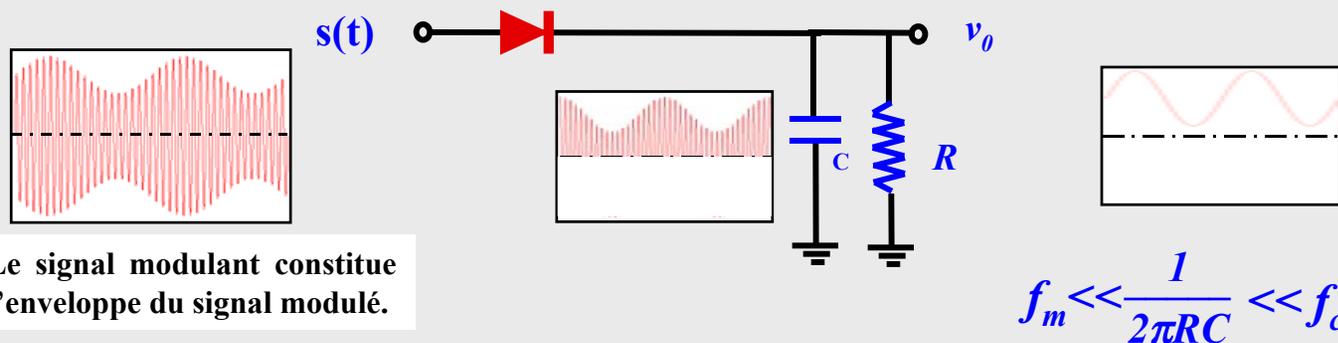


## Modulation d'amplitude : Démodulation

C'est la détection où la reconstitution du signal modulant (message) en bande de base.

Détection d'enveloppe (cas d'une AM) :  $s(t) = A_c [ 1 + k m(t) ] \cos (2\pi f_c t)$

La détection simple est parmi les avantages de la modulation AM (1er type de modulation à avoir été utilisé).



La diode élimine les alternances négatives du signal modulé et le condensateur se charge avec un temps de repense qui lui permet de suivre seulement le signal modulant (sans suivre les variations de la porteuse).

En terme de fréquence, c'est un filtre passe-bas qui doit permettre le passage de tout le spectre du signal modulant et bloquer les fréquences supérieures (y compris celle de la porteuse).

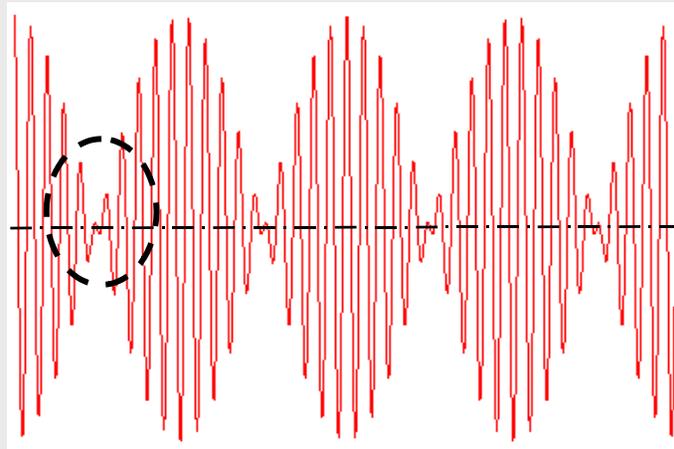
**Question :** Est ce que le circuit fonctionnera sans la diode !?



## ***Modulation d'amplitude :***

### **Démodulation**

**Sans la diode le condensateur risque de suivre l'alternance négative du signal modulé ou même alterner entre les deux pour un taux de modulation grand (aussi pour une réception d'un signal AM faible).**



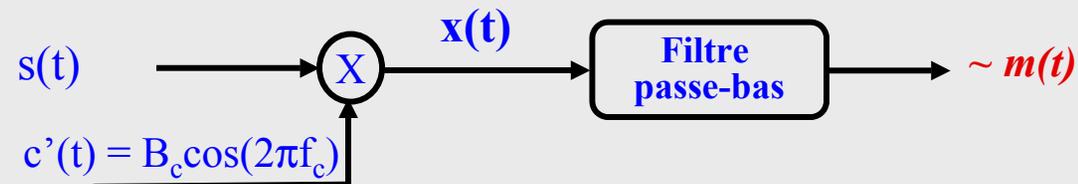


## **Modulation d'amplitude :** **Démodulation**

### Démodulation cohérente (synchrone) :

Le démodulateur est conçu de la même façon qu'un modulateur DSB-SC.

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$



$$\begin{aligned} x(t) &= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) B_c \cos(2\pi f_c t) \\ &= A_c B_c m(t) \cos^2(2\pi f_c t) \end{aligned}$$

$$\cos^2(2\pi f_c t) = \frac{1}{2} [1 + \cos(4\pi f_c t)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi f_c t) m(t)$$





## Modulation d'amplitude :

### Démodulation

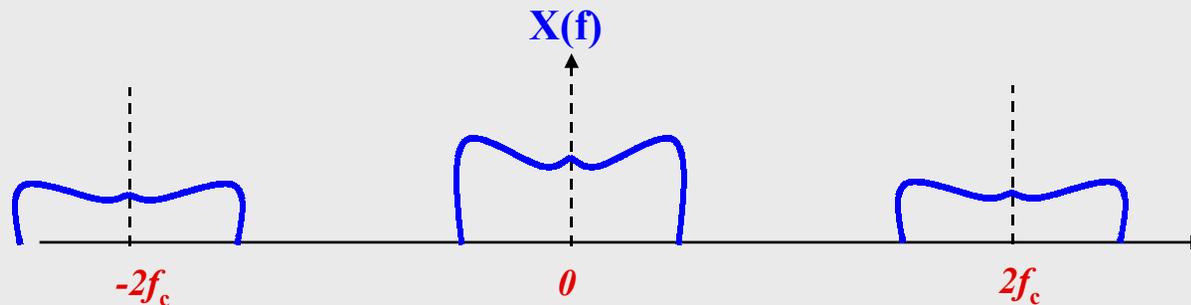
Le filtre passe-bas doit permettre le passage de tout le spectre du signal modulant et bloquer les fréquences supérieures.

$$f_m \ll f_{\text{filter}} \ll 2f_c - f_m$$

$$\begin{aligned} S_{\text{DSB}}(f) &= \frac{1}{2} A_c \cdot M(t) * [\delta(f+f_c) + \delta(f-f_c)] \\ &= \frac{1}{2} A_c \cdot M(f+f_c) + M(f-f_c) \end{aligned}$$

Sachant que :  $X(f - f_g) = X(f) * \delta(f - f_g)$

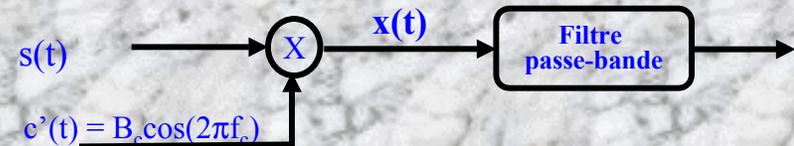
$$\begin{aligned} X(f) &= \frac{1}{2} A_c \cdot [M(f+f_c) + M(f-f_c)] * [\delta(f+f_c) + \delta(f-f_c)] \\ &= \frac{1}{2} A_c \cdot [M(f+2f_c) + M(f-2f_c) + 2M(f)] \end{aligned}$$





## Modulation d'amplitude :

### Démodulation cohérente (synchrone) :



Pour une modulation AM :  $s(t) = A_c [ 1 + k m(t) ] \cos ( 2\pi f_c t )$

$$x(t) = A_c [ 1 + k m(t) ] \cos ( 2\pi f_c t ) \cdot B_c \cos ( 2\pi f_c t )$$

$$x(t) = A_c B_c [ 1 + k m(t) ] \cos^2(2\pi f_c t)$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c [ 1 + k m(t) ] + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi f_c t) [ 1 + k m(t) ]$$

Pour une modulation SSB :  $s_{SSB}(t) = A_c [ m(t) \cdot \cos ( 2\pi f_c t ) \pm m_h(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) ]$

$$x(t) = A_c [ m(t) \cdot \cos ( 2\pi f_c t ) \pm m_h(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) ] B_c \cos ( 2\pi f_c t )$$

$$= A_c B_c [ m(t) \cdot \cos^2(2\pi f_c t) \pm m_h(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) \cos ( 2\pi f_c t ) ]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi f_c t) m(t) \pm \frac{1}{2} A_c B_c \sin(4\pi f_c t) m_h(t)$$

Sachant que :

$$\cos^2(2\pi f_c t) = \frac{1}{2} [ 1 + \cos(4\pi f_c t) ]$$

$$\cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c t) = \frac{1}{2} \sin(4\pi f_c t)$$

Le signal modulé d'une modulation VSB possède la même forme spectrale qu'un signal DSB.

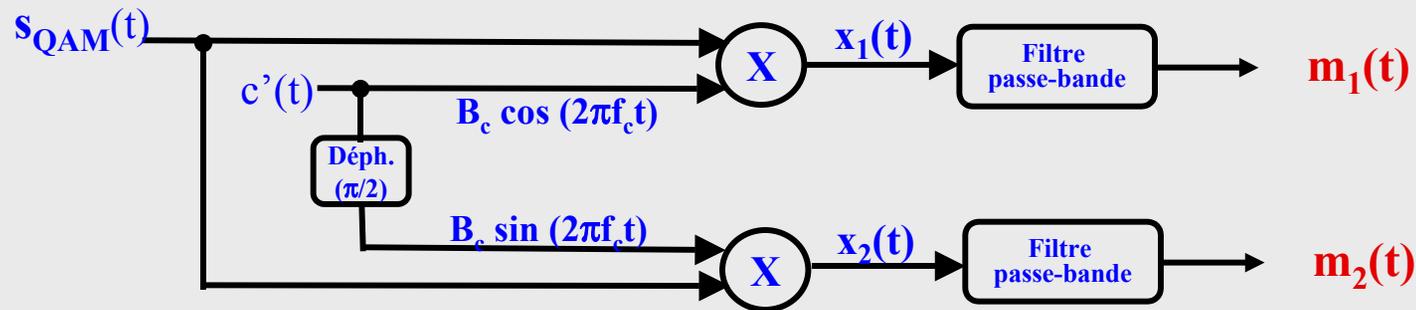




## Modulation d'amplitude :

### Démodulation cohérente (synchrone) :

Pour une modulation QAM :  $s_{\text{QAM}}(t) = A_c m_1(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) + A_c m_2(t) \cdot \sin(2\pi f_c t)$



$$x_1(t) = A_c [ m_1(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) + m_2(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) ] B_c \cos(2\pi f_c t)$$

$$= A_c B_c [ m_1(t) \cdot \cos^2(2\pi f_c t) + m_2(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) ]$$

$$x_1(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m_1(t) + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi f_c t) m_1(t) + \frac{1}{2} A_c B_c \sin(4\pi f_c t) m_2(t)$$

$$x_2(t) = A_c [ m_1(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) + m_2(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) ] B_c \sin(2\pi f_c t)$$

$$= A_c B_c [ m_1(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c t) + m_2(t) \cdot \sin^2(2\pi f_c t) ]$$

Sachant que :

$$\sin^2(2\pi f_c t) = \frac{1}{2} [1 - \cos(4\pi f_c t)]$$

$$x_2(t) = \frac{1}{2} A_c B_c \sin(4\pi f_c t) m_1(t) + \frac{1}{2} A_c B_c m_2(t) - \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi f_c t) m_2(t)$$





# Modulation d'amplitude :

## Démodulation Non-Cohérente

### Erreur de phase

Si l'oscillateur local LO (du démodulateur) n'est pas synchronisé avec le signal modulé (il y a un déphasage  $\theta$  entre les deux) on se retrouve avec une **détection non-cohérente**.

Pour le cas d'une modulation DSB-SC :

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

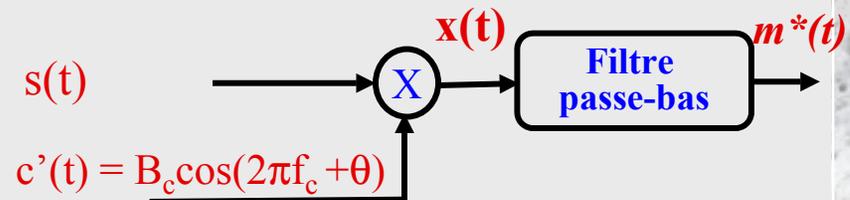
$$x(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) B_c \cos(2\pi f_c t + \theta)$$

$$\cos(\alpha) \cos(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) [\cos(4\pi f_c t + \theta) + \cos(\theta)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) \cos(\theta) + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi f_c t + \theta) m(t)$$

**$\cos(\theta) \leq 1$ , donc une réception non-cohérente engendre une atténuation au niveau du récepteur (et peut être accompagné d'une inversion).**





## Modulation d'amplitude :

### Démodulation Non-Cohérente

#### Erreur de fréquence :

Ce type d'erreur se produit si la fréquence de l'oscillateur local LO n'a pas la même valeur exacte que celle de la porteuse.

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

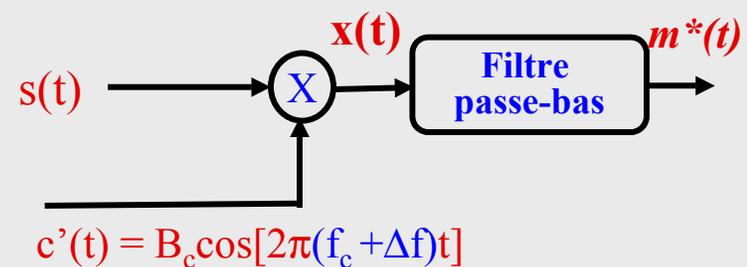
$$x(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) B_c \cos[2\pi(f_c + \Delta f)t]$$

$$\cos(\alpha) \cos(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) [\cos(4\pi(f_c + \frac{1}{2}\Delta f)t) + \cos(2\pi\Delta f t)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) \cos(2\pi\Delta f t) + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi(f_c + \frac{1}{2}\Delta f)t) m(t)$$

*Le signal est reçu avec un battement dont la fréquence est égale à l'erreur de fréquence =  $\Delta f$*





# Modulation d'amplitude :

## Démodulation Non-Cohérente

### Erreur de phase et de fréquence :

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

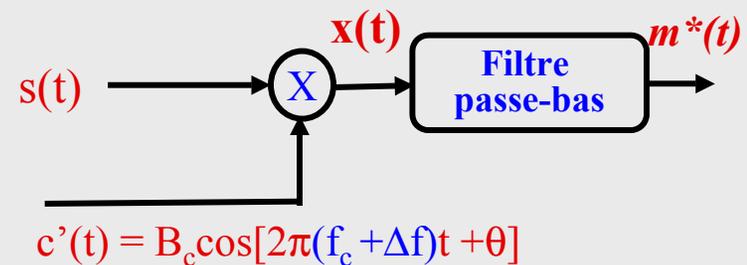
$$x(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) B_c \cos[2\pi(f_c + \Delta f)t + \theta]$$

$$\cos(\alpha) \cos(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) [\cos(4\pi(f_c + \frac{1}{2}\Delta f)t + \theta) + \cos(2\pi\Delta f t - \theta)]$$

$$x(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) \cos(2\pi\Delta f t - \theta) + \frac{1}{2} A_c B_c \cos(4\pi(f_c + \frac{1}{2}\Delta f)t + \theta) m(t)$$

*Le signal est reçu aussi dans ce cas avec un battement.*



# Modulation d'amplitude :

## Démodulation Cohérente

On peut utiliser le montage ci-dessus appelé *boucle fermée de phase (PLL) de Costas* afin d'assurer une réception cohérente du signal transmis. (Voir livre de Couch, page 311)

$$\begin{aligned} x_I(t) &= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) B_c \cos(2\pi f_c t + \theta) \\ &= \frac{1}{2} A_c B_c m(t) [\cos(4\pi f_c t + \theta) + \cos(\theta)] \end{aligned}$$

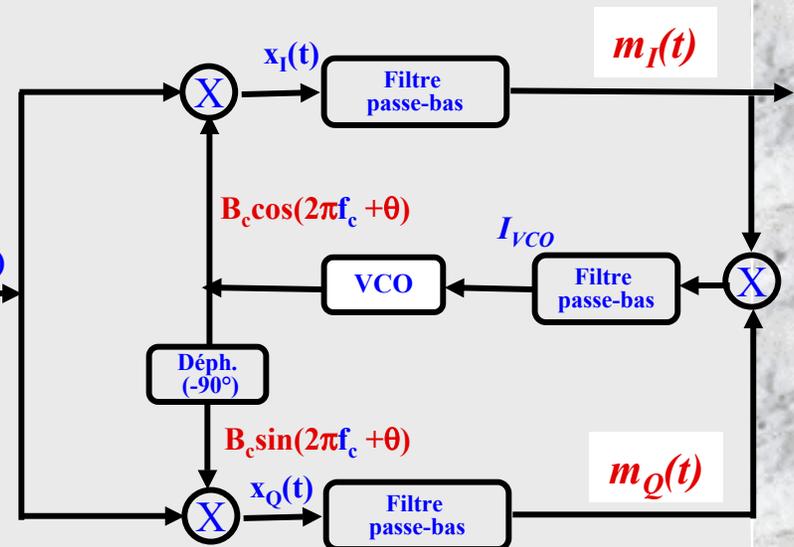
$$m_I(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) \cos(\theta)$$

$$\begin{aligned} x_Q(t) &= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) B_c \sin(2\pi f_c t + \theta) \\ &= \frac{1}{2} A_c B_c m(t) [\sin(4\pi f_c t + \theta) + \sin(\theta)] \end{aligned}$$

$$m_Q(t) = \frac{1}{2} A_c B_c m(t) \sin(\theta)$$

$$I_{VCO} = (1/8) [A_c B_c m(t)]^2 \sin(2\theta)$$

$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$



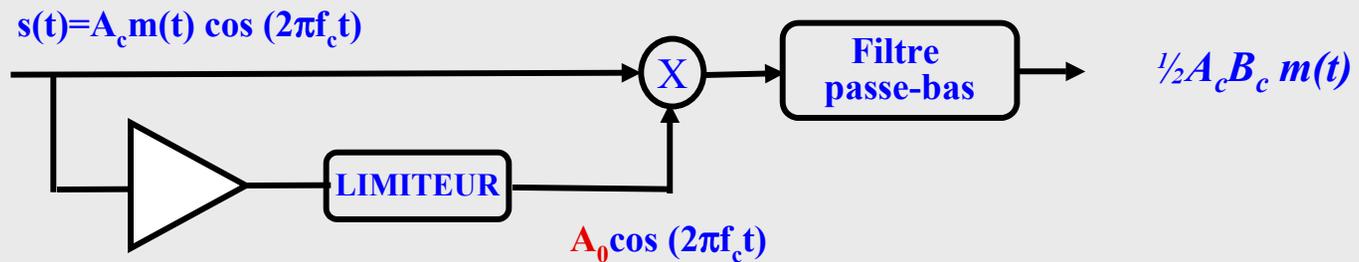
L'oscillateur local produit un signal ayant la même fréquence que la porteuse qu'on utilise pour produire deux signaux le premier en phase (in-phase) et le deuxième en quadrature dont le produit sert à maintenir la bonne phase.



## Modulation d'amplitude :

### Démodulation Cohérente

On peut utiliser aussi le montage appelé boucle de récupération de la porteuse *Carrier recovery loops*.  
(Voir livre de Couch, page 311)



*On reproduit localement la porteuse à partir du signal reçu.*

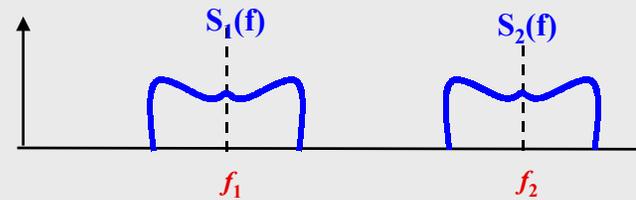
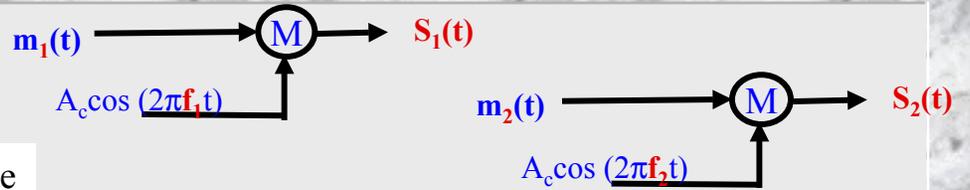


# Modulation d'amplitude :

## Multiplexage fréquentiel

### FDM : frequency division multiplexing

Le multiplexage consiste à utiliser un même canal (câble, aire, fibre optique, ...etc.) pour transmettre plusieurs signaux en leur assignant des fréquences porteuses différentes (partage de spectre).

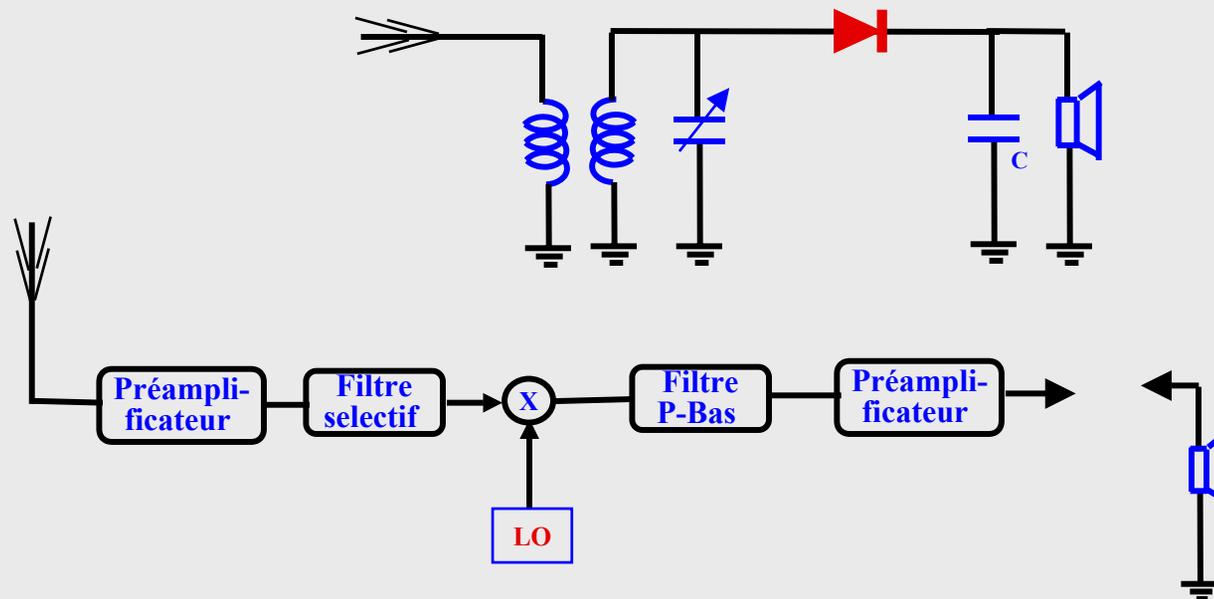


## Modulation d'amplitude :

### Multiplexage fréquentiel

#### Récepteur superhétérodyne :

Mis au point en 1918 par Edwin H. Armstrong, le circuit récepteur superhétérodyne permet de faire un filtrage pour l'extraction du signal modulé désiré et la démodulation (en amplitude, en phase, ou en fréquence) du signal reçu et reconstruction du signal envoyé en bande de base.





## *Modulation d'amplitude :*

Standards techniques de la radiodiffusion AM.

Selon le FCC (USA) : <http://www.fcc.gov/mb/audio/amclasses.html>

Pour le Canada : voir CRTC ([www.crtc.gc.ca](http://www.crtc.gc.ca))

En Amérique du Nord, les stations AM localisées entre 540 et 1700kHz sont espacées sur les canaux à 10 kHz d'intervalle (540, 550, 560, etc.). La bande AM est répartie en trois catégories : canaux locaux, canaux régionaux et canaux libres. Les canaux locaux sont habituellement à 1230, 1240, 1340, 1400, 1450, et 1490. Les stations sont limités à une puissance maximale de 1kw et utilisent une antenne non-directionnelle. La réception est meilleure le soir habituellement à moins de 30 milles. Les canaux régionaux utilisent plus de puissance jusqu'à 20kw et des antennes directionnelles. Ils sont destinés de servir des régions géographiques spécifiques. Les canaux libres ont commencés dans les années 80, les stations peuvent utiliser des puissances de 50kw et beaucoup d'antennes non-directionnelles.

**Station Class A :** Temps de diffusion illimité (24h/24h) sur a canaux libres avec :  $10\text{kW} < \text{puissance} < 50 \text{ kW}$ .

**Station Class B :** Temps de diffusion illimité (24h/24h) avec :  $250\text{W} < \text{puissance} < 50 \text{ kW}$  (Max de 10kw entre 1610-1700kHz)

**Station Class C :** Temps de diffusion illimité (24h/24h) sur a canaux locaux avec :  $250\text{W} < \text{puissance} < 1\text{kW}$ .

**Station Class D :** Temps de diffusion pendant la journée, temps limité ou illimité avec puissance nocturne inférieure à 250W. En journée la puissance supérieure à 250W et inférieure à 50kW.





## ***Modulation d'amplitude :***

Standards techniques de la radiodiffusion AM.

Selon le FCC (USA) : <http://www.fcc.gov/mb/audio/amclasses.html>

Pour le Canada : voir CRTC (www.crtc.gc.ca)

**La fréquence assignée :** entre 540kHz et 1.7MHz, avec incrémentation de 10kHz.

**La largeur de bande d'un canal :** 10 kHz

**Stabilité de la fréquence de la porteuse :**  $\pm 20$  Hz par rapport à la fréquence assignée.

**Canaux libres (Class A, unique, 50kW, non directionnelle) :** 640,650,660,670, 700,720,750,760,770,780,820, 830, 840, 870, 880, 890, 1,020, 1,030, 1,040, 1,070, 1,100, 1,120, 1,160, 1,180, 1,200, & 1,210 kHz

**Canaux libres (Class A, multiples 50kW, directionnelle, nuit) :** 680, 710, 810, 850, 1,000, 1,060, 1,080, 1,090, 1,110, 1,130, 1,140, 1,170, 1,190, 1,500, 1,510, 1,520, & 1,530 kHz

**Canaux libres (Pour Bahamas, Cuba, Canada ou Mexico):** 540,690,730,740, 800, 860, 900, 940, 990, 1,010, 1,050, 1,220, 1,540, 1,550, 1,560, 1,570 & 1,580 kHz.

**Canaux locaux (Max de 1kW) :** 1,230, 1,240, 1,340, 1,400, 1,450, & 1,490 kHz

