

Modulation et démodulation d'amplitude.

P. Ribière

Collège Stanislas

Année Scolaire 2016/2017

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
 - Définition de la modulation.
 - Nécessité de la modulation.
 - Divers types de modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

La modulation.

La modulation est la mise en forme d'un signal électrique contenant une information afin de l'adapter au canal de transmission.

Le signal basse fréquence à transmettre qui contient l'information est appelé **le signal modulant**.

$$s(t) = s_0 \cos(\Omega.t)$$

Ce signal $s(t)$ est utilisé pour modifier une des caractéristiques d'un signal haute fréquence.

Le signal haute fréquence appelé **onde porteuse**.

$$e(t) = e_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
 - Définition de la modulation.
 - **Nécessité de la modulation.**
 - Divers types de modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

Comment expliquer que les nombreuses radio de la bande FM qui délivrent toutes des signaux électriques dont les fréquences correspondent à des ondes sonores de fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, puissent être captées séparément ?

Comment expliquer que les nombreuses radio de la bande FM qui délivrent toutes des signaux électriques dont les fréquences correspondent à des ondes sonores de fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz, puissent être captées séparément ?

Chaque station radio possède sa propre fréquence porteuse ce qui va permettre, à terme, de transmettre plusieurs signaux.

La modulation permet donc le multiplexage, la transmission de plusieurs informations de même nature simultanément sur différents canaux.

Pour avoir des antennes de taille L_0 raisonnable quelle fréquence de porteuse choisir ?

On peut résumer le comportement de l'antenne passive (qui présente un comportement linéaire) ainsi : une antenne stocke des charges (comportement capacitif = stockage sous forme d'énergie électrique), s'oppose aux variations des courants qui y circulent (comportement inductif = stockage sous forme d'énergie magnétique) et dissipe une partie de l'énergie (pertes ohmiques et par rayonnement) [Dobkin]. D'un point de vue électrique, une antenne passive peut donc être modélisée par un circuit équivalent RLC (Fig. 13, valable pour une antenne dipôle) et l'impédance Z_{in} vue à l'entrée de l'antenne est donnée par l'équation 34. A noter que les valeurs du modèle ne sont valides que sur des bandes étroites.

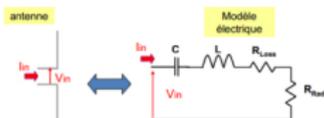


Figure 13 – Modèle d'impédance complexe d'une antenne

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = R_{in} + jX_{in} \quad \text{Équation 34}$$

Partie active : $R_{in} = R_{rad} + R_{loss}$

Partie réactive : $X_{in} = iL\omega + \frac{1}{iC\omega}$

Résistance de rayonnement (pointant vers R_{rad})

Résistance de pertes (pointant vers R_{loss})

Par exemple, prenons le cas d'une antenne dipôle. L'inductance et la capacité sont liées à la longueur de l'antenne. En basse fréquence, l'inductance est négligeable et l'antenne se contente de stocker des charges. Lorsque la fréquence augmente, l'effet de la capacité diminue alors que celui de l'inductance s'accroît et une partie de l'énergie est stockée sous forme d'énergie magnétique. A une fréquence particulière appelée fréquence de résonance, l'inductance et la capacité sont égales en magnitude et leurs effets s'annulent. L'antenne est alors équivalente à une résistance pure. Si les pertes ohmiques sont négligeables, la puissance fournie à l'antenne est alors entièrement rayonnée. Sa capacité à rayonner est alors liée à la résistance de rayonnement.

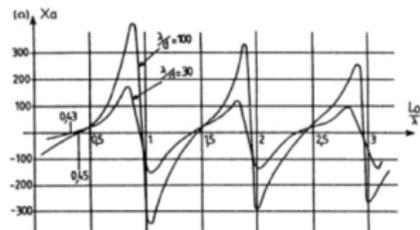
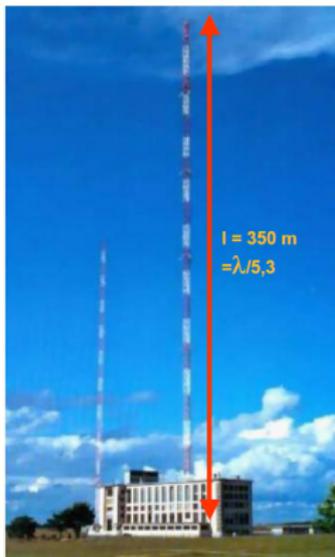


FIGURE – Etude de la réactance selon le rapport taille antenne/ longueur d'onde $\frac{L_0}{\lambda}$.

FIGURE – Modélisation d'une antenne (émettrice) dipôle.

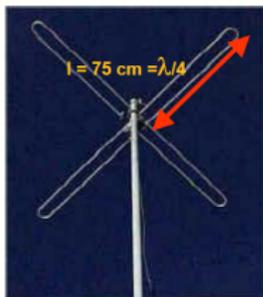
Pour avoir des antennes de taille L_0 raisonnable quelle fréquence de porteuse choisir ?

$$L_0 \simeq \frac{\lambda_0}{4} \simeq 1\text{m} \text{ soit } f \simeq 10^8 \text{ Hz}$$



Le centre GO d'Allouis utilise deux antennes pylônes de 350m de haut diffusant les programmes de France Inter à 162 kHz ($\lambda = 1852$ m).

antennes bande FM : 88 à 108 MHz et $\lambda \approx 3\text{m}$



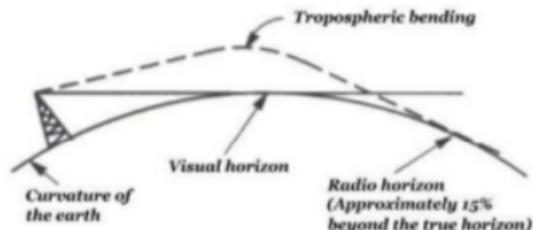
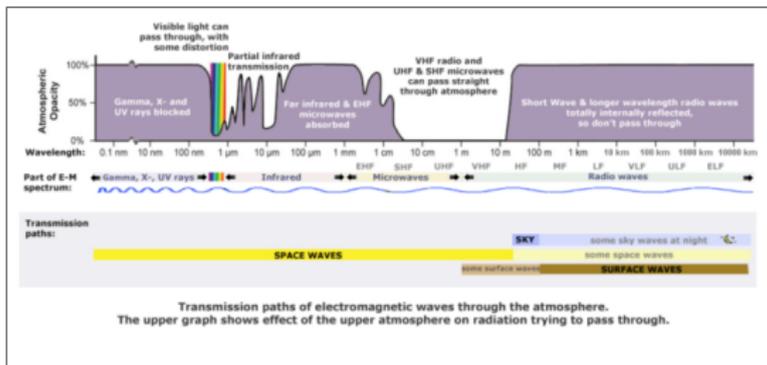
Antenne TV-UHF : 400 à 800 MHz et $\lambda \approx 50$ cm



Ce mobile GSM qui tient dans la main contient 3 antennes différentes :

- bande GSM autour de 900 MHz
- bande DCS autour de 1,8 GHz
- bande Bluetooth autour de 2,45 GHz

Quelle gamme de fréquence utilisée selon l'utilisation ?



Quel est le meilleur compromis pour l'utilisation...

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
 - Définition de la modulation.
 - Nécessité de la modulation.
 - Divers types de modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

Dans la porteuse $e(t) = e_0 \cos(\omega t + \varphi)$, trois paramètres peuvent être modifiés :

- 1 l'amplitude e_0 : modulation d'amplitude
- 2 la fréquence ω : modulation de fréquence
- 3 la phase φ : modulation de phase

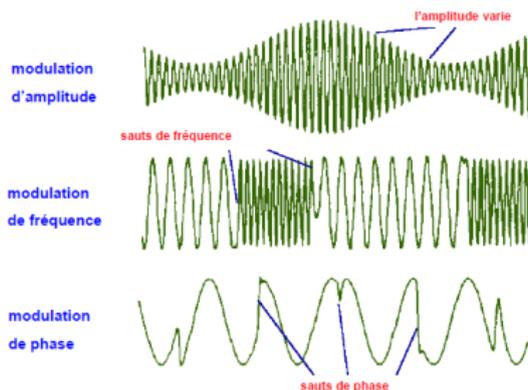


FIGURE – Les diverses modulations possibles de la porteuse.

Dans la suite, nous nous restreindrons à la modulation d'amplitude.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
 - Le multiplieur.
 - Analyse fréquentielle des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

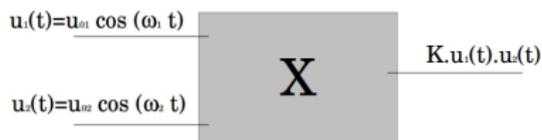


FIGURE – Le multiplieur.

Avec en entrée $u_1(t) = u_{01} \cos(\omega_1 t)$ et $u_2(t) = u_{02} \cos(\omega_2 t)$, on obtient en sortie :

$$v(t) = K.u_1(t).u_2(t)$$

$$v(t) = K.\frac{u_{01}u_{02}}{2}[\cos((\omega_1 + \omega_2).t) + \cos((\omega_1 - \omega_2).t)]$$

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
 - Le multiplieur.
 - Analyse fréquentielle des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

Avec en entrée $u_1(t) = u_{01} \cos(\omega_1 t)$ et $u_2(t) = u_{02} \cos(\omega_2 t)$, on obtient en sortie :

$$v(t) = K \cdot \frac{u_{01} u_{02}}{2} [\cos((\omega_1 + \omega_2) \cdot t) + \cos((\omega_1 - \omega_2) \cdot t)]$$

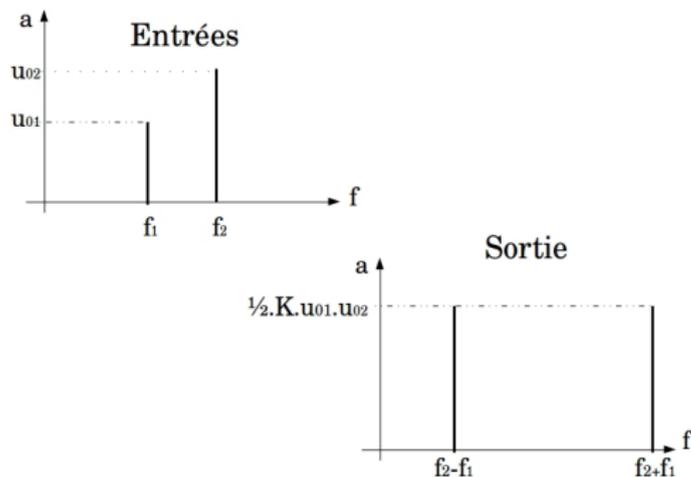


FIGURE – Analyse fréquentielle des signaux en entrées et sortie du multiplieur.

la multiplication est une opération non linéaire, elle modifie le spectre de Fourier.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 **Modulation d'amplitude.**
 - **Principe de la modulation.**
 - Influence du taux de modulation m .
 - Etude d'un signal réel.
 - Analyse fréquentielle du signal modulé.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

Sur la première entrée du multiplieur,

$$e(t) = e_0 \cos(\Omega t)$$

Sur la seconde entrée du multiplieur,

$$S_0 + s(t) = S_0 + s_0 \cos(\Omega.t)$$

D'où en sortie du multiplieur :

$$u(t) = K.(S_0 + s(t))e(t) = A(1 + m. \cos(\Omega.t)) \cos(\omega.t)$$

L'information sert d'enveloppe à la porteuse.
 m est appelé taux (ou indice) de modulation.

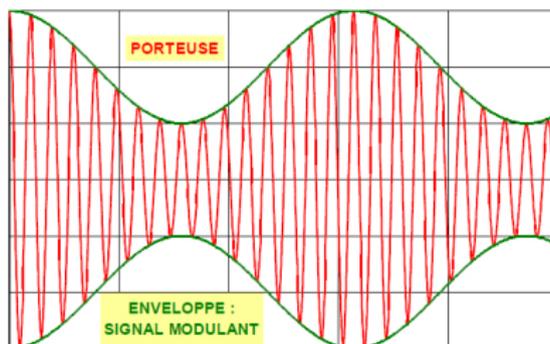


FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle).

Sur la première entrée du multiplieur,

$$e(t) = e_0 \cos(\Omega t)$$

Sur la seconde entrée du multiplieur,

$$S_0 + s(t) = S_0 + s_0 \cos(\Omega.t)$$

D'où en sortie du multiplieur :

$$u(t) = K.(S_0 + s(t))e(t) = A(1 + m. \cos(\Omega.t)) \cos(\omega.t)$$

L'information sert d'enveloppe à la porteuse.

m est appelé taux (ou indice) de modulation.

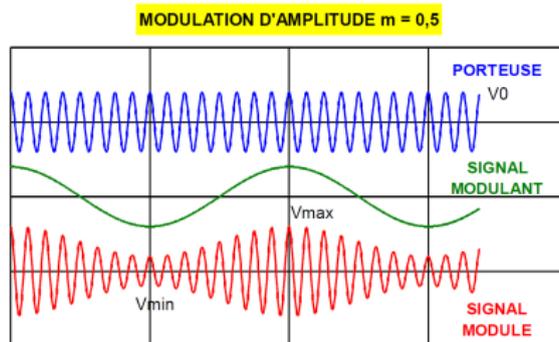


FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle).

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 **Modulation d'amplitude.**
 - Principe de la modulation.
 - **Influence du taux de modulation m .**
 - Etude d'un signal réel.
 - Analyse fréquentielle du signal modulé.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

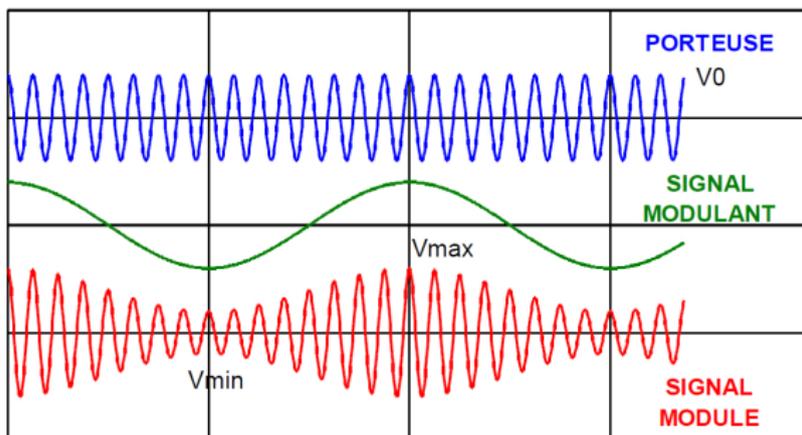
MODULATION D'AMPLITUDE $m = 0,5$ 

FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle).

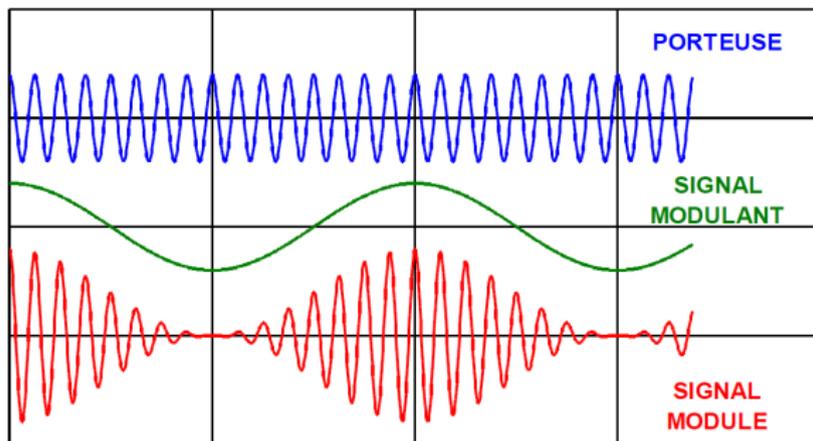
MODULATION D'AMPLITUDE $m = 1$ 

FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle).

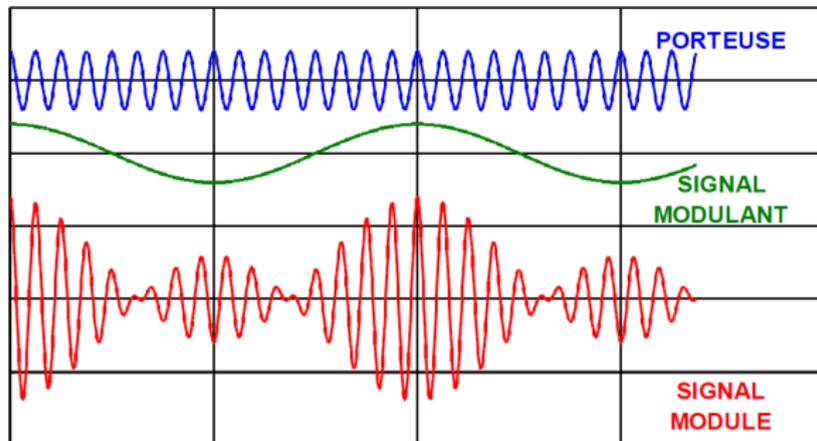
MODULATION D'AMPLITUDE $m = 2,5$ 

FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle) : surmodulation.

Il n'est plus possible de reconnaître directement le signal dans l'enveloppe : cas défavorable.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.**
 - Principe de la modulation.
 - Influence du taux de modulation m .
 - **Etude d'un signal réel.**
 - Analyse fréquentielle du signal modulé.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

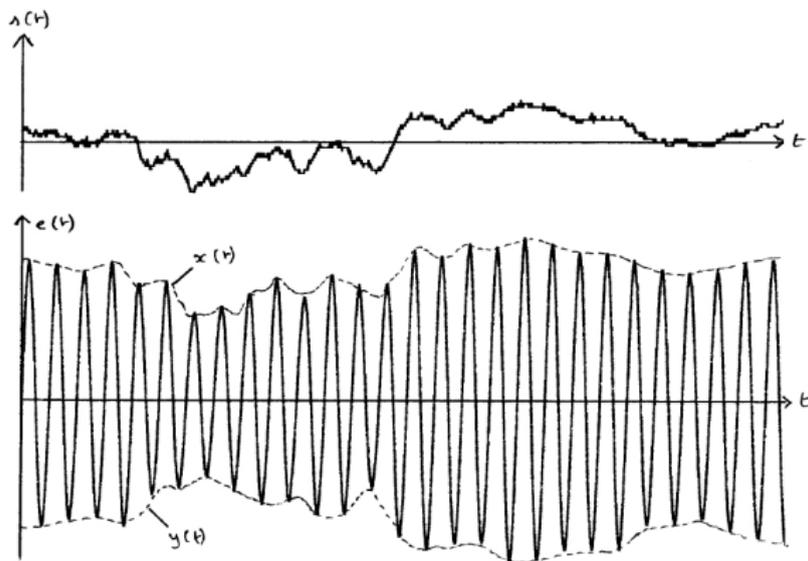


FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle) : un mot.

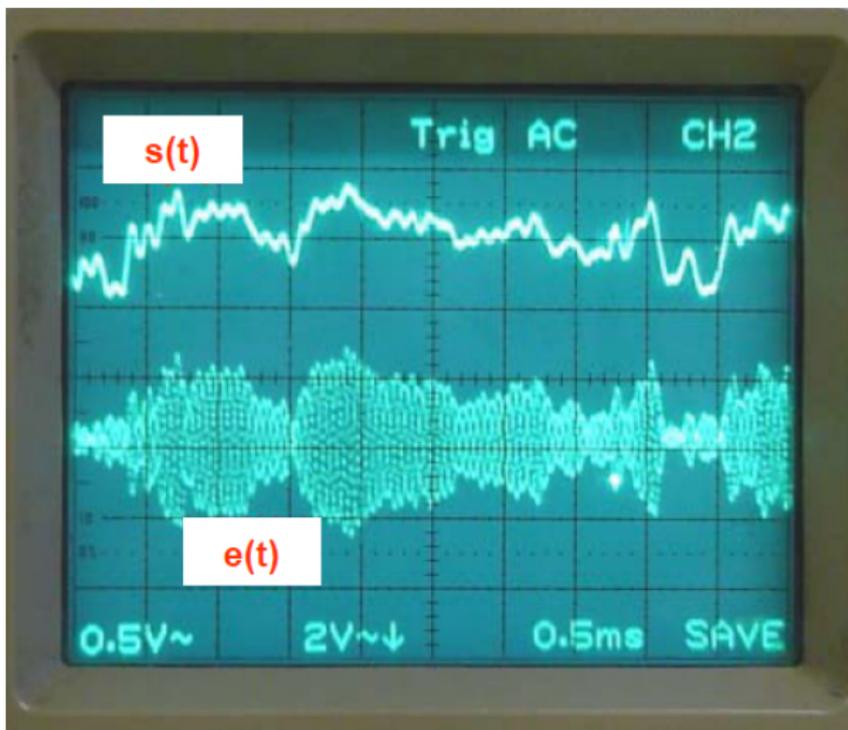


FIGURE – Modulation d'amplitude (étude temporelle) : un mot.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.**
 - Principe de la modulation.
 - Influence du taux de modulation m .
 - Etude d'un signal réel.
 - **Analyse fréquentielle du signal modulé.**
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.

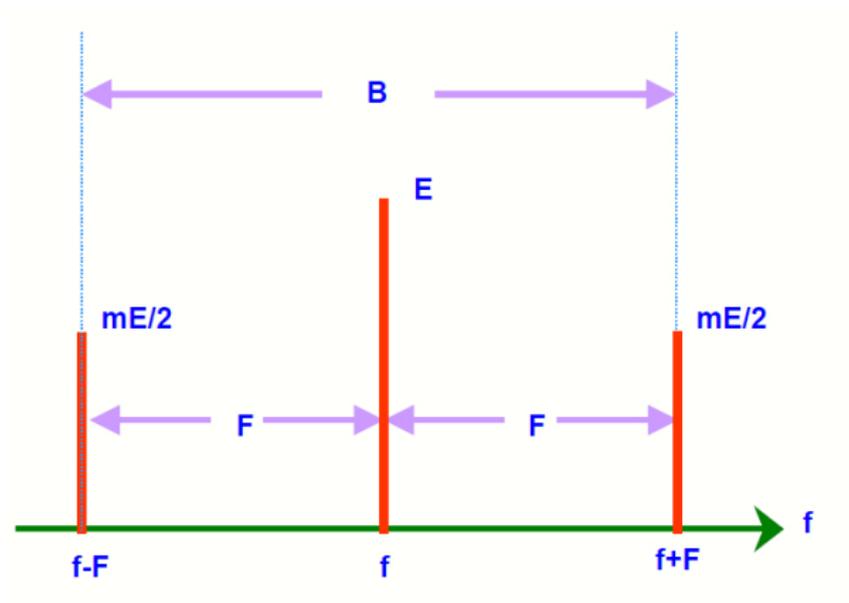


FIGURE – Modulation d'amplitude (étude fréquentielle).

L'encombrement spectral du signal modulé est la bande de fréquence utilisée par le signal modulé : $B = 2.F$, deux fois la bande

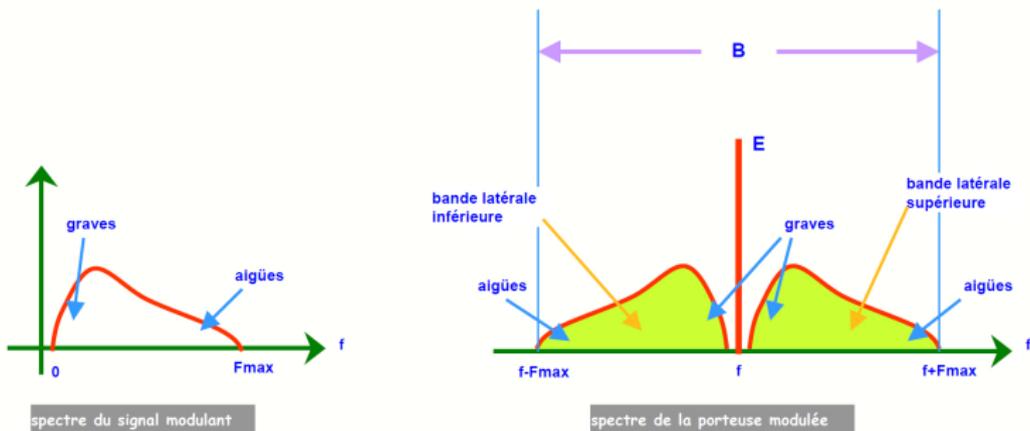


FIGURE – Modulation d'amplitude pour la radio (étude fréquentielle).

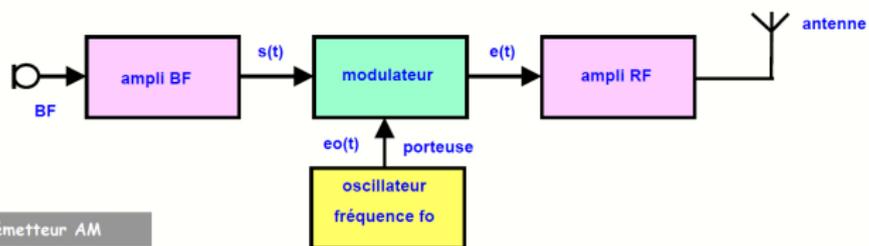


FIGURE – Schématisation de l'émission radio.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.**
 - **Démodulation d'amplitude par détection de crête.**
 - Démodulation d'amplitude par détection synchrone.
- 5 Conclusion.

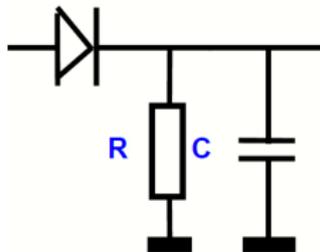


FIGURE – Détecteur de crête.

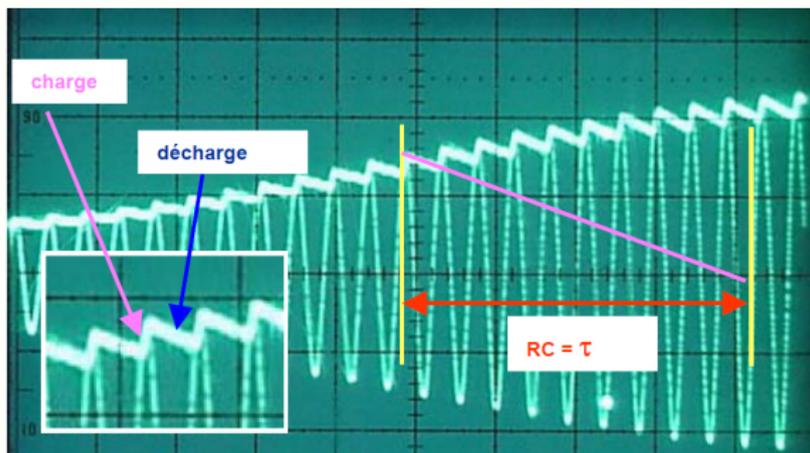


FIGURE – Démodulation d'amplitude avec un détecteur de crête.

Quand la diode est passante, le condensateur se charge "rapidement".

Quand la diode est bloquée, le condensateur se décharge "lentement" dans la résistance.

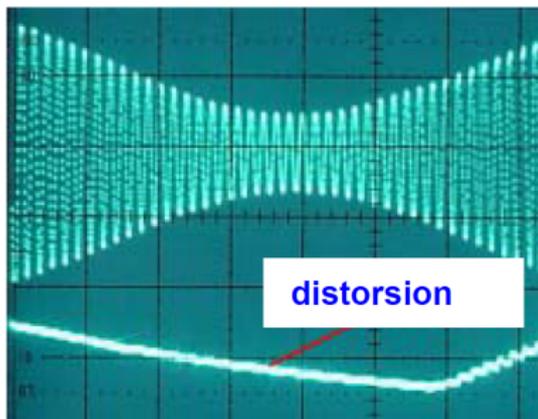


FIGURE – Démodulation d'amplitude avec détecteur de crête où R est trop grand.

Système "difficile" à régler et très sensible aux bruits.

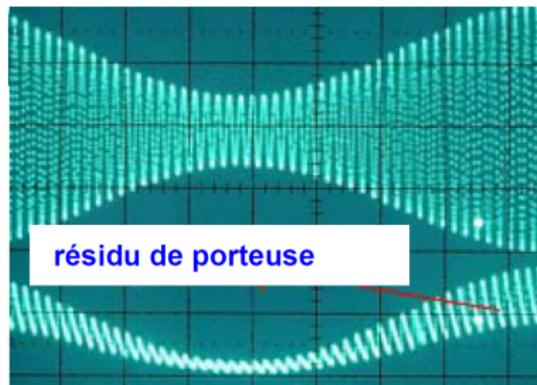


FIGURE – Démodulation d'amplitude avec détecteur de crête où R est trop faible.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.**
 - Démodulation d'amplitude par détection de crête.
 - **Démodulation d'amplitude par détection synchrone.**
- 5 Conclusion.

La détection synchrone permet d'extraire des signaux de faible amplitude dans une bande de fréquence donnée même noyés dans du bruit important par multiplication du signal avec un signal sinusoïdal de fréquence identique à la porteuse.

La détection comprend donc :

- 1 un multiplieur
- 2 un filtre passe bas (adapté au signal à extraire)

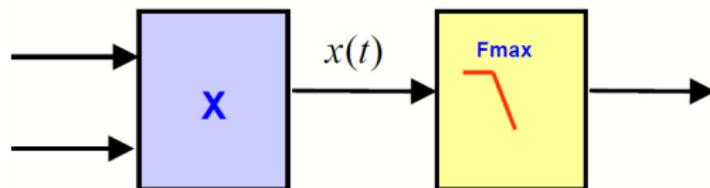


FIGURE – Principe de la détection synchrone.

Analyse fréquentielle de la détection synchrone.

En multipliant le signal reçu par l'antenne par une fréquence identique à la fréquence de la porteuse, puis en utilisant un filtre passe bas de bande passante la largeur du spectre du signal, on isole le signal porteur de l'information.



FIGURE – Analyse fréquentielle de la détection synchrone.

Plan

- 1 Introduction à la modulation.
- 2 Multiplication des signaux.
- 3 Modulation d'amplitude.
- 4 Démodulation d'amplitude.
- 5 Conclusion.**
 - Conclusion.

La détection synchrone est une méthode de traitement du signal hétérodyne (i.e. par multiplication de signaux) aussi appelée filtrage non linéaire.

Elle est, de manière générale, utilisée pour isoler une composante à une fréquence donnée dans un signal très bruité.

Comparaison modulation d'amplitude, modulation de fréquence.

Modulation d'amplitude	Modulation de fréquence
beaucoup de parasite (amplitude du signal qui contient le signal décroît avec la distance à l'émetteur)	son fidèle
"un" seul émetteur pour la France (une même fréquence en AM pour la France France Inter AM : 183kHz)	"plusieurs relais", un par région (une fréquence par région pour radio FM France Inter FM : 27 fréquences
rendement "au départ" faible des antennes (beaucoup de puissance à la fréquence porteuse) (améliorer en sélectionnant une bande latérale : émission LSB ou USB)	rendement fort des antennes

La

modulation d'amplitude est encore utilisée (AM) mais la bande FM, moins sensible au bruit est aujourd'hui préférée par les auditeurs de la radio pour son son de meilleure qualité.

FIGURE – Carte des émetteurs AM et FM de France Inter.

La modulation de phase (PM) est quand à elle très efficace et très peu sensible aux bruits mais sa mise en oeuvre est plus complexe.

Elle est utilisée dans les télécommunications haut de gamme comme avec la sonde Voyager ou de manière plus courante dans la transmission d'informations via les fibres optiques.

A noter aussi que cette méthode se prête très bien à un codage binaire.

- 1 Introduction à la modulation.
 - Définition de la modulation.
 - Nécessité de la modulation.
 - Divers types de modulation.

- 2 Multiplication des signaux.
 - Le multiplieur.
 - Analyse fréquentielle des signaux.

- 3 Modulation d'amplitude.
 - Principe de la modulation.
 - Influence du taux de modulation m .
 - Etude d'un signal réel.
 - Analyse fréquentielle du signal modulé.

- 4 Démodulation d'amplitude.
 - Démodulation d'amplitude par détection de crête.
 - Démodulation d'amplitude par détection synchrone.

- 5 Conclusion.
 - Conclusion.