



# TRANSMISSION

email : nasser\_baghdad @ yahoo.fr

# TRANSMISSION

- ▶ Le terme « télécommunications » signifie " communiquer à distance".
- ▶ Le but des télécommunications est de transmettre un signal, porteur d'une information d'un lieu à un autre lieu situé à distance.
  - La nature de l'information
  - La modulation du signal
  - Le support de transmission pour le canal guidé
  - L'antenne pour le canal radio

# TRANSMISSION

## L'information

► L'information transmise peut être de nature analogique ou numérique :

**L'information analogique**

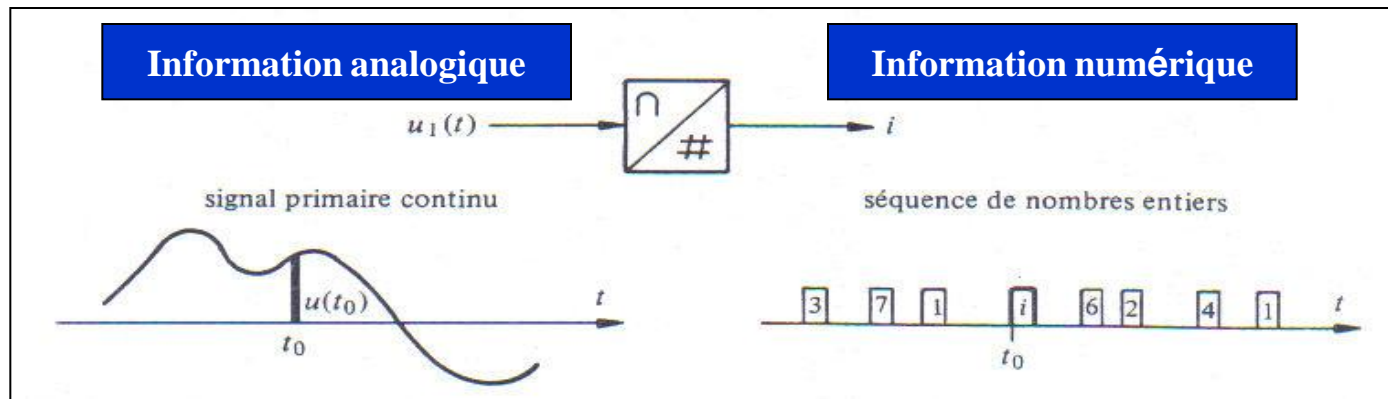
**Signal continu dans le temps**

- . Parole
- . Musique
- . Vidéo, etc...

**L'information numérique**

**Signal discontinu dans le temps**

- . Information analogique numérisée
- . Données
- . Textes, etc...



# TRANSMISSION

## La modulation du signal

- C'est l'opération qui consiste à incorporer l'information sur le signal porteur.

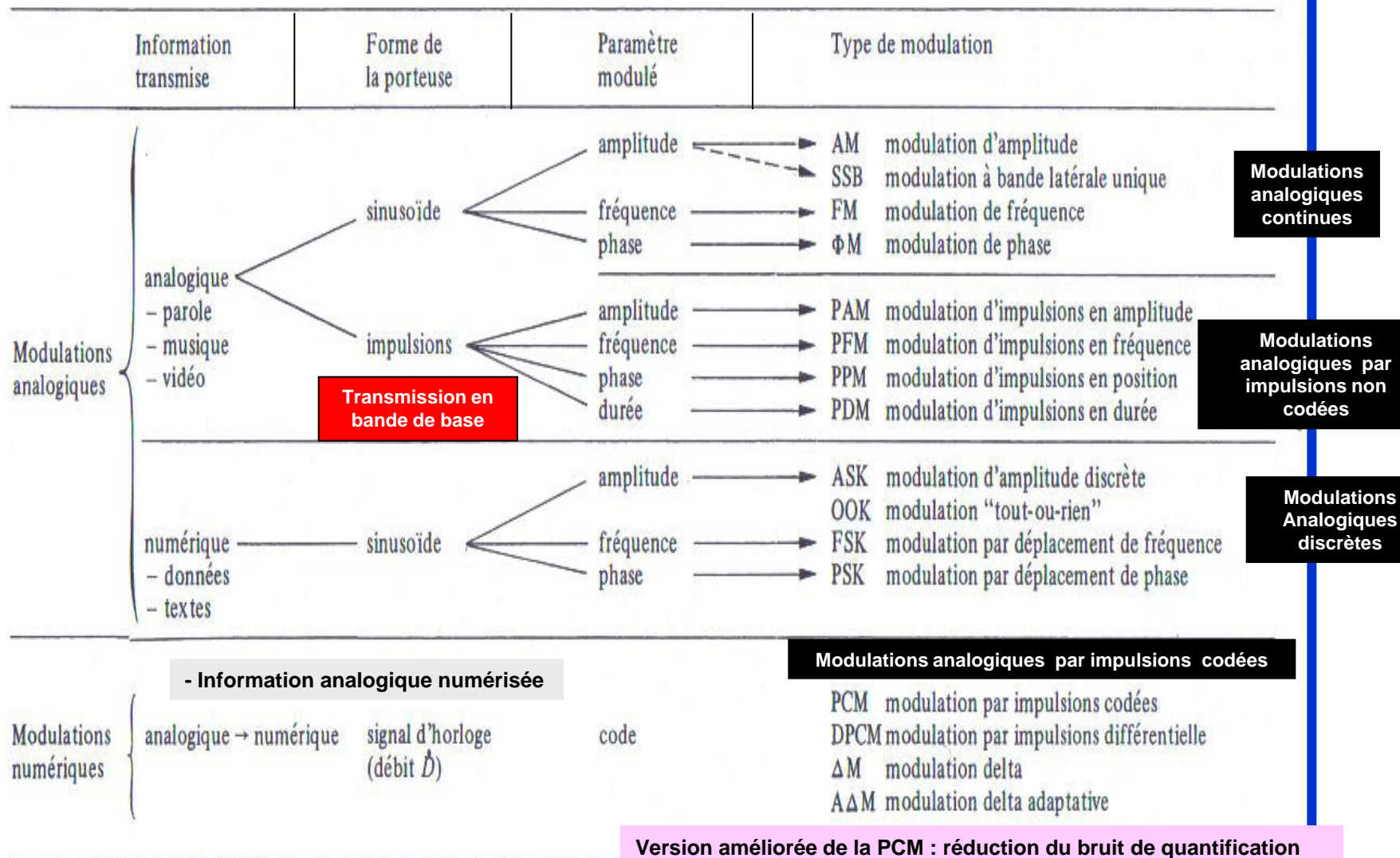
### Les modulations analogiques

- L'un des paramètres du signal porteur (amplitude, fréquence, phase) varie au rythme de l'information

### Les modulations numériques

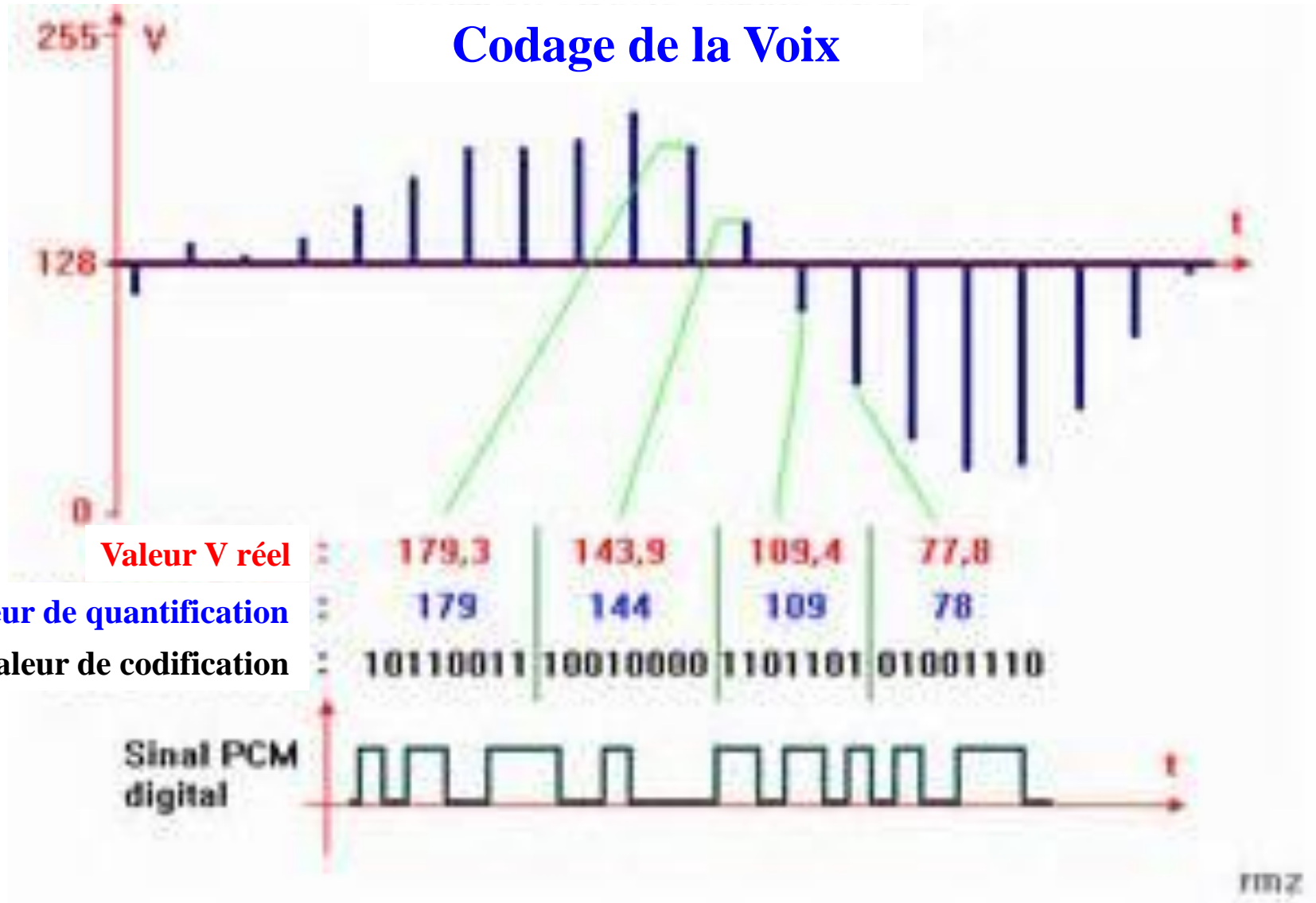
- L'information est d'abord échantillonnée, quantifiée, puis codée, avant d'être transmise sous la forme d'un train d'impulsions.

# TRANSMISSION



# TRANSMISSION

## Codage de la Voix



# TRANSMISSION

## Le support de transmission

► Les transmissions par lignes dans lesquelles le signal qui se propage est un courant électrique ou plus généralement une onde électromagnétique (O.E.M) guidée. Les lignes utilisées sont de plusieurs types :

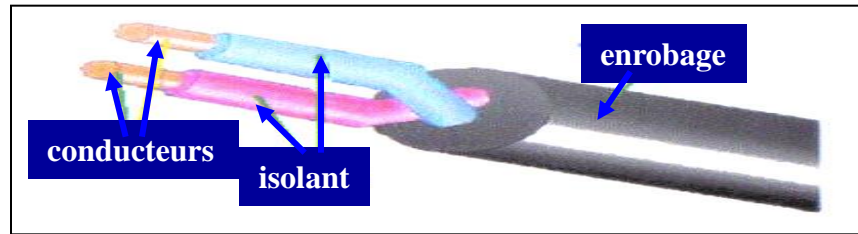
- bifilaire;
- coaxial;
- guide d'ondes métalliques;
- guide d'ondes diélectriques : fibre optique , etc ...

► Les transmissions sans lignes ou libres (ou radioélectriques : modulation) pour lesquelles le signal qui se propage est une O.E.M en espace libre.

- Les liaisons par faisceau hertzien lorsque la propagation a lieu entièrement dans l'atmosphère.
- Les réseaux sans fil (ou réseaux radio). Bluetooth, Wifi, Wimax, GSM, GPRS, UMTS...
- Les liaisons par satellite lorsque la propagation utilise en relais un satellite artificiel.



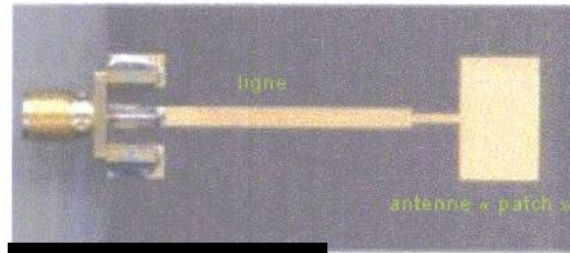
# TRANSMISSION



Paire torsadée



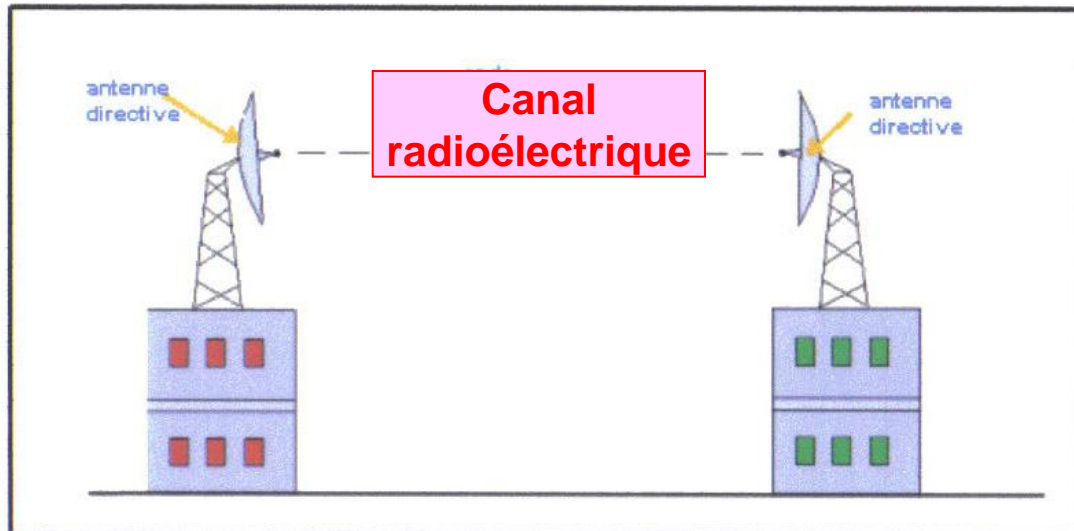
Câble coaxial



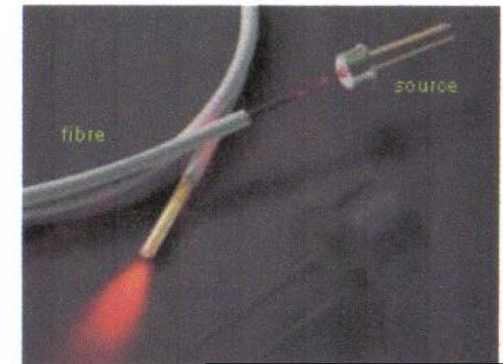
Ligne imprimée



Guide d'onde



Faisceaux  
Hertziens



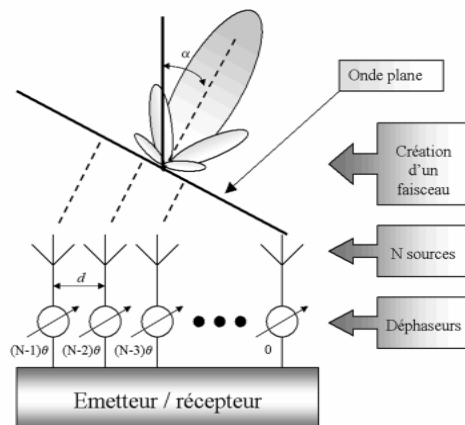
Fibre optique



# TRANSMISSION

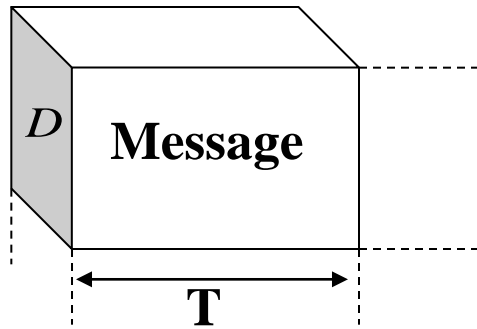
## Les antennes

- Antennes filaires
- Antennes à ouvertures
- Antennes paraboliques
- Antennes réseaux
- Antennes imprimées
- Antennes intelligentes



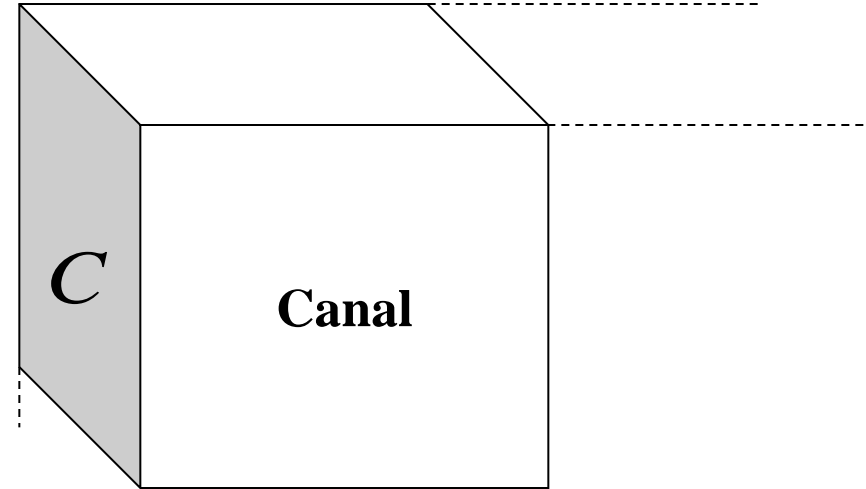
# TRANSMISSION

## Représentation géométrique d'une transmission



$$D = R \cdot \lg_2 V$$

$$D = \frac{1}{T_b} \quad R = \frac{1}{T_s} \quad V = 2^n$$

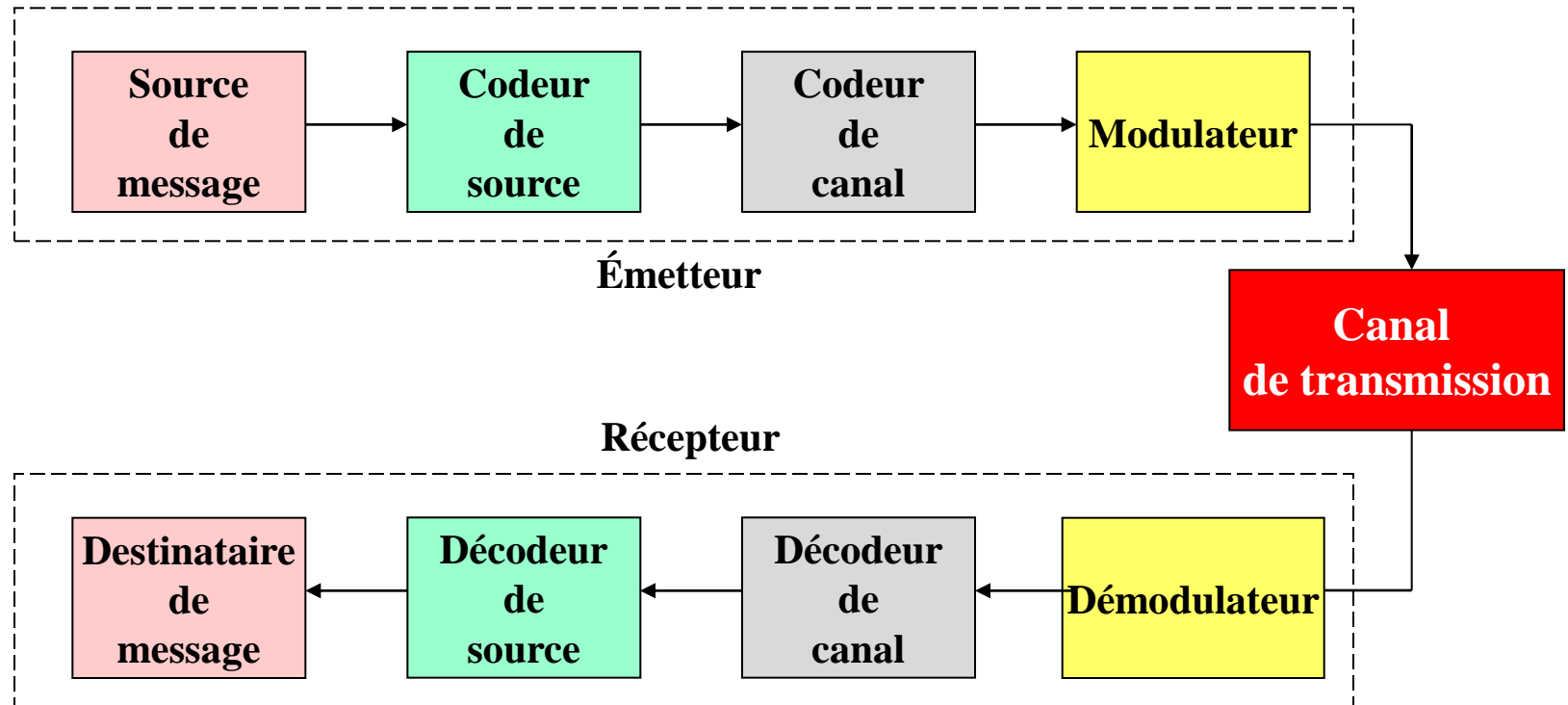


$$C = B \cdot \lg_2 (1 + \xi) \quad \text{avec} \quad \xi = \frac{P_{\text{signal}}}{P_{\text{bruit}}}$$

$$D \leq C$$

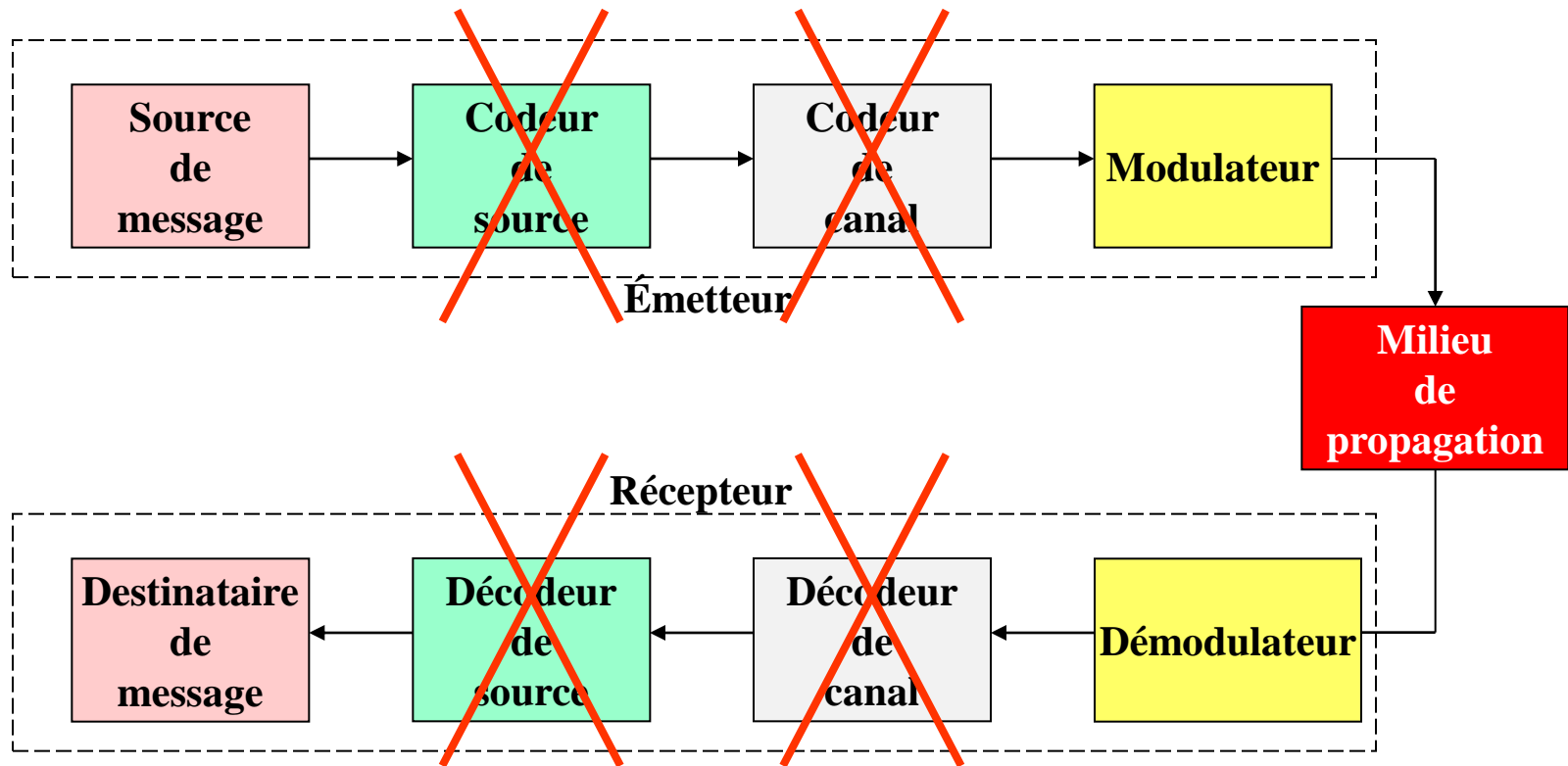
# TRANSMISSION

## ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME DE TELECOMMUNICATION NUMÉRIQUE



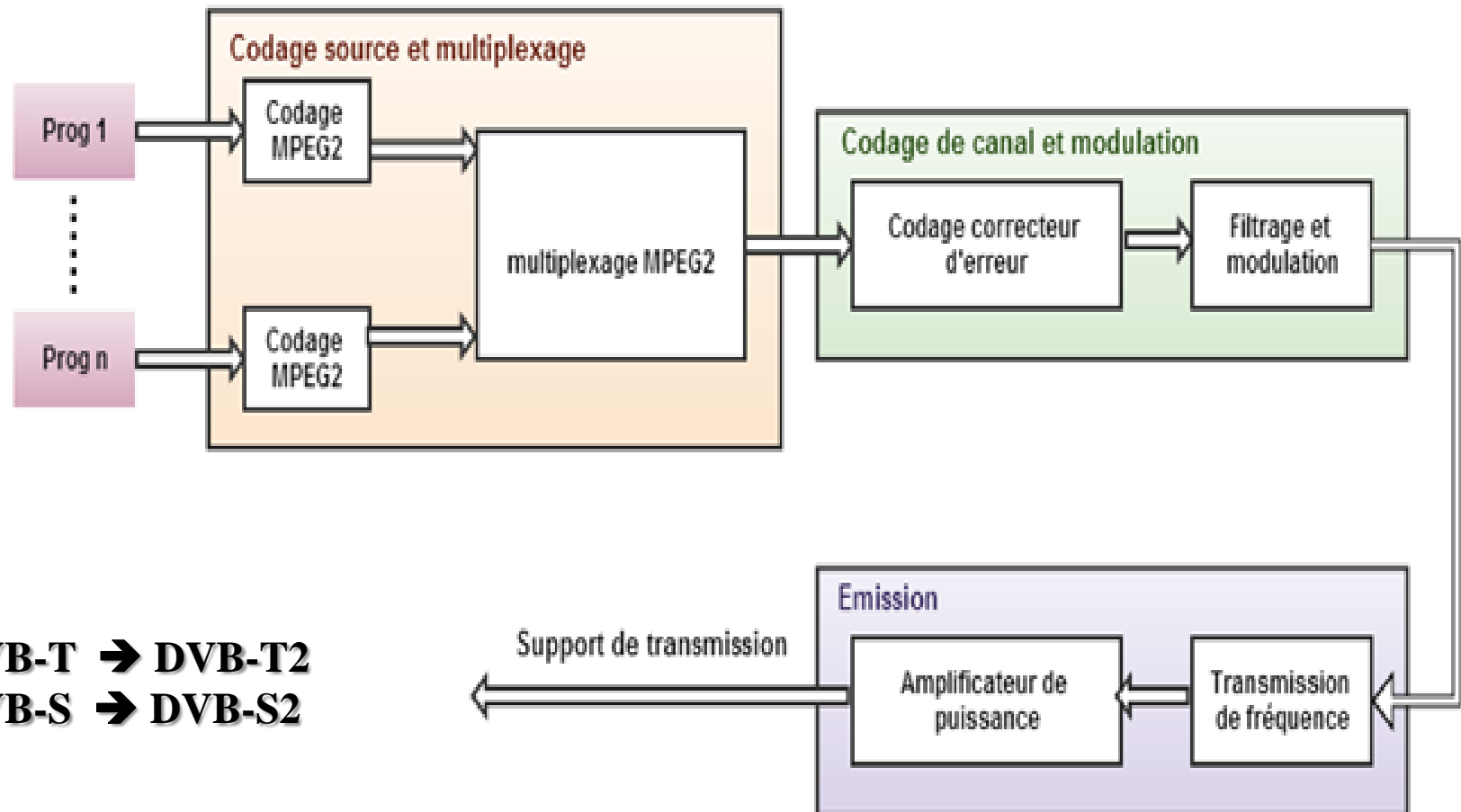
# TRANSMISSION

## ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME DE TELECOMMUNICATION ANALOGIQUE



# TRANSMISSION

## Standard de transmission numérique DVB (Digital Video Braodcasting)



**DVB-T → DVB-T2**  
**DVB-S → DVB-S2**

# TRANSMISSION

## Sommaire

**Chapitre I : Modulation AM**

**Chapitre II : Démodulation AM**

**Chapitre III : Modulation FM**

**Chapitre IV : Démodulation FM**



# TRANSMISSION

## Modulation Analogique Continue

### Chapitre. I

## La modulation AM

# Chapitre I : La modulation AM

## Principe de la modulation AM avec porteuse

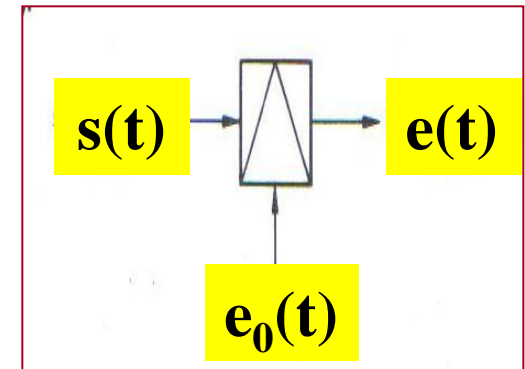
- Pour produire un signal modulé en amplitude, il faut :
  - une information basse-fréquence  $s(t)$  qui peut être un signal audiofréquence, vidéo, analogique
  - une porteuse sinusoïdale haute fréquence  $e_0(t)$

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

- La porteuse modulée en amplitude s'écrit alors :

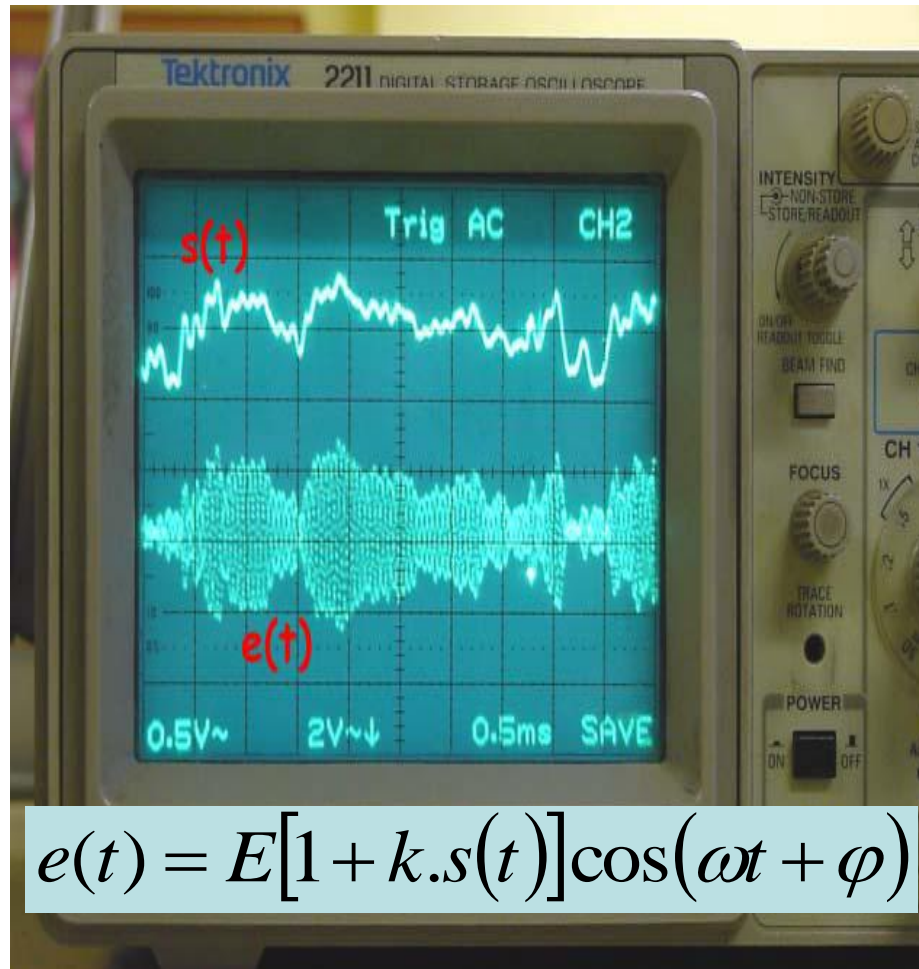
$$e(t) = E[1 + k.s(t)]\cos(\omega t + \varphi)$$

- en l'absence de signal modulant  $s(t) = 0$  et  $e(t) = e_0(t) = E \cos(\omega t)$
- en présence de modulation, la porteuse oscille entre les enveloppes supérieure et inférieure
- l'enveloppe supérieure s'écrit  $y(t) = E(1 + k s(t))$  et l'enveloppe inférieure  $y'(t) = -E(1 + k s(t))$

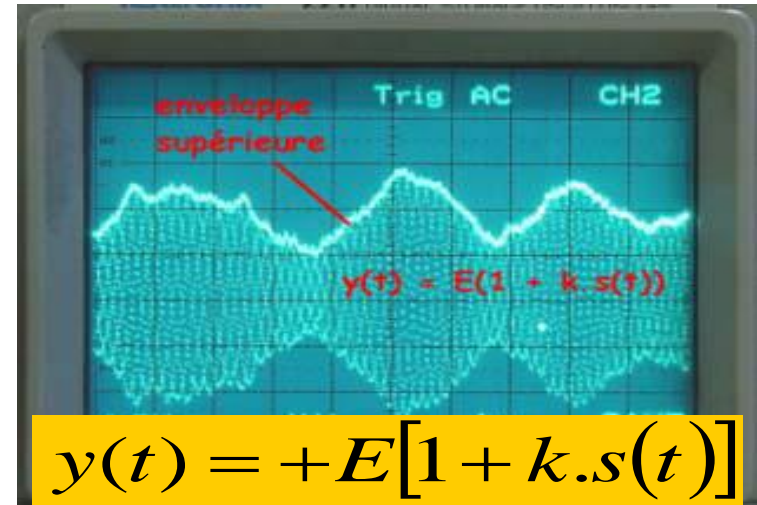


# Chapitre I : La modulation AM

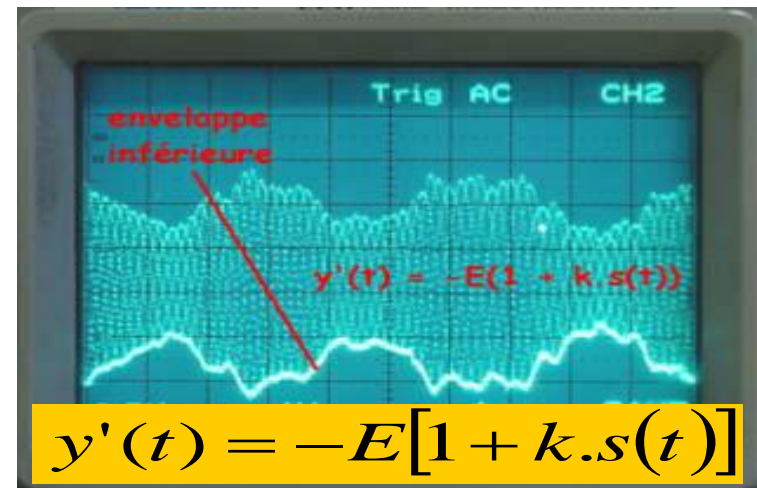
## Observation temporelle



$$e(t) = E[1 + k.s(t)]\cos(\omega t + \varphi)$$



$$y(t) = +E[1 + k.s(t)]$$



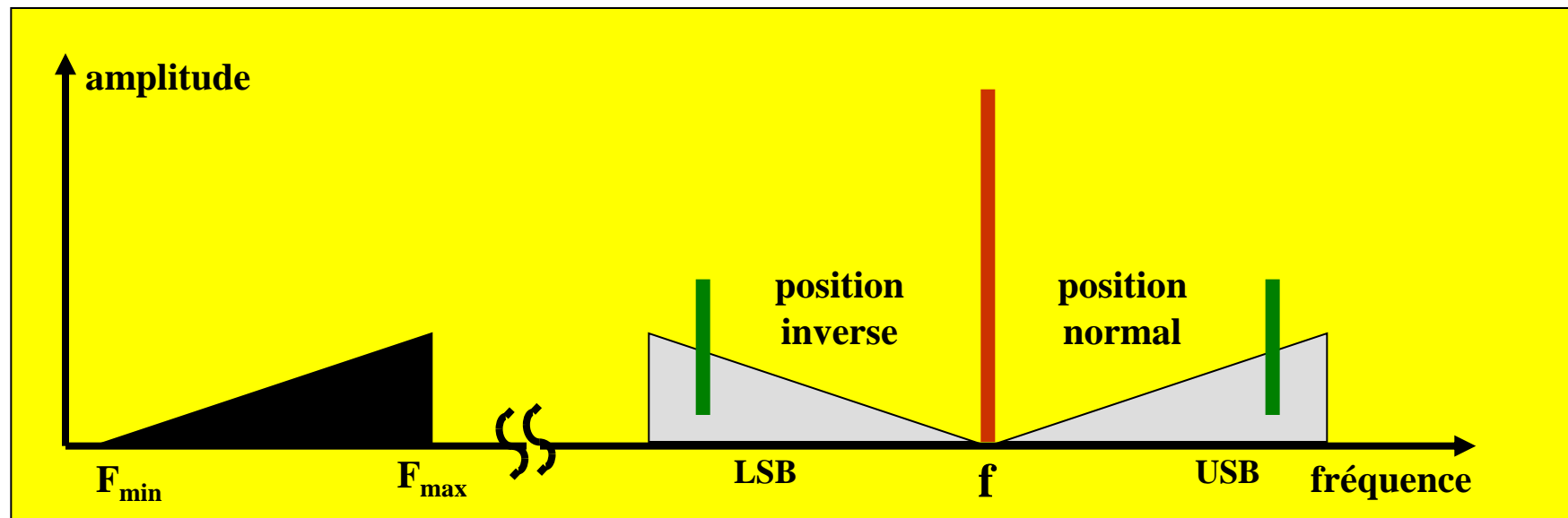
$$y'(t) = -E[1 + k.s(t)]$$

# Chapitre I : La modulation AM

## Spectre d'un signal AM avec signal modulant analogique

$$s(t) = qcq$$

$$e(t) = E[1 + k.s(t)]\cos(\omega t)$$



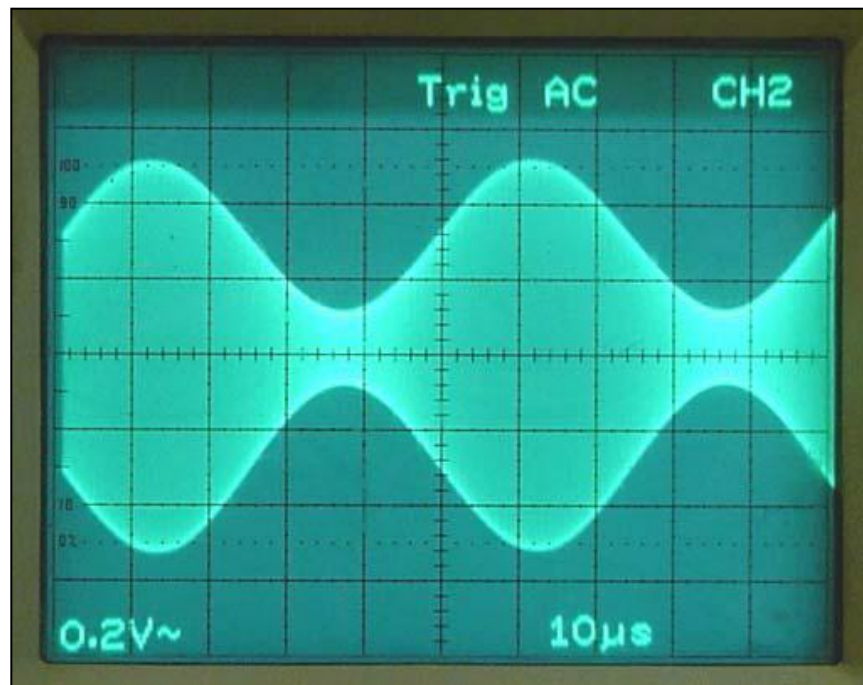
# Chapitre I : La modulation AM

## Observation temporelle et fréquentielle

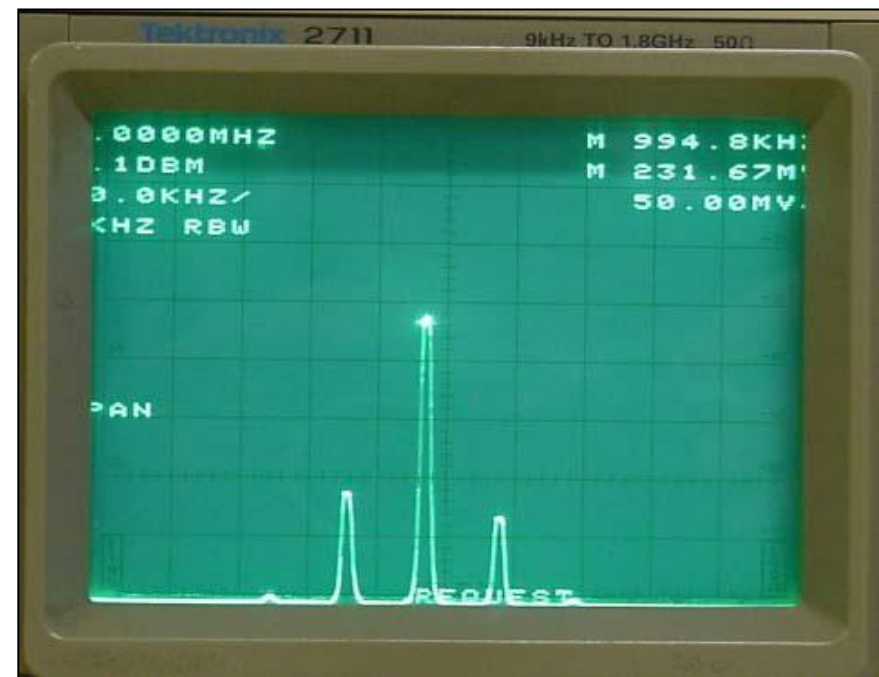
$$s(t) = \sin u \text{ soïdal}$$

$$s(t) = a \cos(\Omega t)$$

Observation à l'aide d'un oscilloscope



Observation à l'aide d'un analyseur de spectre



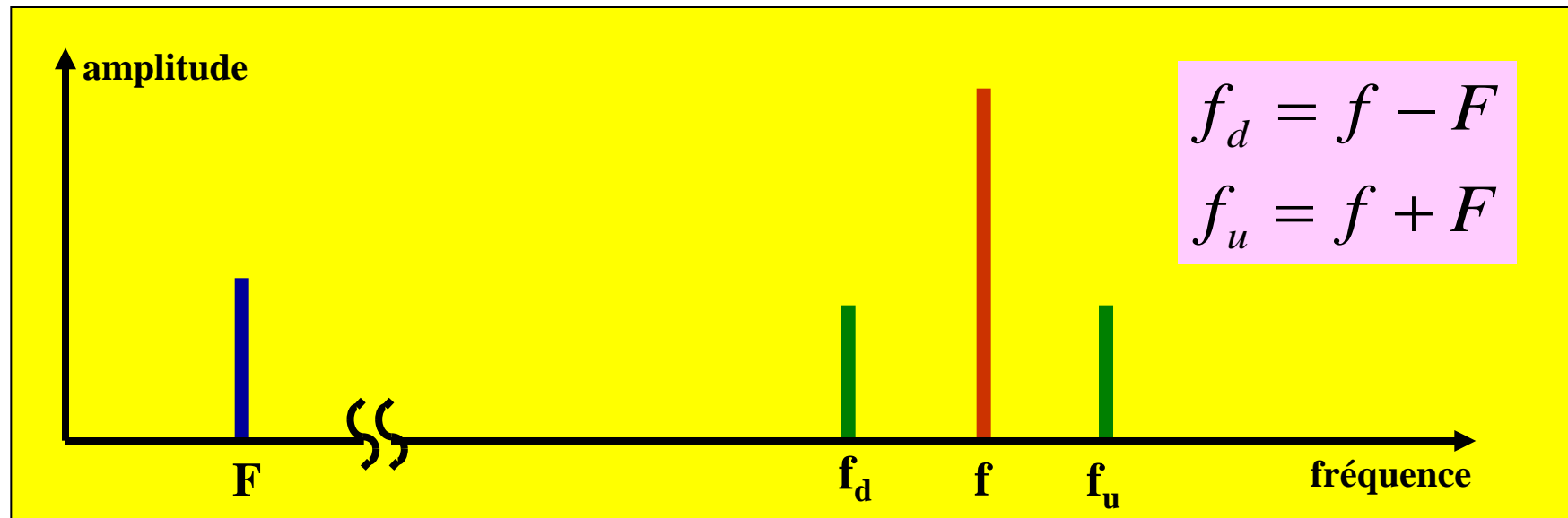
# Chapitre I : La modulation AM

## Spectre d'un signal AM avec signal modulant sinusoïdal

$$s(t) = \sin u \text{soïdal}$$

$$s(t) = a \cos(\Omega t)$$

$$e(t) = E[1 + k.s(t)]\cos(\omega t) = E[1 + k.a \cos(\Omega t)]\cos(\omega t) = E[1 + m \cos(\Omega t)]\cos(\omega t)$$





# Chapitre I : La modulation AM

## Calcul de l'indice de modulation

► A partir de l'oscillogramme de la porteuse modulée  $e(t)$ , il est facile de déterminer l'indice de modulation.

■ la porteuse modulée s'écrit :  $e(t) = E[1 + m \cos(\Omega t)] \cos(\omega t)$

■ l'enveloppe supérieure :  $y(t) = E[1 + m \cos(\Omega t)]$

■ varie entre la valeur maximale et minimale :

$$\begin{aligned} y_{\max} &= E[1 + m] \\ y_{\min} &= E[1 - m] \end{aligned}$$

■ le rapport s'écrit :  $\frac{y_{\max}}{y_{\min}} = \frac{1 + m}{1 - m}$

■ on en déduit l'indice de modulation :

$$m = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_{\max} + y_{\min}}$$

# Chapitre I : La modulation AM

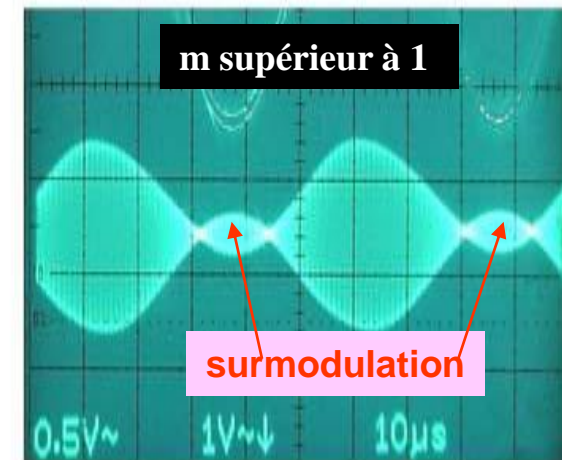
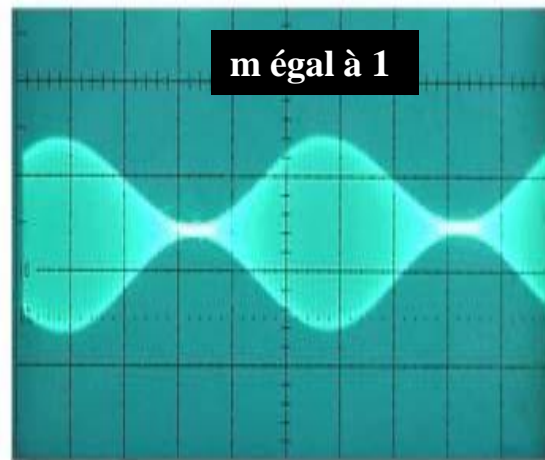
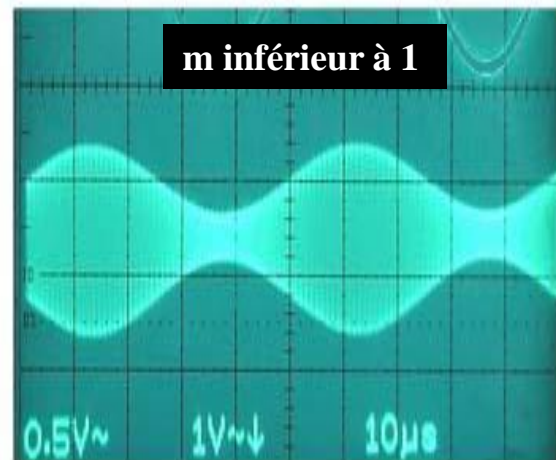
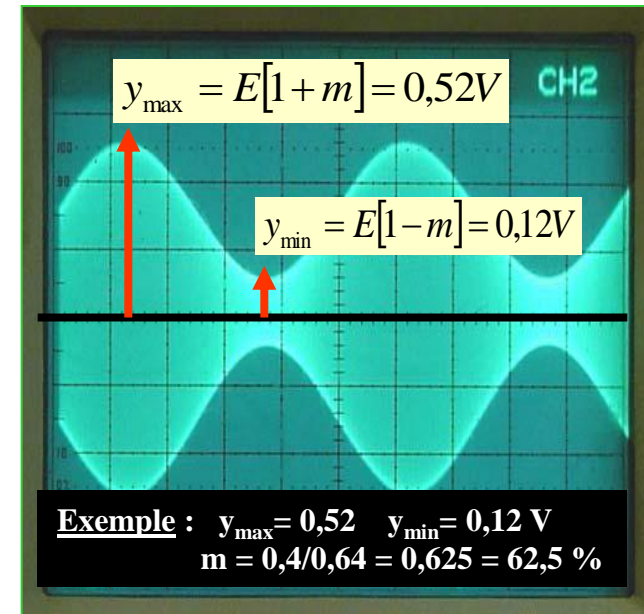
## Exemple de calcul de indice de modulation

$$e(t) = E[1 + m \cos(\Omega t)] \cos(\omega t)$$

$$y(t) = E[1 + m \cos(\Omega t)]$$

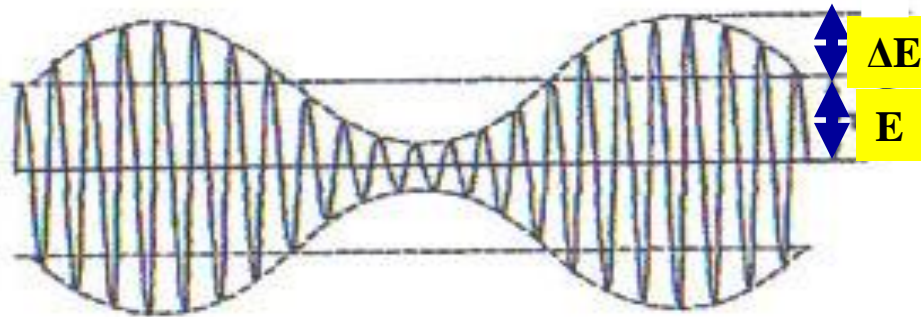
$$\frac{y_{\max}}{y_{\min}} = \frac{1 + m}{1 - m}$$

$$m = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_{\max} + y_{\min}}$$



# Chapitre I : La modulation AM

## Mesure de l'indice de modulation

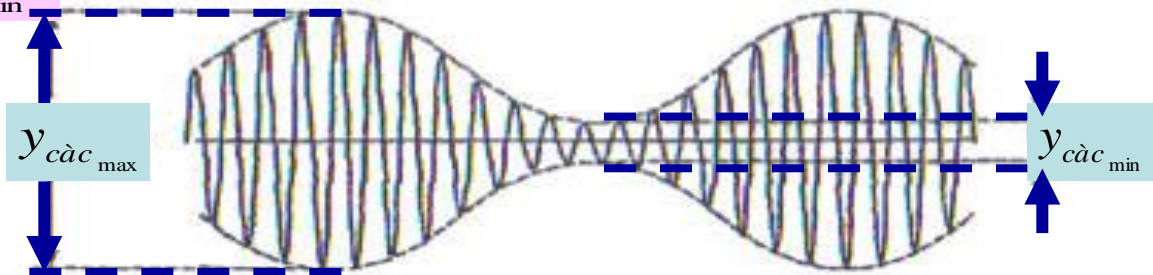


$m$  = coefficient ou indice de modulation

$\Delta E$  = variation de l'amplitude de la porteuse

$E$  = amplitude de la porteuse non modulée

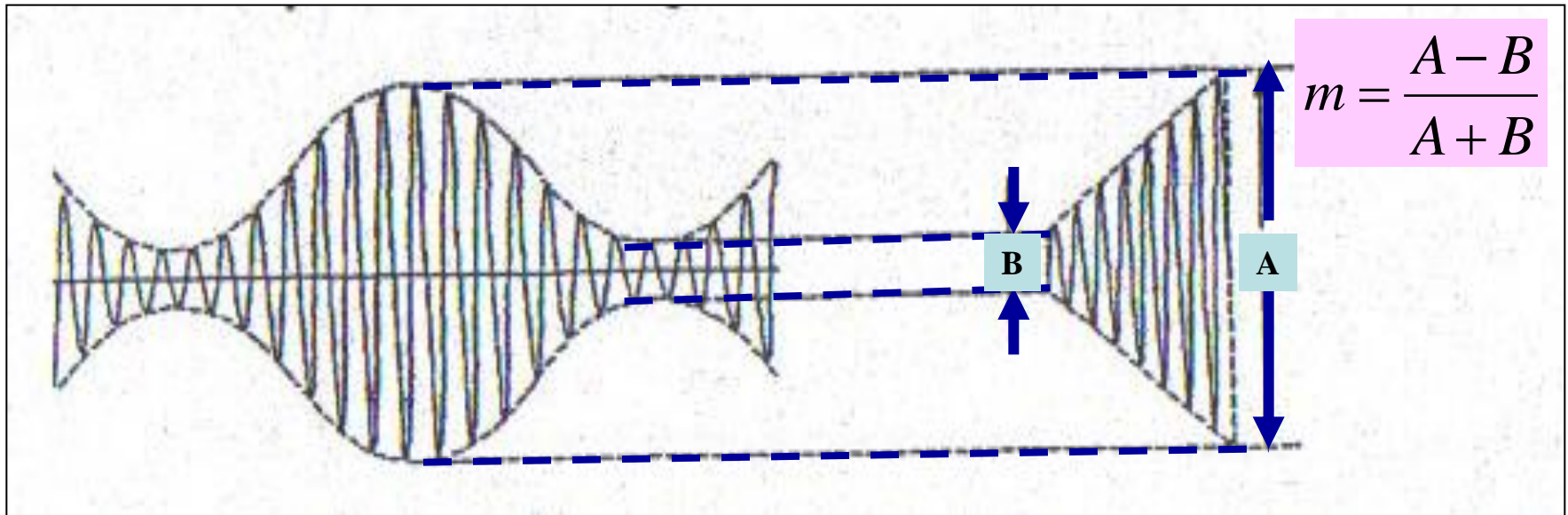
$$m = \frac{y_{c\grave{a}c_{\max}} - y_{c\grave{a}c_{\min}}}{y_{c\grave{a}c_{\max}} + y_{c\grave{a}c_{\min}}}$$



# Chapitre I : La modulation AM

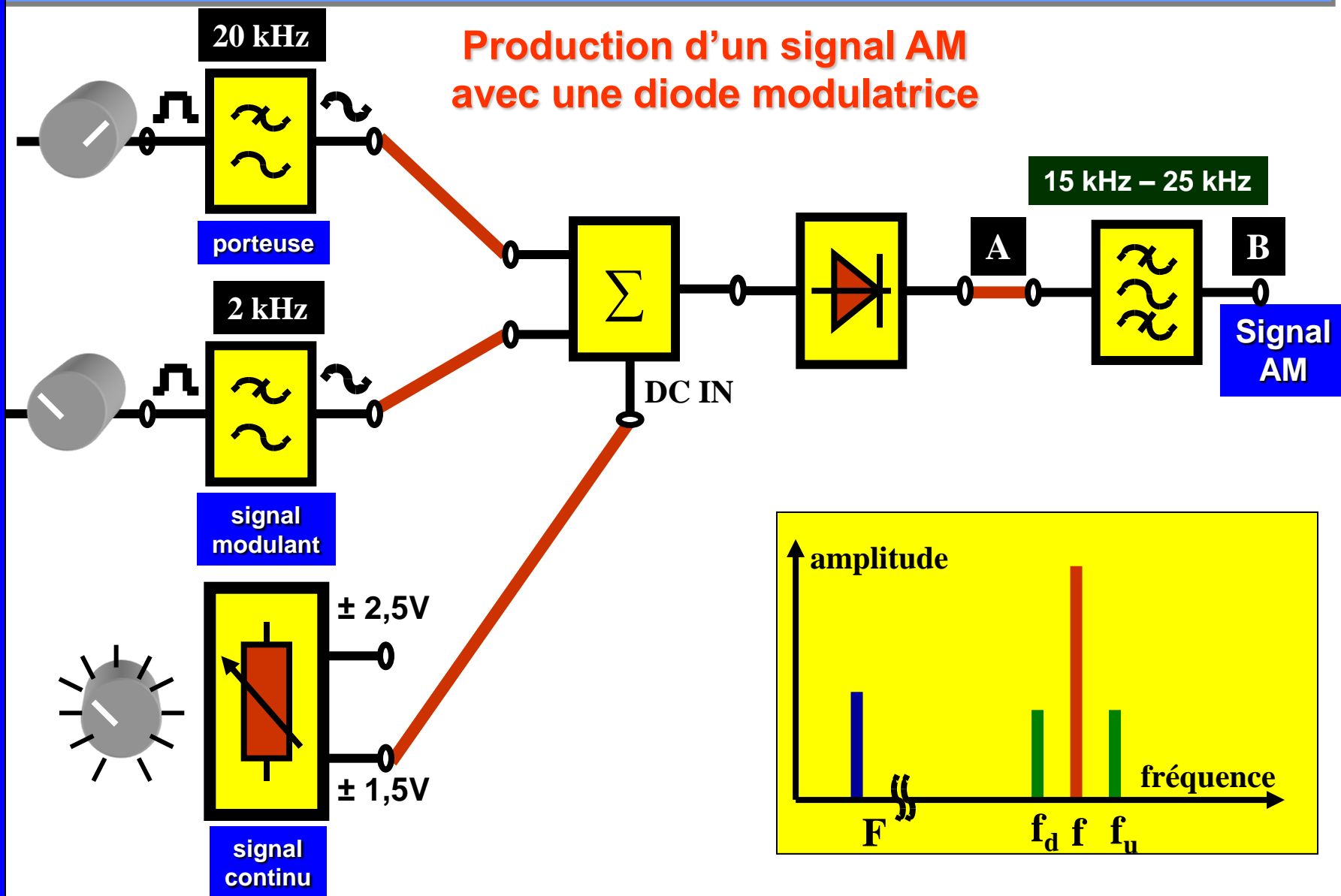
## Mesure de l'indice de modulation

Utilisation du mode X-Y à l'oscilloscope



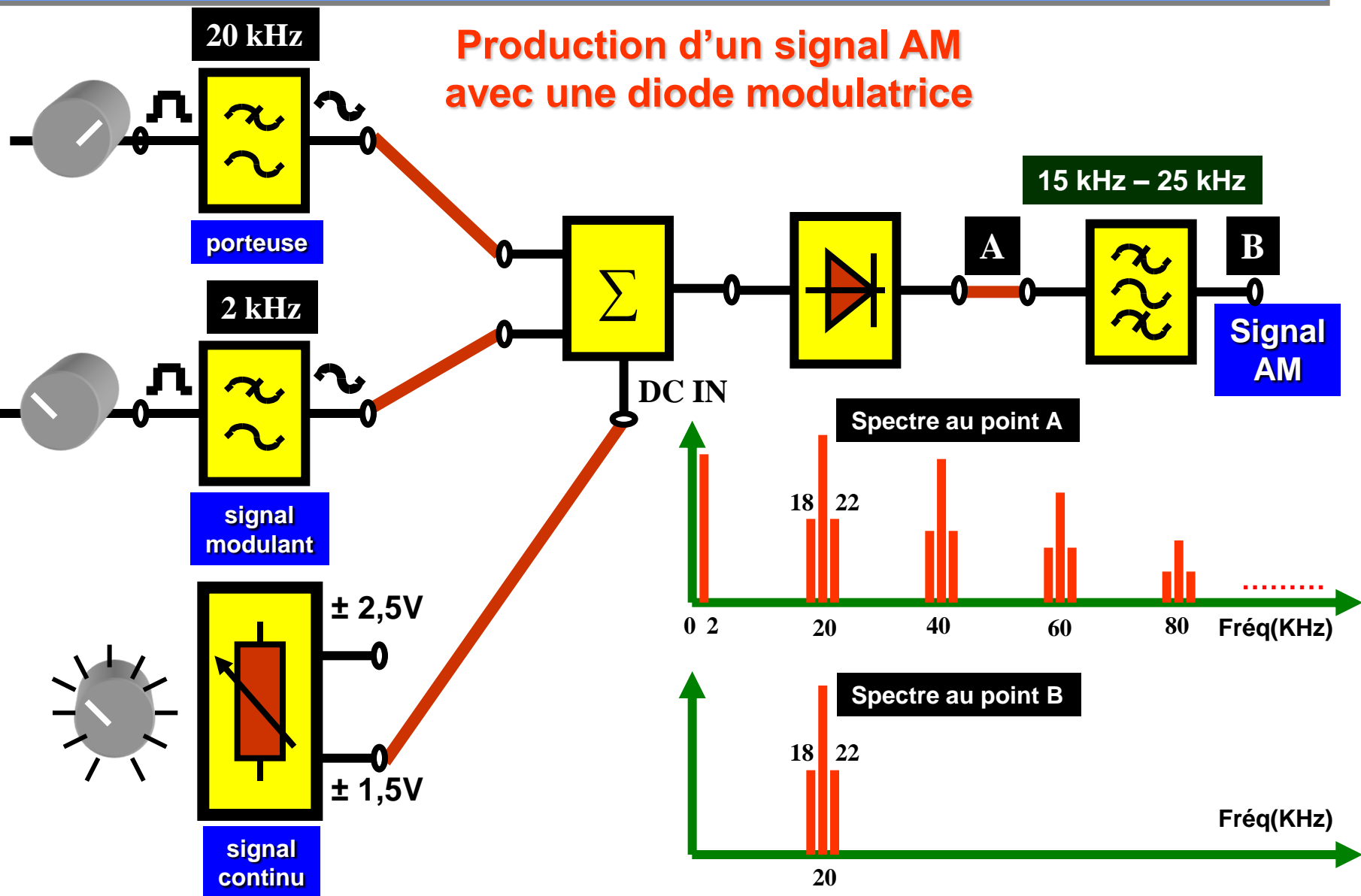
# Chapitre I : La modulation AM

Production d'un signal AM  
 avec une diode modulatrice



# Chapitre I : La modulation AM

Production d'un signal AM  
 avec une diode modulatrice





# Chapitre I : La modulation AM

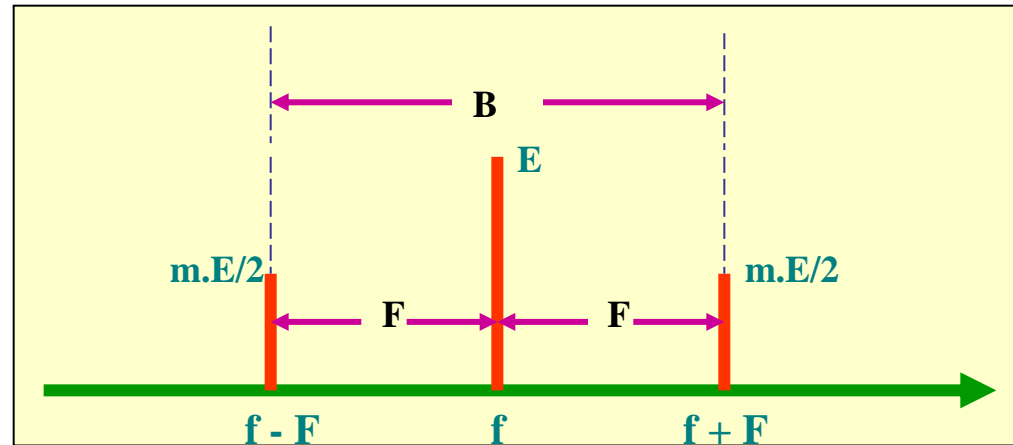
## Spectre AM avec signal modulant sinusoïdal

► Dans le cas simple où le signal modulant est sinusoïdal, l'expression du signal modulé peut être développée :

$$e(t) = E[1 + m.\cos(\Omega t)]\cos(\omega t) = E \cos(\omega t) + E.m.\cos(\Omega t)\cos(\omega t)$$

d'où :

$$e(t) = E \cos(\omega t) + \frac{E.m}{2}.\cos(\omega + \Omega)t + \frac{E.m}{2}.\cos(\omega - \Omega)t$$



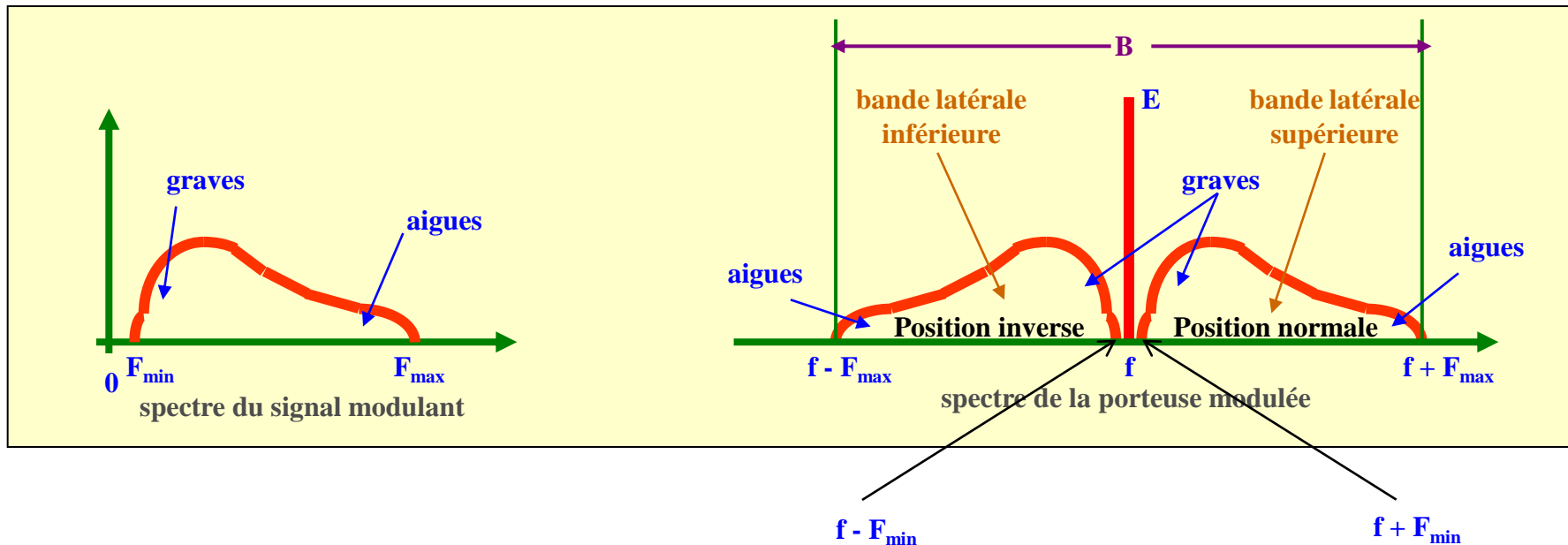
- le spectre est formé de 3 raies : la porteuse à  $f$ , les raies latérales supérieure à  $f + F$  et inférieure à  $f - F$
- la porteuse a une amplitude  $E$
- les raies latérales supérieure et inférieure ont la même amplitude  $m.E/2$
- l'encombrement spectral du signal modulé est le double de la fréquence modulante  $B = 2.F$

# Chapitre I : La modulation AM

## Spectre AM avec signal modulant analogique

► Dans ce cas, le calcul simple n'est plus possible, et on a pu démontrer que le spectre d'un signal modulé en amplitude est formé de 3 composantes :

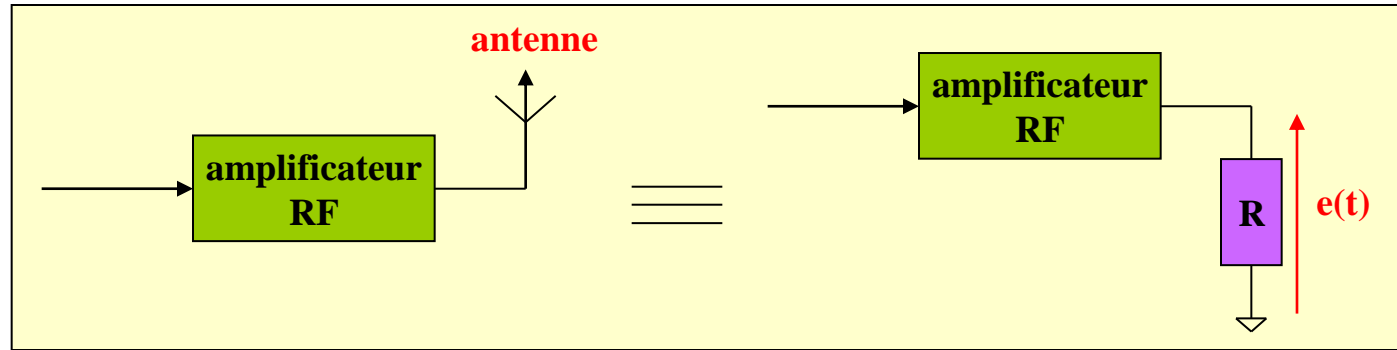
- une raie à la fréquence de la porteuse  $f$
- deux bandes latérales supérieure et inférieure
- la forme d'une bande latérale est celle du spectre du signal modulant
- l'encombrement spectral du signal modulé est de  $B = 2 F_{\max}$



# Chapitre I : La modulation AM

## Puissance transportée par un signal AM

- Le signal AM est appliqué à l'antenne qui se comporte vis-à-vis de l'amplificateur de sortie comme une charge résistive  $R$  :



- Le signal appliqué à l'antenne est constitué de 3 composantes sinusoïdales :

$$e(t) = E \cos(\omega t) + \frac{E.m}{2} \cdot \cos(\omega + \Omega)t + \frac{E.m}{2} \cdot \cos(\omega - \Omega)t$$

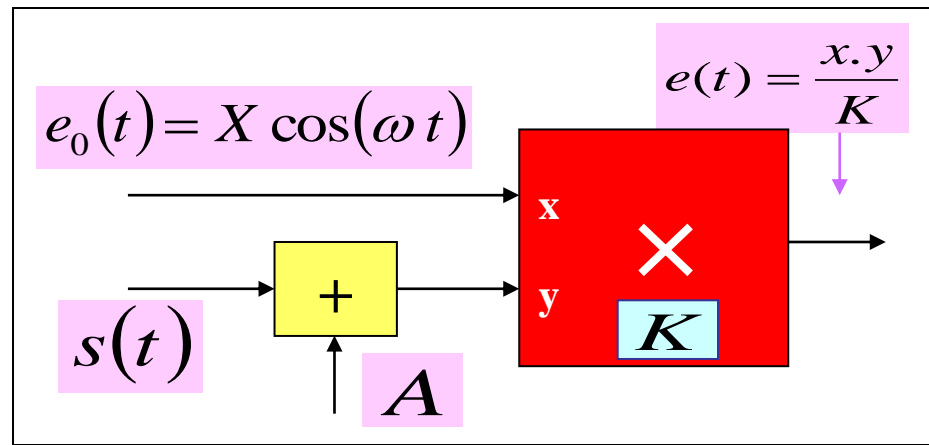
- La puissance totale dissipée dans l'antenne vaut alors :

$$P = \frac{E^2}{2R} + \frac{\left(\frac{E.m}{2}\right)^2}{2R} + \frac{\left(\frac{E.m}{2}\right)^2}{2R} = \frac{E^2}{2R} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

# Chapitre I : La modulation AM

## Production d'un signal AM avec un multiplieur

- ▶ On peut créer facilement un signal AM en utilisant un multiplieur :
  - le signal modulant  $s(t)$  est décalé par une composante continue  $A$
  - le résultat  $A + s(t)$  est appliqué sur une des entrées du multiplieur
  - l'autre entrée reçoit la porteuse  $e_0(t)$



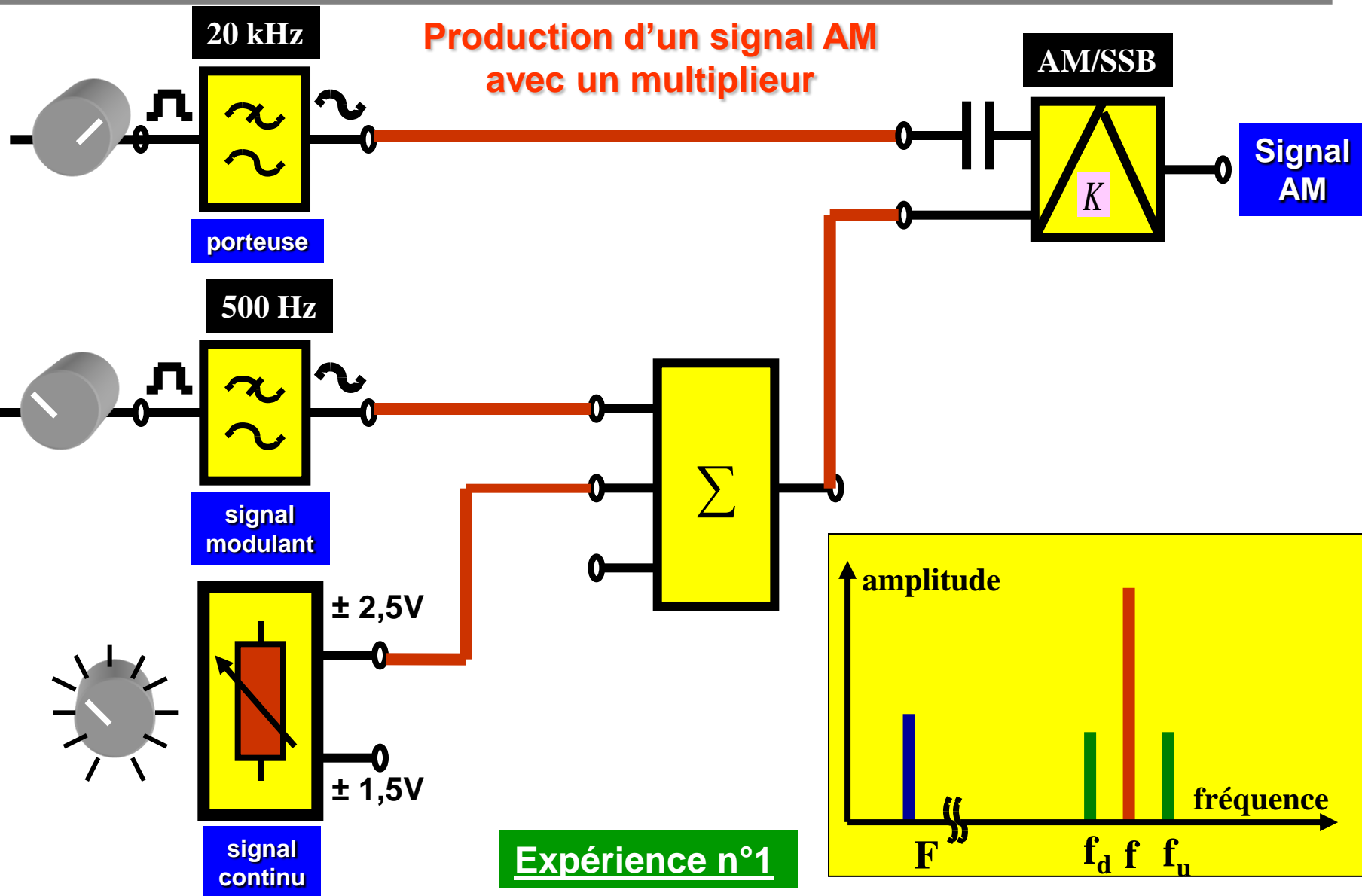
- ▶ A la sortie du multiplieur, l'expression du signal est la suivante :

$$e(t) = [A + s(t)] X \cdot \cos(\omega t) \cdot \frac{1}{K} = \frac{X \cdot A}{K} \left( 1 + \frac{a}{A} \cos(\Omega t) \right) \cos(\omega t) = E (1 + m \cdot \cos(\Omega t)) \cos(\omega t)$$

- ▶ On obtient un signal modulé en amplitude :
  - l'amplitude de la porteuse vaut  $E = X A / K$
  - l'indice de modulation  $m = a / A$  est réglable en jouant sur la valeur de la composante continue  $A$

# Chapitre I : La modulation AM

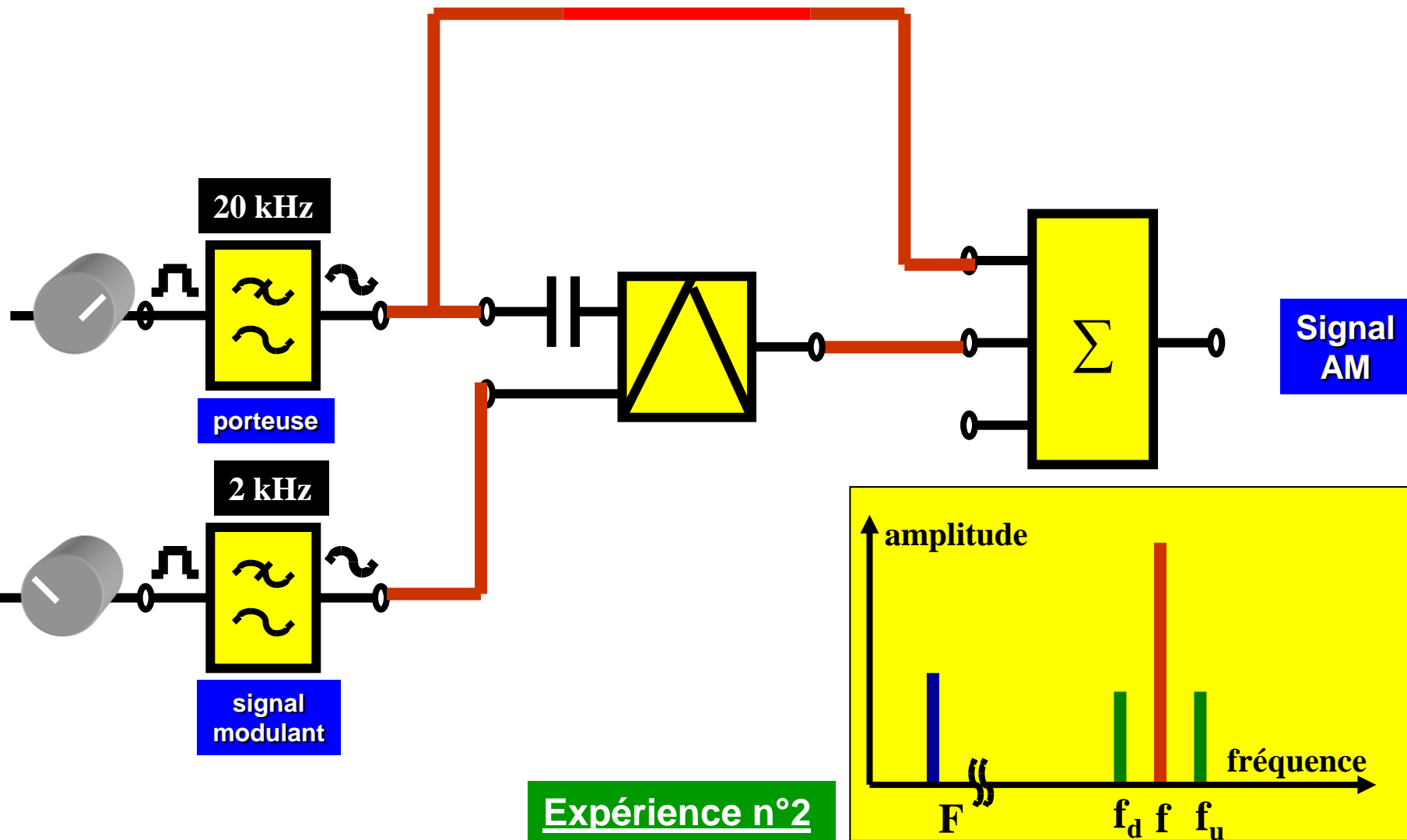
Production d'un signal AM  
 avec un multiplieur



Expérience n°1

# Chapitre I : La modulation AM

Production d'un signal AM utilisation d'un multiplieur





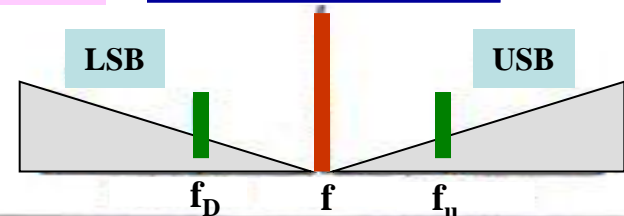
# Chapitre I : La modulation AM

## Les différentes modulations AM

### La modulation AM classique avec porteuse



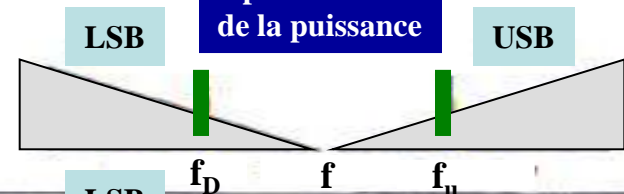
#### Transport classique



### La modulation AM en bande latérale double



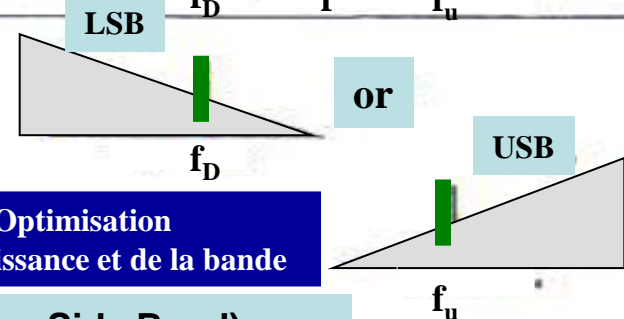
#### Optimisation de la puissance



### La modulation AM en bande latérale unique



#### Optimisation de la puissance et de la bande

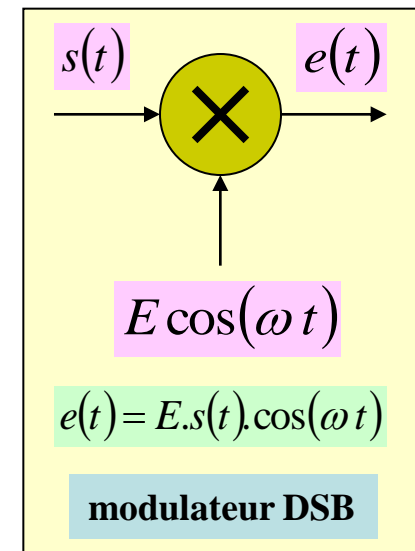
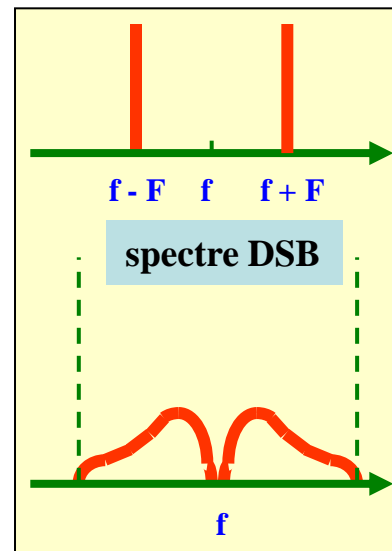
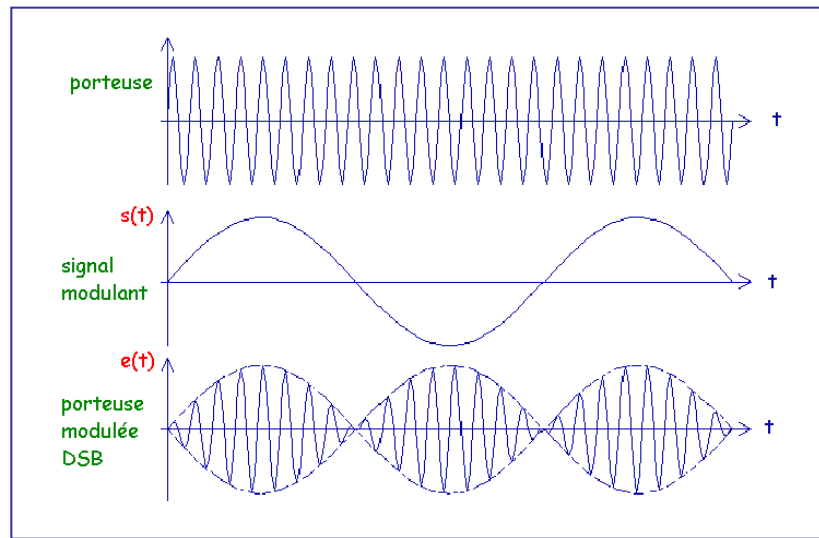


LSB = Bande latérale inférieure (ou Lower Side Band)  
USB = Bande latérale supérieure (ou Upper Side Band)  
 $F$  = fréquence de l'information  
 $f$  = fréquence de la porteuse

# Chapitre I : La modulation AM

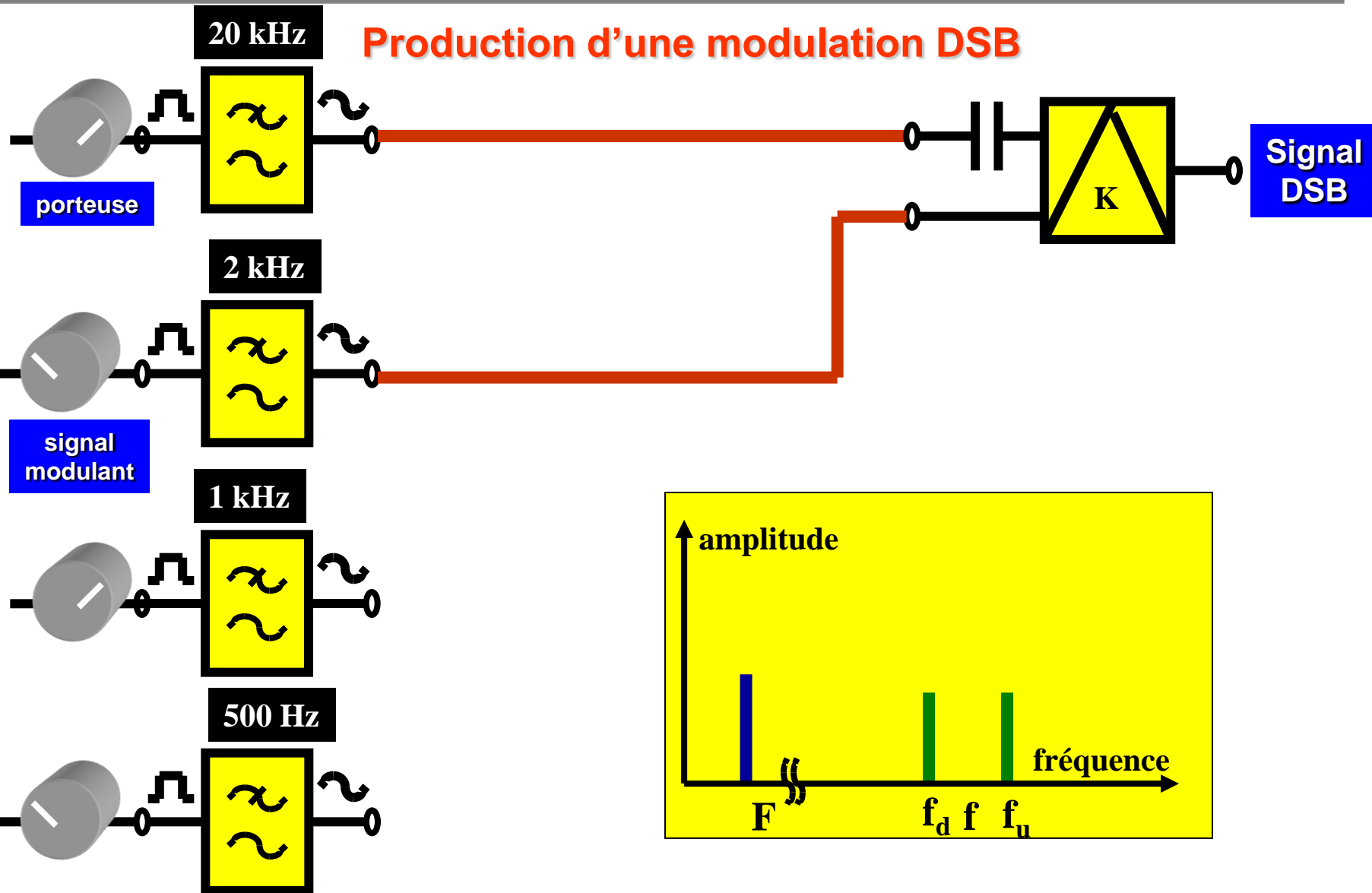
## La modulation AM en bande latérale double : DSB

- Pour diminuer la consommation de l'émetteur dans les équipements mobiles, d'autres types de modulations AM ont vu le jour.
- Dans la modulation **AM-BLD** ( bande latérale double ou **AM-DSB**: (dual side band) :
  - la porteuse modulée est obtenue en multipliant le signal modulant par la porteuse
  - ce signal se démodule avec un démodulateur synchrone)



# Chapitre I : La modulation AM

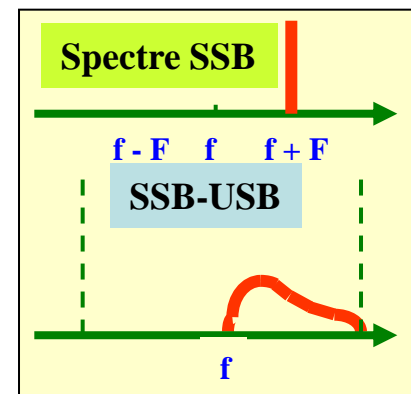
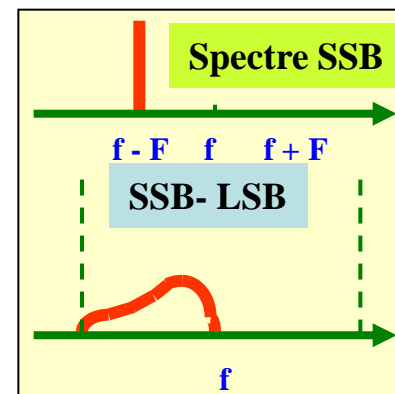
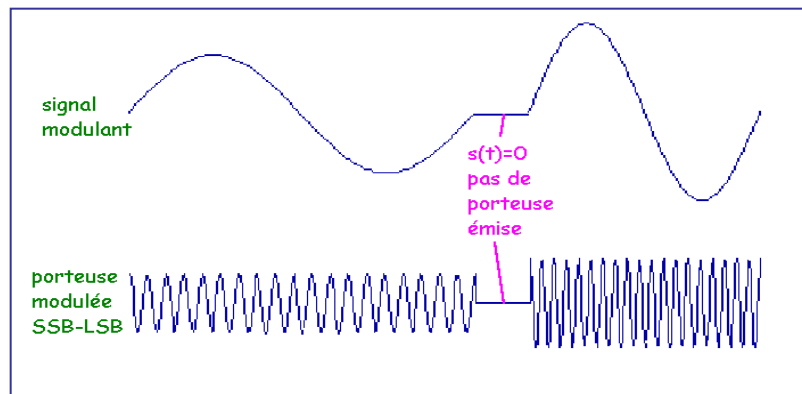
## Production d'une modulation DSB



# Chapitre I : La modulation AM

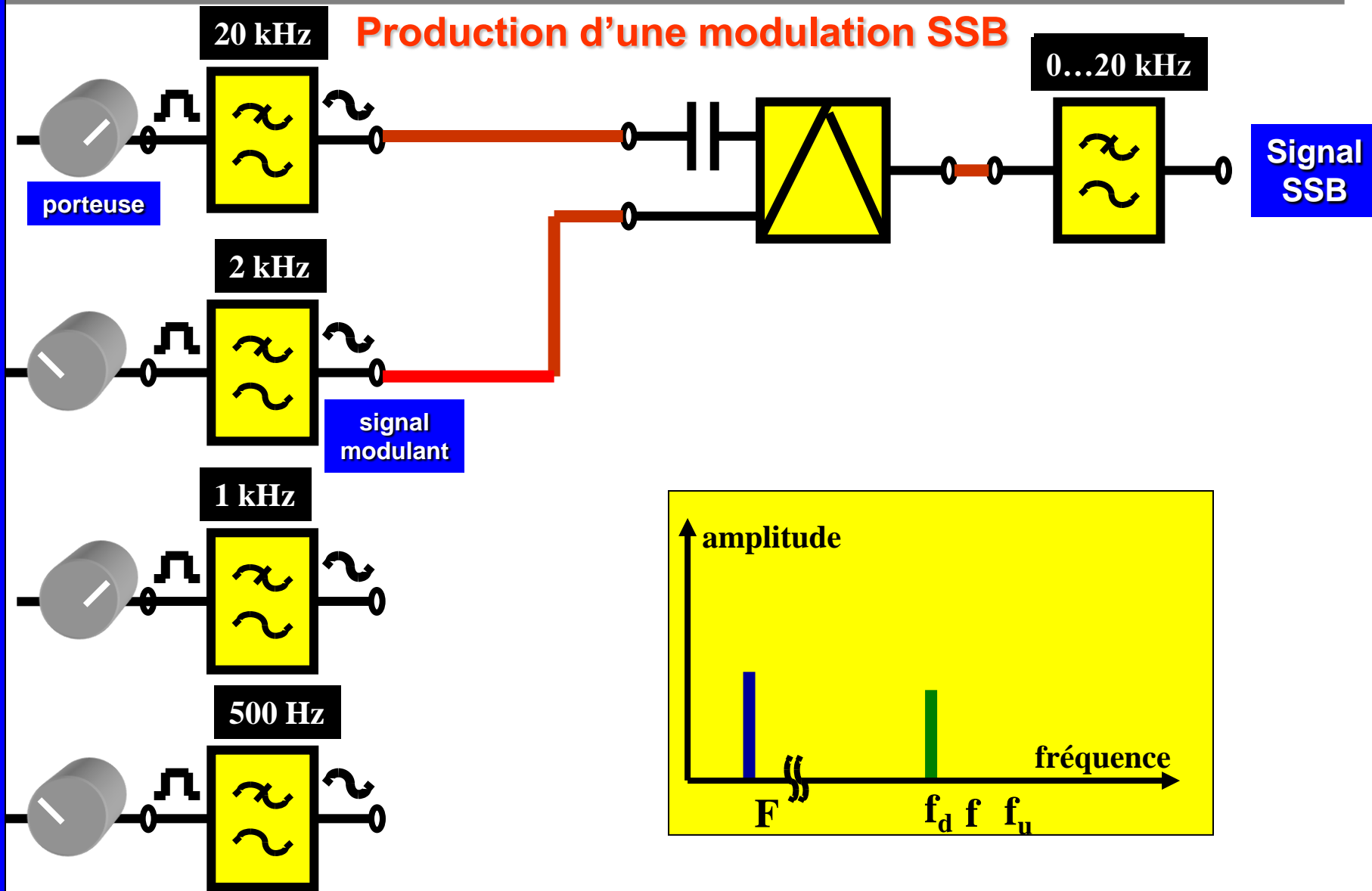
## La modulation AM en bande latérale unique : SSB

- ▶ Grâce aux travaux montrant que la porteuse ne contenait pas d'information, il a été mis au point la modulation **BLU** ( bande latérale unique ou **SSB**: single side band) :
  - la première liaison radio transatlantique New-York, Londres fut inaugurée en 1927 et fonctionnait en BLU
  - la BLU est économe en énergie et permet une portée intéressante avec une puissance émise faible
  - la BLU est très utilisée dans les équipements portables et par les radioamateurs
- le spectre est constitué par la bande latérale supérieure (Upper Side Band) ou inférieure (Lower Side Band) du signal AM classique
- elle peut être produite par filtrage d'un signal DSB ou par synthèse directe



# Chapitre I : La modulation AM

## Production d'une modulation SSB



# Chapitre I : La modulation AM

## Travaux Dirigés n°1

# Travaux dirigés n°1

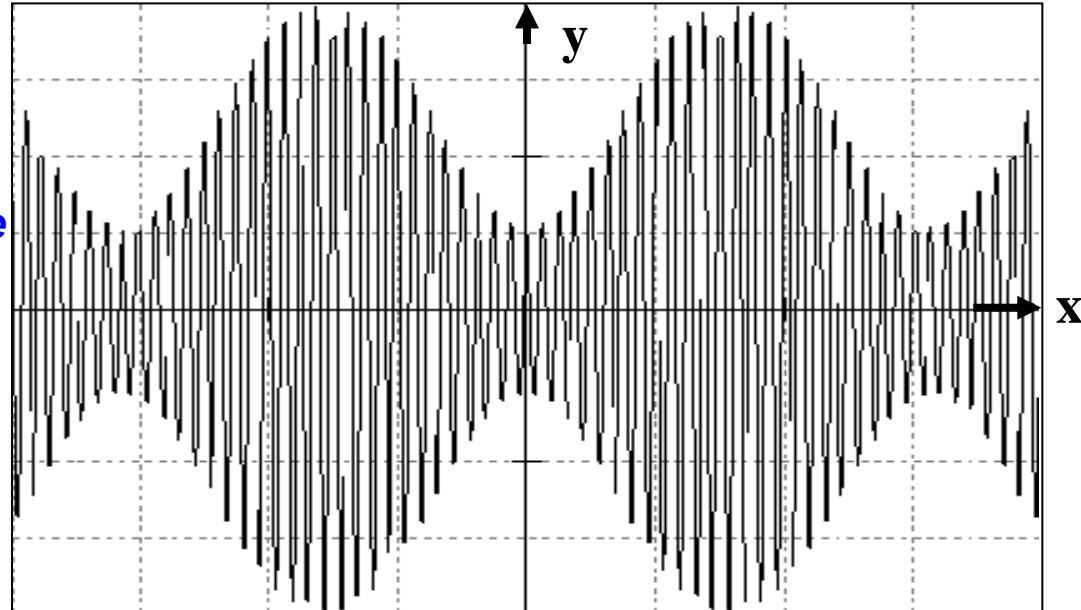
## Exercice n°1 : porteuse modulé en amplitude

- On rappelle qu'un signal AM avec porteuse a pour expression :
$$e(t) = E(1 + k.s(t)).\cos(\omega t)$$
- L'enregistrement d'une porteuse modulée par un signal modulant sinusoïdal  $s(t) = a \cos(\Omega t)$  a donné la courbe ci-contre :

Échelles :

en y : 1V/carreau

en x : 0,1ms/carreau



- 1) Donner l'expression littérale de la porteuse modulée  $e(t)$  en fonction de  $E$  et  $m$ .
- 2) A partir de l'enregistrement fourni, déterminer les valeurs des fréquences  $f$  de la porteuse et  $F$  du signal modulant.
- 3) Exprimer  $E_{\max}$  et  $E_{\min}$ , valeurs max et min de l'enveloppe supérieure, en fonction de  $E$  et  $m$ . Mesurer ces valeurs sur l'enregistrement et en déduire la valeur numérique de l'indice de modulation  $m$ , puis de l'amplitude de la porteuse  $E$ .
- 4) Tracer l'allure du spectre de ce signal et en déduire l'encombrement spectral de ce signal modulé. Calculer la puissance de chaque raie si l'antenne a une résistance de  $R = 10 \Omega$ .



# Travaux dirigés n°1

## Exercice n°2 : production d'un signal AM

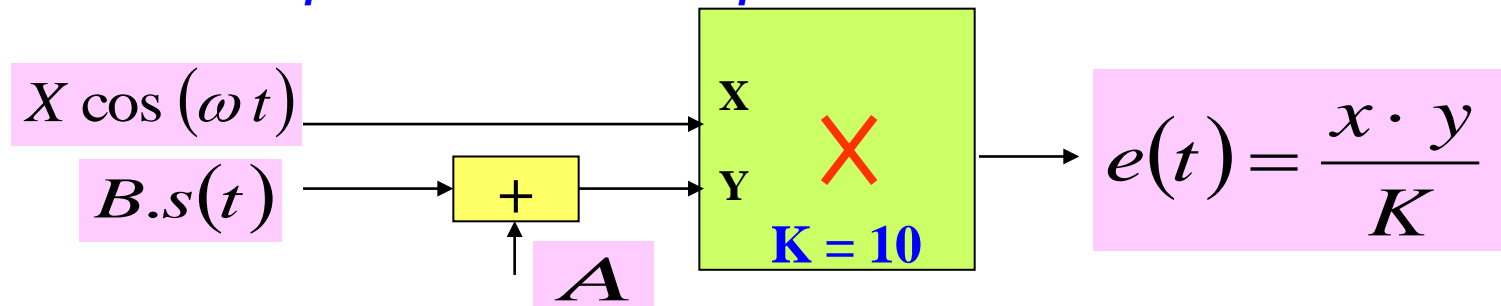
► On rappelle qu'un signal AM avec porteuse a pour expression :

$$e(t) = E(1 + k.s(t)).\cos(\omega t)$$

► On donne les valeurs numériques suivantes :

- fréquence de la porteuse  $f = 1 \text{ MHz}$
- amplitude de la porteuse  $E = 10 \text{ V}$
- coefficient caractéristique du modulateur  $k = 0,1$
- signal modulant sinusoïdal  $s(t) = 5 \cos(\Omega t)$  de fréquence  $F = 1 \text{ kHz}$

- 1) Donner l'expression mathématique de  $e(t)$ . Quelles sont les amplitudes limites atteintes par ce signal AM ?
- 2) Quelle est la valeur de l'indice de modulation  $m$  ?
- 3) Représenter le spectre du signal  $e(t)$  en précisant l'amplitude et la fréquence des raies.
- 4) Ce signal AM est fabriqué à l'aide d'un multiplieur selon le schéma suivant :



► Exprimer le signal de sortie  $e(t)$  du multiplieur en fonction de  $A$ ,  $B$  et  $X$  et proposer des valeurs pour  $A$ ,  $B$  et  $X$  compatibles avec une électronique alimentée avec  $\pm 15\text{V}$ .