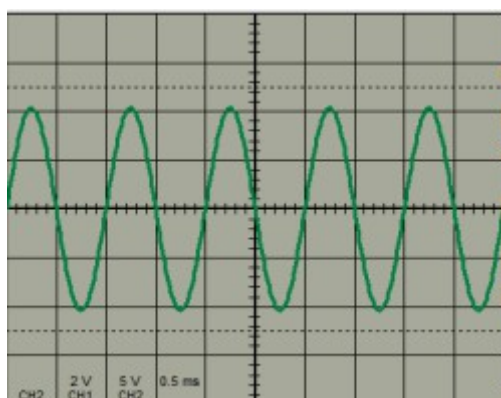


# Alternatif – Résumé – Ce qu'il faut savoir

## 1°) Fréquence, Période, Pulsation



Les réglages de l'oscilloscope sont :  
balayage horizontal : 0,5 ms/division et sensibilité verticale, 5volts / division

La tension est sinusoïdale, la période  $T$  (durée d'un cycle complet est 1 ms.

$T = 1\text{ms} = 0,001\text{s}$

Fréquence  $f = 1/T = 1/0,001 = 1000\text{ Hz} = 1\text{ kHz}$

La tension maximale est  $U_{\text{max}} = 2 \times 5\text{V} = 10\text{V}$

La tension crête à crête est  $2 \times 10\text{V} = 20\text{V}$

La tension moyenne est 0V

La tension efficace est :

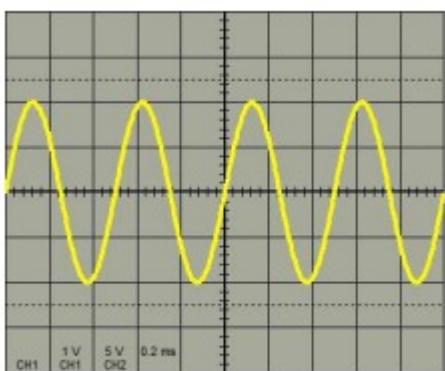
$$U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} / \sqrt{2} \quad U_{\text{eff}} = 10 / 1,414 = 7,07\text{V}$$

La PULSATION ( $\omega$ ) s'exprime en radians/seconde  $\omega = 2\pi f$  avec  $\omega$  en rd/s et  $f$  en Hz

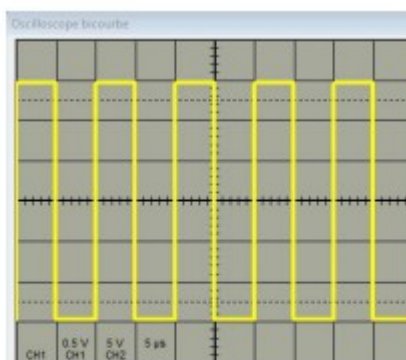
$\omega = 6,28 f$  ou  $\omega = 2\pi/T$  avec  $\omega$  en rd/s et  $T$  en s

Ici,  $\omega = 6,28 \times 1000 = 6280\text{ rd/s}$

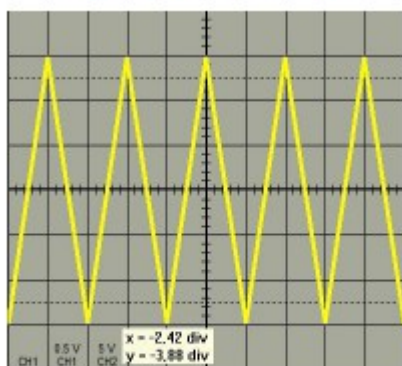
Formes d'ondes :



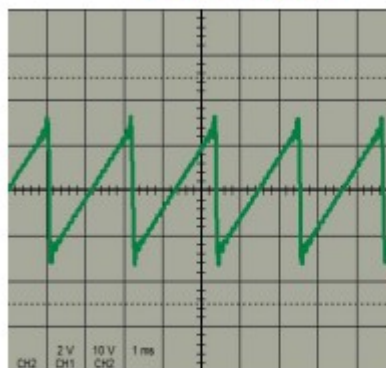
signal sinusoïdal



signal carré

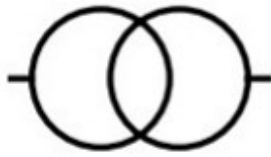
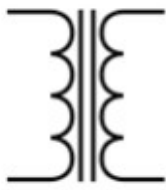


signal triangulaire



signal en dent de scie

## Transformateurs



La tension efficace  $U_p$  que je veux transformer est appliquée au **primaire**, dont le nombre de spires est  $N_p$

Relation à connaître 
$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p} = n$$

$n$  est le rapport de transformation

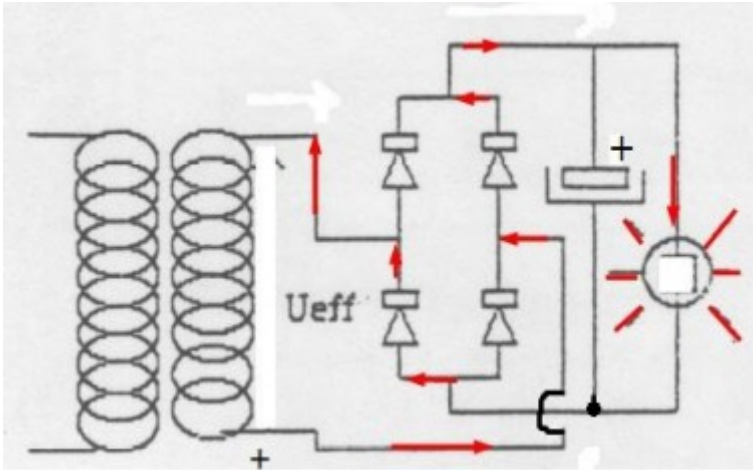
si  $n > 1$  le transformateur est éleveur de tension

si  $n < 1$  le transformateur est abaisseur de tension

si  $n = 1$   $U_s = U_p$

### Redressement et filtrage

Redresser une tension alternative, c'est la transformer en tension continue. On utilise une diode ou un pont de diodes



A chaque alternance, le pont de 4 diodes (Graetz) redresse la tension alternative, la lampe est traversée par le courant toujours dans le même sens. Un condensateur filtre la tension redressée.

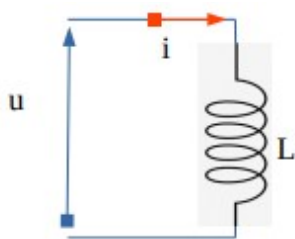
La tension aux bornes de la lampe est  $U_{eff} \times 1,4 - 1,2$  ( la chute de tension aux bornes des deux diodes conductrices )

## Résistances, bobines, condensateurs en alternatif

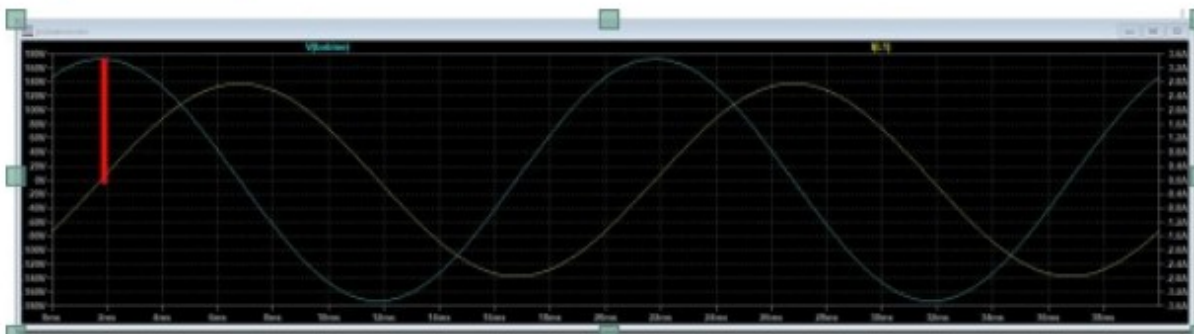
### Résistances et alternatif :

Dans une résistance, le **courant et la tension sont en phase**. L'impédance  $Z$  de la résistance ne varie pas si la fréquence varie.

### Bobine et alternatif :



Une bobine est constituée d'un enroulement de fil conducteur, si les spires sont jointives, il doit être isolé. On la note  $L$ . Elle est soumise à une tension alternative  $u$  et traversée par un courant  $i$   
Ci-dessous l'oscillogramme obtenu



Tension et intensité ne sont pas en phase, la tension (c'est la courbe qui a la plus grande amplitude) est en avance de  $90^\circ$ , on dit en **quadrature avant** par rapport à l'intensité

Une bobine présente une « réactance inductive » notée  $X_L$  telle que :

$$X_L = L\omega \text{ ou } X_L = 2\pi fL \text{ avec } X_L \text{ en ohms ; } \omega \text{ en radians/seconde}$$

$L$  est appelée inductance de la bobine (ou self). C'est la « résistance » de la bobine en alternatif. Elle augmente avec la fréquence.

### Associations de bobines

La règle est la même que pour les résistances (il faut que les selfs soient le plus éloignées possible pour ne pas agir l'une sur l'autre)

$L_1$  et  $L_2$  en série inductance :  $Leq = L_1 + L_2$   $L_1$  et  $L_2$

En dérivation  $Leq = (L_1 \times L_2) / (L_1 + L_2)$

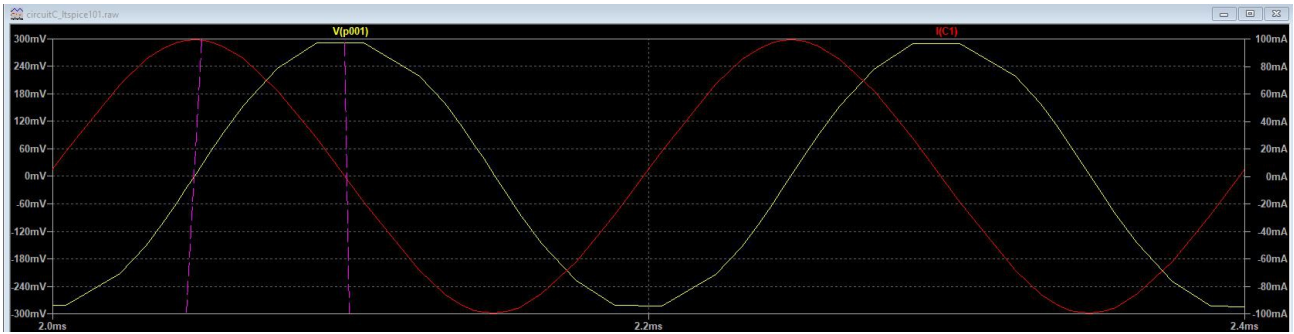
$L_1 + L_2 + L_3$  en dérivation  $1/Leq = 1/L_1 + 1/L_2 + 1/L_3$

### 4°) Comportement d'un condensateur en alternatif.

Rappel : un condensateur est isolant en continu.

Un condensateur de  $10\mu\text{F}$  est soumis à une tension alternative  $U_{\text{max}} = 5\text{V}$ ,  $f = 5000\text{ Hz}$  au travers d'une résistance de  $50\Omega$ .

On obtient l'oscillogramme suivant :



En rouge l'intensité qui « traverse » le circuit.  $I_{max} = 100 \text{ mA}$  environ donc  $I_{eff} = 71 \text{ mV}$  environ.

On remarque que l'intensité est à son maximum (phase =  $90^\circ$ ) tandis que la tension est encore à 0 (phase :  $0^\circ$ )

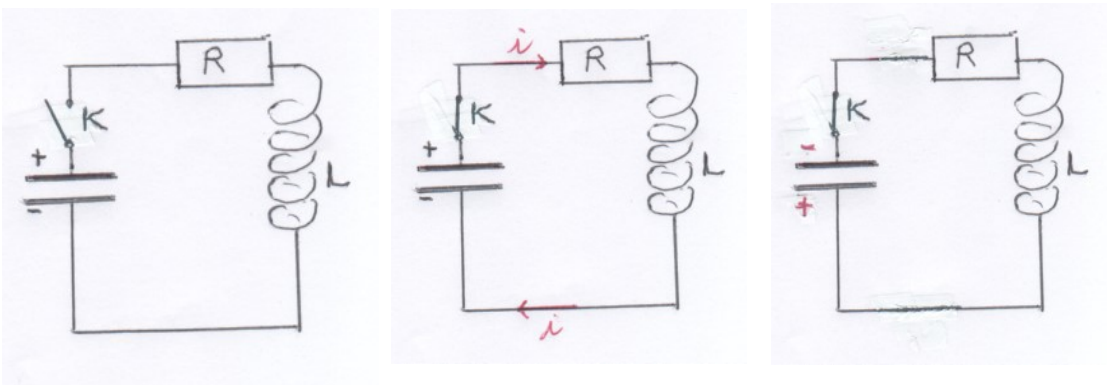
Cette fois ci, c'est l'intensité qui est en avance de  $90^\circ$  sur la tension. Intensité et tension sont en quadrature de phase.

Une formule :  $X_C = \frac{1}{C\omega}$  avec  $X_c$  en ohms,  $C$  en farads et  $\omega$  en radians/seconde

Plus la fréquence augmente, plus l'impédance (réactance) du condensateur diminue. Très résistant aux basses fréquences, sa réactance diminue avec la fréquence, c'est le contraire d'une bobine. Intensité et tension sont toujours en quadrature de phase.

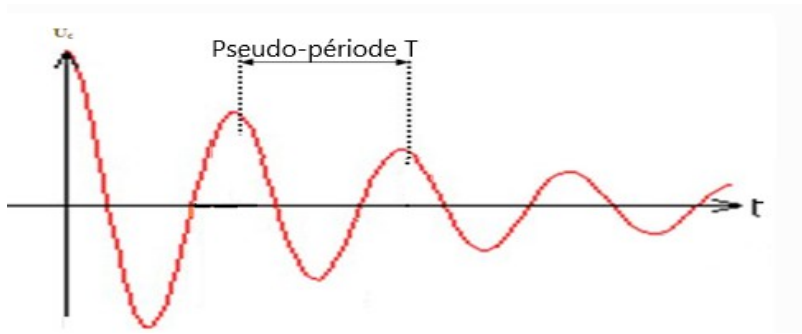
### 5°) Circuit RLC série en régime libre.

RLC : il comporte une résistance  $R$ , une bobine d'inductance  $L$  et un condensateur de capacité  $C$  en série.



Le condensateur sera préalablement chargé.

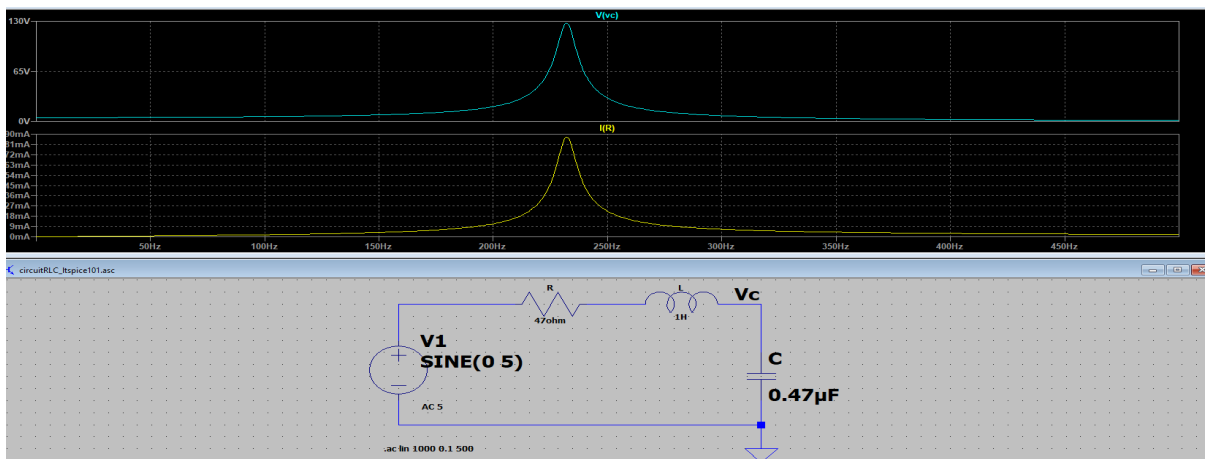
- 1 : fermons l'interrupteur  $k$
- 2 : le condensateur se décharge au travers la résistance et la bobine et charge le condensateur dans l'autre sens
- 3 : le cycle recommence....



Si on mesure la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps, on retrouve le même type de courbe qu'avec le pendule. L'oscillation se fait avec une **pseudo-période** dont la durée va varier en fonction des valeurs de  $R$  ;  $L$  et  $C$ .

## 2°) Les oscillations forcées, résonance série.

### a) expérience



Un circuit comprend en série une résistance de  $470\Omega$ , une bobine de  $1H$  et un condensateur de  $0,47\mu F$ . Un générateur de tension alternative ( $5V$  max) dont la fréquence va varier de  $50Hz$  à  $500kHz$  environ va être appliquée au dispositif. En bleu la tension aux bornes du condensateur, en rouge l'intensité qui traverse le circuit.

Remarque 1 : on voit que la tension et l'intensité ont un « pic » pour une fréquence de  $230-240Hz$  environ.

Remarque 2 : la tension aux bornes du condensateur est « forte », supérieure à  $15V$  alors que la tension du générateur n'est que de  $5V$  alternatif, c'est le **phénomène de surtension**. Il se produit pour une fréquence particulière, qui dépend de  $L$  et  $C$  appelée **fréquence de résonance**.

Remarque 3 : changeons la résistance de  $470$  pour une  $47\Omega$ , le pic de tension est de  **$130V$  environ**, de même le pic d'intensité est passé de  **$11mA$  à  $90mA$** .

### 3°) On peut bien sûr calculer tout cela !

a) Quelle est cette fréquence de résonance ? La formule de Thomson

La fréquence particulière  $f_0$  où l'impédance passe par un **minimum** se calcule de la façon suivante :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{la période correspondante } T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

Calculons cette fréquence pour l'exemple ci-dessus.

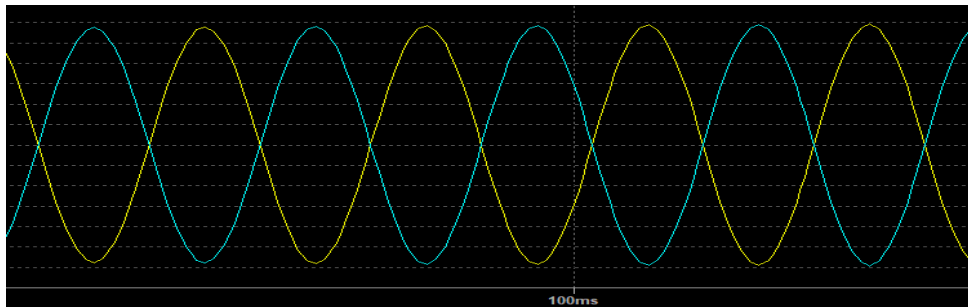
$$F_0 = \frac{1}{6,28\sqrt{0,47 \times 10^{-6} \times 1}} = 232 \text{ Hz (période : 4,3ms)}$$

Retrouvons la tension aux bornes du condensateur dans le deuxième exemple (la loi d'ohm devient  $U = Zi$ )

$$Z_c = 1/C\omega = 1/(0,47 \times 10^{-6} \times 6,28 \times 232) = 1460 \text{ ohms}$$

$$U_c = 1460 \times 0,090 = 131 \text{ V (on retrouve bien le pic de tension)}$$

b) Déphasage à la résonance entre la tension aux bornes du condensateur et de la bobine à la résonance.



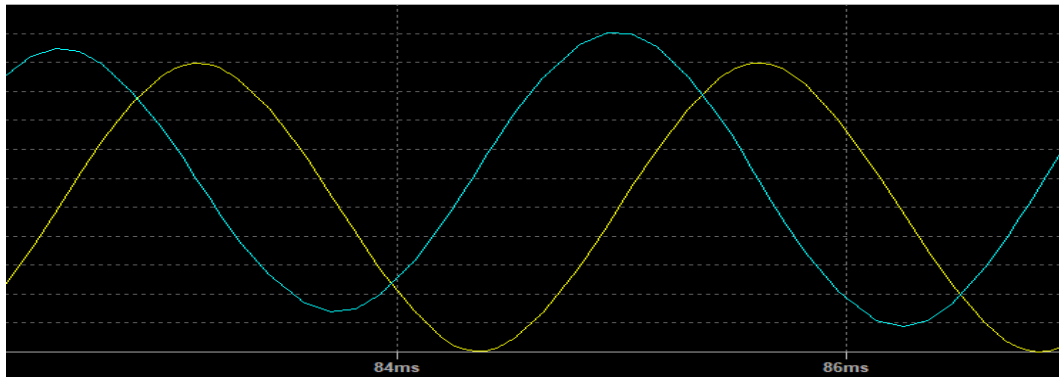
En bleu, la tension aux bornes du condensateur et en jaune la tension aux bornes de la bobine **à la résonance**, elles ont la même valeur mais sont en **opposition de phase (déphasage 180°)**. Leur somme est nulle à tout instant.

**A la résonance, le circuit se comporte comme si la résistance était seule. Son impédance  $Z = R$  est au minimum, l'intensité efficace qui traverse le circuit sera par conséquent au maximum. A la résonance, le circuit se comporte comme si la résistance était seule. Son impédance  $Z = R$**

c) Déphasage courant-tension ( à une fréquence différente de la résonance)

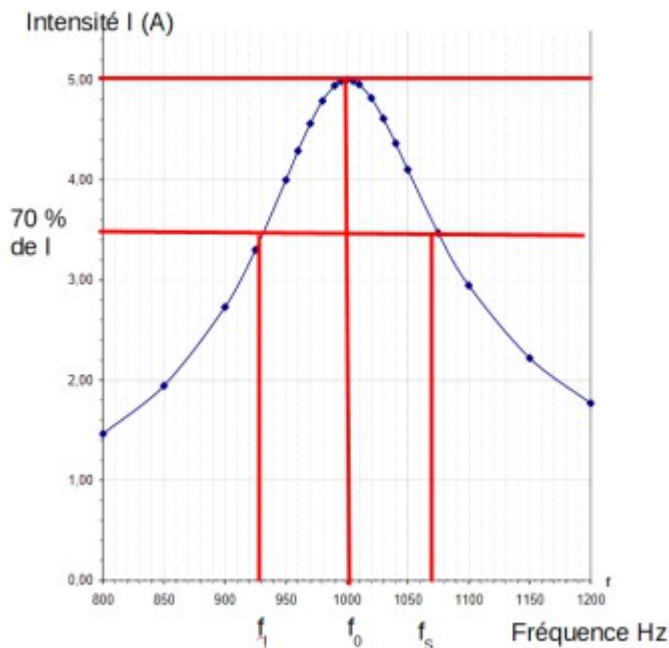
A 400 Hz, en bleu, la tension aux bornes de l'ensemble RLC et en jaune l'intensité qui traverse le circuit. On voit qu'ils sont déphasés. **La tension est en avance sur l'intensité, le circuit est inductif à cette fréquence.** En modifiant les valeur de L et C, il se peut que la tension soit en retard sur l'intensité, **le circuit est alors capacitif à cette fréquence.**





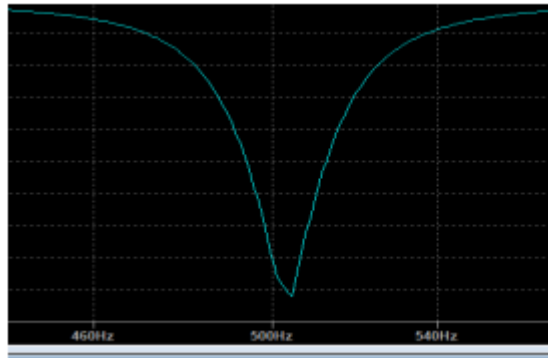
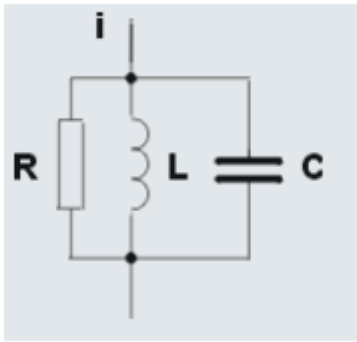
$$Q = \frac{L\omega_0}{R} \text{ ou } Q = \frac{1}{RC\omega_0} \text{ ou } Q = \sqrt{\frac{L}{C}} : R$$

- d) facteur de surtension ou facteur de qualité : Pour une résistance plus faible, le facteur de qualité Q sera élevé.  
 e) bande passante à -3dB



Cette courbe représente l'intensité du courant dans un circuit RLC dont on fait varier la fréquence.  
 L'intensité maximum lue est 5A  
 L'intensité efficace est donc de  $5 \times 0,7 = 3,5V$   
 Elle définit deux fréquences  $f_i$  et  $f_s$  (inférieure et supérieure)  
 La bande passante à -3dB est  $F_s - F_i$   
 Elle se calcule :  $f_s - f_i = f_0 / Q$

#### 4°) Résonance parallèle *classique*



C'est un circuit bouchon ou réjecteur ou coupe-bande.

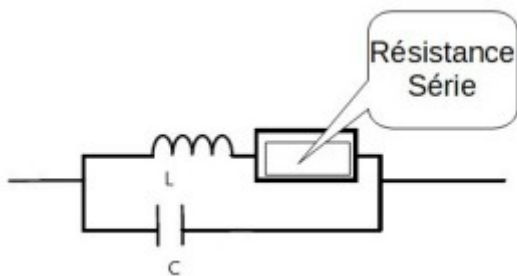
La fréquence de résonance se calcule comme pour le circuit série, la formule de Thomson

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ la période correspondante } T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \text{ et } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Par contre on ne parle pas de surtension mais de surintensité. La facteur Q de surintensité se calcule de la façon suivante :

$$Q = R/L\omega_0 \text{ ou } Q = RC\omega_0 \text{ ou } Q = R : \sqrt{\frac{L}{C}}$$

#### 5°) Une autre représentation du circuit RLC parallèle



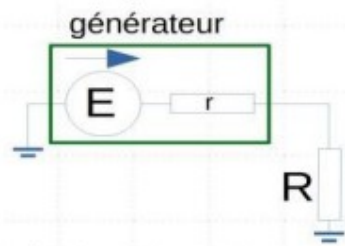
Le calcul de la fréquence de résonance se fait comme pour le circuit parallèle, par contre la relation entre résistance série et la résistance parallèle se calcule :

$$\text{Résistance parallèle} = (L\omega_0)^2 / \text{« résistance série »}$$

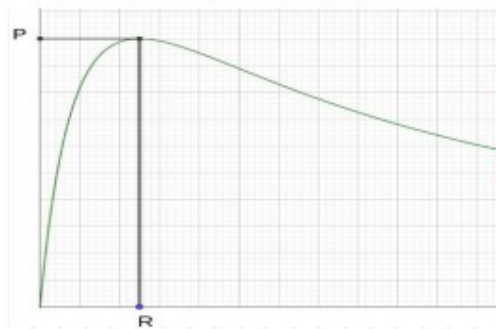
Le facteur de surintensité peut alors se calculer comme le circuit RLC parallèle *classique*



## Transfert de puissance



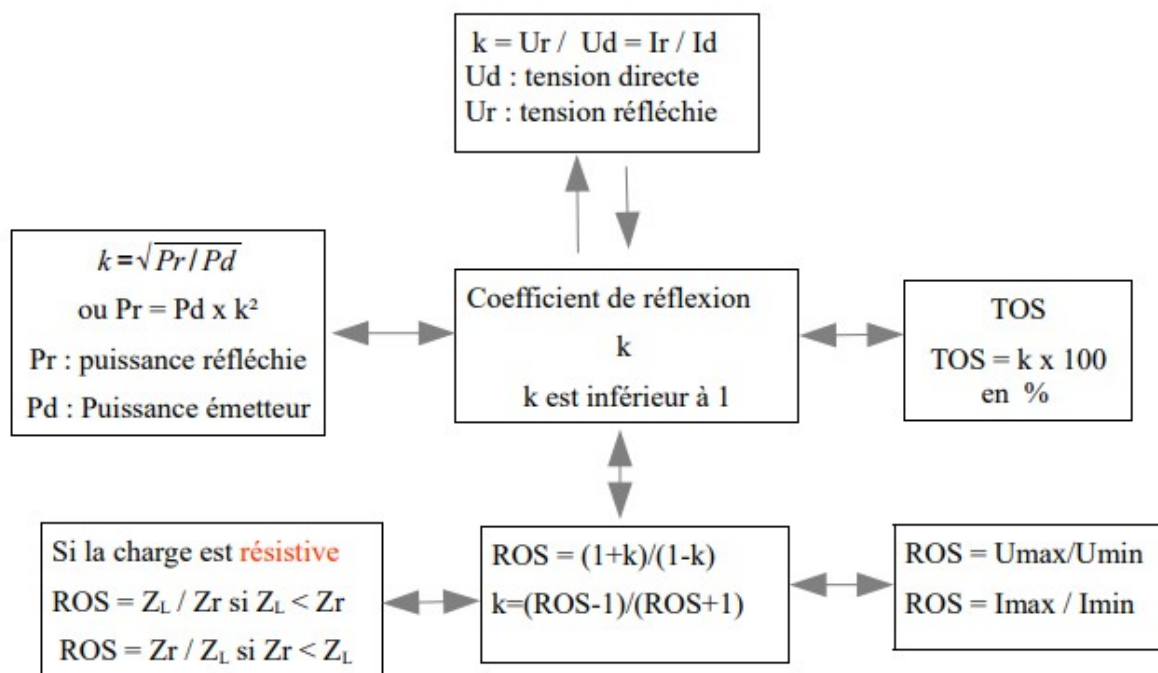
Un générateur de FEM  $E$  et de résistance interne  $r$  débite sur une charge de  $R$  ohms. Si on fait varier la résistance  $R$  et on calcule la puissance consommée par  $R$ , on obtient le graphique suivant.



La **puissance varie** en fonction de  $R$ , elle **augmente, passe par un maximum, puis diminue**

Ce maximum se produit lorsque  
 **$R = r$ .**

## ROS – TOS



$k$  : coefficient de réflexion (inférieur à 1)

$U_d$  : tension directe émise par l'émetteur au niveau de la charge

$U_r$  : tension réfléchie s'il y a désadaptation

$P_r$  : Puissance réfléchie par la charge en cas de désadaptation

$P_d$  : puissance directe dissipée par l'émetteur Remarque, si la charge est une antenne, la puissance dissipée par l'antenne  $P_a = P_e - P_r$

TOS : taux d'ondes stationnaires (en %)

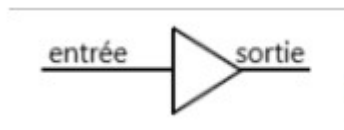
ROS ou SWR : rapport d'ondes stationnaires (supérieur à 1)  $Z_L$ : impédance de

la ligne  $Z_c$  : impédance de la charge

$U_{max}$  : tension maximale de l'onde stationnaire issue de la combinaison des ondes directes et réfléchies en cas de désadaptation

$U_{min}$  : tension minimale de l'onde stationnaire.

## Rendement – dB



Représentation symbolique d'un amplificateur

$$r = \frac{P_s}{P_e}$$

$P_s$  : puissance de sortie

$P_e$  : puissance d'entrée

Le rendement s'exprime en pourcentage ex :  $r = 0,8$  soit 80%

Dans le cas particulier où  $P_s/P_e = 2$ , on dit que le rapport de puissance ou gain en dB (décibel) est  $G = 3\text{dB}$  ou  $G = +3\text{dB}$

Dans le cas particulier où  $P_s/P_e = 10$ , on dit que le rapport de puissance ou gain en dB (décibel) est  $G = 10\text{dB}$  ou  $G = +10\text{dB}$

Pour les atténuations – 3dB signifie que la puissance d'entrée a été divisée par 2

Pour les atténuations – 10dB signifie que la puissance d'entrée a été divisée par 10

A retenir : le gain global d'une chaîne est égal à la somme des gains et atténuations de chaque élément.

Le gain en tension est la moitié du gain en puissance ( avec la même impédance)

## Longueur d'onde

### 1°) Onde électromagnétique

Elle est constituée d'un champ magnétique variable noté B et d'un champ électrique variable noté E.

Si l'antenne est horizontale, le champ électrique vibre dans le plan horizontal, on dit que l'onde est polarisée horizontalement.

Si l'antenne est verticale, le champ électrique vibre alors dans le plan vertical, on dit que l'onde est polarisée verticalement.

### 2°) Longueur d'onde physique

$$\lambda = \frac{300}{f}$$

avec  $\lambda$  en mètres et f en Mhz

$$f = \frac{300}{\lambda}$$

avec  $\lambda$  en mètres et f en Mhz

La longueur d'onde est d'autant plus petite que la fréquence est plus grande.

### 3°) Longueur d'onde électrique

Dans une ligne de transmission, appelée aussi **feeder**, la vitesse de propagation du signal est en général inférieure à celle de la lumière ( $c=300\,000\,000\text{ km/s}$ ) Cette vitesse dépend du type de ligne. A chaque feeder, son **coefficient de vélocité**. C'est un nombre inférieur à 1 Par exemple le coaxial RG5/U a un coefficient de vélocité de 0,66

La longueur d'onde électrique se calcule en multipliant la longueur physique par le coefficient de vélocité

Exemple : Sur la fréquence amateur 14,150 Mhz, la longueur d'onde dans l'air est :  $\lambda = 300/14,150 = 21,20$  mètres Dans le coaxial RG5/U cette longueur d'onde sera :  $21,2 \times 0,66 = 13,99$  mètres.

## Filtres

### 1°) Octaves, décades, harmoniques

Deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$  sont séparées d'une **octave** si  $f_2 = 2f_1$

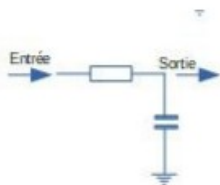
Deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$  sont séparées d'une **décade** si  $f_2 = 10f_1$

Soit un signal de fréquence  $f$

l'harmonique 2 aura comme fréquence  $2f$

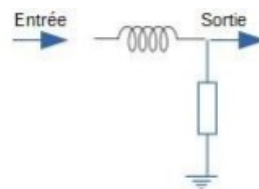
l'harmonique 3 aura comme fréquence  $3f$ ..... etc

### 2°) Filtres passe bas



Passe-bas RC

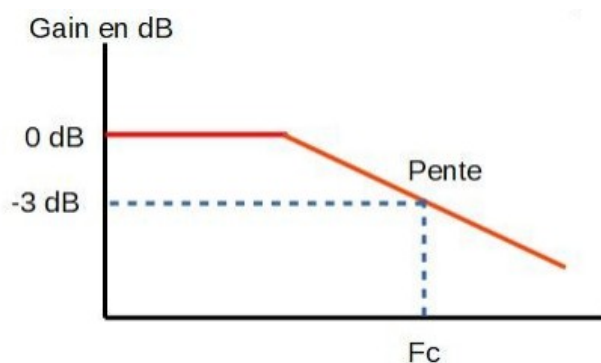
fréquence de coupure :  
 $F_c = 1 / (6,28 \times R \times C)$



Passe-bas LR

Fréquence de coupure  
 $F_c = R / (6,28 \times L)$

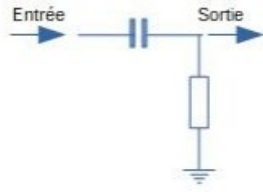
$F_c$  : Fréquence de coupure à -3dB



La **pente** s'exprime en **dB/octave**

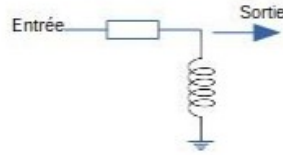
Dans les circuits ,ci-dessus, il n'y a qu'un élément réactif (condensateur pour le filtre RC et bobine pour le circuit LR) on calcule que la pente sera de : -6 dB/octave -20 dB/décade

### 3°) Filtres passe-haut



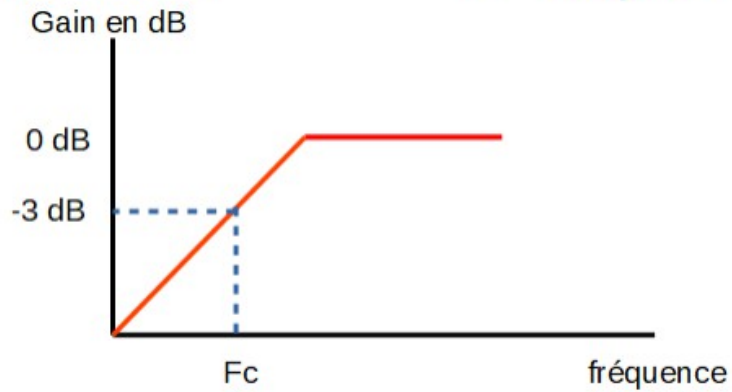
Passe-haut CR

fréquence de coupure :  
 $F_c = 1 / (6,28 \times R \times C)$

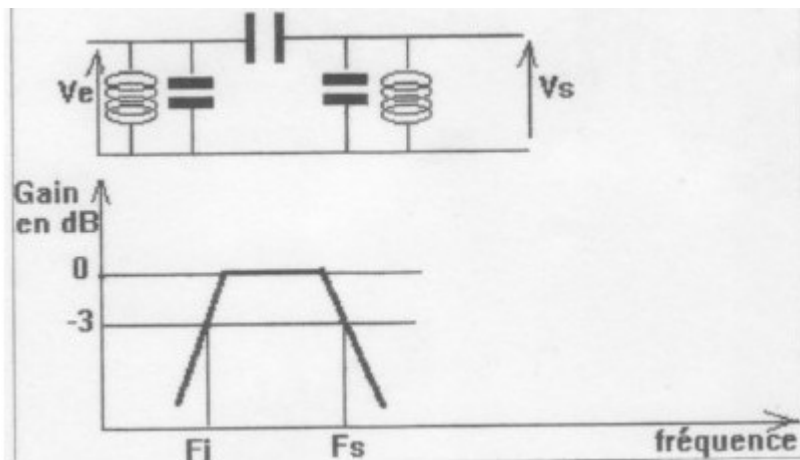


Passe-haut RL

Fréquence de coupure :  
 $F_c = R / (2 \times \pi \times L)$

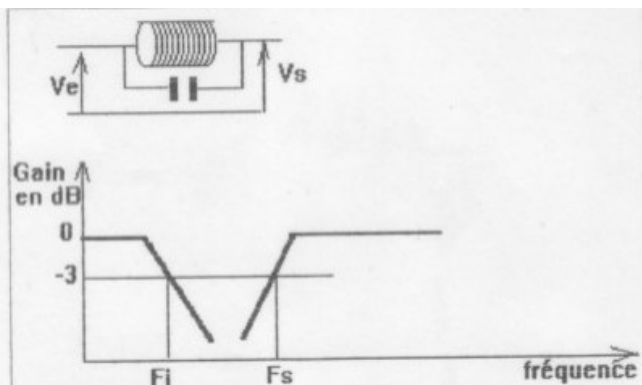


### 4°) Filtre passe bande



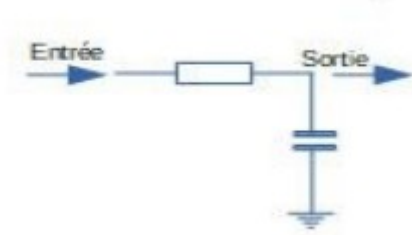
La bande passante à -3dB est  $f_s - f_i$

### 5°) Filtre coupe bande ou réjeteur



Ce filtre a une très forte impédance à la fréquence de coupure

## 6°) Tension de sortie d'un filtre

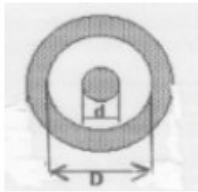


C'est un filtre passe-bas. On ne pourra calculer cette tension que si l'on est très proche de la fréquence de coupure à -3 dB du filtre.  $F_c = 1/(2\pi RC)$ .

Dans ce cas la tension de sortie sera 70% de la tension d'entrée

## Adaptation d'impédances

### 1°) Câble coaxial



D est le diamètre intérieur du conducteur extérieur, la tresse (en mm)

d est le diamètre extérieur du conducteur intérieur, l'âme (en mm)

Z est l'impédance caractéristique du coaxial (en ohms)

$\epsilon_r$  désigne la permittivité relative du matériau isolant

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \log\left(\frac{D}{d}\right)$$

La **permittivité relative** du matériau isolant également est connue aussi sous le nom de **constante diélectrique**

Quelques exemples :

- pour l'air ou le vide :  $\epsilon_r = 1$
- pour le polypropylène :  $\epsilon_r = 2,2 - 2,3$

Si L est l'inductance linéique en Henry/m (l'inductance par mètre de câble) et C la capacité linéique Farad/m (la capacité par mètre de câble), l'impédance se calcule de la façon suivante :

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

### 2°) Ligne bifilaire



Par exemple :

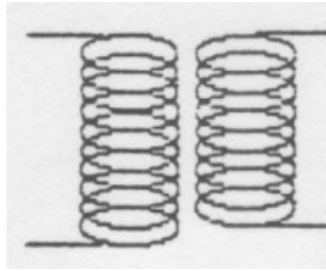
D = 134 mm

d = 1,8 mm

$$Z = 276 \cdot \log\left(\frac{268}{1,8}\right) = 599 \Omega$$

### 3°) Adaptation par transformateur

N1 spires  
Impédance Z1

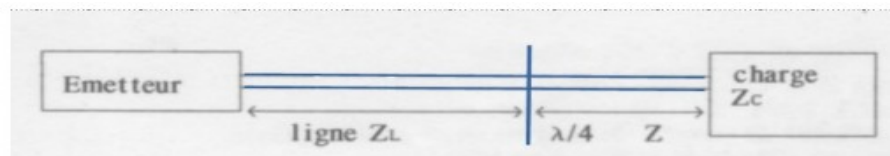


N2 spires  
Impédance Z2

A retenir :

- La plus grande impédance est du côté du plus grand nombre de spires
- S'il y a n fois plus de spires au primaire qu'au secondaire, l'impédance au primaire est n<sup>2</sup> plus grande que l'impédance au secondaire
- S'il y a n fois plus de spires au secondaire qu'au primaire, l'impédance au secondaire est n<sup>2</sup> plus grande que l'impédance au primaire.

### 4°) Adaptation par quart d'onde



Zc est l'impédance de la charge.

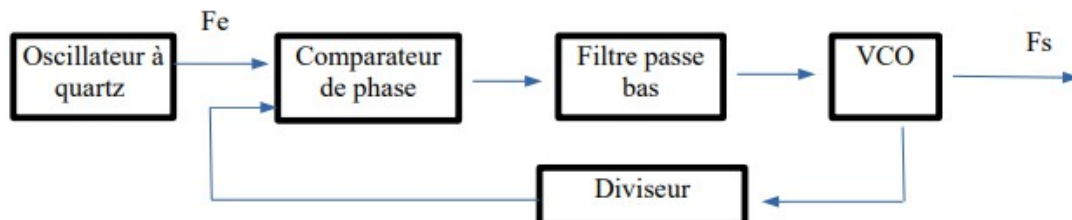
Si Zc n'est pas égal à ZL, il suffit d'intercaler une ligne de longueur  $\lambda/4$  (un quart d'onde, attention il s'agit d'un quart d'onde électrique et non pas physique, le coefficient de vélocité doit être utilisé) dont l'impédance Z se calcule de la façon suivante :

$$Z = \text{racine carrée de } (Zc \times ZL)$$

## Modulations

### 1°) Oscillateurs

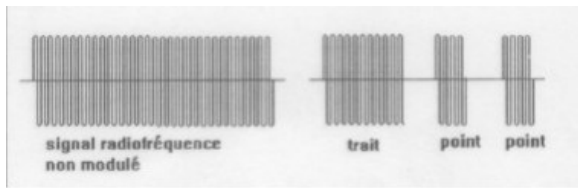
- les VFO (transistor + condensateur variable de type Clapp ou Colpitts)
- les VXO, pilotés par un quartz (excursion en fréquence faible)
- les VCO (pilotés en tension à l'aide de varicaps)
- les PLL



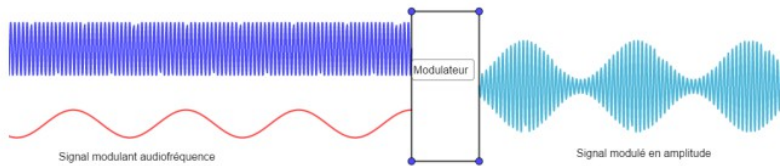


## 2°) Modulations

- en tout ou rien (CW)



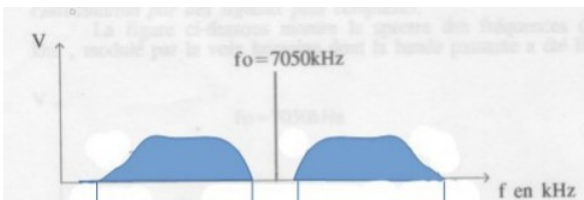
- en modulation d'amplitude



indice de modulation  $h$

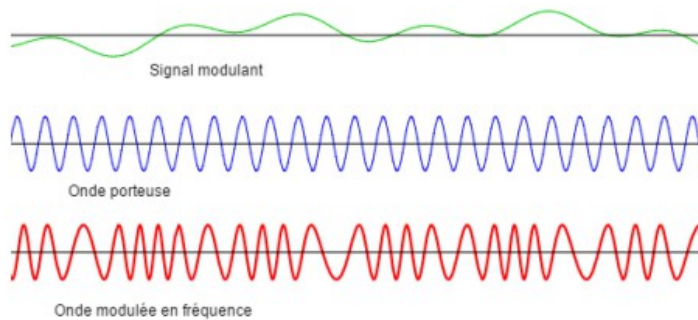
Le taux de modulation en %  $T = 100 \times h$

$$h = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}}$$



Spectre d'une émission AM de fréquence centrale 7050 hHz, modulée par la voix humaine

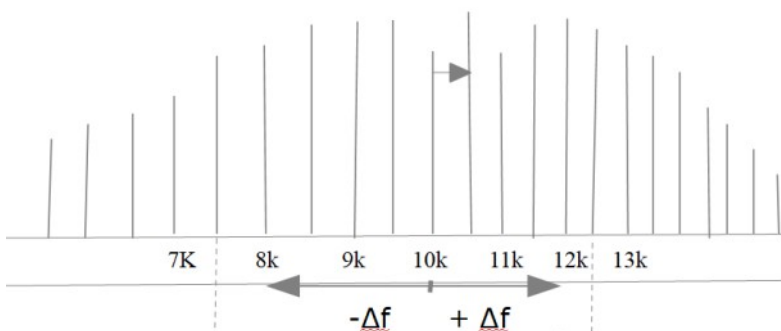
- - en modulation de fréquence



L'indice de modulation est le quotient de l'excursion par la fréquence modulante. Le taux de modulation en % est  $t = h \times 100$

$$m = \Delta f / F_m$$

Le spectre est constitué de raies parallèles espacées de la valeur de la fréquence modulante .

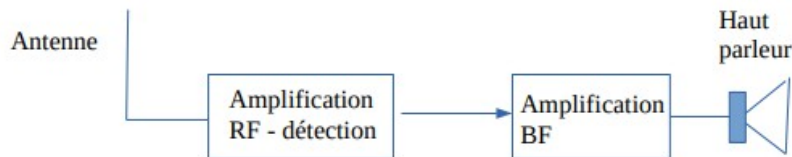


- En SSB ou BLU

C'est un signal AM dont on a supprimé par filtrage une des deux bandes latérales (USB [BLS] ou LSB [BLI]) et la porteuse centrale.

## Récepteurs

### 1°) Récepteur à conversion directe



Ces récepteurs sont peu sensibles et peu sélectifs

### 2°) Superhétérodyne

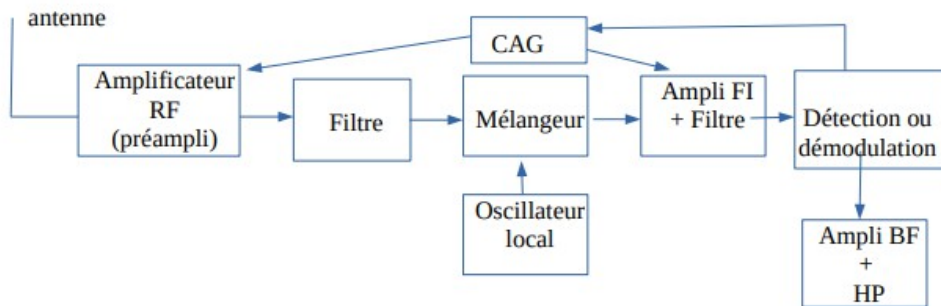


Schéma synoptique d'un récepteur à simple changement de fréquence

Le signal reçu  $f_r$  est, après filtrage mélangé avec le signal issu de l'oscillateur local  $f_o$ . Les produits du mélange sont  $f_r + f_o$  et  $f_r - f_o$  (entre autres)

Un de ces produits est éliminé au niveau de l'étage FI (fréquence intermédiaire), qui est suivi de l'étage détection ou démodulation.

La démodulation de l'AM se fait dans un détecteur enveloppe

La démodulation de la CW se fait avec un BFO (oscillateur de battement

La démodulation de la FM se fait dans le discriminateur

La démodulation de la BLU se fait dans un détecteur de produit

Un inconvénient du changement de fréquence est la fréquence image

$$\text{Fréquence Image} = 2 \times \text{Fréquence intermédiaire} - \text{fréquence à recevoir}$$

$$\text{Fréquence Image} = \text{fréquence à recevoir} - 2 \times \text{Fréquence intermédiaire}$$

Exemple :

fréquence à recevoir  $f_r$ : 28,7 MHz

fréquence intermédiaire  $f_i$ : 10,7 MHz

oscillateur local  $f_o$ : 18 MHz

Fréquence image =  $2 \times f_i - f_r = 2 \times 10,7 - 28,7 = -7,3$  (le résultat est négatif, il faut utiliser l'autre formule)

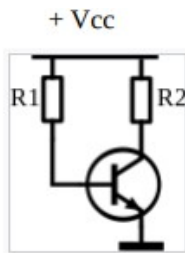
Fréquence image =  $f_r - 2 \times f_i = 28,7 - 2 \times 10,7 = 7,3 \text{ MHz}$

A connaître les significations de :

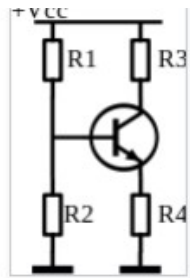
Canal adjacent ; Sélectivité ; Sensibilité ; Stabilité ; Fréquence-image, fréquences intermédiaires ; Intermodulation ; transmodulation.

## Classe d'amplification

### 1°) Polarisation d'un transistor



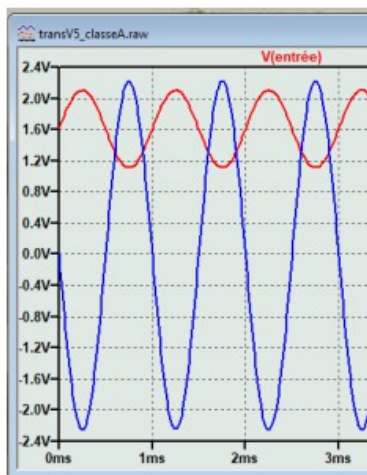
A



B

Polariser un transistor, c'est fixer la tension base-émetteur à l'aide d'une résistance de base (A) ou d'un pont de résistances (B). On fixe alors son courant de repos (ou son absence)

### 2°) Classe A



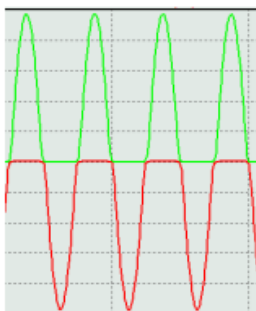
La polarisation de la base est dans la zone linéaire de la diode base-émetteur (aux environs de 0,6-0,7V. Le courant transistor a un courant de repos.

L'amplification est linéaire, les signaux d'entrée et de sortie sont en opposition de phase.

Le rendement est faible (25%)

La classe A est utilisée en AM

### 2°) Classe B

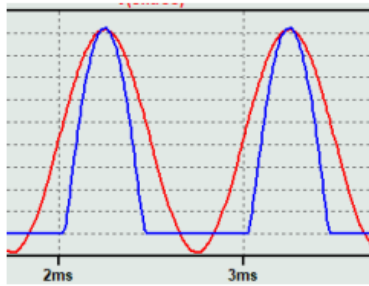


La polarisation du transistor se fait juste au niveau du débloqué. Seule une alternance est amplifiée (en rouge).

Pour reconstituer le signal il faut utiliser deux transistors en push-pull (NPN et PNP)

Le rendement est important (75%)

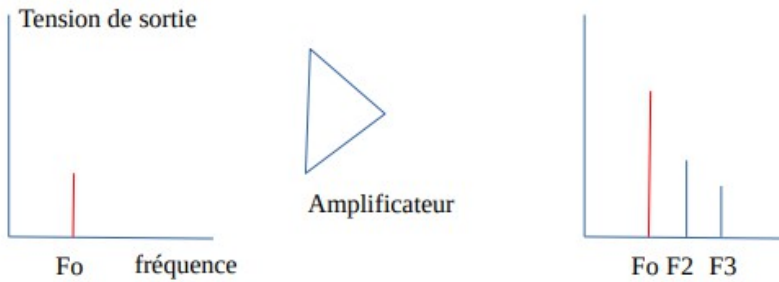
### 3°) Classe C



La polarisation se fait contrairement aux classe A et B très en dessous de la zone de déblocage de la diode Base-Émetteur. Seule une partie du signal est amplifiée (en bleu)

Elle a un fort rendement, supérieur à 75 %, mais produit beaucoup d'harmoniques qui doivent être filtrées par des circuits accordés. C'est une classe non linéaire qui sera utilisée en FM et en CW

La non-linéarité fait apparaître des harmoniques.



$$\text{Le taux de distorsion de l'harmonique 2 est : } \frac{UF_2}{UF_0} \times 100$$

### 4°) Classe AB

La classe AB est linéaire, le transistor est très légèrement polarisé ce qui évite la distorsion de croisement de la classe B.