

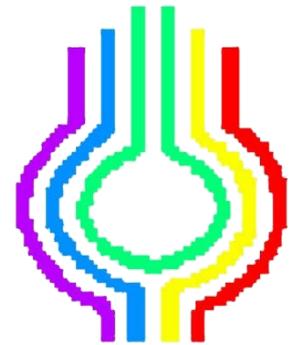
# Spécialité terminale S

*Produire des signaux*

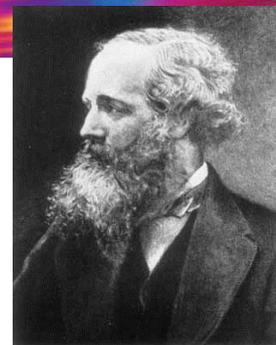
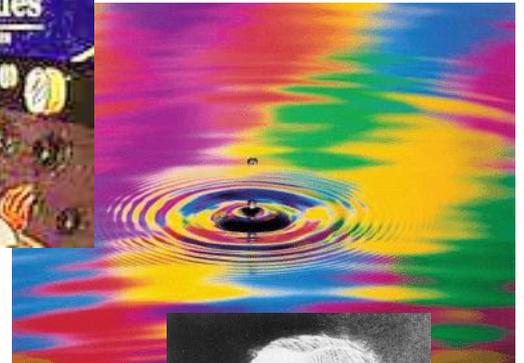
PHYSIQUE  
COURS



Jallu L.



*Communiquer*



# Télécommunication

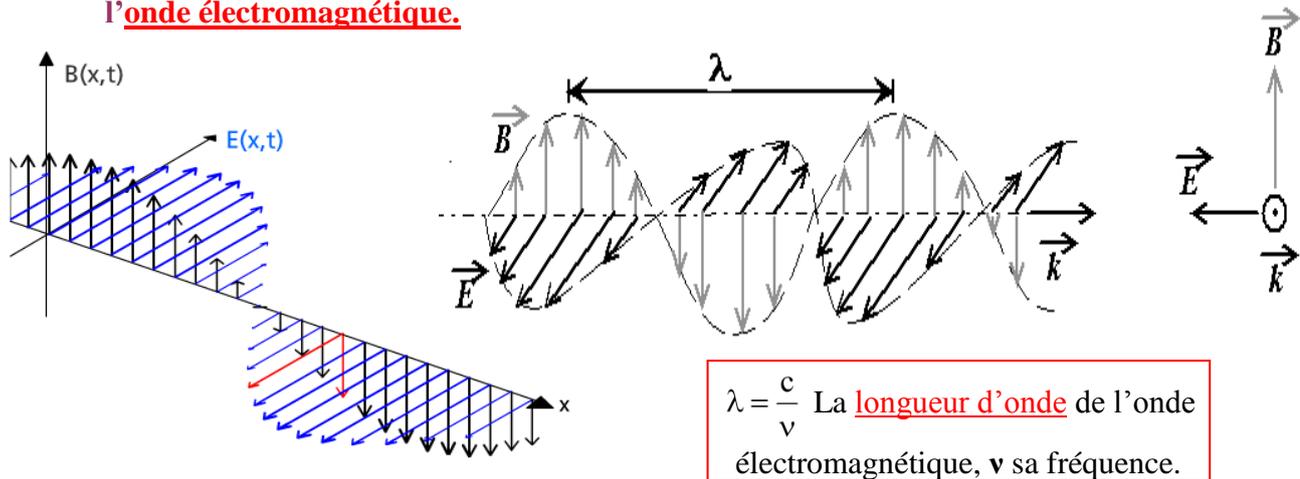
# 1. Les ondes électromagnétiques

## 1.1 Les ondes électromagnétiques

### Propagation d'une onde électromagnétique dans le vide et dans des milieux matériels

Les effets produits par des charges électriques peuvent se décrire à partir du champ électrique  $\vec{E}$  et du champ magnétique  $\vec{B}$ .

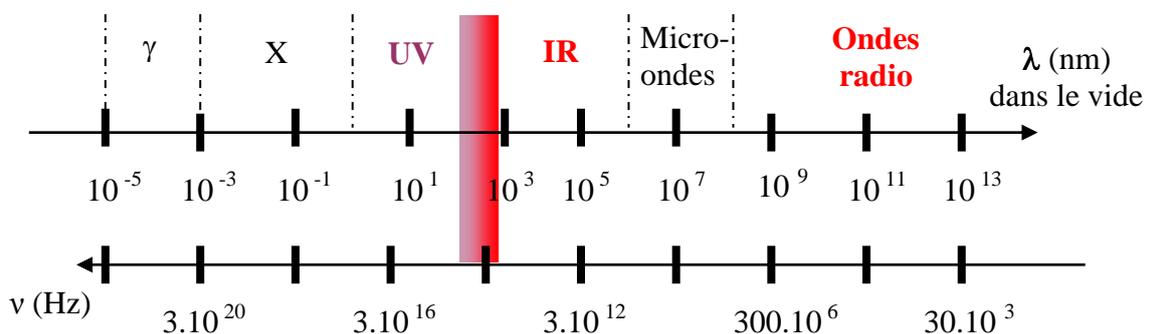
⇒ Ces champs se propagent dans le vide à la même célérité  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ . On parle alors de l'**onde électromagnétique**.



⇒ Par analogie avec la hola dans un stade, chaque point du milieu de la propagation reproduit le signal de la source (contenant l'information) avec un certain retard ; il y a transport d'énergie  $E = h \nu$  (h constante de Planck), et pas de transport de matière.

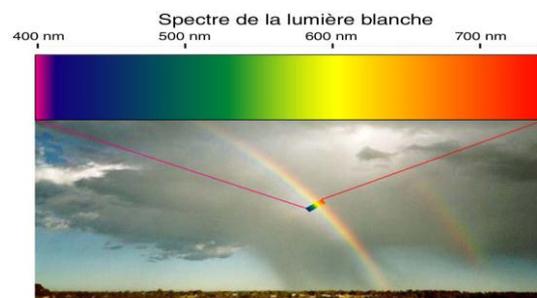
Les matériaux conducteurs comme les métaux atténuent rapidement cette onde. Les matériaux peu conducteurs, également appelés diélectriques tels que le verre, laissent au contraire pénétrer profondément l'onde.

### Classement des ondes électromagnétiques selon la fréquence et la longueur d'onde dans le vide

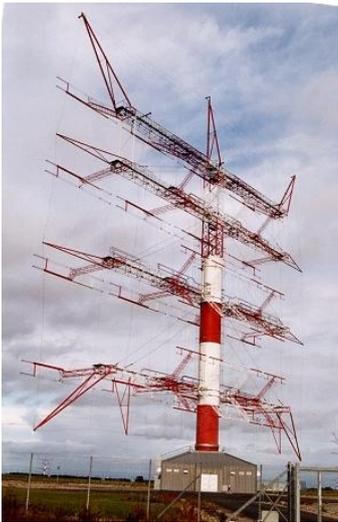


**Émetteurs :** Atome radioactif, Tube à décharge, Source lumineuse, Magnétron, Klystron, **Antenne**

La lumière visible fait partie des ondes électromagnétiques et correspond à un domaine restreint de longueur d'onde :  $350 \text{ nm} < \lambda < 750 \text{ nm}$  environ.



**Rôle d'une antenne émettrice et d'une antenne réceptrice**



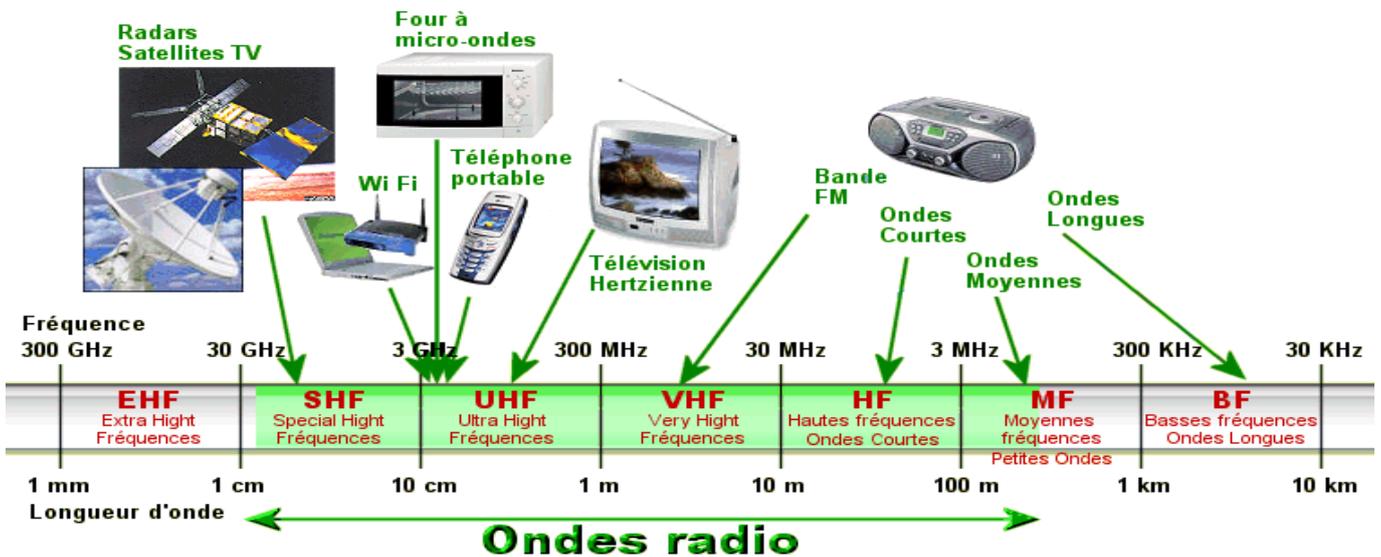
⇒ L'atténuation de l'énergie de l'onde électromagnétique dans un conducteur se fait au bénéfice de l'apparition d'un courant de surface. On obtient ainsi un signal électrique à partir d'une onde électromagnétique dans une antenne. L'onde engendre un signal électrique de même fréquence.

⇒ Réciproquement, la circulation d'un courant électrique dans un conducteur génère une onde électromagnétique. L'antenne peut donc également émettre. L'onde émise a la même fréquence que celle du signal électrique qui lui est transmis.



**1.2 Transmission des informations**

- ⇒ Une bande de fréquences est une partie continue du spectre électromagnétique limitée par deux valeurs.
- ⇒ Des brouillages peuvent advenir entre deux applications utilisant la même bande de fréquence (ou utilisant des bandes de fréquences voisines).
- ⇒ Le spectre électromagnétique est donc partagé entre différents services et différents systèmes.



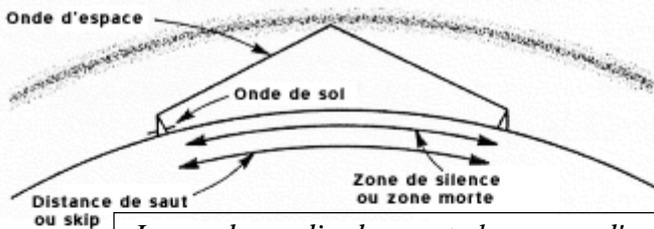
⇒ La transmission simultanée de plusieurs informations nécessite un "canal" affecté à chacune d'elles.

**Exemples :**

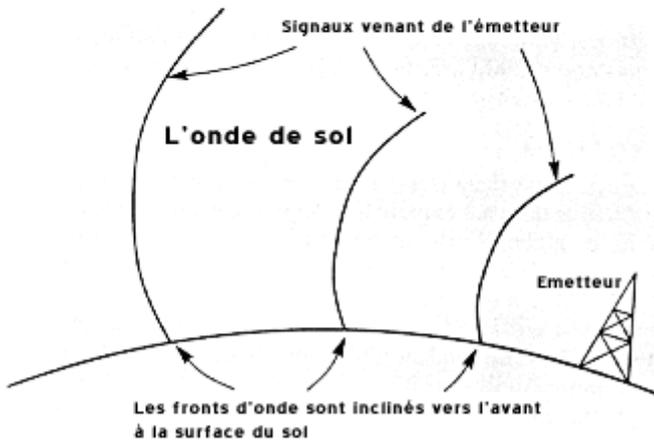
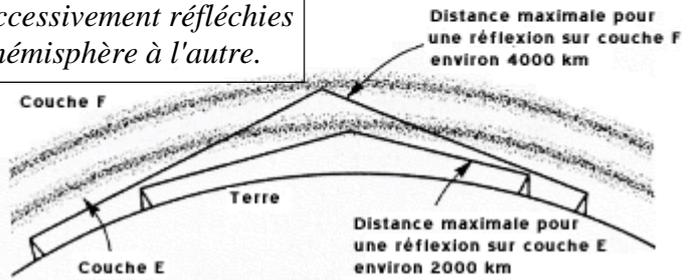
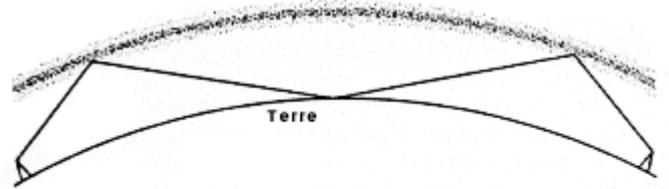
- 26,815 - 26,915 MHz *modélisme*
- 26,3 - 26,5 MHz *postes téléphoniques sans cordons*
- 27,090 - 27,100 MHz *balises pour la commande et le contrôle des trains*

⇒ Les ondes émises peuvent atteindre un récepteur lointain de deux façons :

- L'onde suit le chemin le plus court à la surface terrestre entre l'émetteur et le récepteur (onde du sol)
- L'onde est réfléchiée par l'ionosphère avant d'atteindre l'émetteur (onde du ciel)

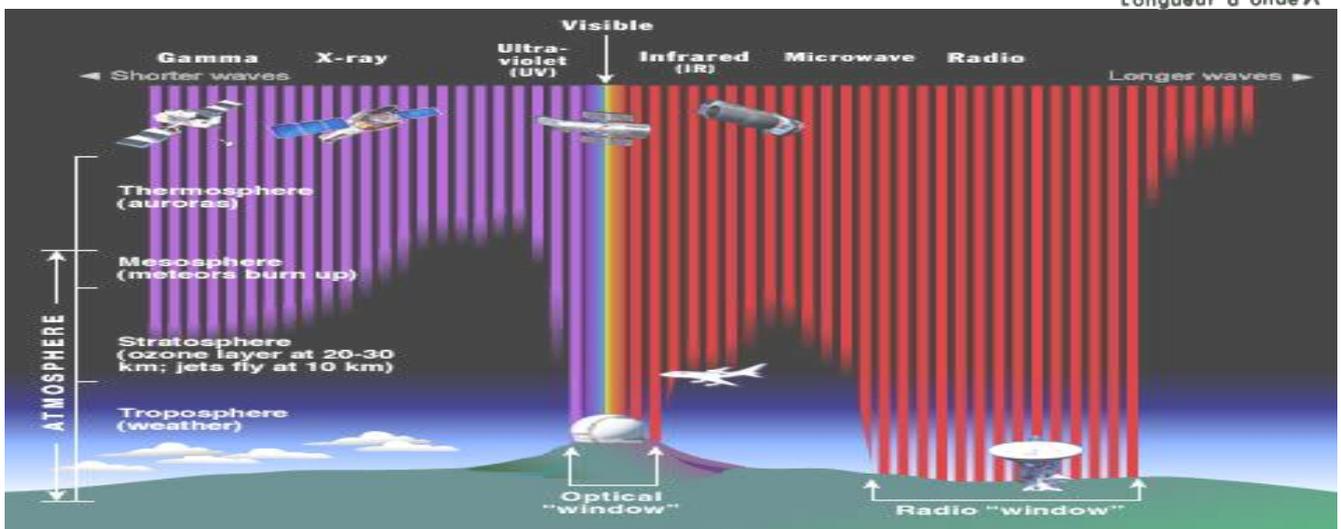
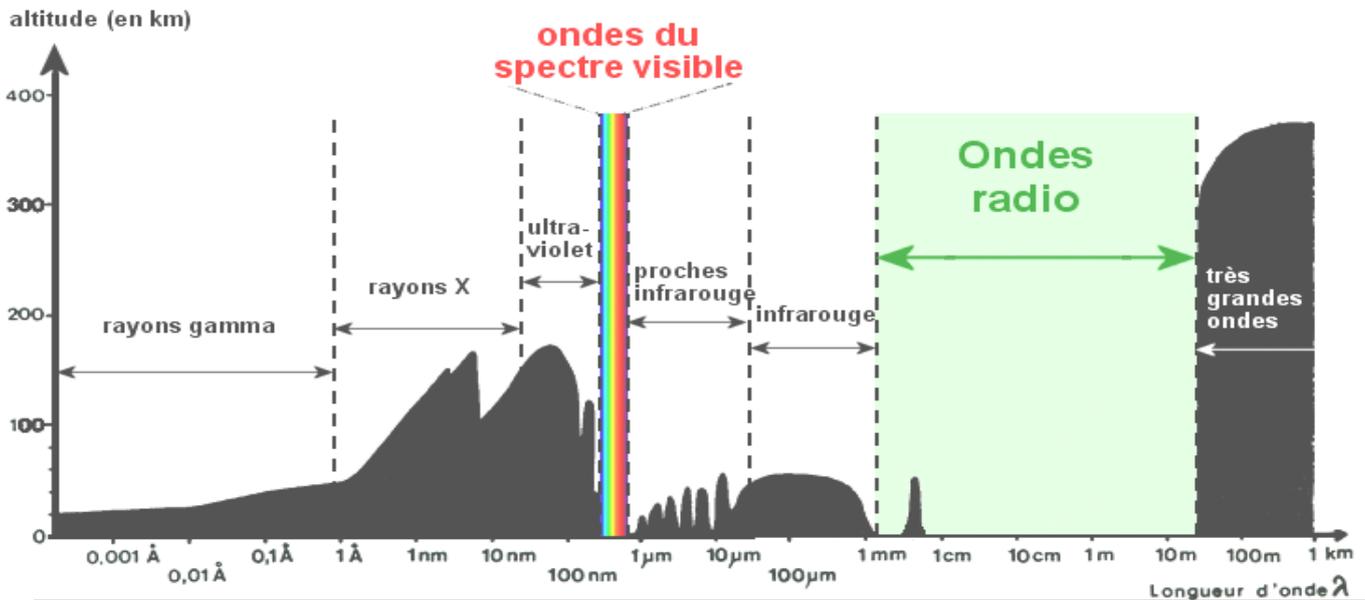


Les ondes radio de courte longueur d'onde, successivement réfléchies par l'ionosphère, peuvent se propager d'un hémisphère à l'autre.



L'atmosphère terrestre absorbe une partie du spectre électromagnétique. Elle est cependant presque transparente dans deux fenêtres : la fenêtre visible (avec un peu d'UV et d'IR) et la fenêtre radio ( $\lambda > 0,5$  cm).

**Seules les ondes visibles et les ondes radio arrivent jusqu'au sol**



### 1.3 Modulation d'une tension sinusoïdale

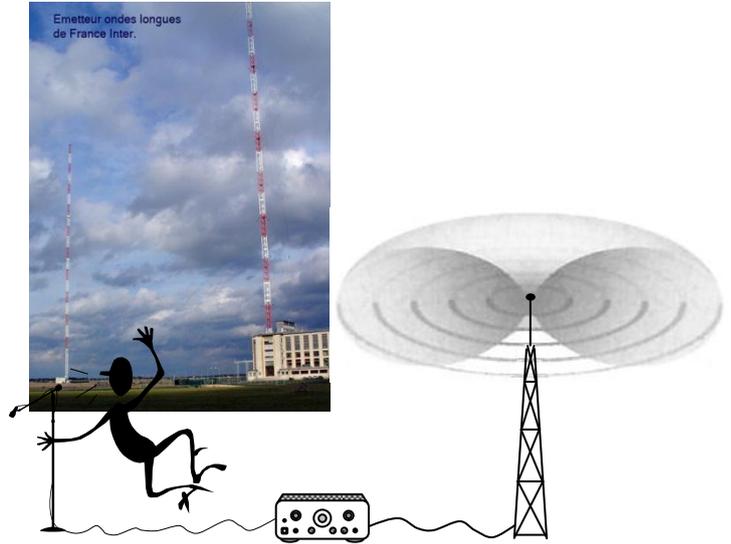
#### Intérêt de la modulation

Prenons le cas de la transmission de la voix par un signal radio.

On convertit (à l'aide d'un micro) en tension électrique, le **signal de basse fréquence** qui contient l'information à transmettre (la **voix**).

Les signaux de la voix ont une fréquence comprise entre  $20 \text{ Hz} < f < 20\,000 \text{ Hz}$ .

⇒ Sans modulation, toutes les stations radio émettraient des signaux à ces fréquences et leurs informations se chevaucheraient.



La dimension de l'antenne réceptrice doit être au moins égale au  $\frac{1}{4}$  de la longueur d'onde

Exemple :  $\lambda / 4 = 3,75 \text{ km}$  pour un signal de fréquence  $20 \text{ kHz}$  !

⇒ Sans modulation, il faudrait une antenne de dimension techniquement irréalisable.

#### Information et modulation

⇒ Pour ces raisons, le signal qui contient l'information est utilisé pour modifier (moduler) une des grandeurs caractéristiques (amplitude, fréquence et/ou phase) d'une **tension de haute fréquence**. On utilise ainsi une **onde de haute fréquence**, appelée **porteuse**, pour véhiculer le signal informatif.

On se limite à l'étude des signaux sinusoïdaux : Le signal réel peut toujours être ramené à une somme de signaux sinusoïdaux.

Expression mathématique d'une tension sinusoïdale :

$$u(t) = U \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \varphi_0)$$

Amplitude U                      Fréquence f                      Phase  $(2\pi \cdot f \cdot t + \varphi_0)$

$u(0) = U \cdot \cos(\varphi_0)$  représente la valeur de la tension pour  $t = 0$ .

⇒ **U peut être modulée, c'est la modulation d'amplitude.**  
(f et/ou  $\varphi_0$  peuvent être modulées, c'est la modulation de fréquence).

## 2. Modulation d'amplitude

### 2.1. Principe de la modulation d'amplitude

#### Tension modulée en amplitude

⇒ La modulation d'amplitude est obtenue par multiplication de deux tensions :

- Une **tension sinusoïdale de haute fréquence** (correspond à l'onde porteuse)

$$u_P(t) = U_P \cdot \cos(2\pi F t)$$

- Le **signal à transmettre** (signal modulant) auquel on ajoute une tension continue  $U_0$  appelée **tension de décalage** (ou offset)

$$u_S(t) + U_0 = U_S \cdot \cos(2\pi f t) + U_0$$

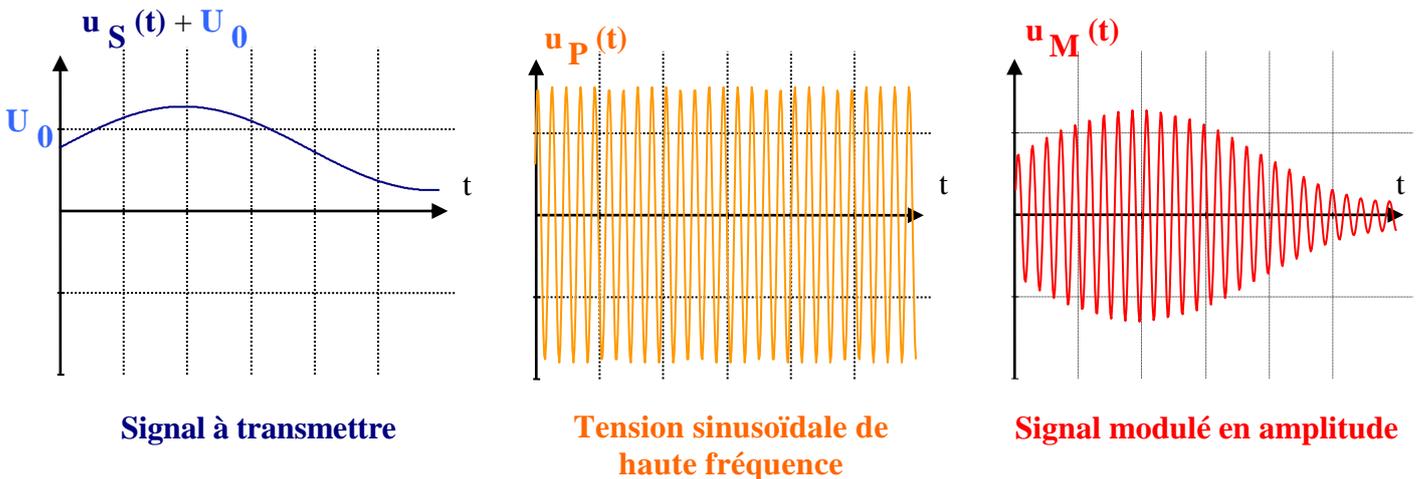
⇒ Un circuit électronique appelé **multiplieur** permet d'obtenir une tension (tension modulée) proportionnelle au produit des tensions qui lui sont appliquées

$$u_M = k u_P [u_S + U_0]$$

$$u_M(t) = k U_P \cdot \cos(2\pi F t) [U_S \cdot \cos(2\pi f t) + U_0]$$

$k$  est un coefficient caractéristique du circuit multiplieur utilisé.

Exemple :



La tension modulée en amplitude est une tension dont l'amplitude est fonction de la tension modulante.

Notion de surmodulation

⇒ On diminue progressivement la valeur de  $U_0$  :

$$U_0 = 1,5 U_S$$

$$U_0 = U_S$$

$$U_0 = 0,5 U_S$$

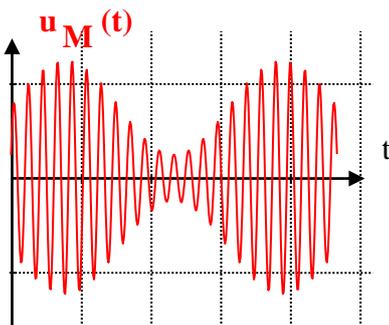


Schéma n°1

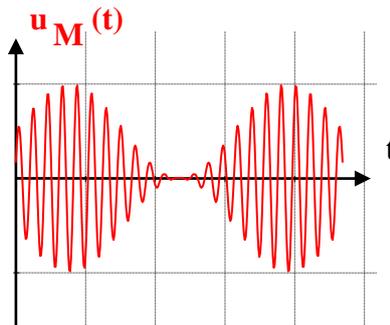


Schéma n°2

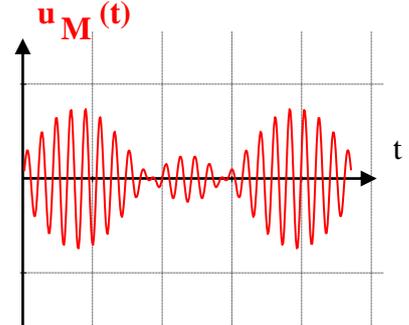
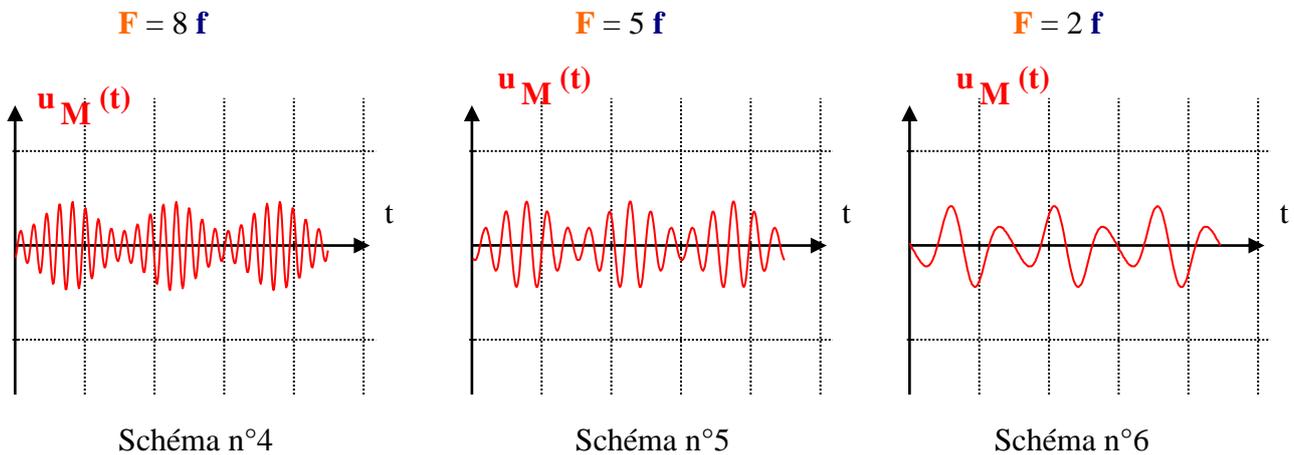


Schéma n°3

On constate que pour  $U_0 > U_S$  (schéma n°1) la tension modulée est de bonne qualité (l'amplitude est une fonction de la tension modulante). Dans les autres cas (schéma n°2 et surtout schéma n°3) il y a « SURMODULATION ».

### Choix de la fréquence du signal à moduler

⇒ On diminue progressivement la fréquence de la porteuse  $F$  :



On constate que pour  $F \gg f$  (schéma n°4) la tension modulée est de bonne qualité.

### Bande de fréquences du signal modulé

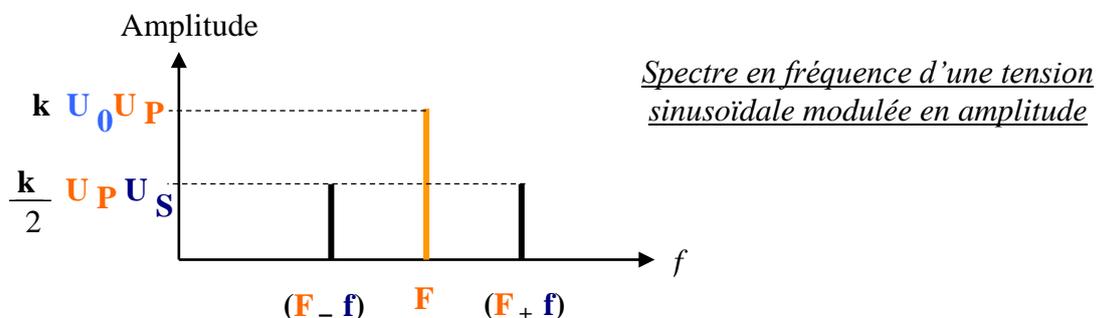
⇒ On développe l'expression de la tension modulée obtenue précédemment

$$u_M(t) = k U_P \cos(2\pi F t) [U_S \cos(2\pi f t) + U_0]$$

Et on obtient

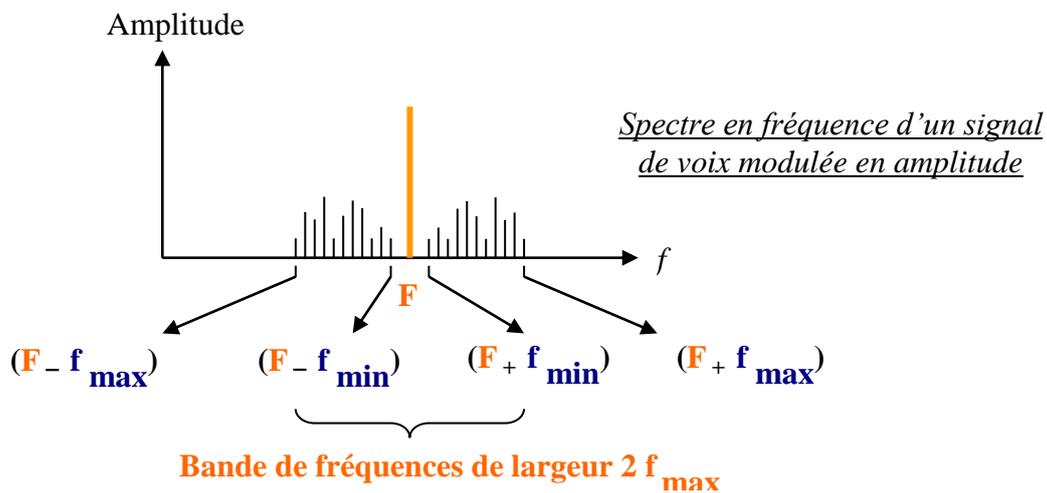
$$u_M(t) = k U_0 U_P \cos(2\pi F t) + \frac{k}{2} U_P U_S \cos[2\pi (F - f) t] + \frac{k}{2} U_P U_S \cos[2\pi (F + f) t]$$

Dans le cas d'une tension modulante de fréquence  $f$ , la tension modulée est la somme de trois tensions de fréquences  $F$ ,  $(F - f)$  et  $(F + f)$ . La fréquence du signal qui a été modulé est  $F$ .



En radio les signaux de la voix ont une fréquence comprise entre  $f_{\min} = 20 \text{ Hz}$  et  $f_{\max} = 20 \text{ kHz}$  (ou moins si on diminue la qualité).

⇒ Le spectre en fréquences de la tension modulée occupe une bande de fréquences de largeur  $2 f_{\max}$  centrée sur la fréquence de la porteuse  $F$ .



⇒ Chaque radio ayant sa fréquence de porteuse  $F$ , on en déduit l'écart minimal de 40 kHz entre deux porteuses.

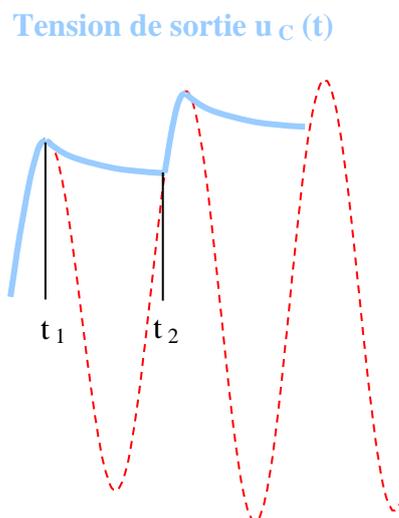
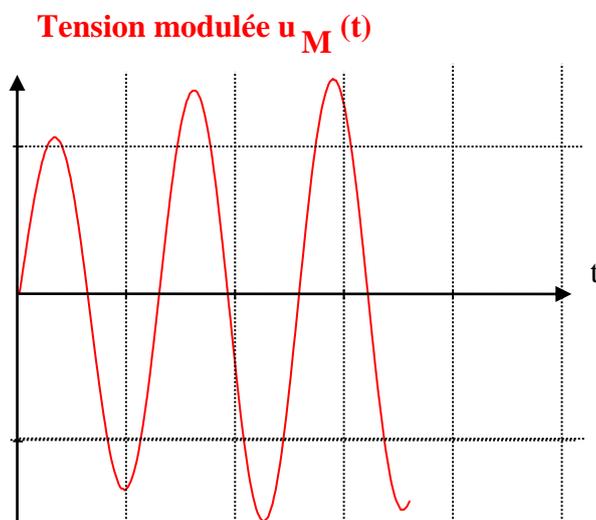
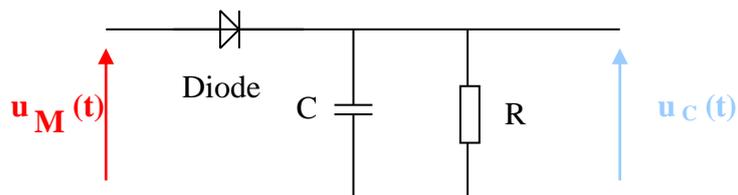
## 2.2. Principe de la démodulation d'amplitude

### Fonctions à réaliser pour démoduler une tension modulée en amplitude

⇒ La démodulation nécessite la détection de l'enveloppe du signal modulé et l'élimination de la composante continue.

- *Détection de l'enveloppe*

- On utilise un ensemble diode - RC parallèle :



On se place initialement à l'instant où la tension modulée est nulle et croissante, le condensateur étant déchargé.

Lorsque la tension modulée  $u_M$  croît entre les dates 0 et  $t_1$  la diode est conductrice et le condensateur se charge. La tension  $u_C$  à ses bornes augmente avec la tension modulée.

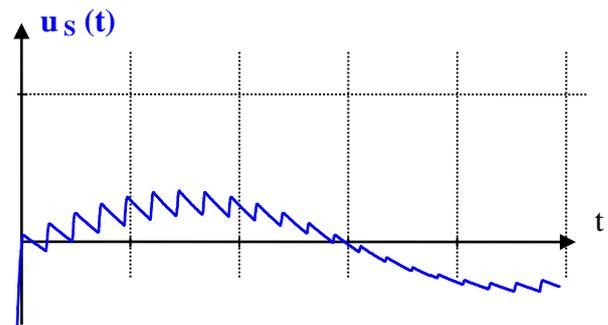
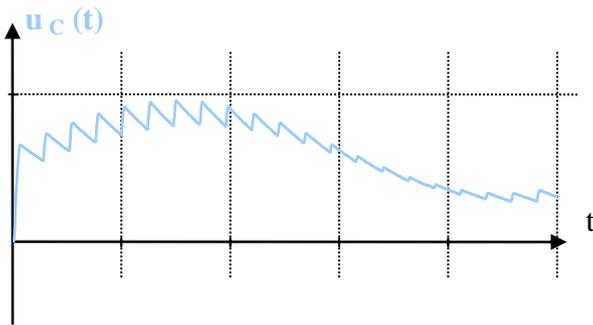
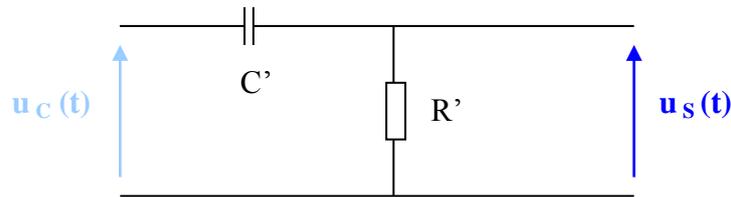
Lorsque la tension modulée commence à décroître, la tension aux bornes du condensateur devient supérieure à la tension modulée. La diode est bloquée et le condensateur se décharge dans la résistance  $R$ .

Cette décharge se poursuit jusqu'à ce que la tension modulée redevienne supérieure à la tension aux bornes du condensateur (date  $t_2$ ).

A partir de  $t_2$  la diode redevient conductrice et une nouvelle phase de charge débute ...

○ **Elimination de la composante continue par un filtre passe-haut RC**

- On utilise un filtre passe-haut RC :



**Restitution du signal modulant**

⇒ Pour chaque période  $T_p$  de la porteuse, on a un cycle charge - décharge du condensateur. Pour que la tension de sortie du montage reproduise le plus fidèlement possible l'enveloppe de la tension modulée, la constante de temps  $\tau = RC$  doit être telle que :

$$T_s > \tau \gg T_p$$

$T_s$  est la période du signal modulant et  $T_p$  est la période de la porteuse.

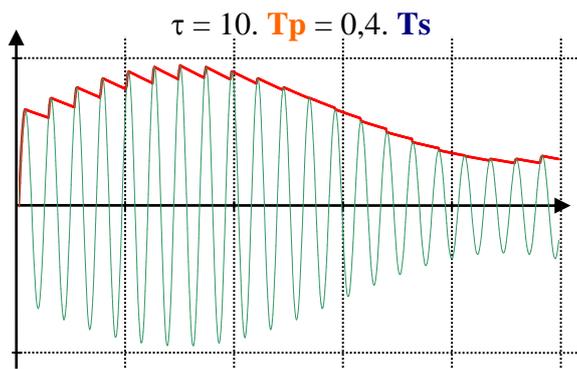


schéma n°7  
 $\tau$  est trop grande

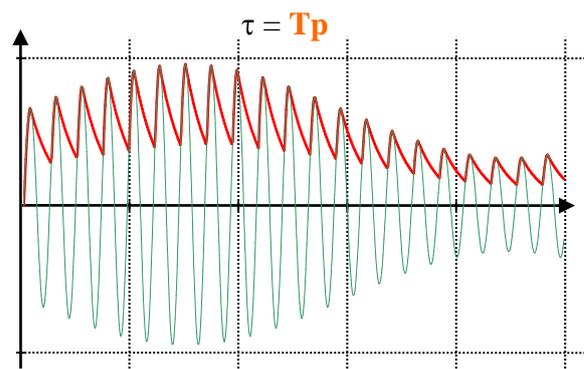
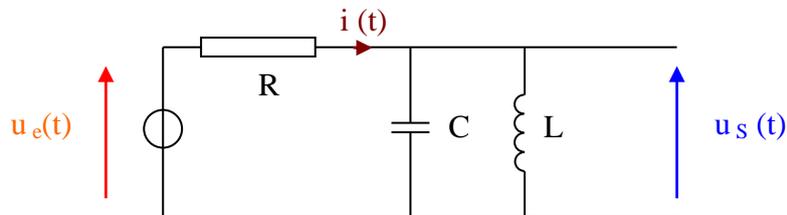


schéma n°8  
 $\tau$  est trop petite

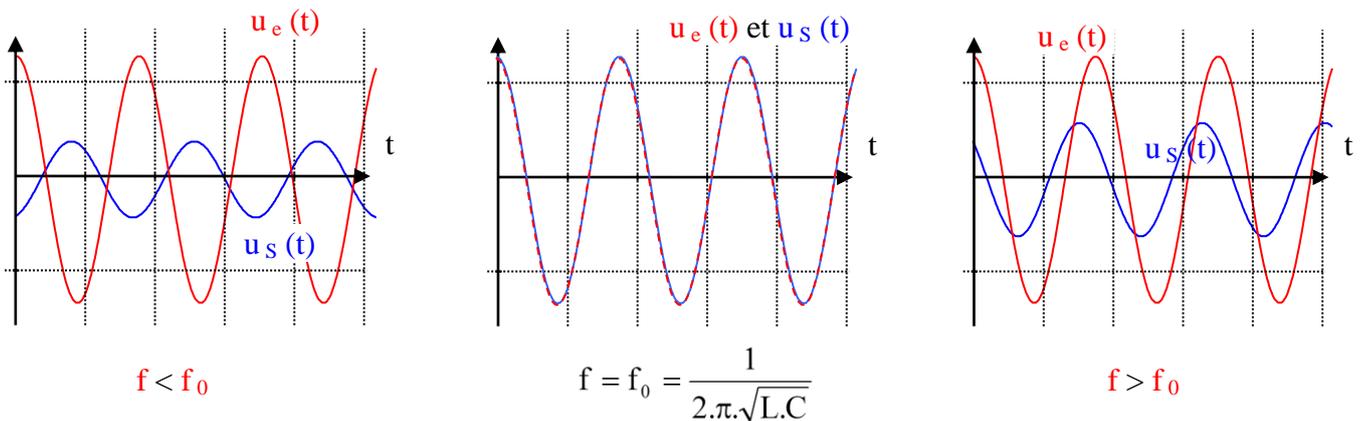
⇒ L'association en série du détecteur d'enveloppe et du filtre passe-haut porte le nom de « CIRCUIT DEMODULATEUR ».

### 3. Réalisation d'un dispositif permettant de recevoir une émission radio en modulation d'amplitude.

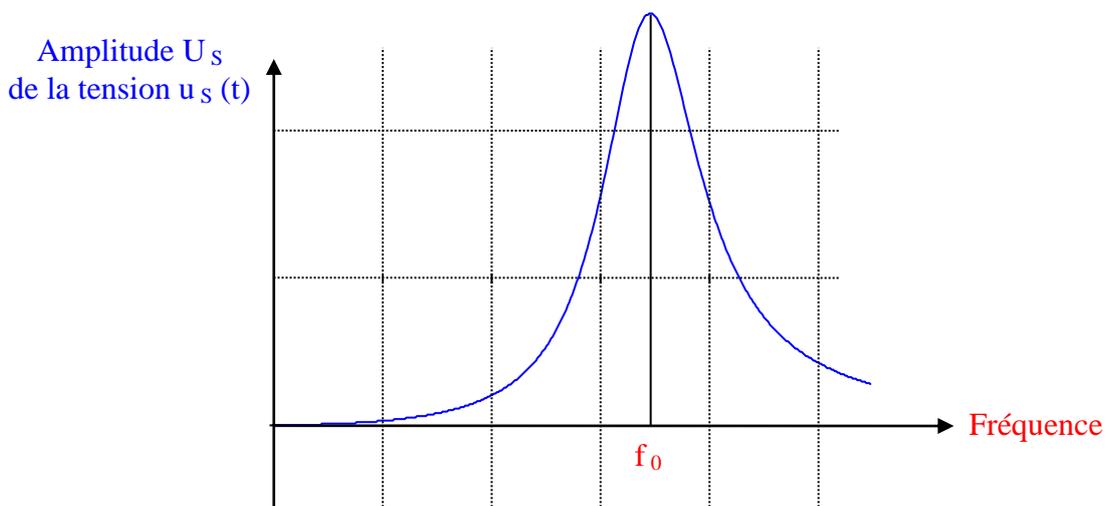
#### 3.1. Etude du circuit LC parallèle



Le générateur qui alimente le circuit fournit une *tension d'amplitude constante et de fréquence f variable*.



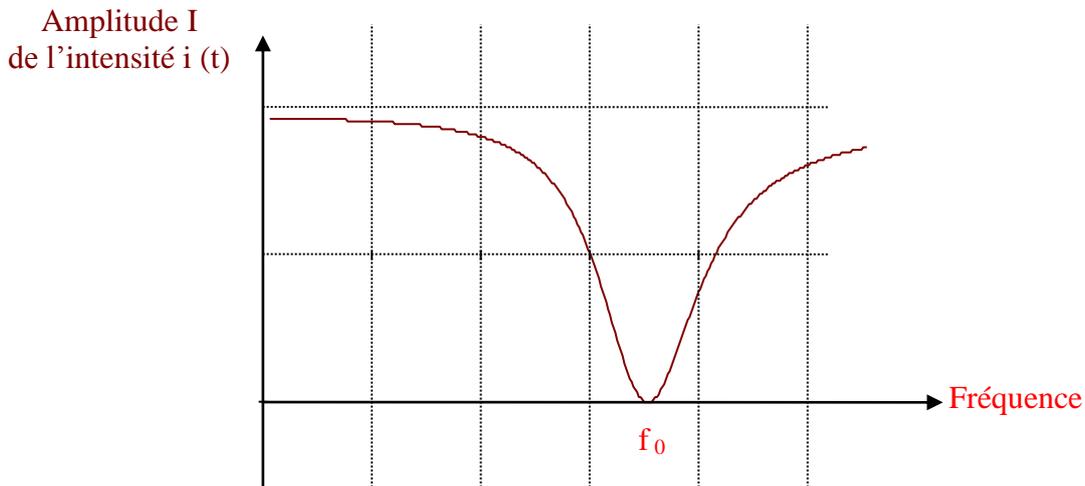
⇒ On constate que l'amplitude de la tension  $u_s$  dépend de la fréquence du générateur.



L'amplitude  $U_s$  de la tension  $u_s(t)$  passe par un maximum. Ce maximum est atteint pour une valeur de la

fréquence du générateur égale à la fréquence propre du circuit :  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

L'amplitude de l'intensité atteint à la même fréquence  $f_0$  un minimum :



Le dipôle LC parallèle, utilisé ici comme « FILTRE PASSE BANDE » pour la tension, est un circuit bouchon pour l'intensité.

### 3.2. Sélection d'une tension modulée : la réception AM

Si le dipôle LC parallèle ci-dessus est connecté à une antenne réceptrice d'ondes électromagnétiques, un bon choix des valeurs de L et de C permet de sélectionner les tensions engendrées dans le circuit dont les fréquences correspondent à des stations radio (comme RFO Réunion 666 kHz).

