

## Troisième Partie : Electricité

Unité 5  
6 H / 8 H

# La Modulation d'Amplitude - La démodulation d'Amplitude

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ  
السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

2<sup>ème</sup> Bac  
Sciences  
Physique

تضمين الوسع - إزالة تضمين الوسع

La **transmission** d'informations de basses fréquences par voie hertzienne nécessite de **moduler** l'un des paramètres d'une **onde électromagnétique sinusoïdale** de **haute fréquence**, appelée **porteuse**, par le **signal informatif**.  
Etudions la modulation d'amplitude.

### I- Modulation d'amplitude :

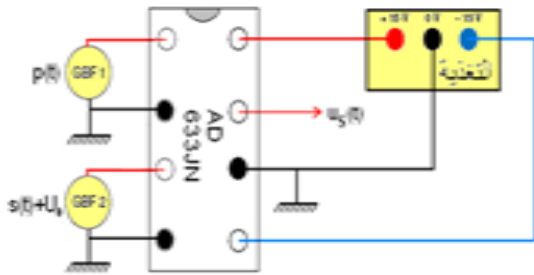
#### 1- Nécessité d'un multiplieur :

##### 1-1- Description du multiplieur :

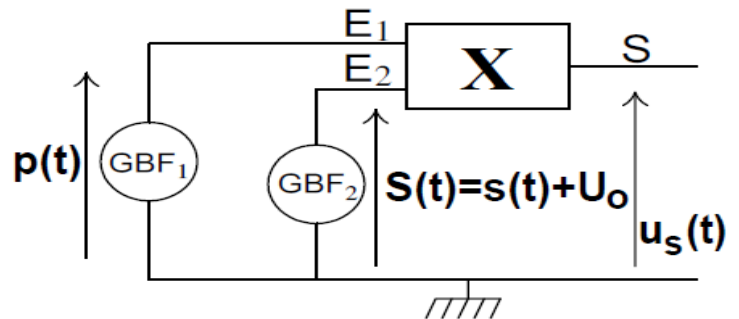
Le **multiplieur** est un **composant électronique** (amplificateur opérationnel AD633) qui permet de **réaliser l'opération mathématique** (la **multiplication**) sur des **tensions** pour obtenir une **tension modulée en amplitude**.



Le **multiplieur** (AD633) comporte **deux entrées** notées  $E_1$  et  $E_2$  et une **sortie** notée  $S$ . Il fonctionne en l'alimentant par une **alimentation symétrique** ( $-15V, 0, +15V$ ) avant de le **brancher** dans le **montage expérimental**. On représente un multiplieur par le **symbole** suivant :



#### Montage multiplieur

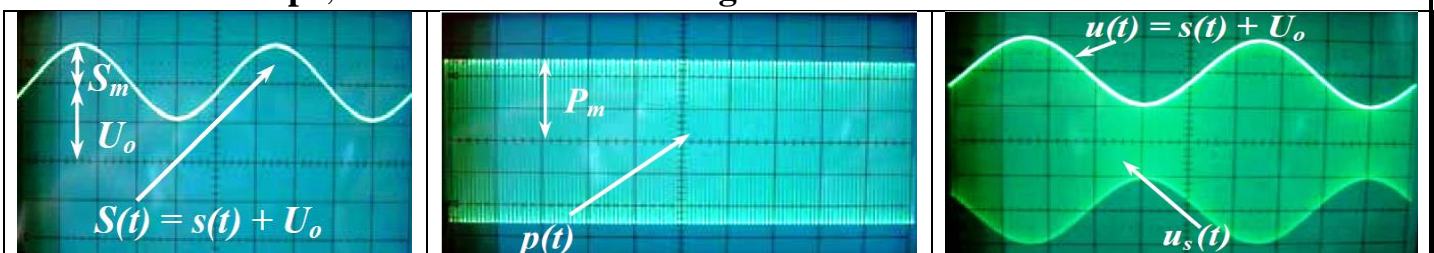


##### 1-2- Rôle du multiplieur :

L'étude expérimentale, montre que la **tension**  $U_s(t)$  à la **sortie** du **multiplieur** est **proportionnelle** au **produit** des **tensions**  $P(t)$  et  $S(t)$  appliquées à ses **entrées**, telle que  $u_s(t) = k \times p(t) \times (s(t) + U_o)$  avec  $k$  coefficient de multiplication dépend du multiplieur, s'exprime en  $V^{-1}$ .

#### 2- Principe de la modulation d'amplitude :

La **tension basse fréquence**  $s(t)$ , **module l'amplitude** de la **tension de haute fréquence**  $p(t)$  et on obtient à la **sortie** du **multiplieur** une **tension modulée en amplitude**  $u_s(t)$ .  
Par **oscilloscope**, on visualise **différents signaux** ci- dessous :



On observe que l'amplitude de signal modulé  $U_S(t)$  varie en fonction du temps selon la variation de signal modulant  $S(t)$ .

### 2-1- Expression de la tension modulée en amplitude :

La tension appliquée à l'entrée  $E_1$  est  $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi F_P \cdot t)$  et la tension appliquée à l'entrée  $E_2$  est  $(s(t) + U_0)$  avec  $U_0$  la composante continue de la tension et  $s(t) = S_m \cos(2\pi f_S \cdot t)$ .

La tension entre la sortie  $S$  du multiplieur et sa masse est la tension modulée, son expression s'écrit :  $u_S(t) = k \times p(t) \times (s(t) + U_0)$

donc  $u_S(t) = k \cdot P_m \cdot (S_m \cos(2\pi f_S \cdot t) + U_0) \cdot \cos(2\pi F_P \cdot t)$

D'où  $u_S(t) = k \cdot P_m \cdot U_0 \cdot \left[ \frac{S_m}{U_0} \cdot \cos(2\pi f_S \cdot t) + 1 \right] \cdot \cos(2\pi F_P \cdot t)$

On pose :  $A = k \cdot P_m \cdot U_0$  et  $m = \frac{S_m}{U_0}$  Alors l'expression de la tension modulée devient :

$$u_S(t) = A \cdot [m \cdot \cos(2\pi f_S \cdot t) + 1] \cdot \cos(2\pi F_P \cdot t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi F_P \cdot t)$$

et son amplitude est :  $U_m(t) = A \cdot [m \cdot \cos(2\pi f_S \cdot t) + 1]$

**Remarque :** Une modulation d'amplitude consiste à rendre l'amplitude du signal modulé une fonction affine du signal modulant  $U_m(t) = a \cdot s(t) + b$ .

### 2-2- Taux de modulation :

On remarque que l'amplitude instantanée d'une tension modulée varie entre deux valeurs, une valeur maximale  $U_{m \max}$  et une valeur minimale  $U_{m \min}$ .

On définit le taux de modulation par le

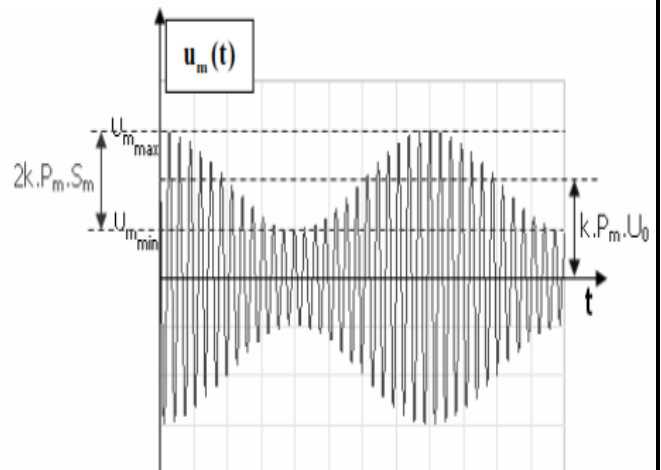
coefficient  $m$  tel que :  $m = \frac{U_{m \max} - U_{m \min}}{U_{m \max} + U_{m \min}}$

Avec :  $U_{m \max} = A \cdot (m + 1)$

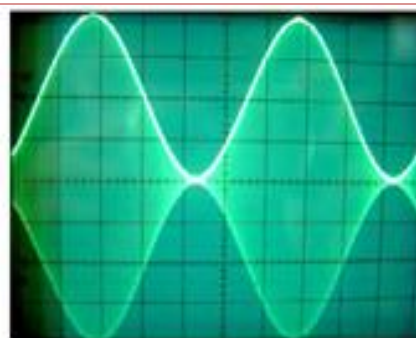
et  $U_{m \min} = A \cdot (-m + 1)$ .

### 3- Qualité de la modulation d'amplitude :

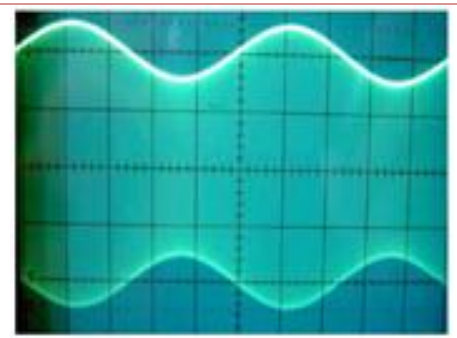
Pour réaliser une modulation d'amplitude de bonne qualité, l'enveloppe du signal modulé doit reproduire les variations du signal modulant en termes de forme et de fréquence.



Mauvaise modulation



Modulation critique



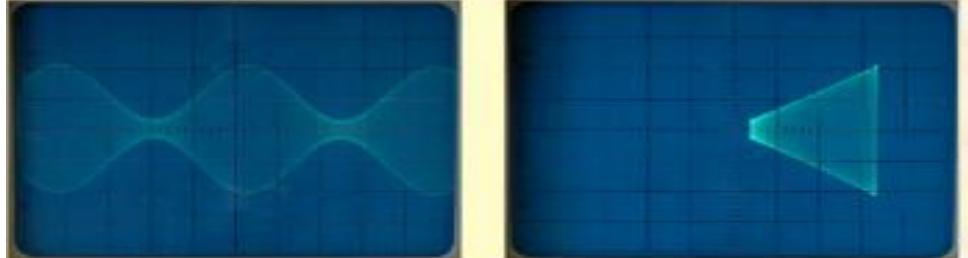
Bonne modulation

La qualité de la modulation dépend de la valeur de la tension  $U_0$  et de l'amplitude de la tension modulante  $S_m$  d'une part, de la fréquence  $F_P$  de la porteuse et la fréquence de la tension modulante  $f_S$  d'autre part.

### 3-1- Influence de $U_0$ et $S_m$ :

- La **qualité** de la **modulation** est **bonne** lorsqu'on fait **augmenter**  $U_0$  ou **diminuer**  $S_m$ , tel que  $U_0 > S_m$ . Dans ce cas le **taux de modulation**  $m < 1$ .
  - La **qualité** de la **modulation** devient **mauvaise** lorsqu'on fait **diminuer**  $U_0$  ou **augmenter**  $S_m$ , tel que  $U_0 < S_m$ . Dans ce cas le **taux de modulation**  $m > 1$ .
- Lorsque l'oscilloscope est utilisé en **mode XY** et on **visualise** les **tensions**  $(s(t) + U_0)$  et  $u_s(t)$  respectivement aux **voix X** et **Y**, on constate que :

**Bonne modulation**  
 $m < 1$



**Modulation critique**  
 $m = 1$



**Mauvaise modulation**  
 $m > 1$



- ⊕ Dans le cas d'une **modulation** de **bonne qualité**, le **signal** obtenu a la forme d'un **trapèze**.
- ⊕ Dans le cas d'une **modulation** de **mauvaise qualité**, le **signal** obtenu n'a pas la forme d'un **trapèze**.

### 3-2- Influence de $f_s$ et $F_p$ :

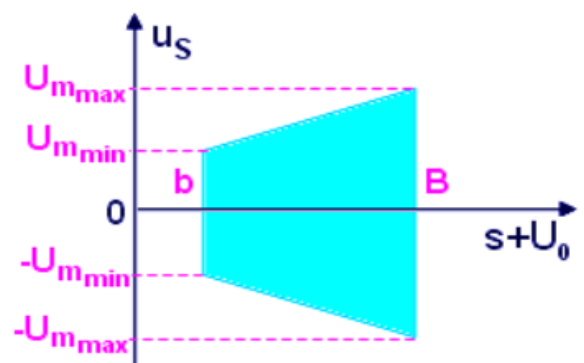
Lorsque la **fréquence** de la **porteuse**  $F_p$  est **voisine** de la **fréquence** du **signal modulant**  $f_s$ , la **qualité** de la **modulation** est **mauvaise** et en **mode XY**, on n'obtient pas un **trapèze**.

Pour avoir une **modulation d'amplitude** de **bonne qualité**, il faut que la **fréquence** de la **porteuse**  $F_p$  soit **très supérieure** à la **fréquence** du **signal modulant**  $f_s$  ( $F_p \gg f_s$ ).

#### Remarque :

On peut déterminer le **taux de modulation** à partir de **dimensions** de **trapèze** par la relation

suivante : 
$$m = \frac{B-b}{B+b}$$



**4- Spectre d'une tension modulée par une tension sinusoïdale :**

Nous avons vu qu'une **tension modulée en amplitude** peut s'écrire :

$$U_S(t) = A. [m. \cos(2\pi f_S. t) + 1]. \cos(2\pi F_P. t)$$

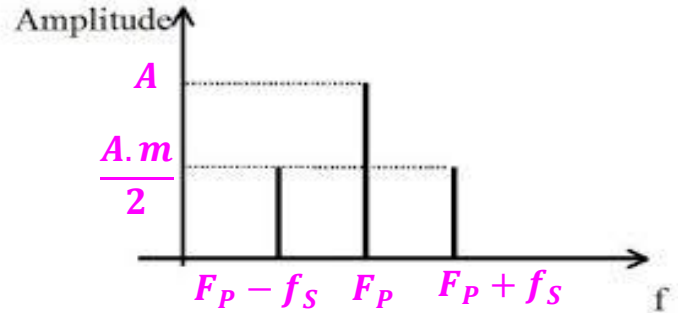
D'où  $U_S(t) = A. m. \cos(2\pi f_S. t). \cos(2\pi F_P. t) + A. \cos(2\pi F_P. t)$

En utilisons la **relation mathématique** :  $\cos(a) \times \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a + b) + \cos(a - b)]$

On trouve :  $U_S(t) = \frac{A.m}{2}. \cos(2\pi(F_P + f_S). t) + \frac{A.m}{2}. \cos(2\pi(F_P - f_S). t) + A. \cos(2\pi F_P. t)$

Donc la **tension  $U_S(t)$**  obtenu est la **somme de trois signaux sinusoïdaux** de **fréquence  $(F_P + f_S)$ ,  $F_P$  et  $(F_P - f_S)$** .

La figure ci- contre donne le **spectre de fréquence d'une tension modulée en amplitude par une tension sinusoïdale**.



Ce **spectre** se compose de **trois raies** :

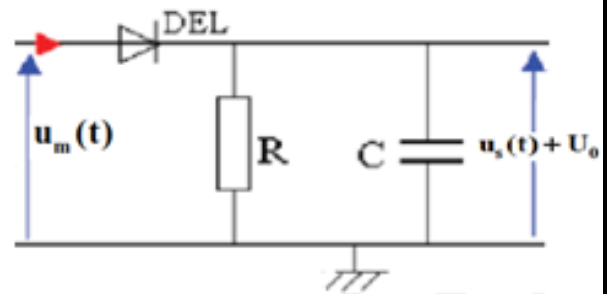
- ✓ Une **raie centrale** de grande **amplitude  $A$**  correspondant à la **fréquence  $F_P$**  de la **porteuse**.
- ✓ **Deux raies symétriques** par rapport à la **raie centrale** correspondant à la **fréquence  $(F_P - f_S)$  et  $(F_P + f_S)$** . Ils ont la **même amplitude  $\frac{A.m}{2}$**  qui dépend du **taux de modulation**.

**II – Démodulation d'amplitude :**

**1- Détection d'enveloppe :**

**1-1- Détecteur d'enveloppe :**

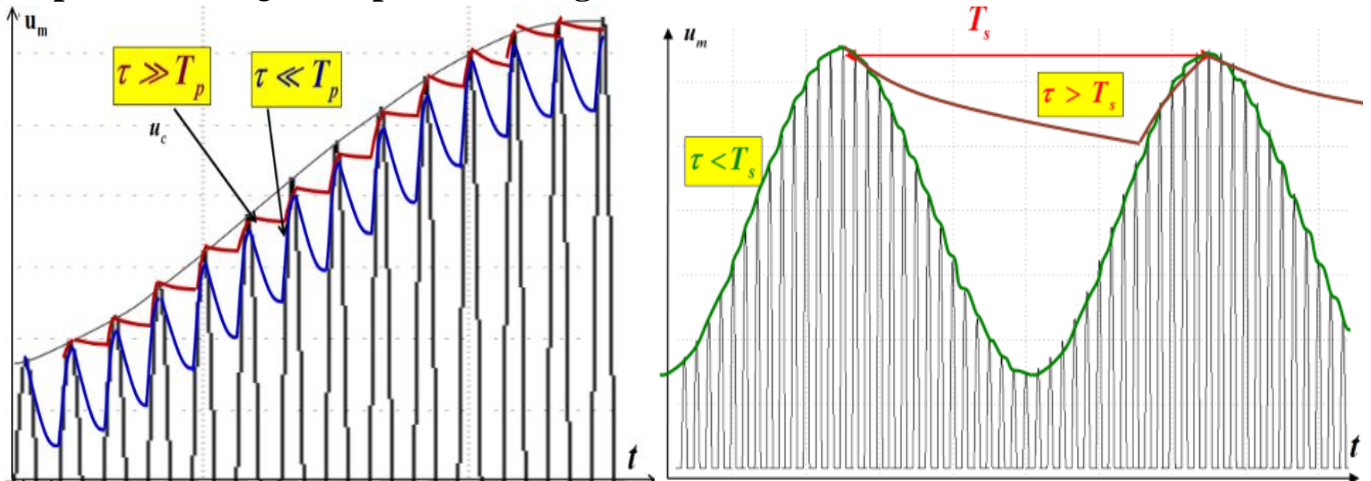
Le **détecteur d'enveloppe** est un **quadripôle** composé d'une **diode**, et d'un **dipôle RC parallèle**. Il permet d'obtenir une **tension  $u_C(t)$**



à la **sortie analogue** totalement ou partiellement la **tension modulée  $u_m(t)$** .

**1-2- Qualité de détecteur d'enveloppe :**

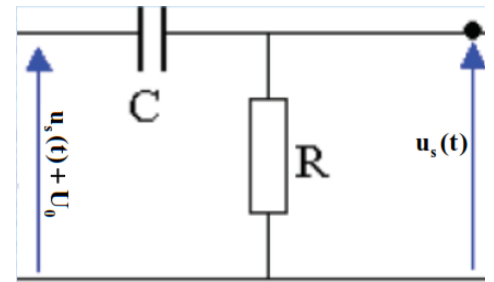
La **détection d'enveloppe** est de **bonne qualité** lorsque la **tension  $u_C(t)$**  reproduit les **mêmes variations** de l'**enveloppe** de la **tension modulée** si la **constante de temps  $\tau = RC$**  vérifier la **condition** :  $T_S \ll \tau < T_P$  tel que  $T_P$  est la **période** de la **porteuse** et  $T_S$  est la **période** du **signal modulant**.



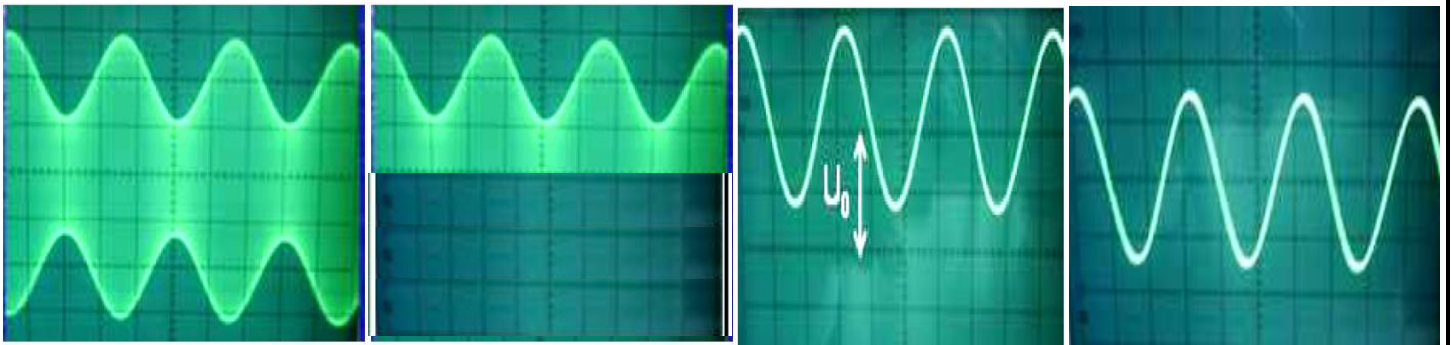
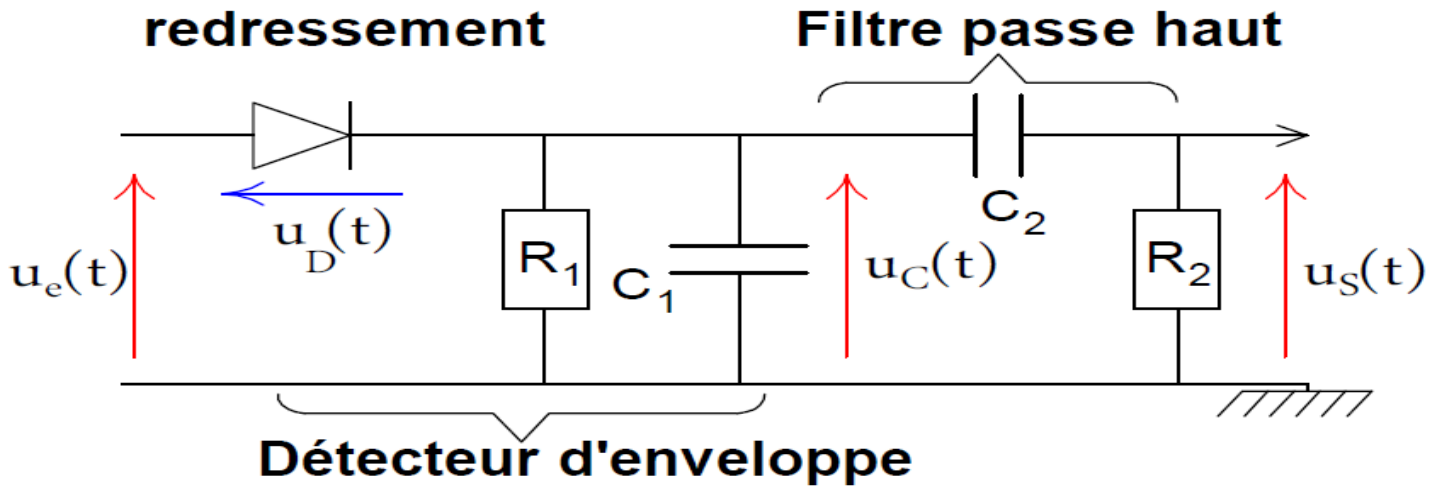
## 2- Le filtre RC série :

Le dipôle RC série joue le rôle de **filtre passe-haut** et laisse passer les **signaux de hautes fréquences**.

Le **filtre RC série** monté à la suite du **détecteur d'enveloppe**, permet d'**éliminer** la **composante continue  $U_0$** .



### Remarque :

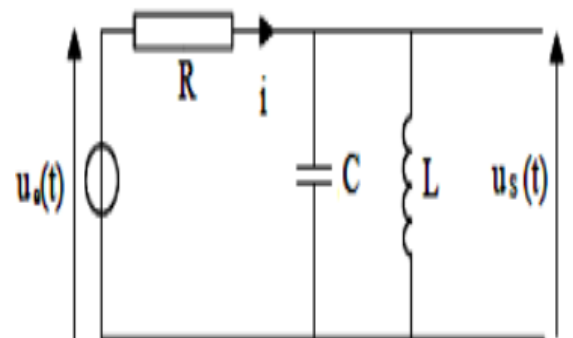


## III – Réception d'une émission radio :

### 1- L'antenne réceptrice et le filtre LC :

Pour que la **réponse** d'un **dipôle LC parallèle** soit **importante**, il faut qu'il permet la **récupération** du **signal** et le **centrer** autour de la **fréquence** de la **porteuse** et qu'il dispose d'une **bande passante** de **petite largeur** afin de ne laisser passer d'autres **signaux** sauf ceux qu'on **désire capter**.

Relié à une **antenne**, un **dipôle LC parallèle** est un **filtre passe-bande** qui permet de **sélectionner** l'**onde radio** issue de l'émetteur choisi. L'**accord** avec la **fréquence** de la **station** se fait par **variation** de la **capacité  $C$**  du condensateur ou de l'**inductance  $L$** .



### 2- Réalisation d'un récepteur d'émission radio :

#### 2-1- Principe :

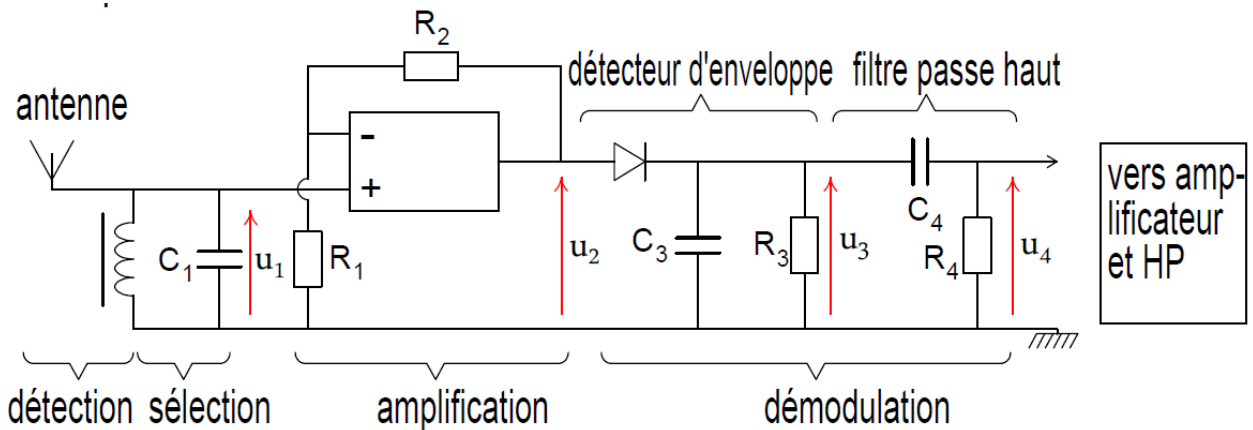
Lors de la **réception radio**, les **ondes hertziennes** sont soumises à un **ensemble d'opérations** permettant de les **transformer** en **signaux sonores** qui peuvent être

écoutés par les **utilisateurs** des **postes radio**. Le **diagramme** montre les **principales opérations** auxquelles sont soumises les **ondes hertziennes**.



### 2-2- Constituants d'un récepteur d'émission radio :

Pour **recevoir** une **émission radio**, on utilise le **montage** suivant :



Un **récepteur d'émission radio** se compose des **éléments** suivants :

- ✓ Une **antenne** réceptrice des **ondes électromagnétiques** de **différentes fréquences**.
- ✓ Un **dipôle LC parallèle** pour **sélectionner la station**.
- ✓ Un **amplificateur** de la **tension modulée sélectionnée (HF)**.
- ✓ **Détecteur d'enveloppe**.
- ✓ Un **filtre passe-haut** pour **recupérer le signal modulant**.
- ✓ Un **amplificateur** du **signal (BF)**.
- ✓ Un **haut-parleur**.

