

Leçon N°9 :

Transmission d'information – Modulation d'amplitude

Introduction :

La radio tient une place particulière dans les télécommunications, elle est utilisée initialement pour les services de communications (Transmission des informations) à longue distance. Certaines radios permettent de faire ce service en utilisant une technique appelée *modulation d'amplitude (AM)*.

- Quel est le principe de la modulation d'amplitude ?
- Comment les informations sont-elles transmises très rapidement et à longue distance utilisant la modulation d'amplitude ?
- Comment ces informations sont-elles reçues et traitées par les radios ?



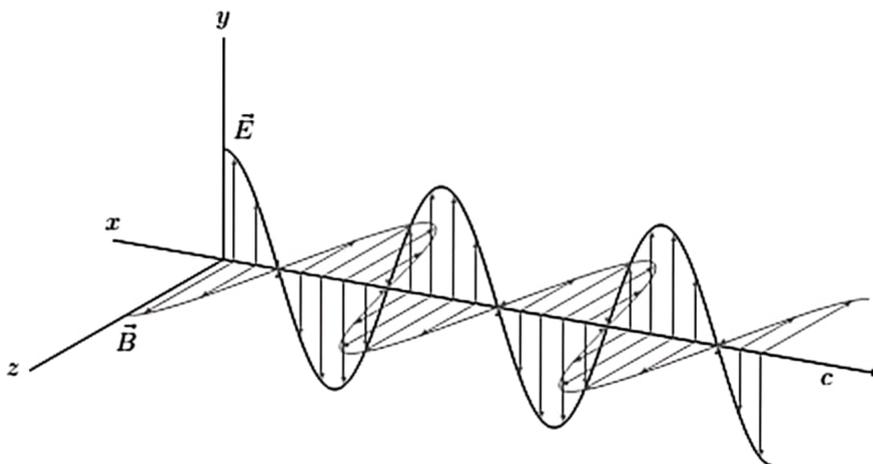
I. Les ondes électromagnétiques

1. Définition d'une onde électromagnétique

Les ondes électromagnétiques correspondent aux oscillations couplées d'un *champ électrique* \vec{E} et d'un *champ magnétique* \vec{B} , dont ses amplitudes varient de façon sinusoïdale au cours du temps. Elles se propagent dans l'air et dans le vide ainsi que dans certains milieux matériels. La vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le vide et l'air est : $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Elles sont caractérisées par leur fréquence f et par leur longueur d'onde λ , tel que :

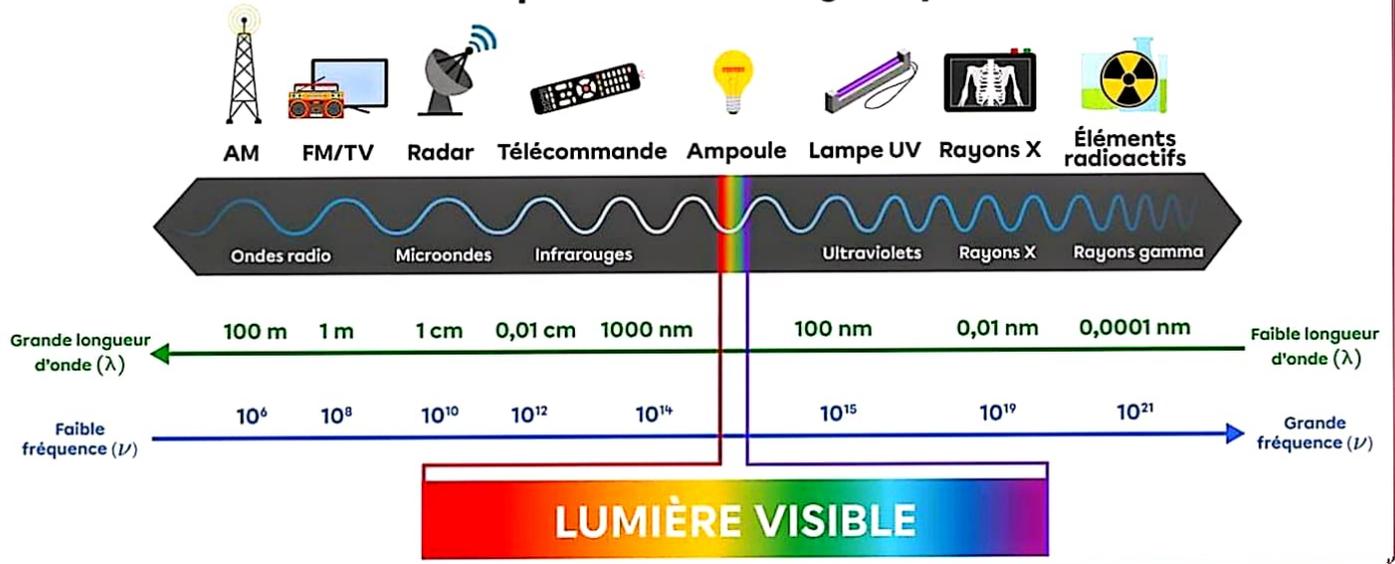
$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f}$$



2. Domaines des ondes électromagnétiques

On rencontre différents types des ondes électromagnétiques, ayant des propriétés très différentes. Elles comprennent un vaste domaine de longueur d'onde, elles sont classées en fonction de leurs fréquences dans ce qu'on appelle le *spectre électromagnétique*, par leurs longueur d'onde croissantes, nous avons les *rayons gamma*, les *rayons X*, les *ultraviolets*, la *lumière visible*, les *infrarouges*, les *micro-ondes*, et les *ondes radio*.

Le spectre électromagnétique



II. Transmission de l'information

1. Emission et réception d'une onde électromagnétique

On réalise le montage suivant, tel que E et R sont deux fils électriques conducteurs qui jouent respectivement le rôle d'une *antenne émettrice* et d'une *antenne réceptrice*.

L'antenne émettrice E est reliée avec un GBF qui donne un signal sinusoïdal visualisé par l'oscilloscope (1), alors que l'antenne réceptrice R est reliée avec un oscilloscope (2).

Observation :

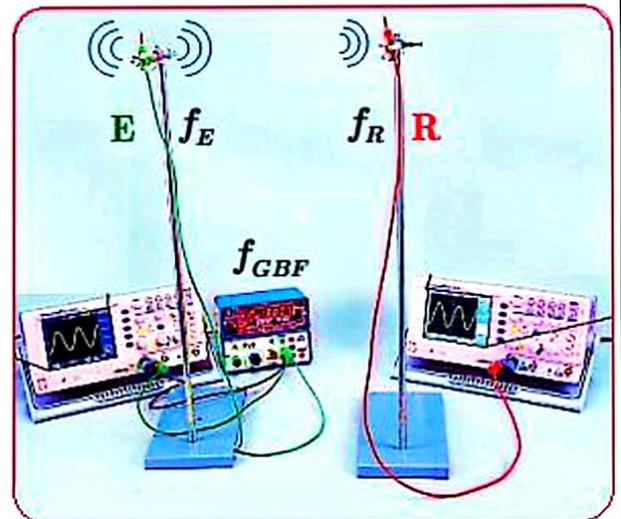
- On visualise sur l'oscilloscope (2) un *signal sinusoïdal* reçu par le récepteur R qui a la *même fréquence* et la *même forme* que le signal émis par l'émetteur E .

Explication :

L'antenne émettrice E reçoit le signal électrique sinusoïdal de fréquence f_{GBF} donné par le GBF et le transforme en onde électromagnétique de *même fréquence* que le signal électrique ($f_E = f_{GBF}$). Cette onde se propage dans tout l'espace et elle est captée par l'antenne réceptrice R qui la transforme en signal électrique de *même fréquence* ($f_R = f_E$).

Conclusion :

L'onde électromagnétique peut transmettre le **signal** qui contient l'information à certaines distances sans aucun **transport de matière** et avec une vitesse égale à la **célérité de lumière dans le vide**.



2. Transmission de l'information

a. Nécessité d'une modulation

Les informations que l'on transmet par *ondes hertziennes* (*paroles, musiques, images, ...*) correspondent à des signaux dont les fréquences sont de l'ordre du kilohertz (de 20 Hz à 20 kHz pour les ondes sonores). Ces signaux basses fréquences (BF) ne peuvent pas être émis directement, car plusieurs problèmes se posent :

- La propagation des ondes BF se fait sur des faibles distances car elles sont *frottement amorties*, ce n'est pas le cas des signaux hautes fréquences.

- Le récepteur ne peut pas distinguer entre les différents signaux BF, ç-à-d ces signaux sont brouillés à cause de la gamme étroite de basses fréquences.
- La dimension L de l'antenne doit être de l'ordre de grandeur de la moitié de la longueur d'onde $\frac{\lambda}{2}$, ce qui donnerait une taille gigantesque à l'antenne.

Par exemple, pour capter un signal BF de fréquence $f = 10 \text{ kHz}$, et de longueur d'onde :

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^3} = 3 \times 10^4 \text{ m}$$

Il faut que la longueur de l'antenne est de :

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{3 \times 10^4}{2} = 1,5 \times 10^4 \text{ m} = 15 \text{ km} !!!$$

Autrement dit, l'antenne est de dimension *irréalisable techniquement*.

b. La modulation : l'information et l'onde porteuse

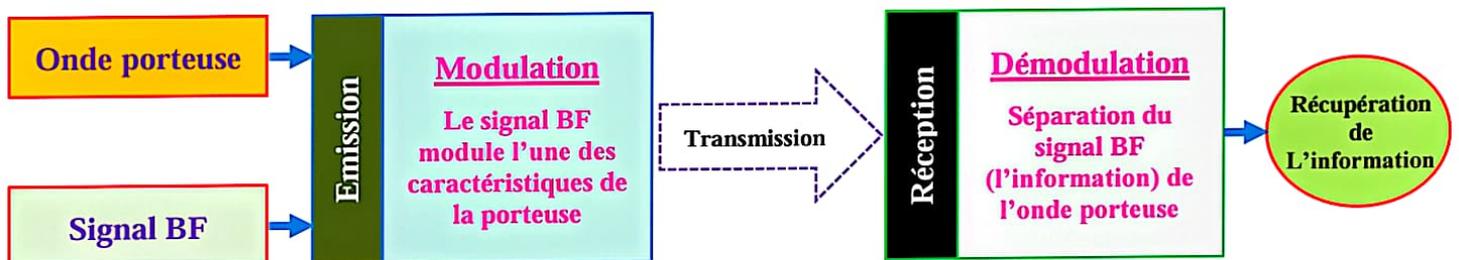
Pour les raisons citées, la transmission des **informations BF** (images, vidéos, audio, ... etc) par voie hertzienne nécessite l'utilisation d'une onde à *haute fréquence* appelée **onde porteuse**, elle représente le support qui transmettent ces informations.

Les informations à transmettre sont converties en signaux électriques qui modifient (*modulent*) l'une des grandeurs caractéristiques de l'onde porteuse, par exemple *l'amplitude* ou la *fréquence*. Il s'agit alors de :

- Modulation d'amplitude (AM).
- Modulation de fréquence (FM).

c. Principe de l'émission et la réception de l'information

À chaque émetteur E , on attribue une valeur particulière de la fréquence de la porteuse, ainsi, un récepteur R pourra distinguer les différentes émissions.



On se limite dans la suite du cours à l'étude des *signaux sinusoïdaux*. Le signal réel (images, vidéos, audio, ... etc) peut toujours être ramené à un somme des signaux sinusoïdaux.

3. Tension sinusoïdale

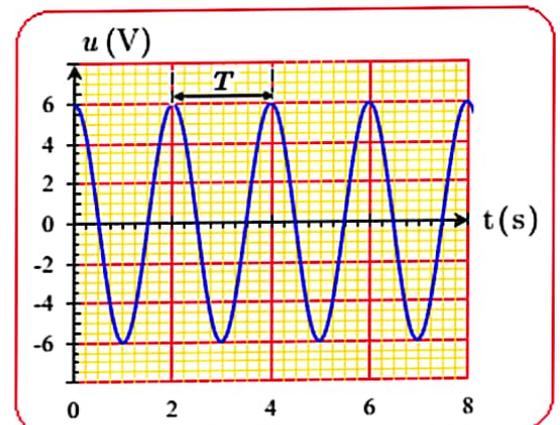
Une tension sinusoïdale est un signal électrique qui varie au cours de temps de façon sinusoïdale. Mathématiquement, elle s'exprime par la relation :

$$u(t) = U_m \cos(2\pi ft + \varphi)$$

U_m : L'amplitude de la tension sinusoïdale en Volt (V).

f : La fréquence de la tension sinusoïdale en Hertz (Hz).

φ : La phase de la tension sinusoïdale à $t = 0$ en radian (rad).

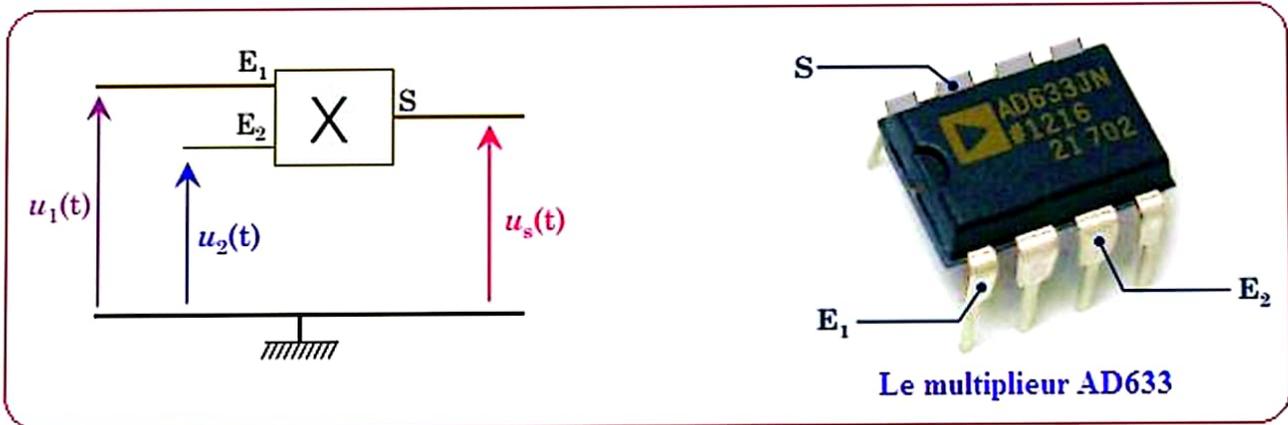


III. Modulation d'amplitude

1. Le multiplieur

Le multiplieur (AD 633) est une composante électronique qui permet de réaliser la multiplication de l'onde porteuse $u_1(t)$ et d'un signal $u_2(t)$ qui contient l'information à transmettre pour obtenir une tension $u_s(t)$ modulée en amplitude.

Le multiplieur (AD 633) comporte deux entrées notées E_1 et E_2 et une sortie S . On le représente dans le circuit par le symbole suivant :



La tension $u_s(t)$ à la sortie du multiplieur est proportionnelle au produit des tensions $u_1(t)$ et $u_2(t)$ appliquées à ses entrées, tel que :

$$u_s(t) = k u_1(t) u_2(t)$$

k : est le coefficient du multiplication, il dépend de multiplieur, et il s'exprime en V^{-1} .

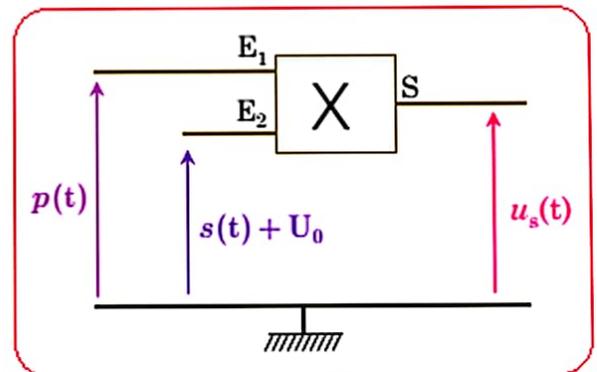
2. La modulation d'amplitude d'une tension sinusoïdale

→ On applique à l'entrée E_1 une tension $p(t)$ représente l'onde porteuse de haute fréquence f_p , tel que :

$$p(t) = P_m \cos(2\pi f_p t)$$

→ On applique à l'entrée E_2 la tension $(U_0 + s(t))$, avec :
 U_0 : est une tension continue appelée tension de décalage.
 $s(t)$: représente le signal informatif (signal modulant) de basse fréquence f_s :

$$s(t) = S_m \cos(2\pi f_s t)$$



→ La tension de sortie (signal modulé) $u_s(t)$ est :

$$u_s(t) = k u_1(t) u_2(t) = k p(t) [U_0 + s(t)]$$

$$u_s(t) = k P_m \cos(2\pi f_p t) [U_0 + S_m \cos(2\pi f_s t)]$$

$$u_s(t) = k P_m U_0 \left[1 + \frac{S_m}{U_0} \cos(2\pi f_s t) \right] \cos(2\pi f_p t)$$

On pose :

$A = k P_m U_0$, et $m = \frac{S_m}{U_0}$ (appelée *taux de modulation*).

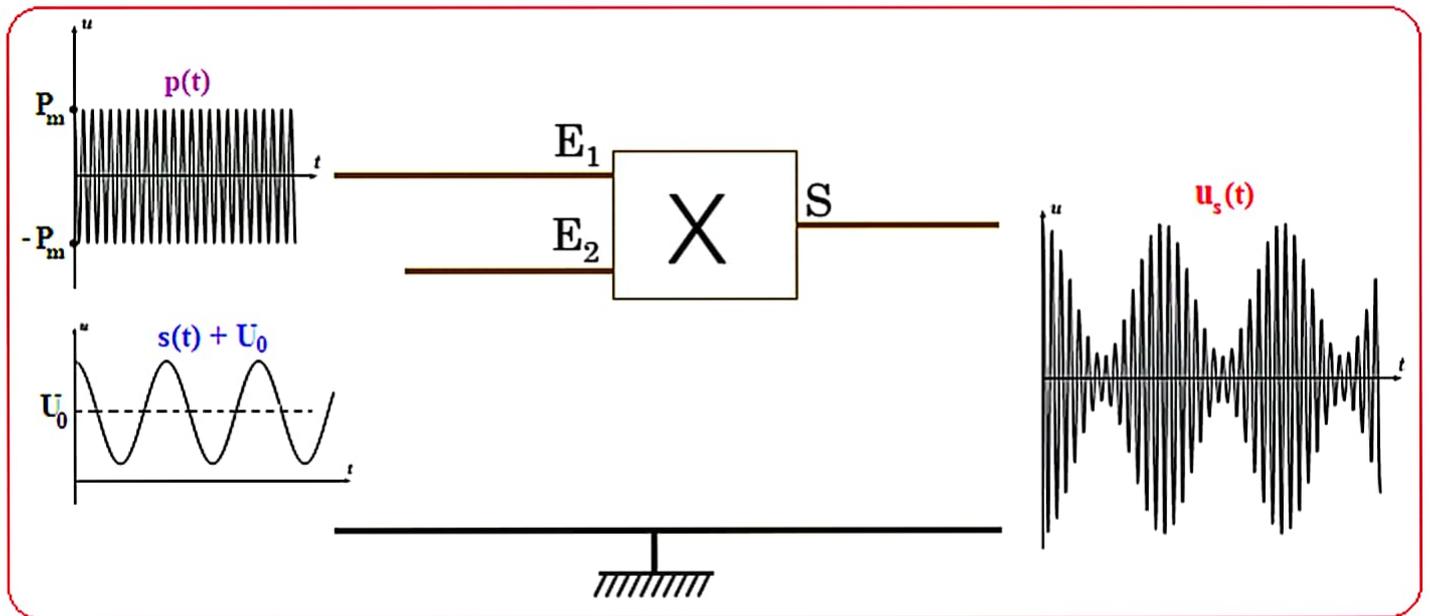
Alors :

$$u_s(t) = A[1 + m \cos(2\pi f_s t)] \cos(2\pi f_p t)$$

$$u_s(t) = U_m(t) \cos(2\pi f_p t)$$

On obtient alors, une tension modulée $u_s(t)$ de haute fréquence f_p , et d'amplitude $U_m(t)$ qui varie au cours du temps et contient l'information $s(t)$ de basse fréquence, tel que :

$$U_m(t) = A[1 + m \cos(2\pi f_s t)]$$



Remarque :

La tension $(U_0 + s(t))$ qui contient le signal informatif $s(t)$ se trouve dans l'enveloppe supérieure de la tension modulée $u_s(t)$.

3. Le taux de modulation m

On a :

$$U_m(t) = A[1 + m \cos(2\pi f_s t)]$$

Et puisque :

$$-1 < \cos(2\pi f_s t) < 1$$

Donc l'amplitude de la tension modulée varie entre deux valeurs limites :

$$\begin{cases} U_{m,max} = A(1 + m) \\ U_{m,min} = A(1 - m) \end{cases}$$

Alors :

$$\begin{cases} U_{m,max} + U_{m,min} = A(1 + m) + A(1 - m) = 2A \\ U_{m,max} - U_{m,min} = A(1 + m) - A(1 - m) = 2A \cdot m \end{cases}$$

D'où :

$$\frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}} = \frac{2A \cdot m}{2A}$$

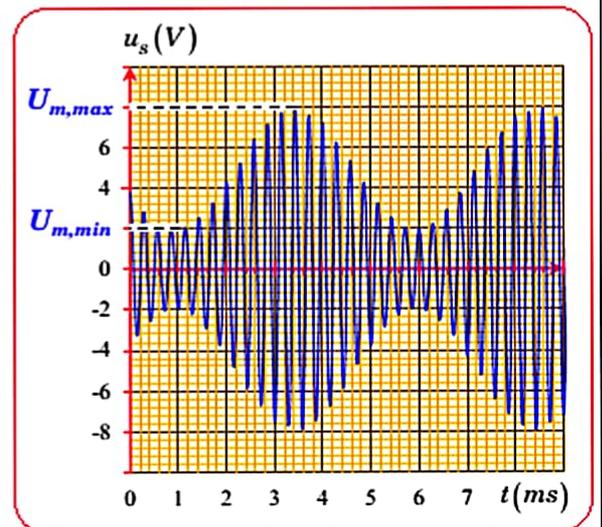
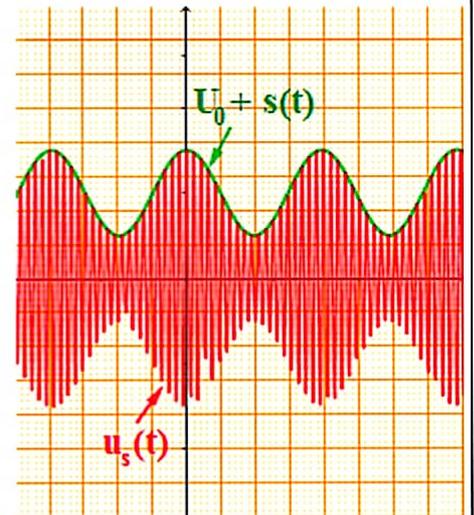
Donc l'expression de taux de modulation m est :

$$m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}}$$

Exemple :

Le taux de modulation pour la courbe ci-contre est :

$$m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}} = \frac{8 - 2}{8 + 2} = 0,6$$



4. Qualité de la modulation

Pour obtenir une modulation de bonne qualité il faut que :

- La fréquence f_p de l'onde porteuse doit être *plus supérieure* à la fréquence f_s de la tension modulante, tel que :

$$f_p > 10f_s$$

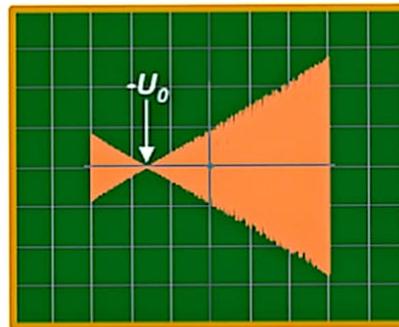
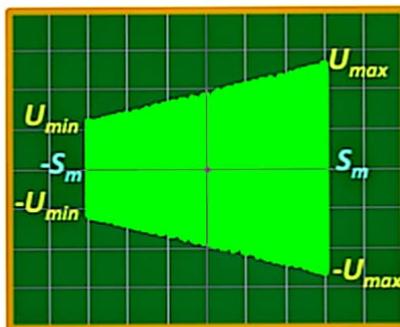
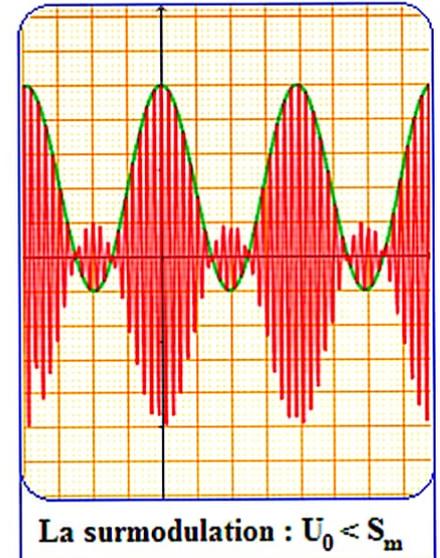
- La tension de décalage U_0 doit être *plus grande* à l'amplitude S_m de la tension modulante ($U_0 > S_m$), ç-à-d :

$$m < 1$$

Pour éviter le phénomène de *surmodulation*.

Remarque :

- La surmodulation est le cas dans lequel l'enveloppe supérieure de la tension modulée $u_s(t)$ n'a pas la même forme de la tension modulante $s(t)$. Pour éviter ce problème, on ajoute à la tension $s(t)$, une tension de décalage U_0 supérieure à S_m , ce qui permet par la suite la *recupération complet* du signal initial par *démodulation*.
- En utilisant l'oscilloscope en *mode XY*, on obtient un *trapèze* dans le cas d'une *bonne modulation*.



IV. La démodulation

1. Définition

La démodulation est une technique qui consiste à récupérer à niveau le signal modulant $s(t)$ qui contient l'information. Elle s'opère en deux étapes :

- La détection d'enveloppe.
- L'élimination de la tension continue par filtrage.

2. Détecteur d'enveloppe

Le détecteur d'enveloppe est un quadripôle composé de :

- Une *diode (D)* qui permet d'éliminer les alternances négatives de la tension modulée $u_s(t)$.
- Un *dipôle RC* parallèle qui joue le rôle d'un *filtre passe bas* qui permet de laisser passer seulement les basses fréquences (Élimination de la partie restant de la porteuse).

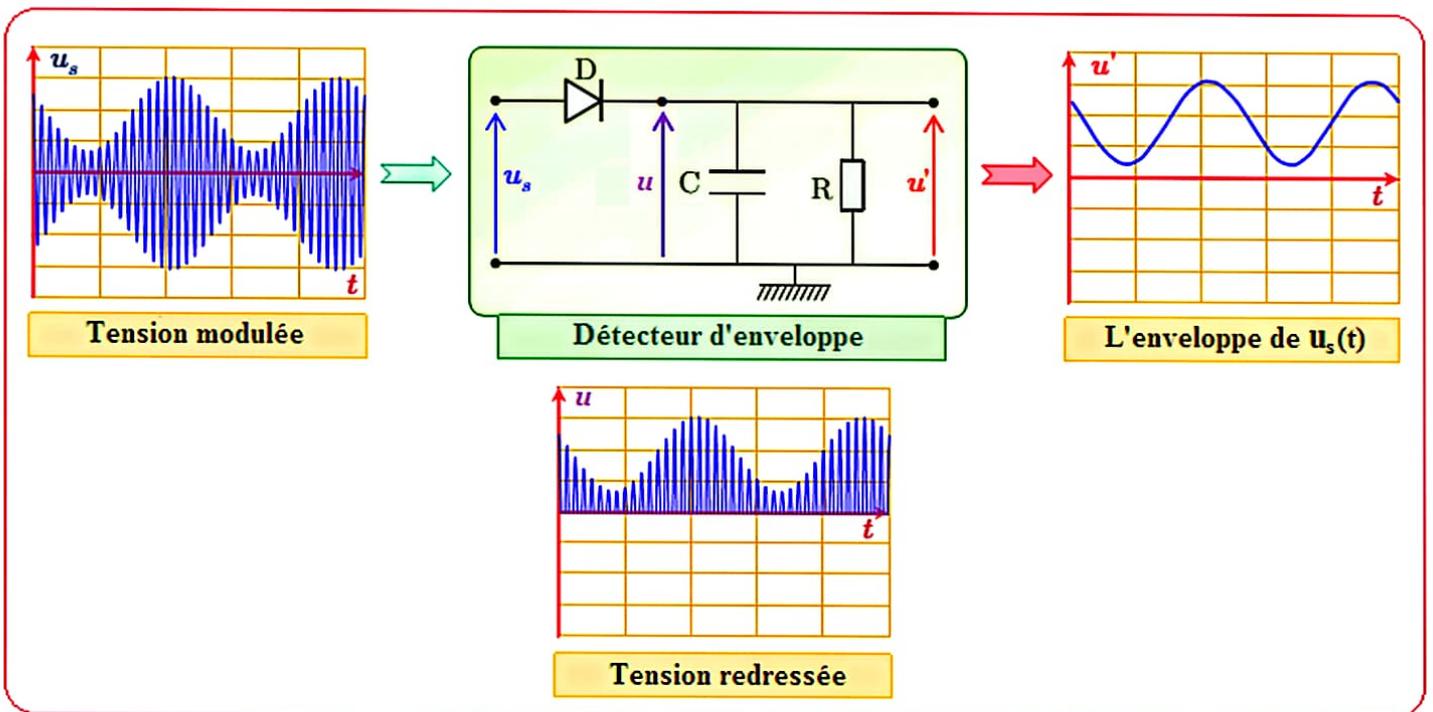
Remarque :

Pour obtenir une *bonne détection d'enveloppe* il faut que la constante de temps τ du dipôle *RC* vérifie la condition suivante :

$$T_p \ll \tau < T_s$$

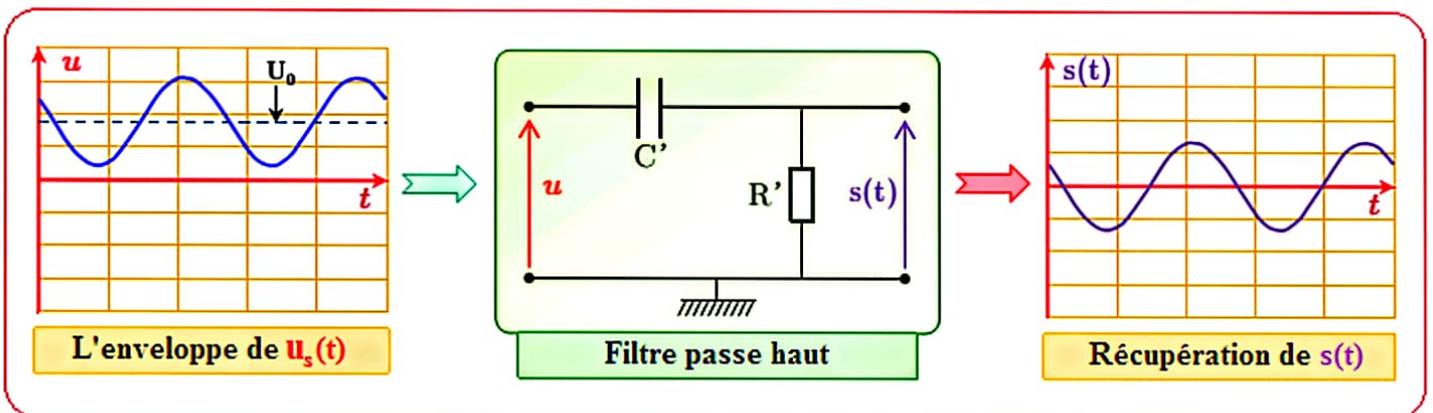
T_p : La période de la porteuse $p(t)$.

T_s : La période de la tension modulante $s(t)$.

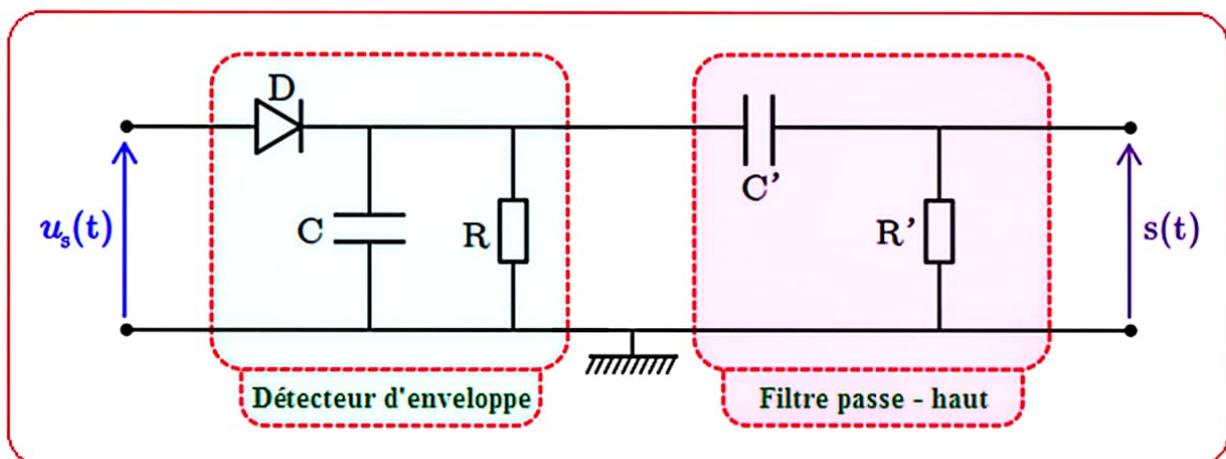


3. L'élimination de la tension continue U_0

Le montage à utiliser est un dipôle $R'C'$ série qui joue le rôle d'un filtre *passé haut* qui laisse passer seulement les hautes fréquences, et bloque les tensions basses fréquences et les tensions continues.



4. Montage de la démodulation



V. Réalisation d'un récepteur radio AM

Un récepteur radio AM est constitué des éléments suivants :

- Une **antenne** qui capte les ondes radio.

- Un **circuit (LC_0)** qui nous permet de sélectionner la fréquence de l'onde porteuse qu'on veut capter. Cette sélection se réalise en variant l'inductance L de la bobine ou la capacité C_0 du condensateur jusqu'à que la fréquence propre f_0 du circuit (LC_0) soit égale à la fréquence f_p de l'onde porteuse :

$$f_0 = f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}}$$

- Un **circuit d'amplification** (Avant la démodulation) : Afin d'obtenir une tension supérieure à la tension seuil de la diode, il faut amplifier la tension délivrée par le circuit (LC_0).
- Un **circuit de démodulation** d'amplitude qui comporte un circuit de *détection d'enveloppe* et un autre *d'élimination de la tension continue*.
- Un autre **circuit d'amplification** (Après la démodulation) : On amplifie l'onde de manière à obtenir une tension suffisante aux bornes du haut-parleur. Ce circuit est constitué d'un potentiomètre, qui nous permet de régler l'intensité du courant dans le haut-parleur.
- Un **haut-parleur** qui permet de transformer la tension à ses bornes en ondes sonores

