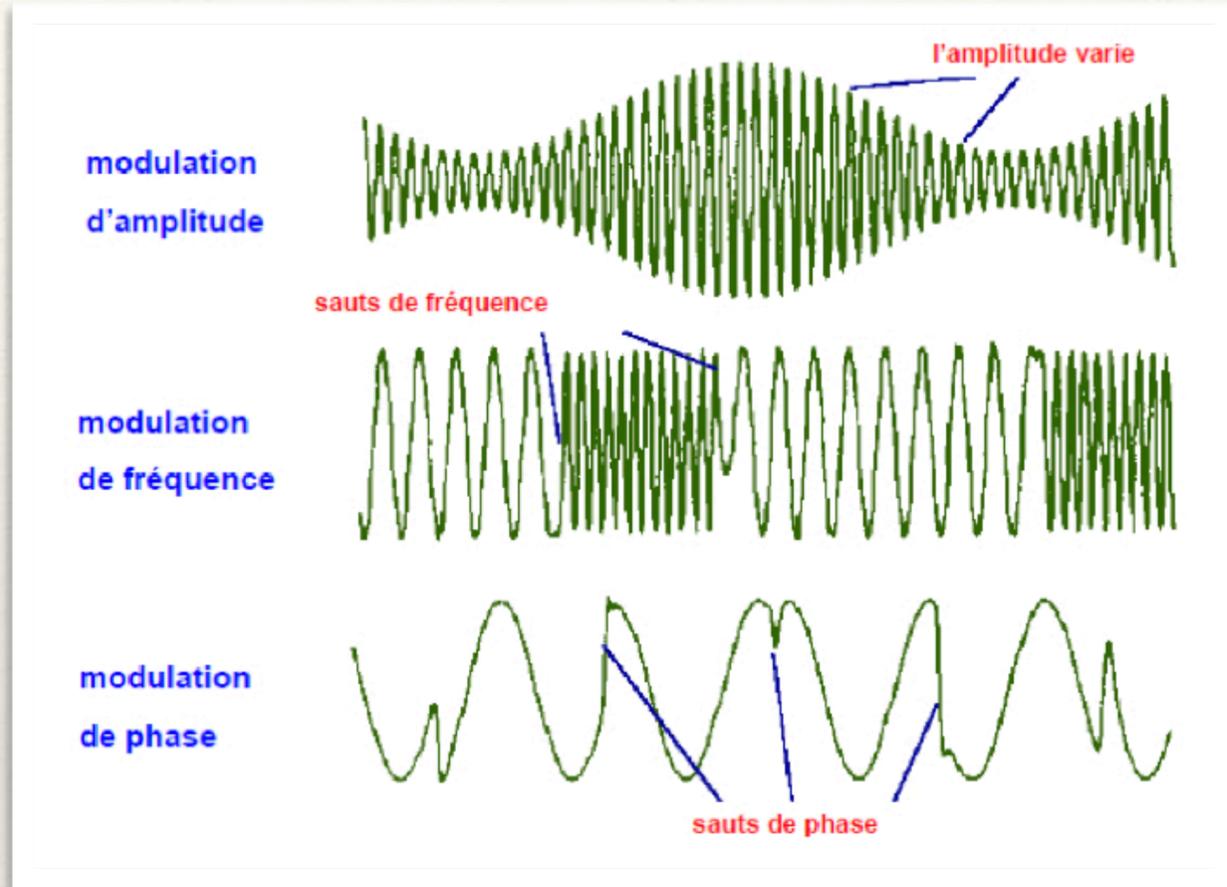
- **AM** Amplitude Modulation
On fait varier l'amplitude du signal
- **FM** Frequency Modulation
On fait varier sa fréquence
- **PM** Phase Modulation
On fait varier sa phase



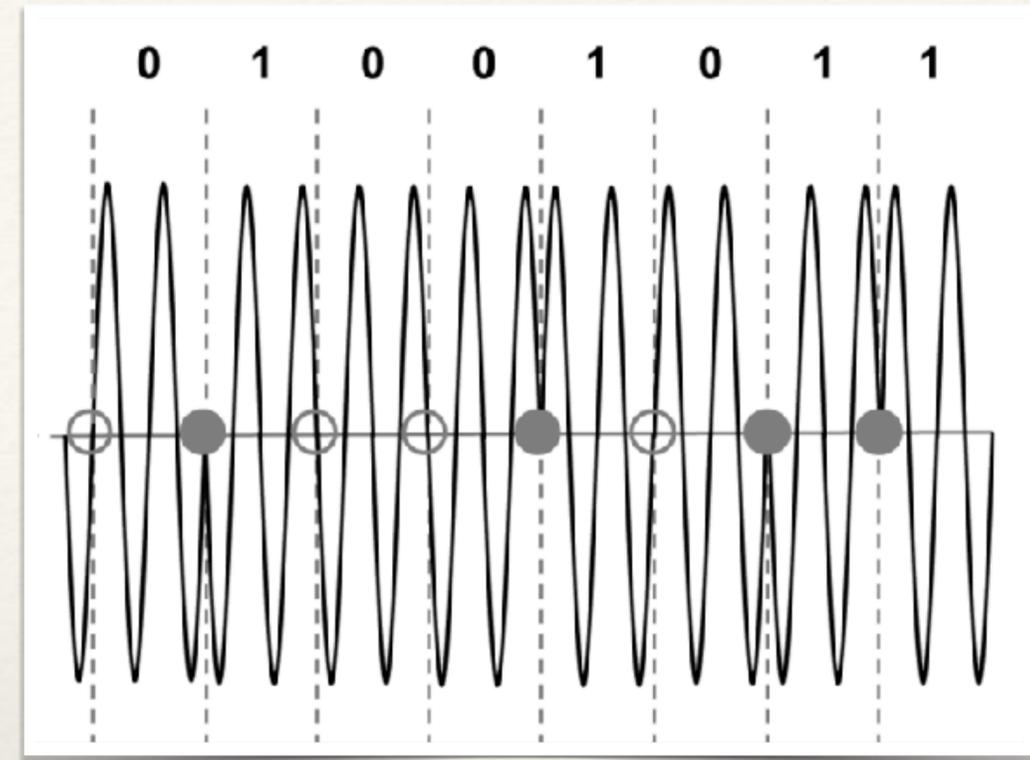
Chaque modulation offre des avantages et des inconvénients :

- 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)

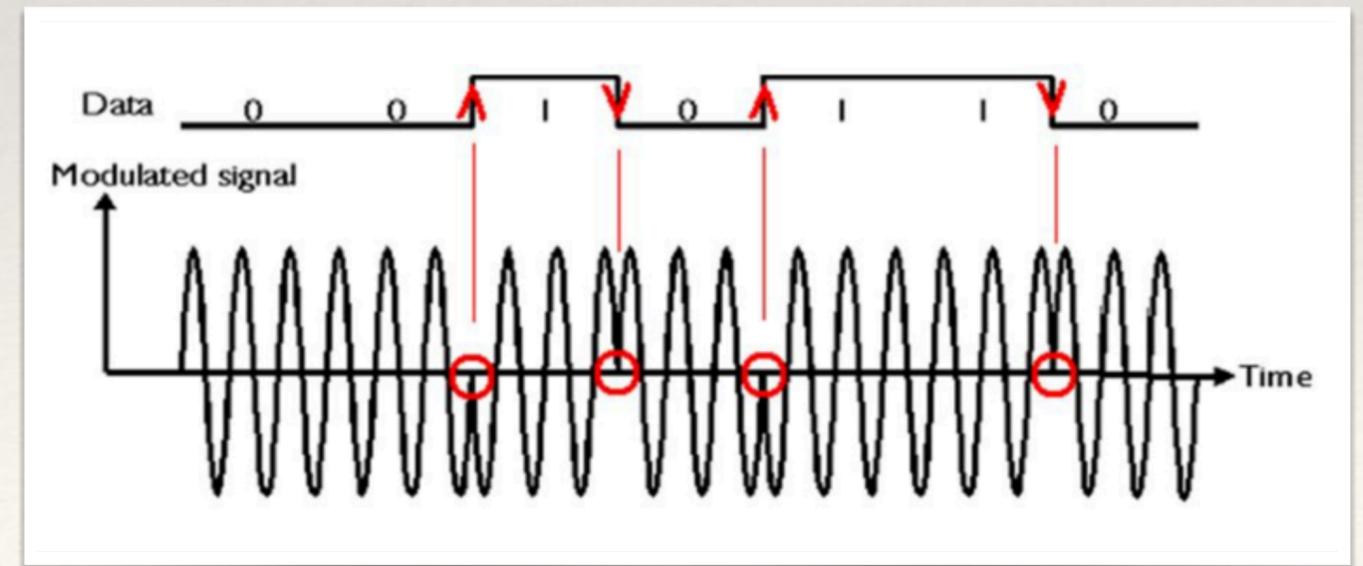
Les solutions sont multiples ...



« 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 $k = 0.1 V^{-1}$ est un coefficient de multiplication

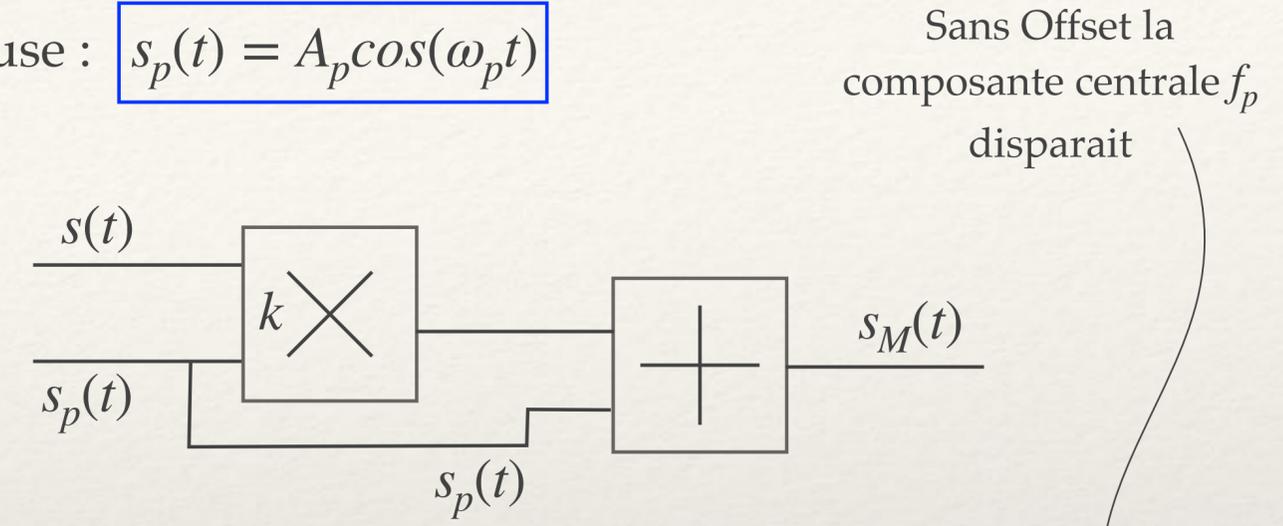
$$s_M(t) = [1 + ks(t)] s_p(t)$$

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 : $s_p(t) = A_p \cos(\omega_p t)$

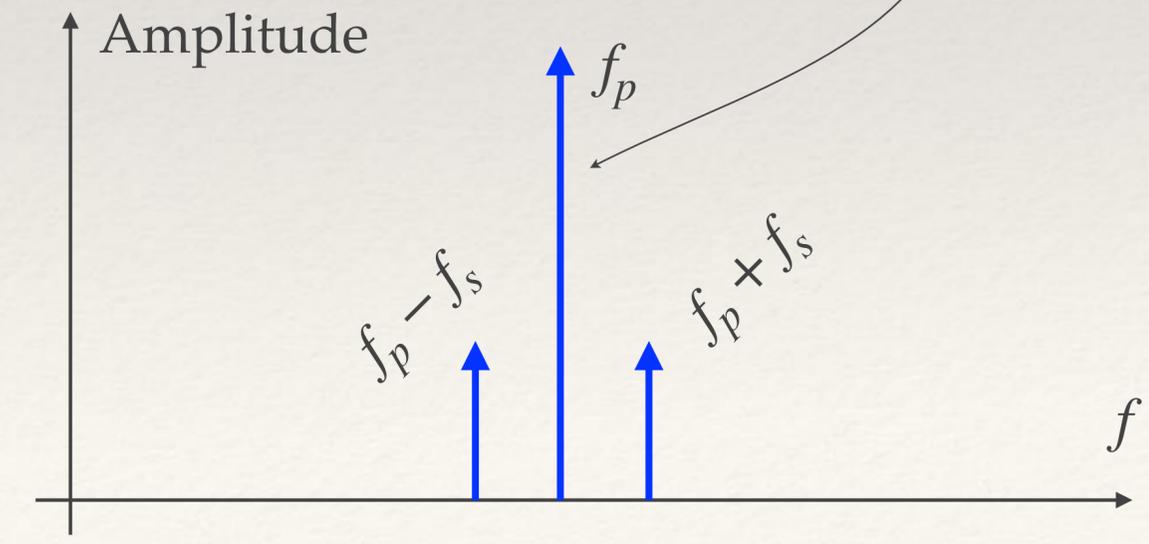
Calculer le signal modulé en amplitude :



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.

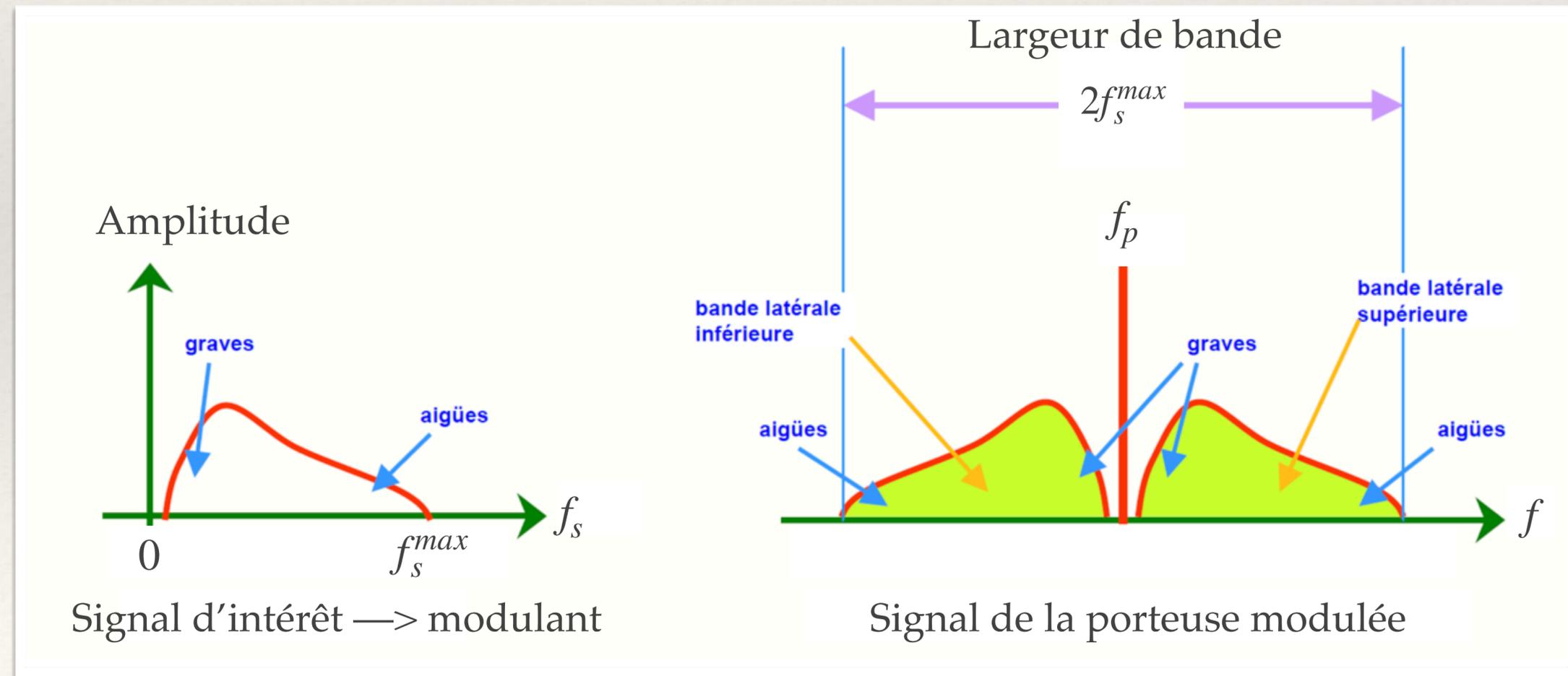
Le non-brouillage des stations radios impose donc une **largeur de bande** de ~ 40 kHz avec la porteuse au centre.

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 ?



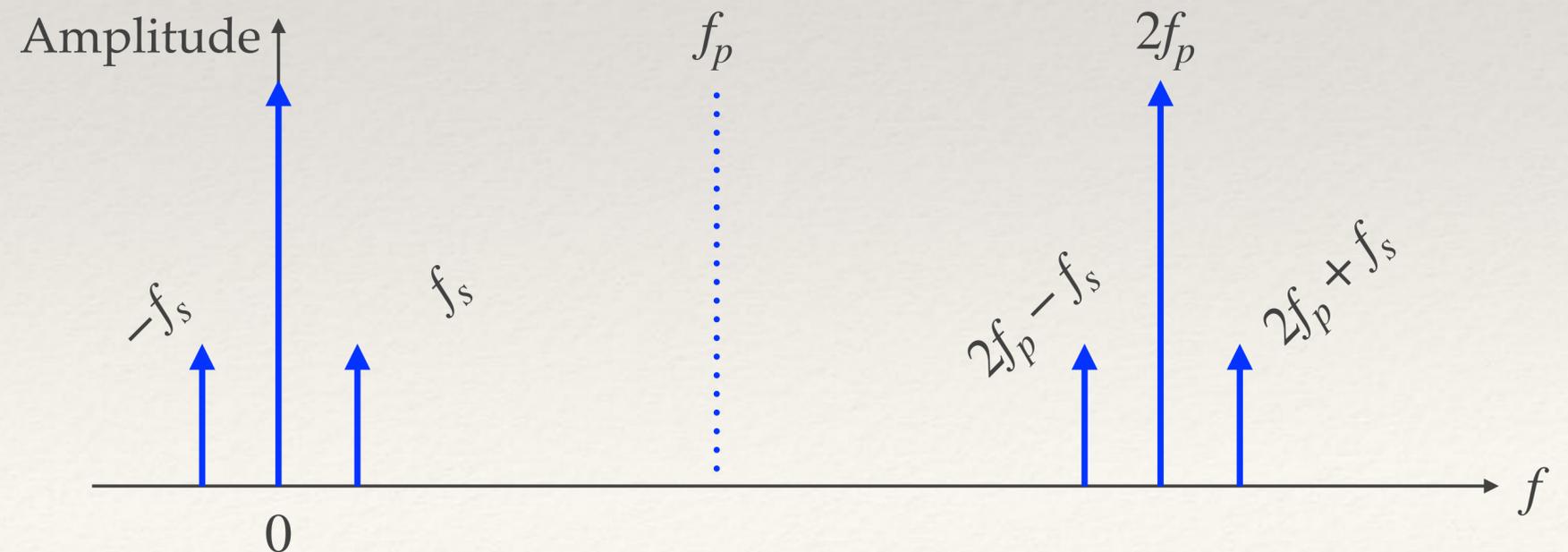
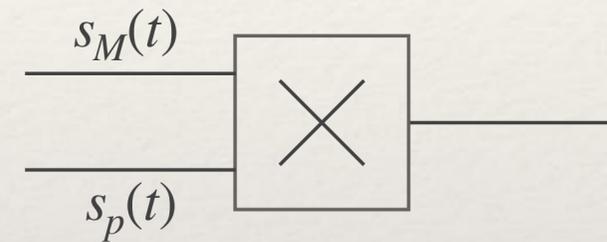
III - Démodulation synchrone

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.

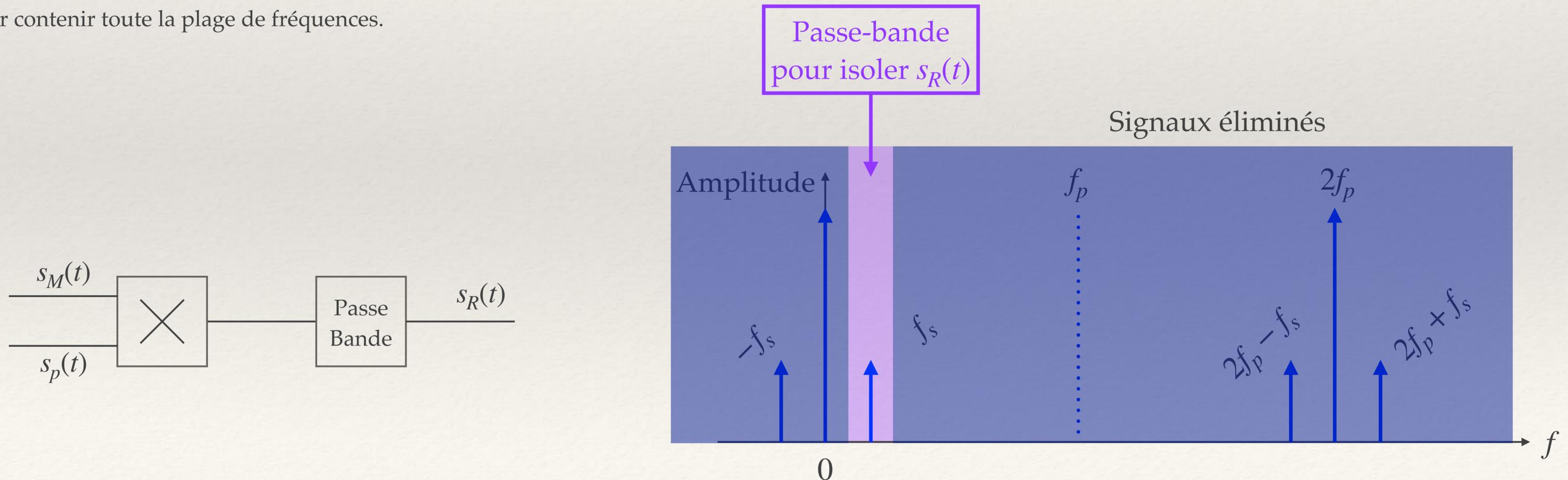
Plus précisément :

- 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.



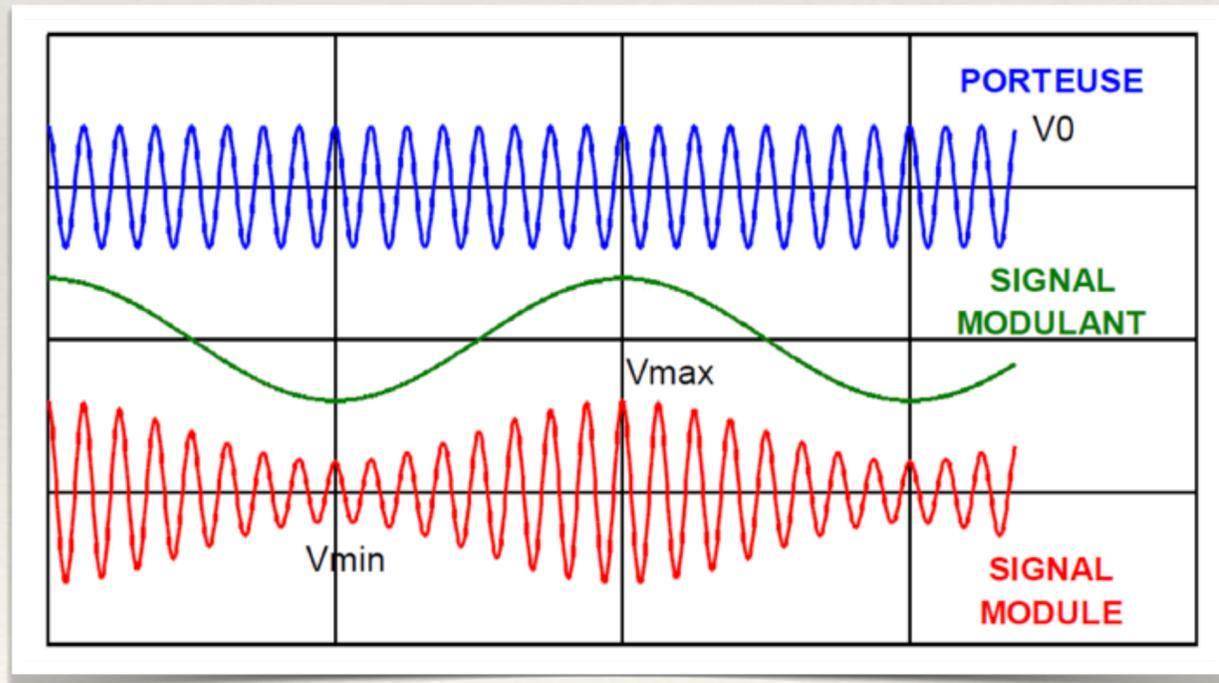
Formes des signaux :

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.

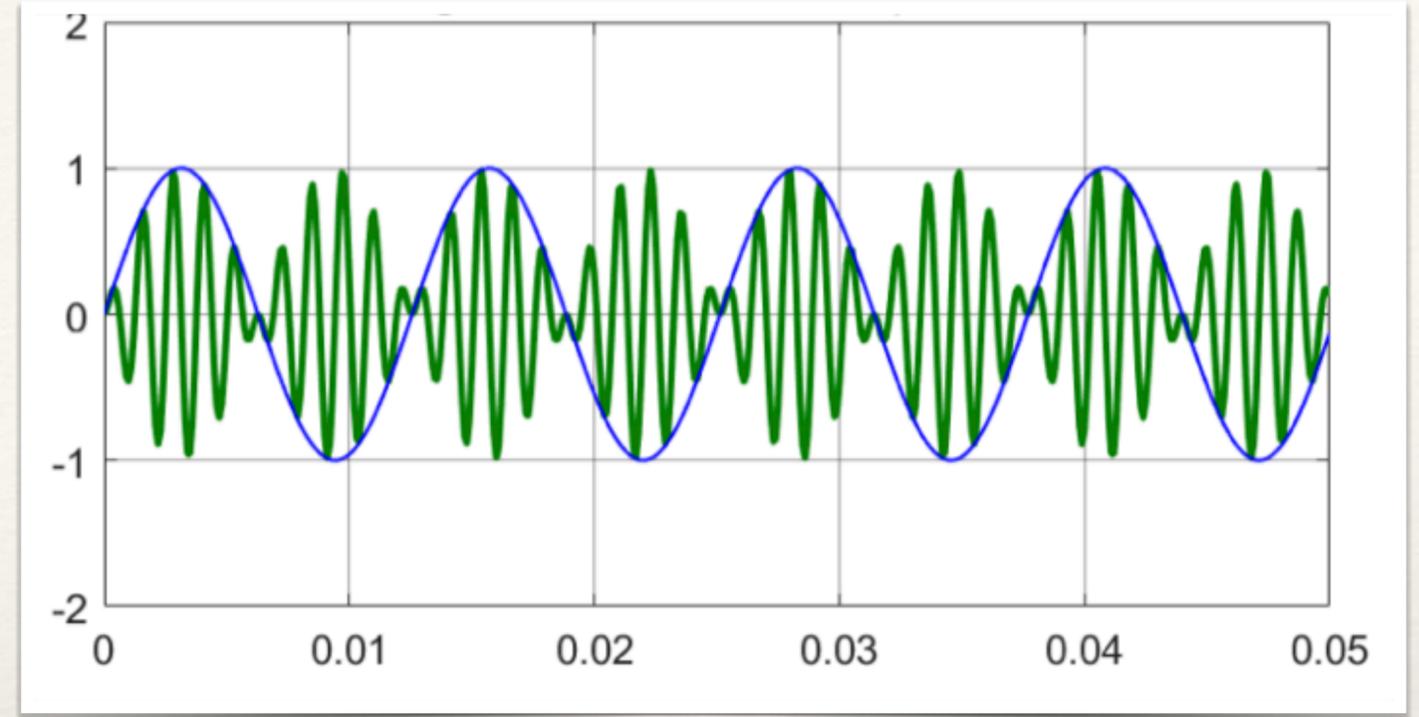
La détection d'enveloppe nécessite une porteuse mais avec $m < 1$

Modulation $m = 0.5$ avec porteuse

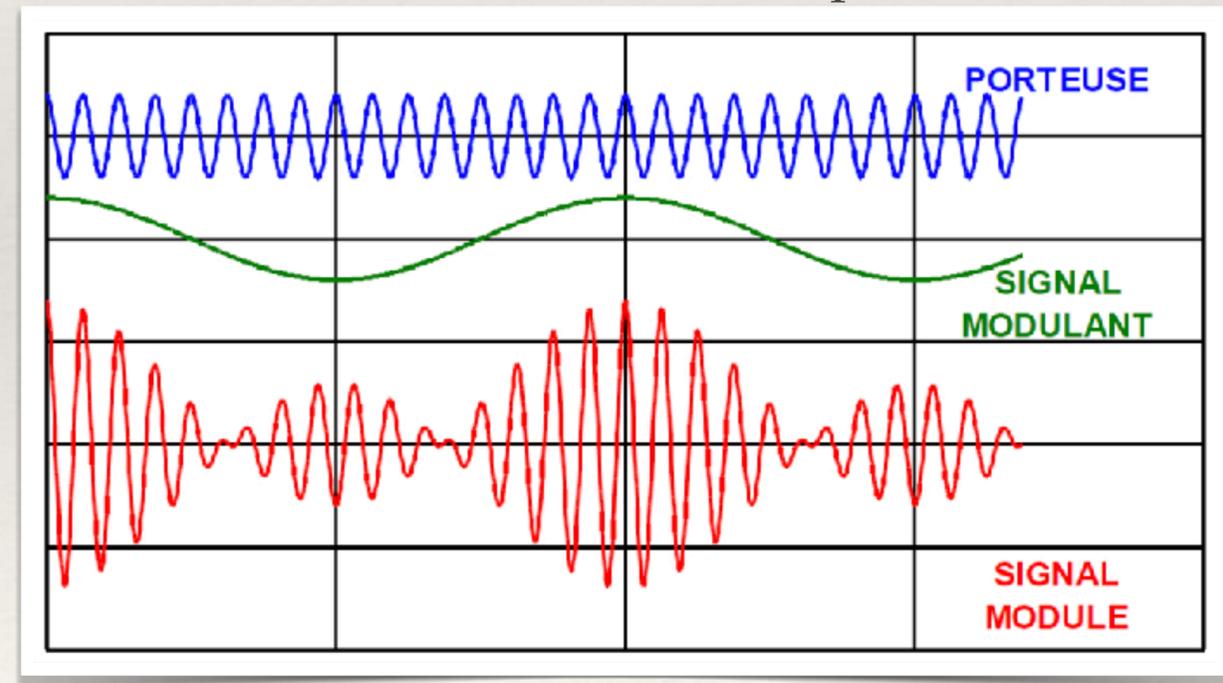


Tant que $m < 1$: le signal d'intérêt est obtenu en suivant l'enveloppe.

Modulation sans porteuse : ce sont des battements



Modulation $m = 2.5$ avec porteuse



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

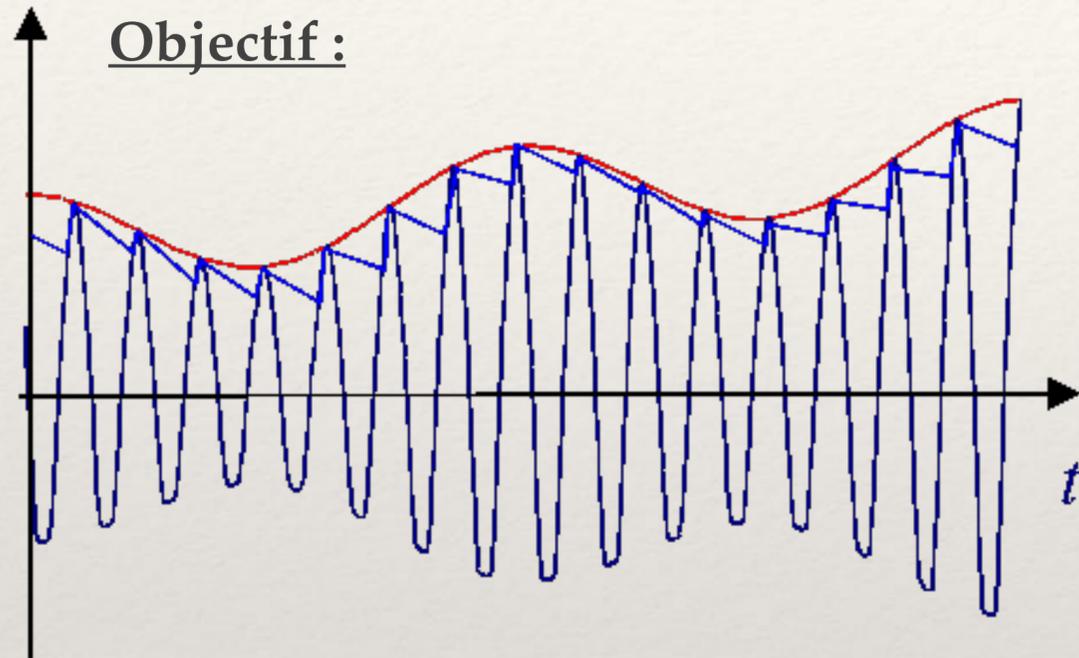
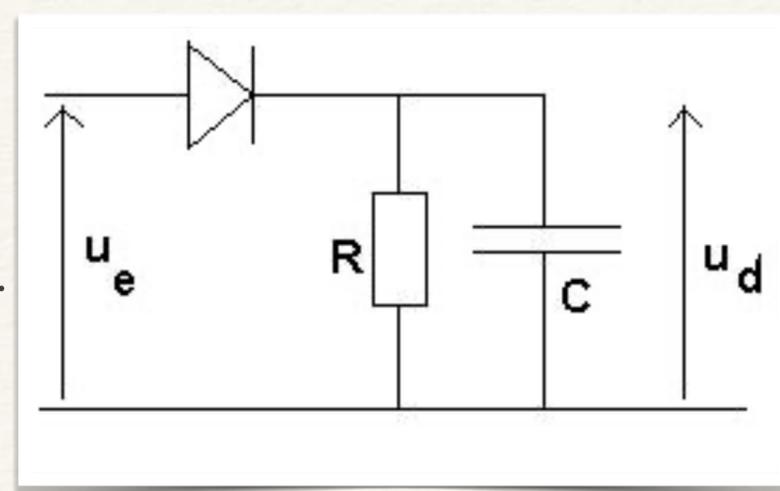
Autre approche : le détecteur de crêtes

(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 redescente 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**.

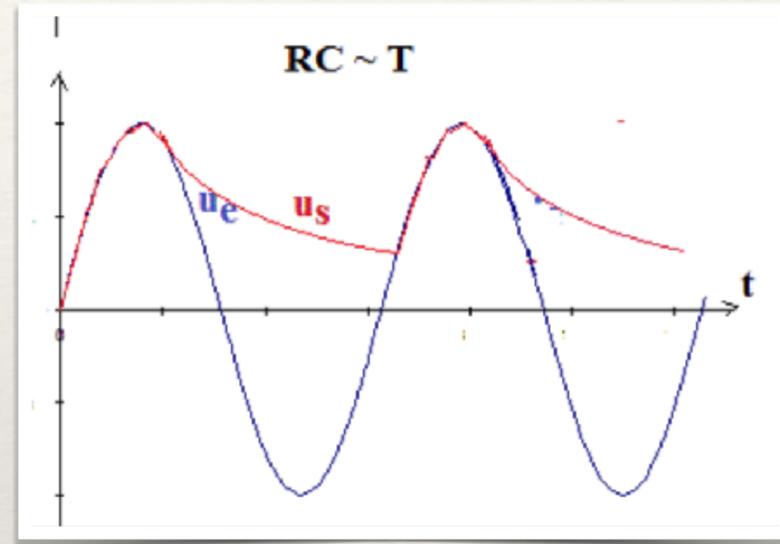
On filtre ensuite éventuellement les hautes fréquences pour lisser le résultat.



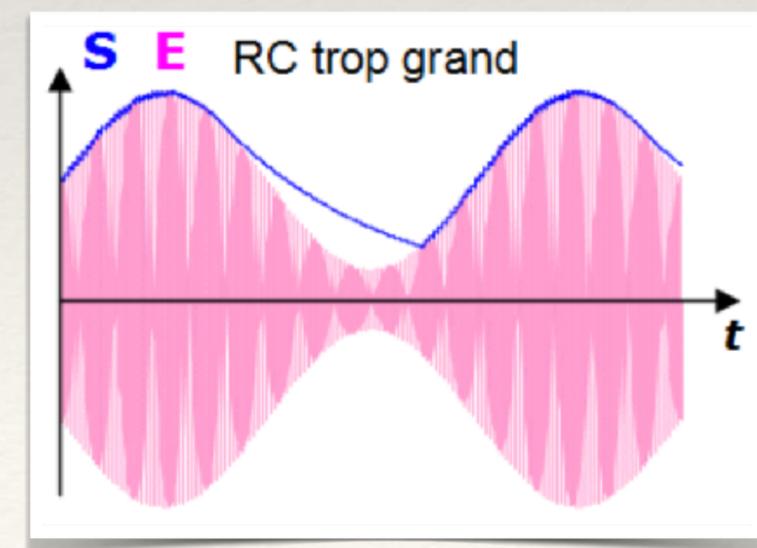
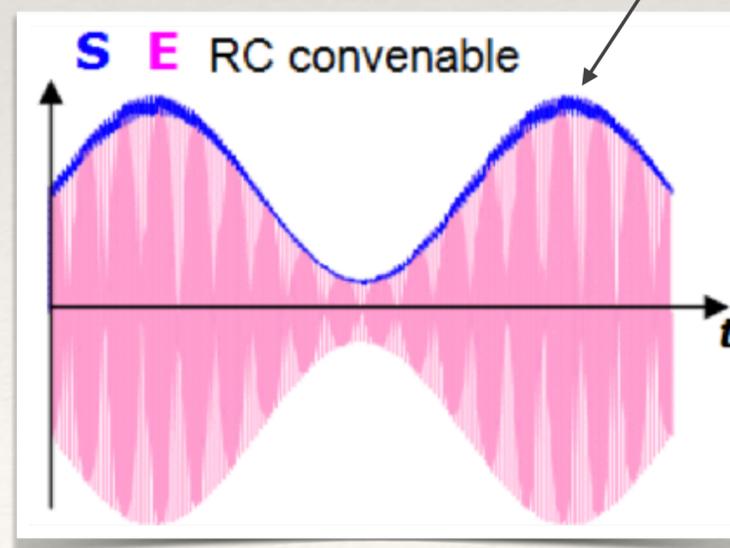
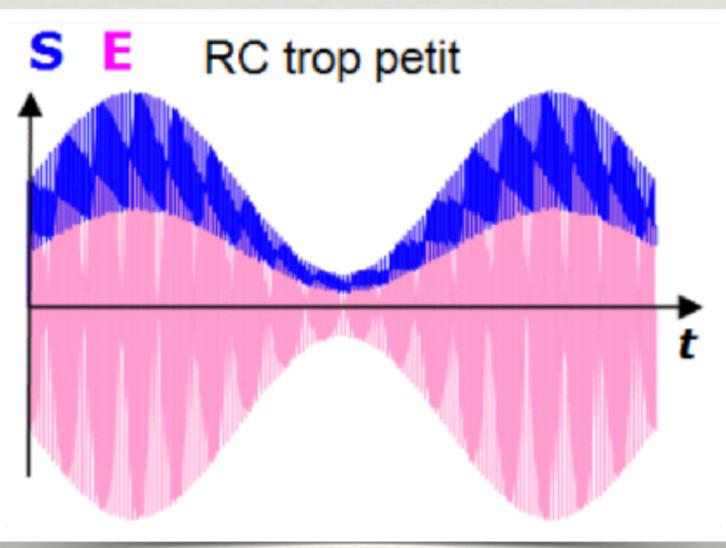
- A la montée la sortie est identique à l'entrée : **on charge C**
- A la descente la sortie est comme « parachutée »
C se décharge dans R sur un temps τ .

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

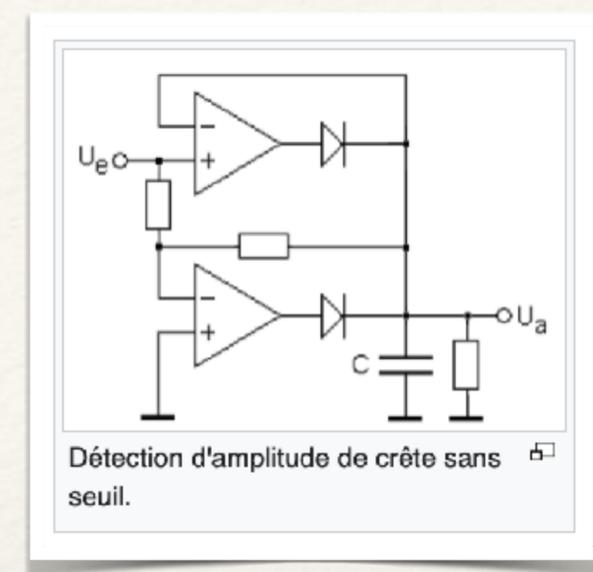
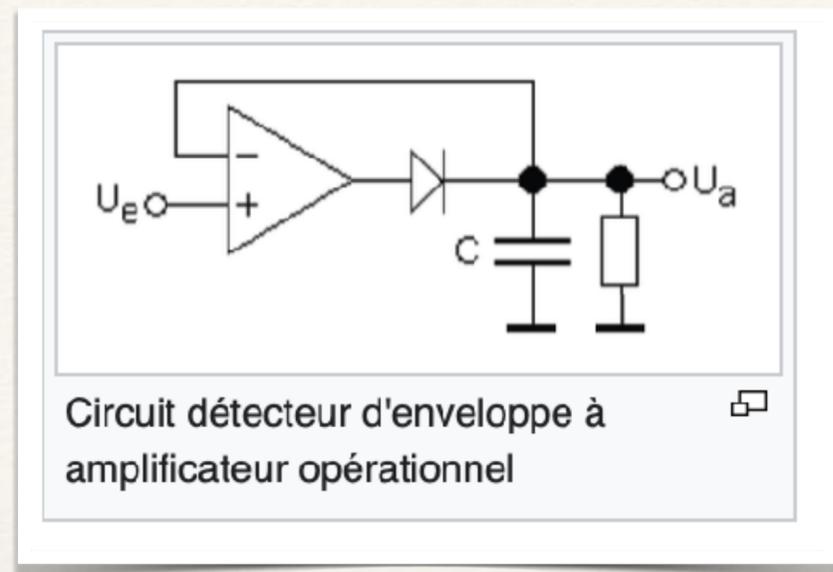
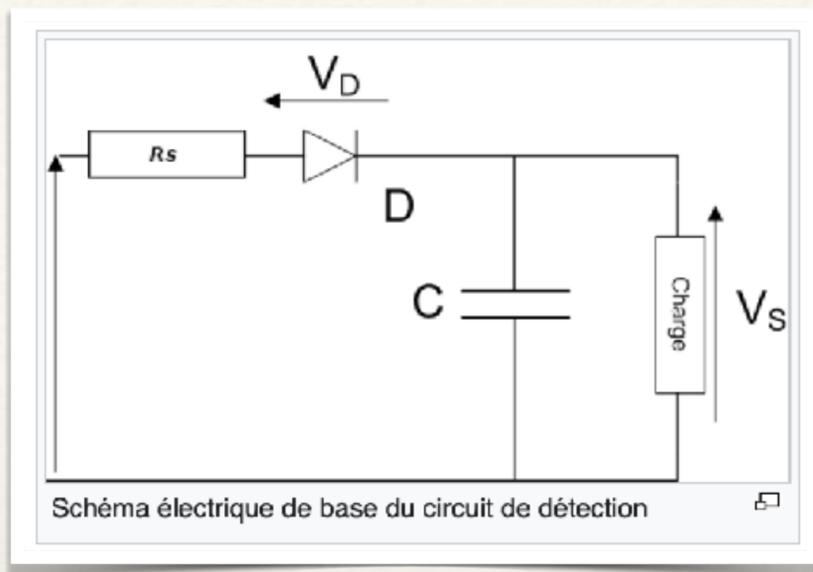
Les bons détecteurs de crêtes sont améliorés avec des AOs.



Parasites HF à filtrer



Plusieurs qualités de montage :



Détection sophistiquée

Filtrage PB-II : Sallen-Key

