

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

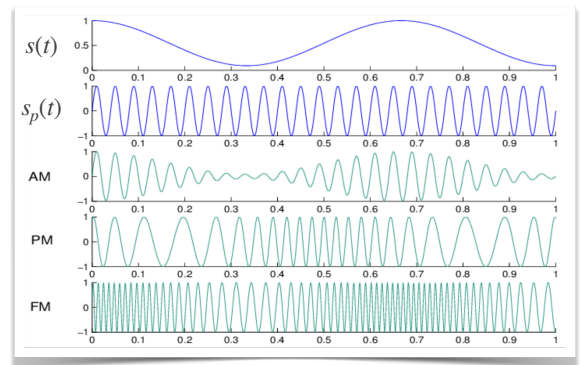
Soit $s(t)$ un signal que l'on désire transporter, comme la voix humaine, de la musique, etc ... sur des antennes radio donc sous forme électromagnétique. Il y a beaucoup de contraintes sur la qualité de sa transmission : atténuation, absorption, diffraction qui nécessitent d'utiliser une onde support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

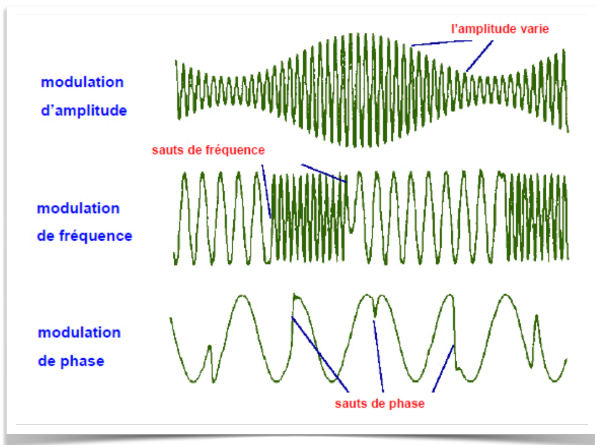
- **AM** Amplitude Modulation
On fait varier l'amplitude du signal
- **FM** Frequency Modulation
On fait varier sa fréquence
- **PM** Phase Modulation
On fait varier sa phase



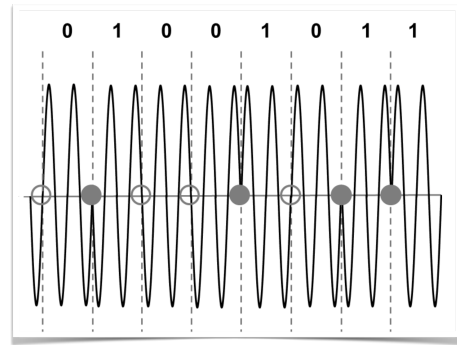
Chaque modulation offre des avantages et des inconvénients :

- 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)

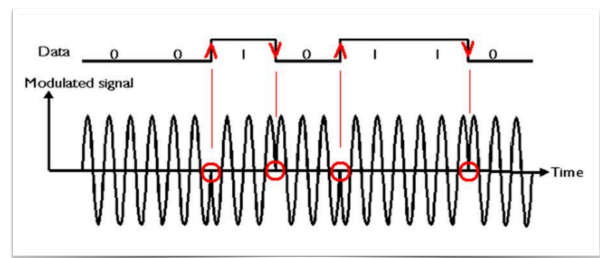
Les solutions sont multiples ...



« 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

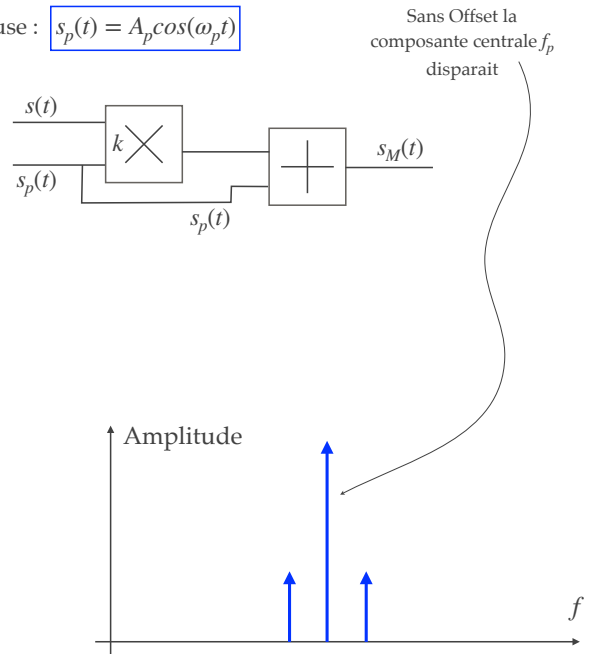
$$s_M(t) = [1 + ks(t)] s_p(t)$$

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.

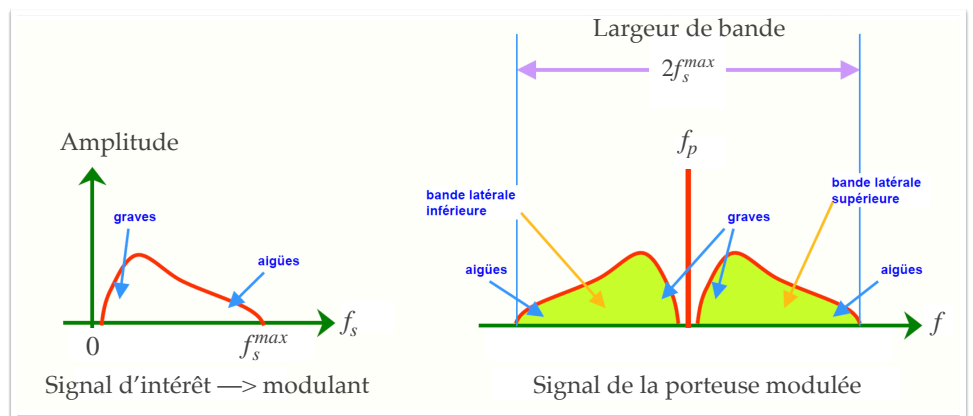
Le non-brouillage des stations radios impose donc une **largeur de bande** de ~ 40 kHz avec la porteuse au centre.

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.

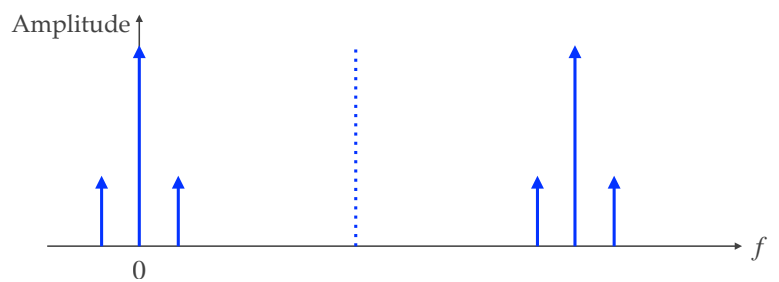
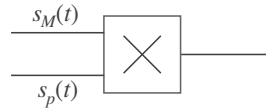
Q° : A partir des données du cours :
 combien peut-on faire de stations
 radio FM ?



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.

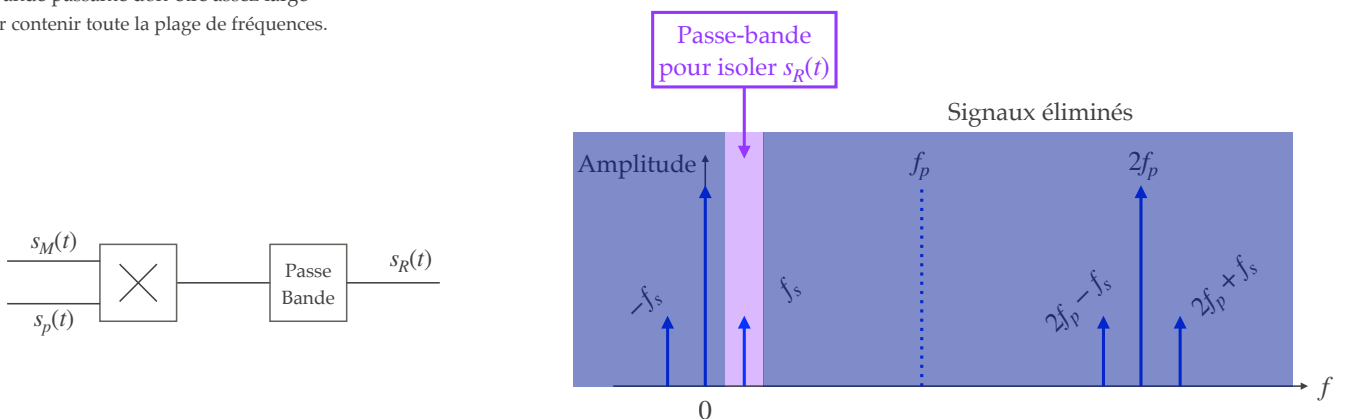
Plus précisément :

- 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.



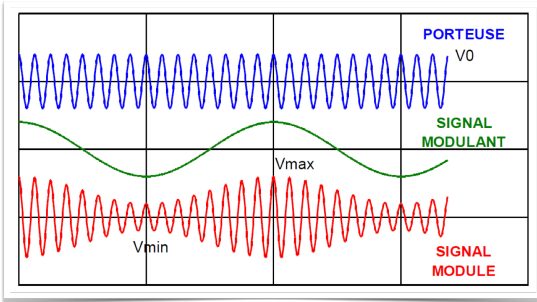
Formes des signaux :

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.

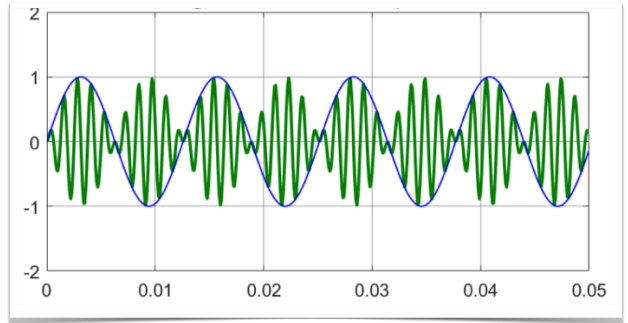
La détection d'enveloppe nécessite une porteuse mais avec $m < 1$

Modulation $m = 0.5$ avec porteuse

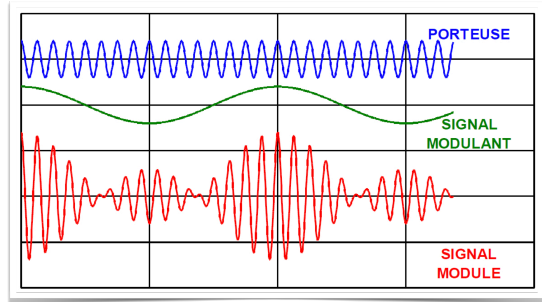


Tant que $m < 1$: le signal d'intérêt est obtenu en suivant l'enveloppe.

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** »

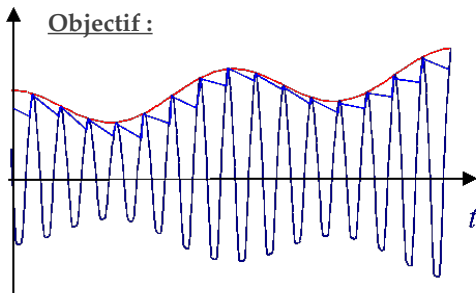
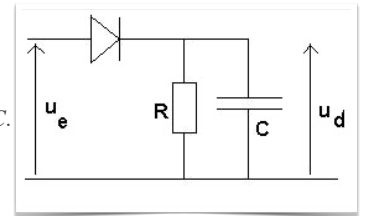
Autre approche : le détecteur de crêtes

(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**.

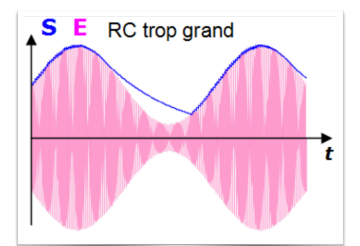
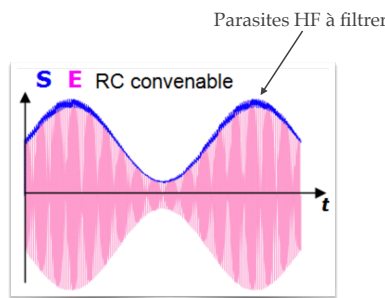
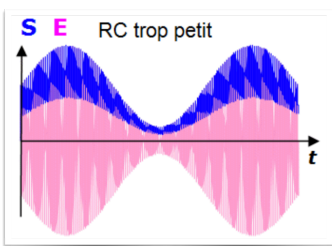
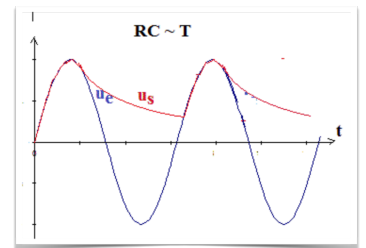
On filtre ensuite éventuellement les hautes fréquences pour lisser le résultat.



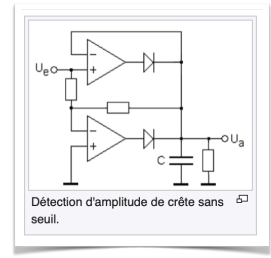
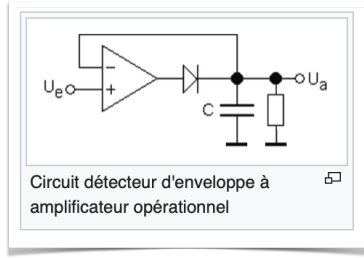
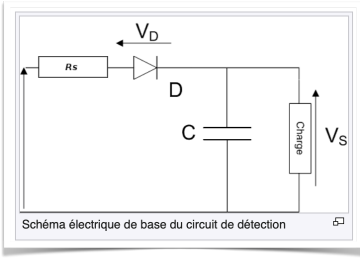
- A la montée la sortie est identique à l'entrée : on charge C
- A la descente la sortie est comme « parachutée »
- C se décharge dans R sur un temps τ .

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.



Plusieurs qualités de montage :



Détection sophistiquée

Filtrage PB-II : Sallen-Key

