Cours de physique
Deuxième Bac
Sciences Mathématique

Modulation et démodulation d'amplitude



Connaissances et savoir-faire

- Savoir que réaliser une modulation d'amplitude c'est rendre l'amplitude du signal modulé fonction affine de la tension modulante
- Connaitre les conditions d'obtention d'une bonne modulation
- Dans le cas d'une tension modulante sinusoïdale de fréquence fs , savoir que la tension modulée est la somme de trois signaux sinusoïdales de fréquences $F_p + f_s$, F_p , $F_p - f_s$,
  F_p : étant la fréquence du signal qui a été modulé .
- Connaissant la fonction de l'ensemble diode-RC parallèle et du dipôle RC série , savoir les placer correctement dans un schéma de montage de démodulation ;
- Savoir exploiter les oscillogrammes relatifs à une modulation et une démodulation d'amplitude

Www.AdrarPhysic.Fr

Depuis toujours, les hommes ont tenté de transmettre des informations, le plus rapidement possible, d'un lieu à un autre. Les informations sont aujourd'hui principalement transmises à distance, par des ondes électromagnétiques de type hertzienne (radio, télévision, télé- phone portable, Internet.....) ou lumineuse (fibre optique). Comment peut- on transmettre une information à grande distance ?

La nécessité de communiquer remonte à l'apparition du langage. L'homme a toujours désiré transmettre ce qu'il savait mais aussi recevoir. Pour communiquer plus loin et plus vite, l'homme a commencé par crier puis les techniques sont devenues de plus en plus sophistiquées.

La véritable histoire des télécommunications commence par le télégraphe optique ,le télégraphe électrique , le téléphone , la radio et la télévision . Télégraphe et téléphone nécessitent un câble tendu entre les points que l'on veut relier.

- James Maxwell (1831-1879) unifie dans une même théorie les connaissances sur le caractère ondulatoire de la lumière et celles sur le magnétisme.

- Heinrich Hertz réussit à produire des ondes électromagnétiques qui porteront son nom en 1887.

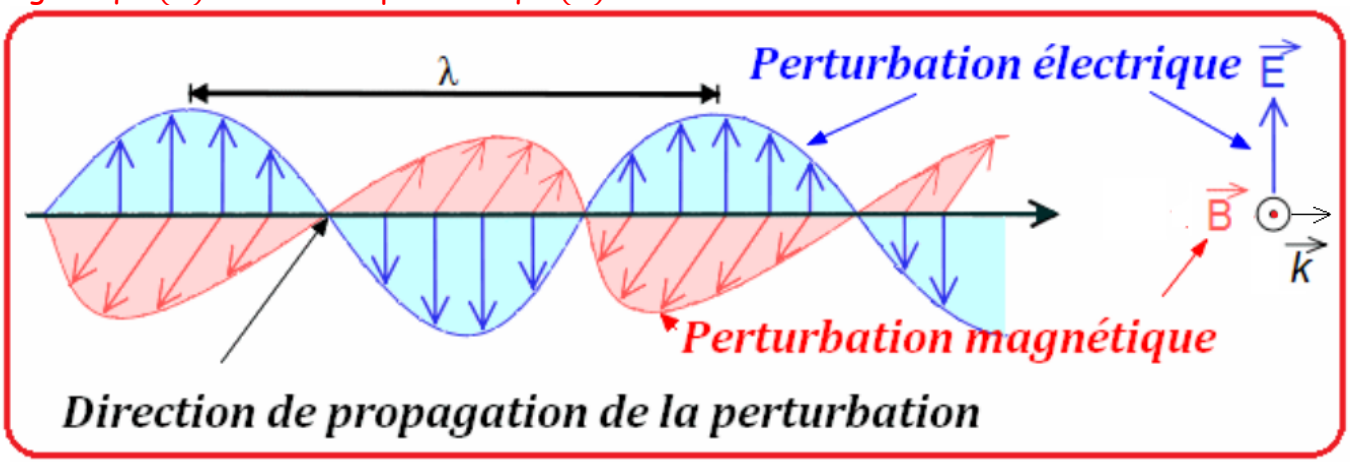
- Guglie lmo Marconi dépose le premier brevet d'un appareil permettant de communiquer sans lien matériel en 1886. Il recevra le prix Nobel en 1909.

Nous voilà dans le royaume des ondes électromagnétiques! Dans notre dossier nous voulons traiter d'abord les propriétés, puis le principe de la transmission des informations par ces ondes et finalement l'histoire et les formes de la radiodiffusion.

1- les ondes electromagnetique

1-1- definition

Une onde électromagnétique est une onde périodique qui propage des variations de champ magnétique($\vec{B}$) et de champ électrique($\vec{E}$)



1-2- Les caractéristiques des ondes électromagnétiques

Comme les ondes mécaniques progressives sinusoïdales, les ondes électromagnétiques sont caractérisées par :

* une fréquence f (en Hz) et une période T (en s) liées entre elles par la relation suivante : $f = \frac{1}{T}$

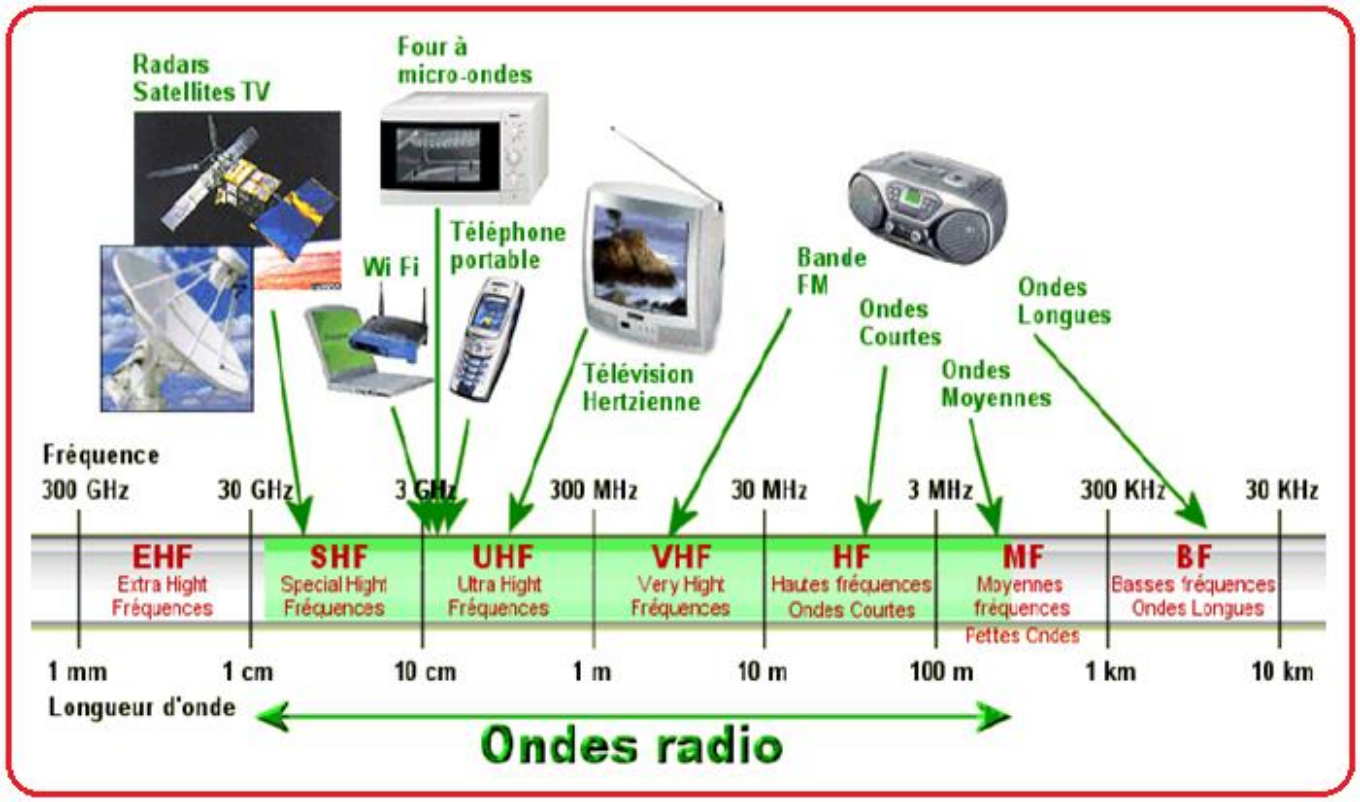
* Une célérité (vitesse de propagation en m/s) : dans le vide et dans l'air elle est égale à la célérité de la lumière soit : $c = 3 \times 10^8 m.S^{-1}$

* La célérité des ondes électromagnétiques dans les milieux transparents (comme les fibres optiques) est également importante (de l'ordre de $10^8 m.S^{-1}$

* Une longueur d'onde dans le vide λ (en m) qui correspond à la distance parcourue par l'onde se déplaçant à la célérité c durant une période temporelle T.
On a aussi la relation suivante : $\lambda = C.T = \frac{C}{f}$

1-3- spectres des ondes électromagnétiques

Le diagramme suivant représente les ondes électromagnétiques et leurs applications

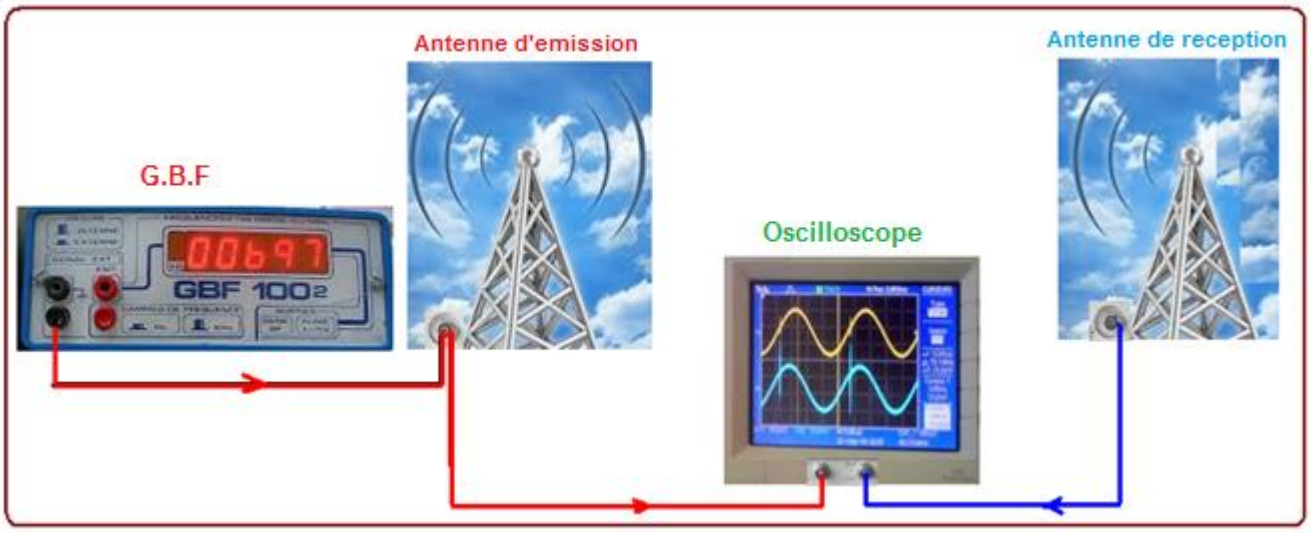


Www.AdrarPhysic.Fr

1-4- émission et réception d'une onde électromagnétique

1-4-1- Activité

On réalise le montage expérimentale ci- contre :



1-4-2-conclusion

Les deux tensions ont mêmes amplitudes et mêmes fréquences . On conclue que les propriétés du signal transmis sont conservées . L'antenne émettrice, crée une onde électromagnétique de même fréquence que celle du signal électrique qui lui est appliquée.au cours de la transmission de l'onde électromagnétique se fait par transport d'énergie mais sans transport de la matière .

2- transmission des informations

2-1- définition

L'information est un renseignement obtenu de quelqu'un ou sur quelque chose,ou une nouvelle communiquée par une agence de presse,un journal,la radio,la televisionsous forme : des nombres, du texte, des sons, des images, des clips vidéo etc

2-2- Methodes de transmission

Il existe trois methodes de transmission

- Par cable : en utilise des cables en cuivre apres avoire transformer l'information en signal electrique
- Sans fil :en utilise les ondes hertzien (ondes electroùagnetique) pour transporter l'information
- Les fibres optique :ce sont des tubes en verre ou en plastique

Www.AdrarPhysic.Fr

3- La modulation

3-1- Nécessite de la modulation d'amplitude

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 de faibles distances car les signaux sont fortement amortis.
- le brouillage des informations à transmettre à cause de signaux parasites (signaux industriels à 50 Hz .....) ou des signaux de même fréquence émis par des stations différentes
- Dimensions des antennes de réception de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde λ des signaux à transmettre: (λ =c/f = 3.10^8 / 10^3 = 3.10^5 m = 300 km !!!)

Ainsi, l'idée de transmettre des informations par une onde de fréquence élevée est naturellement apparue. Les informations sont alors inscrites ou modulées dans une onde de haute fréquence (HF).
On peut transmettre un signal de BF en modulant une onde porteuse de HF .

3-2- Les grandeurs qui peuvent être modulée

La porteuse est de forme sinusoïdale : $u(t) = U_m \cos(2\pi.f.t + \varphi)$ Les grandeurs qu'ont peut moduler est : l'amplitude U_m , la fréquence f et la phase φ à t=0 .

a- Modulation d'amplitude

L'amplitude de l'onde porteuse sera modifiée selon le signale modulant L'expression de la tension modulé en amplitude est : $u_S(t) = U_m \cos(2\pi.f.t + \varphi)$. où f et φ constantes

b- Modulation de fréquence

La fréquence de l'onde porteuse sera modifiée selon le signale modulant L'expression de la tension modulé en fréquence est : $u_S(t) = U_m \cos(2\pi.f(t).t + \varphi)$ où U_m et φ constante .

3-3- Principe de la modulation d'amplitude

Le signal **porteur** entre les antennes d'émission et de réception est un signal haute fréquence (HF). Le signal porteur est **modulé**, afin que son **amplitude varie** à l'image du signal BF (signal modulant).
Notations utilisées :

- Signal sinusoïdal porteur haute fréquence : $P(t) = P_m.cos(2\pi.F_P.t)$

- Signal sinusoïdal contenant l'information à transmettre, signal modulant :

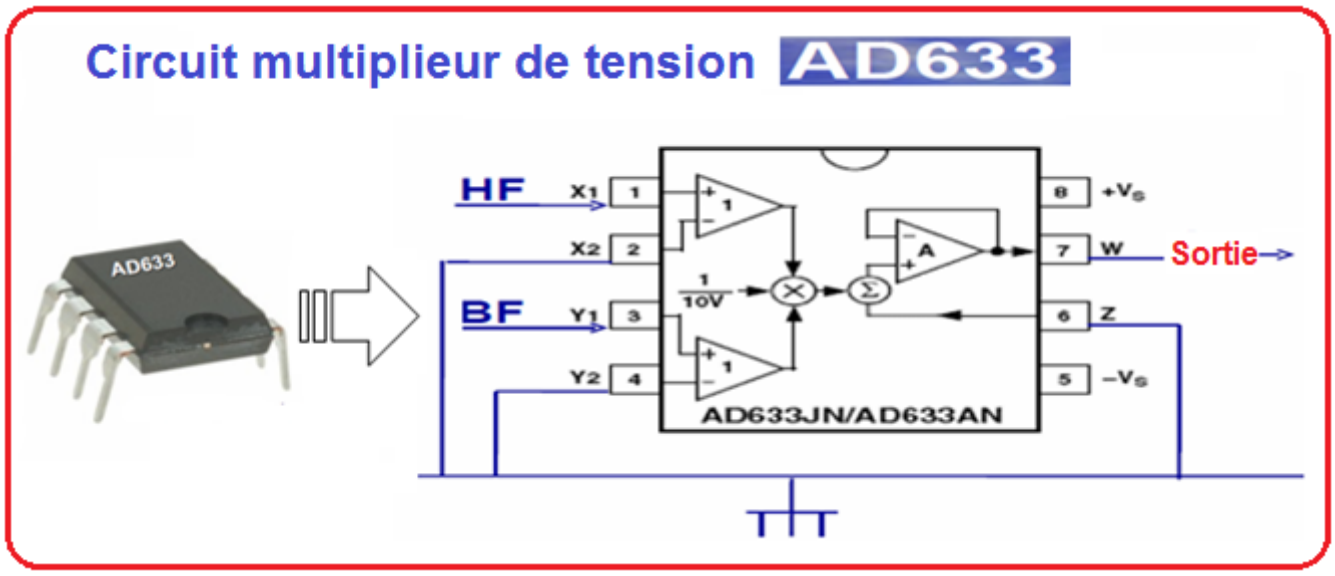
$$S(t) = S_m.cos(2\pi.f_S.t)$$

- Tension continue de décalage ajoutée à $S(t)$: U_0

La modulation d'amplitude consiste à modifier l'amplitude de l'onde porteuse haute fréquence par le signal contenant l'information.

3-4- Realisation pratique :utilisation d'un montage multiplieur de tension

Pour moduler l'amplitude de l'onde porteuse on utilise un multiplieur qui realise le produit du signal informatif decale : $S(t)+U_0$ par le signal porteur $P(t)$.
Le schéma suivant représente le circuit utilise

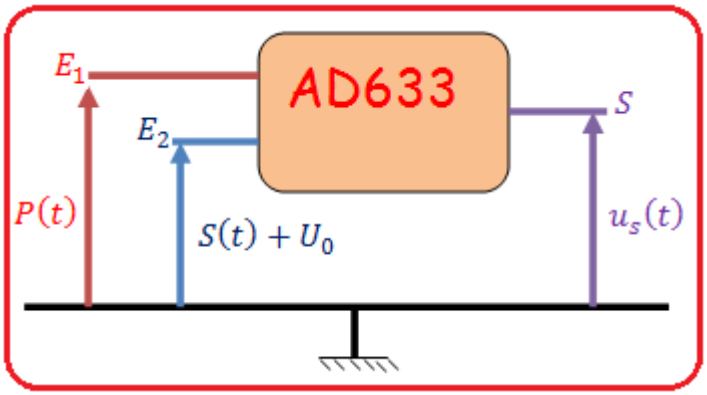


Et on peut le represente d'une facon simplifie :

La tension de sortie $u_s(t)$ du multiplieur, modulée en amplitude s'écrit alors :

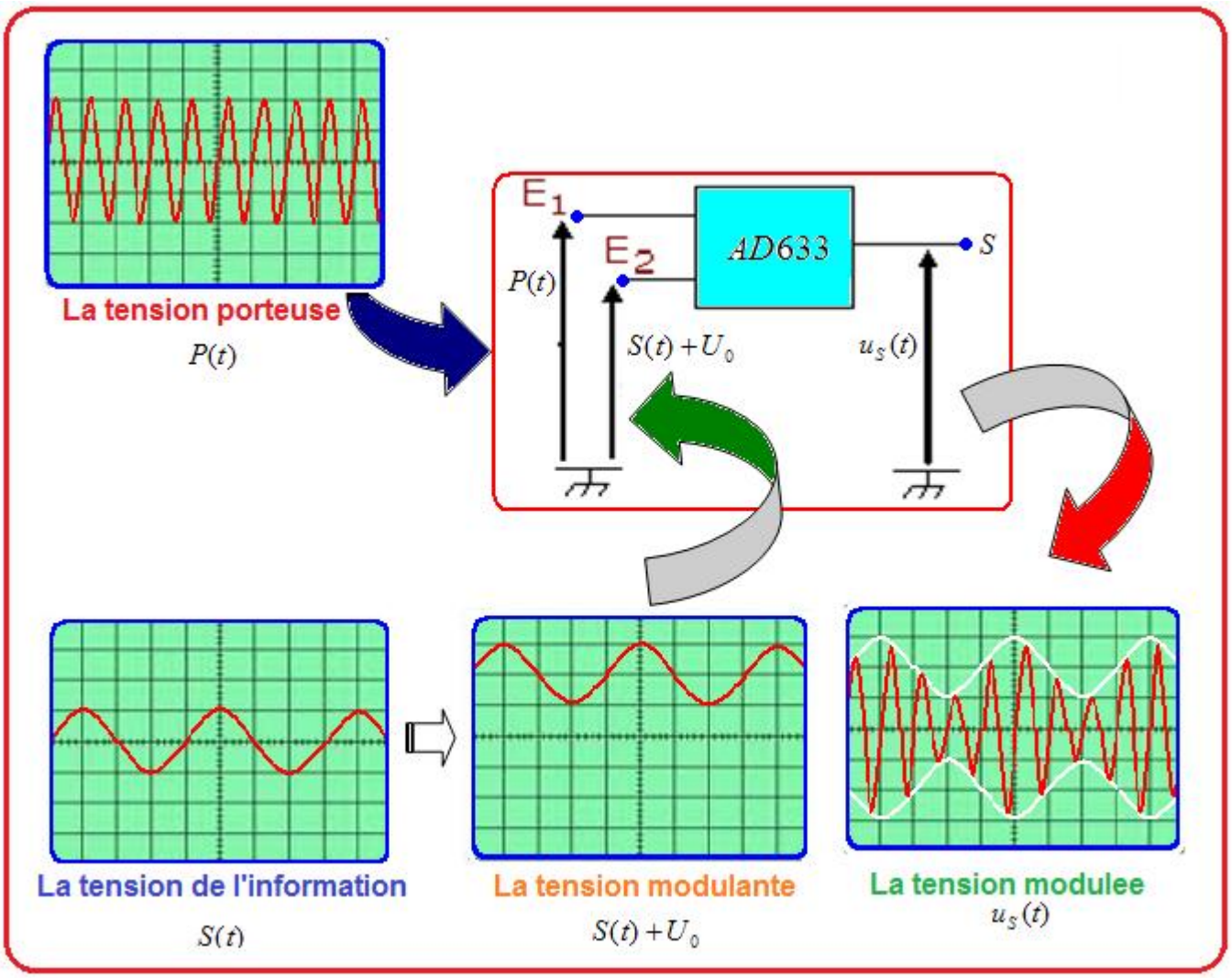
$$u_s(t) = k.P(t) \times [S(t) + U_0]$$

k est une constante qui dépond du circuit



Www.AdrarPhysic.Fr

La figure suivante représente les tension qu'on peut visualise à l'aide d'un oscilloscope



3-5- L'expression de la tension modulée

Le circuit $(AD633)$ nous permet d'obtenir la tension modulée $u_s(t)$ à la sortie S

$$u_s(t) = k.P(t) \times [S(t) + U_0] = k.P_m cos(2\pi F_P t) \times [S_m cos(2\pi f_s t) + U_0]$$

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

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

On pose : $k.P_m.U_0 = A$ et $\frac{S_m}{U_0} = m$ (Taux de modulation)

La modulation d'amplitude (AM) nous permet d'obtenir l'amplitude de la tension modulée $u_s(t)$ sous la forme :

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

$A.[m.cos(2\pi f_s t) + 1]$: Représente l'amplitude de la fonction $u_s(t)$ notée : $U_m(t)$

Donc : $u_s(t) = U_m(t)P_m cos(2\pi F_P t)$

Puisque l'amplitude modulée est une fonction sinusoïdale elle varie entre deux valeurs limitée :

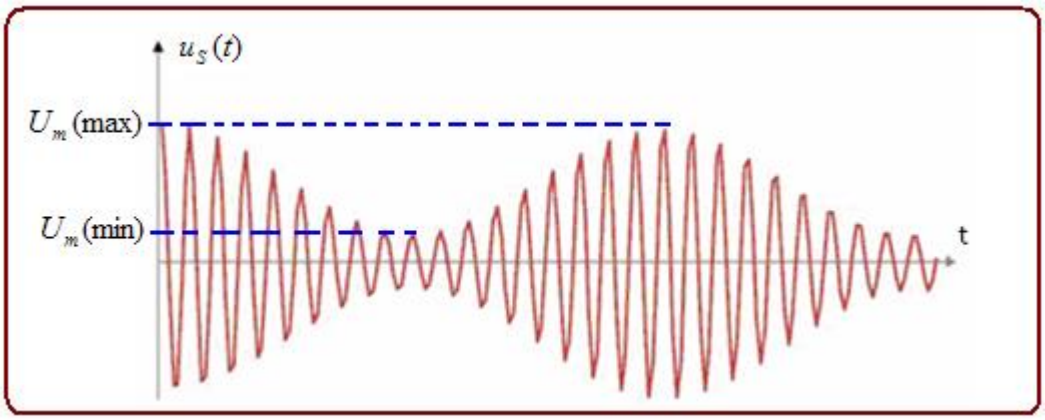
- Une valeur maximale tel que : $\cos(2\pi f_S t) = 1 \quad \Rightarrow \quad U_m(\max) = A(m+1)$

- Une valeur minimale tel que : $\cos(2\pi f_S t) = -1 \quad \Rightarrow \quad U_m(\min) = A(1-m)$

L'expression du taux de modulation en fonction de $U_m(\max)$ et $U_m(\max)$ s'écrit :

$$m = \frac{Um_{(\max)} - U_m(\min)}{Um_{(\max)} + U_m(\min)}$$

On peut aussi déterminer la valeur de $U_m(\max)$ et $U_m(\min)$ graphiquement



3-6- Spectre d'amplitude

On a la tension modulée : $u_S(t) = k.P(t) \times [S(t) + U_0] = kP_m \cos(2\pi F_p.t) \times [S_m \cos(2\pi f_S.t) + U_0]$

$$u_S(t) = kP_m U_0 \left[\frac{S_m}{U_0}\cos(2\pi f_S.t) + 1\right] \times \cos(2\pi F_p t) = A[m\cos(2\pi.f_S.t) + 1] \times \cos(2\pi.F_P t)$$

$$u_S(t) = A\cos(2\pi.F_P t) + Am\cos(2\pi.F_P t) \times \cos(2\pi.f_S t)$$

On peut transformer cette multiplication de deux fonctions sinusoïdales en une somme . En utilisant la formule trigonométrique suivante : $\cos a.\cos b = \frac{1}{2}[\cos(a+b) + \cos(a-b)]$

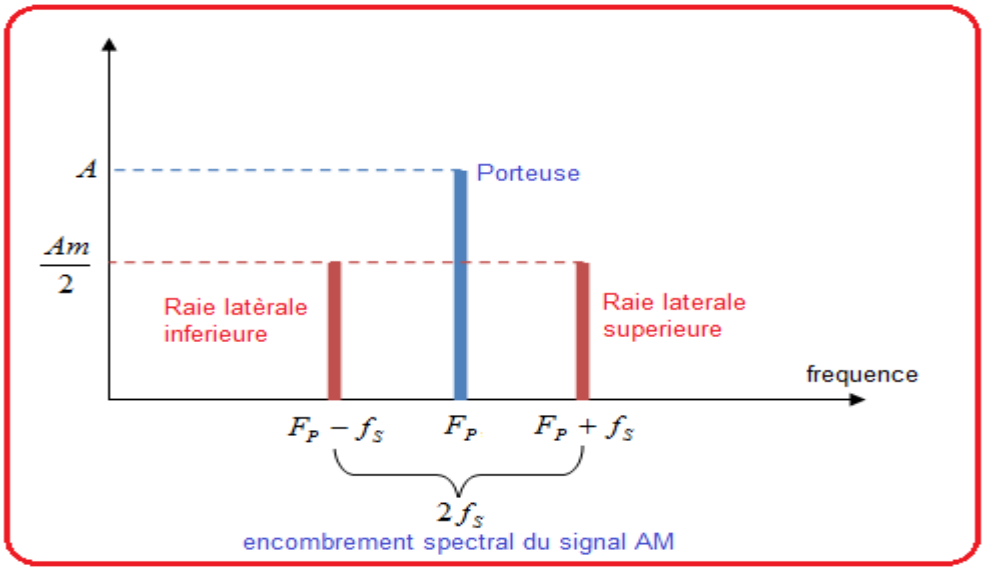
le signal modulé peut s'écrire sous la forme suivante :

$$u_S(t) = A\cos(2\pi.F_P t) + \frac{1}{2}Am.\cos(2\pi(F_P + f_S)t) + \frac{1}{2}Am\cos(2\pi(F_P - f_S)t)$$

Dans ce signal on aura la superposition de trois fréquences : $F_P - f_S, F_P, F_P + f_S$; ce qui donne le spectre de fréquence :

le spectre de fréquence du signal modulé est représenter sur la figure ci-dessous. :

Www.AdrarPhysic.Fr

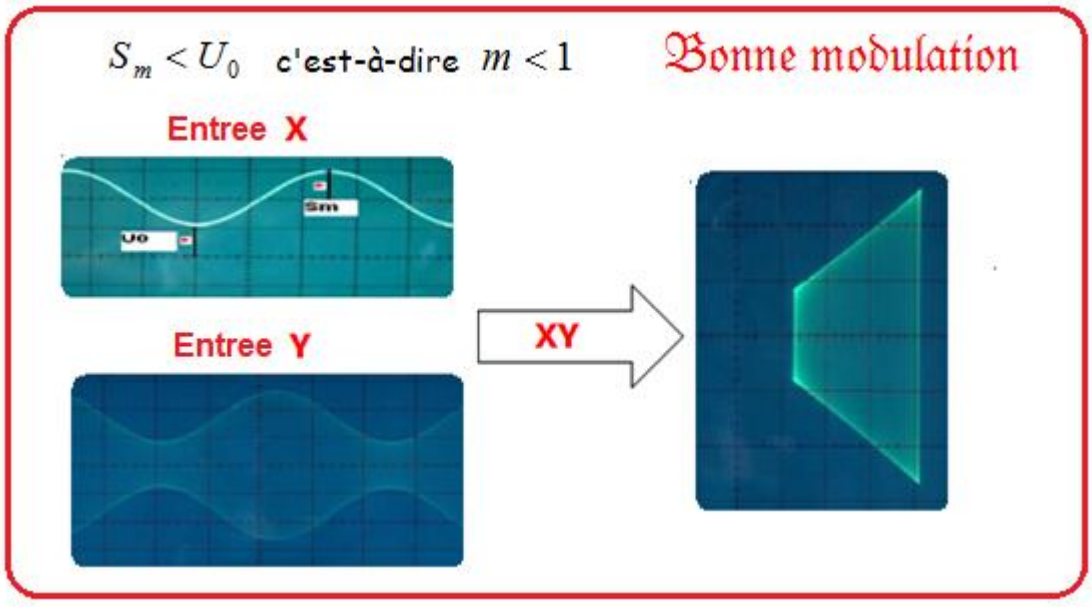


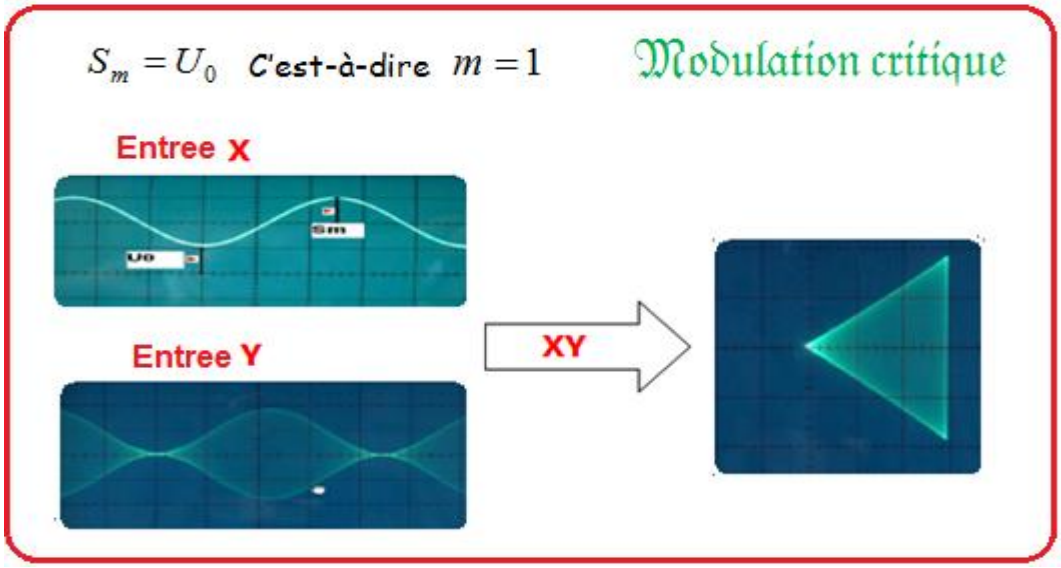
3-7- Influence du taux de modulation m

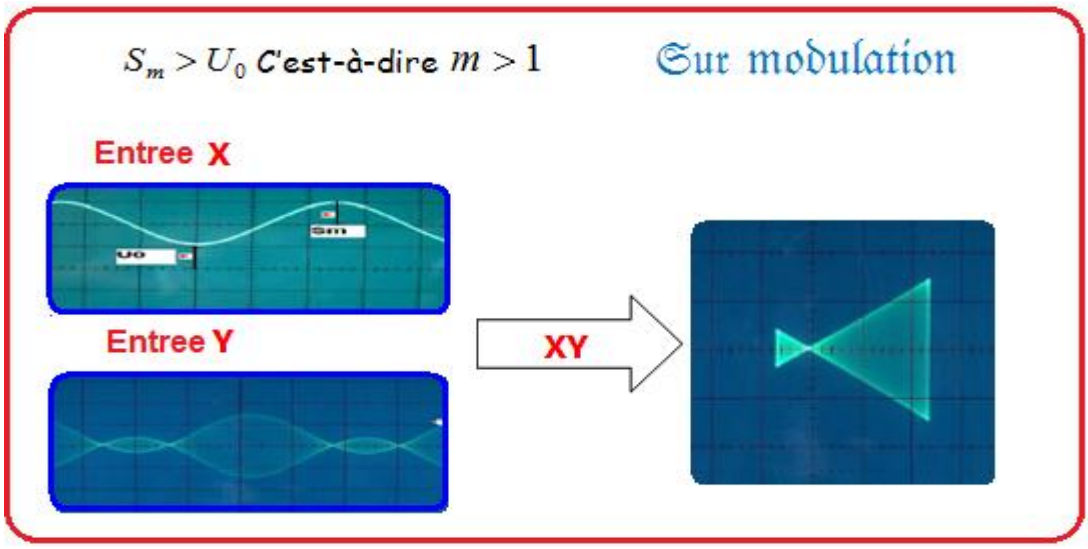
a- Utilisation de la méthode du trapèze

On utilise la méthode du trapèze :
pour cela on utilise l'oscilloscope en mode XY. Dans ce mode on n'a plus X(t) et Y(t) mais Y en fonction de X.
Ici on a : sur X, la tension modulante décalée $S(t)+U_0$; sur Y, la tension modulée $u_S(t)$
On considère les 3 cas suivants:

- $S_m < U_0$ c'est-à-dire $m<1$: *bonne modulation*
- $S_m = U_0$ c'est-à-dire $m=1$: *modulation critique*
- $S_m > U_0$ c'est-à-dire $m>1$: *surmodulation*

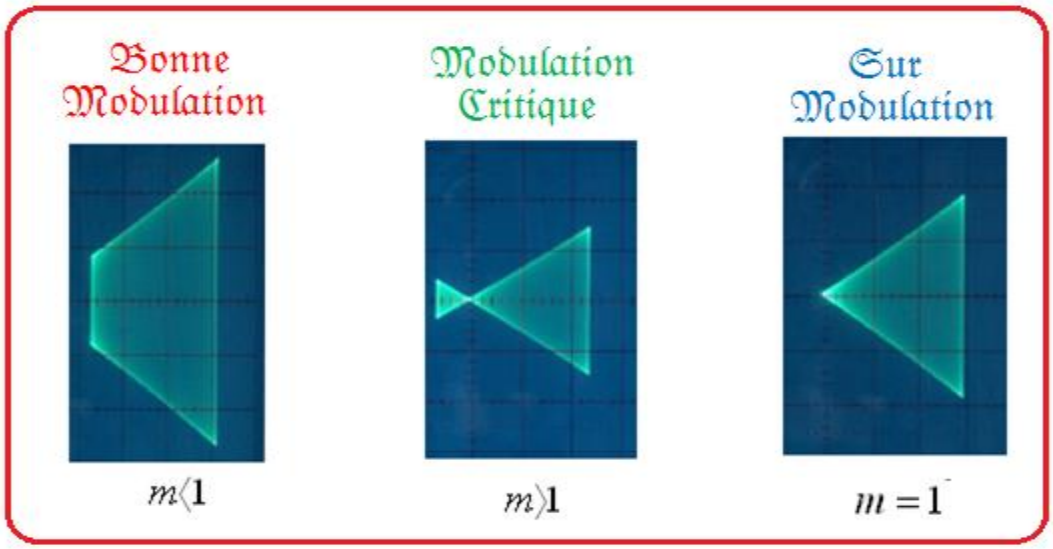






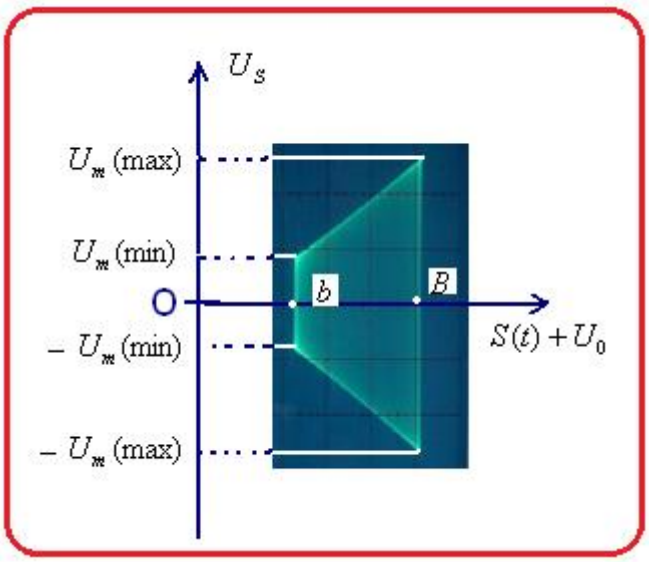
b- <u>Exploitation des trapèzes</u>

Le trapèze nous permet de déterminer la qualité de la modulation ,comme le montre la figure suivante



Dans le cas de la bonne modulation, on peut Determiner, Le taux de modulation à partie de l'oscillogramme à cote

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



4- Démodulation

4-1- Le but

➔Connaissant la fonction de l'ensemble diode-RC parallèle et du dipôle RC série, savoir les placer correctement dans un schéma de montage de démodulation.

➔Savoir exploiter les oscillogrammes relatifs à la modulation et la démodulation d'amplitude.

➔Savoir que le dipôle LC parallèle, utilisé ici comme filtre passe bande pour la tension, est un circuit bouchon pour l'intensité et expliquer son utilité pour la sélection d'une tension modulée.

➔*Réaliser la démodulation d'amplitude.*

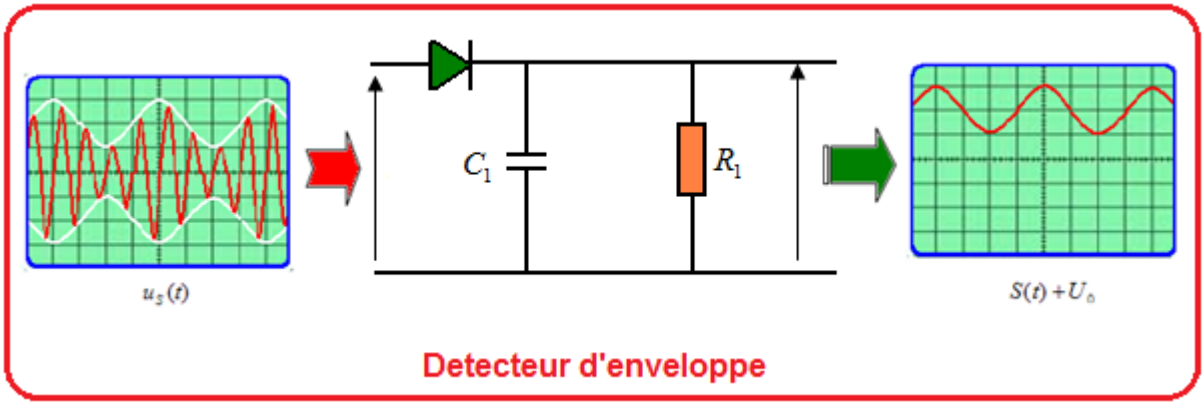
4-2- Nécessite de la démodulation

Nous avons vu précédent que pour transporter une information par voie hertzienne, il fallait réaliser une modulation d'amplitude. A la réception de l'onde électromagnétique, il est nécessaire de décomposer le signal pour pouvoir lire l'information qui a été transportée : **il faut tout d'abord éliminer la porteuse HF, puis la tension continue de décalage afin de ne garder que le signal périodique modulant de basse fréquence**.

4-3- Les étapes de la démodulation

4-3-1- Détection d'enveloppe

Le détecteur enveloppe est un quadripôle, constitué par une diode et une association R_1C_1 parallèle qui constitue un filtre passe-bas (qui laisse passer les signaux de basses fréquences) . On applique à l'entrée de ce filtre la tension modulée en amplitude $u_S(t)$ obtenue par le multiplieur .



Detecteur d'enveloppe

La diode est un composant électronique qui ne laisse passer le courant que dans le sens direct (interrupteur fermé)

Conclusion : Les condition d'obtention d'une bonne détection d'enveloppe c'est-à-dire une démodulation de bonne qualité , il faut :

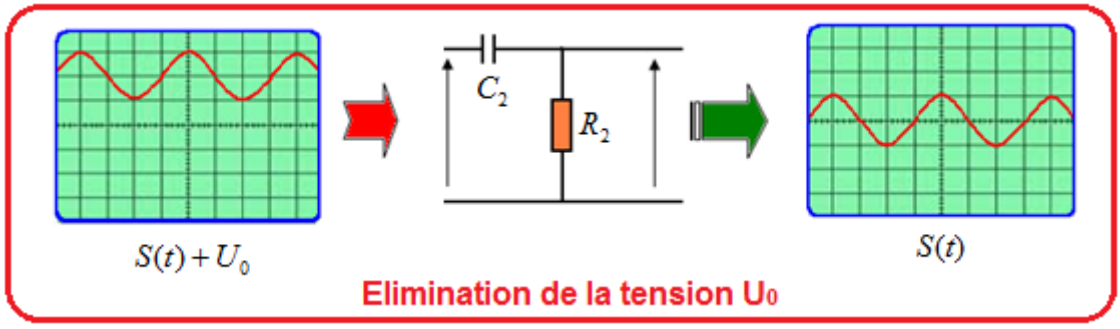
☞ La tension à la sortie du circuit de détecteur d'enveloppe a des petites ondulations et suit la forme du signal modulant . cela ne se réalise que si la constante du temps $\tau = R_1 C_1$ vérifiée l'inégalité suivante : $T_P << \tau < T_S$

c'est à dire que : $f_S << \frac{1}{\tau} < f_p$ où T_P la période de la tension porteuse et T_S la période du signal modulant

☞ Le deuxième rôle que joue le dipôle RC en parallèle est qu'il est un filtre des basses fréquences , c'est à dire qu'il bloque le passage des tension de haute fréquence

4-3-2- Élimination de U_0 , la tension de décalage

On ajoute à la sortie du détecteur d'enveloppe un dipôle R_2C_2 en série et lorsqu'on visualise la tension de sortie u3(t), on obtient la figure 4 suivante : $S(t)$ $S(t)+U_0$



Elimination de la tension U0

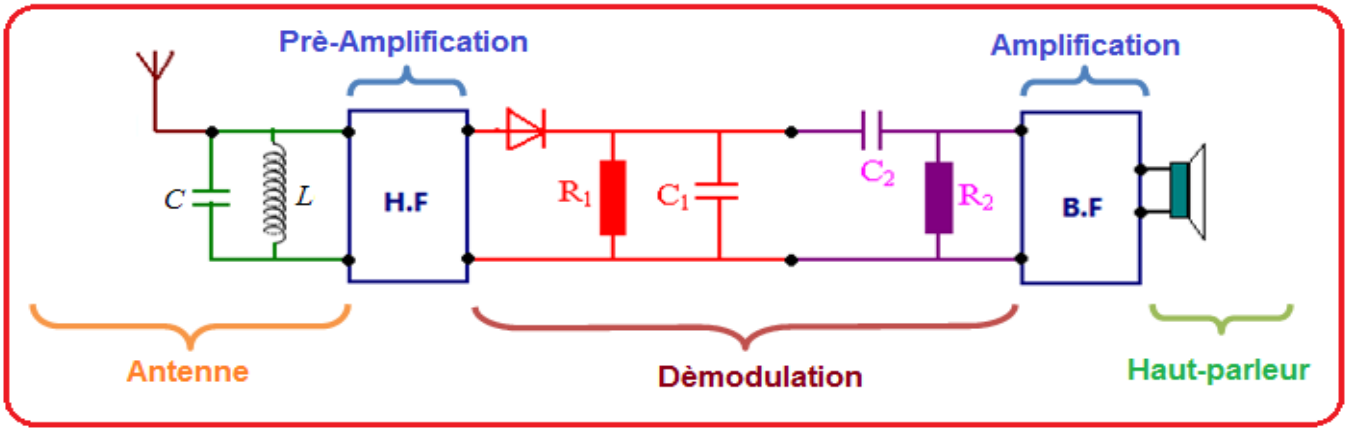
Le dipôle R_2C_2 en série qui constitue un filtre passe-haut qui laisse passer les signaux de hautes fréquences et qui élimine les tensions basses et puisque U_0 a une fréquence nulle (BF) , il l'élimine .

Www.AdrarPhysic.Fr

La modulation de fréquences a permis un développement considérable de la radio commerciale Nous allons dans cette dernière partie étudier le principe d'un récepteur radio destiné à capter des grandes ondes
modulées en amplitude (AM).

4-4-1. Elément d'un récepteur radio

Un récepteur comportera cinq parties distinctes ayant chacune un rôle propre :



☞une partie « antenne »

On appelle **circuit d'accord ou circuit sélectif le circuit LC parallèle relié à l'antenne** et permettant de capter de manière sélective une onde électromagnétique que l'on veut capter parmi d'autres. **Le circuit LC parallèle utilisé alors est appelé filtre « passe-bande »**.

Le filtre « passe bande » ne laisse passer, de manière sélective, que les signaux ayant une fréquence proche de sa
fréquence propre f0. **La valeur de cette fréquence propre et la largeur de la bande passante sont directement liées aux caractéristiques (C ; L ; r) du filtre**.

Pour être efficace, **un filtre devra donc avoir une fréquence propre égale à la fréquence de la porteuse de la station que l'on veut capter, et une bande passante de l'ordre de 20 kHz pour pouvoir capter l'ensemble des signaux audibles**.La fréquence propre du filtre sera réglée grâce à un condensateur de capacité variable ou une bobine d'inductance
variable :

- le réglage de L se fait lors du choix de la gamme d'ondes (grandes ondes ou ondes courtes), il modifie en fait la longueur de la bobine;
- le réglage de la capacité du condensateur variable permet de sélectionner la station de radio.

☞une partie « pré-amplification »,

nécessaire pour que la diode utilisée ensuite dans la démodulation ne coupe pas une partie du signal. Avant la démodulation, il est nécessaire d'effectuer une pré-amplification pour que la diode, ne coupe pas une partie du

signal reçu

☞une partie « démodulation »

Après la démodulation, une nouvelle amplification sera nécessaire pour rendre le signal audible et permettre à
l'auditeur de régler le volume d'écoute. C'est-à-dire décrypter le signal modulant et donc l'information.

☞une partie « amplification »

permettant de régler le volume du signal sonore qui va être émis.

☞une partie « haut-parleur »

destinée à l'émission sonore.

4-4-2. Étude d'un dipôle LC parallèle : filtre passe-bande

On réalise le montage électrique ci-dessus qu'est formé par un condensateur de fréquence C = 10μF en parallèle avec une bobine d'inductance L = 0,1mH et d'un conducteur ohmique de résistance R = 1kΩ À l'aide d'un générateur de basses fréquences , on applique une tension sinusoïdale d'amplitude 1V constante .
On fait varier la fréquence du GBF , et à chaque fois à l'aide d'un oscilloscope, on mesure l'amplitude Ums de la tension de sortie us(t). À l'aide des résultats obtenues on trace la courbe qui représente la variation de Ums en fonction de la fréquence f .
exploitation 1. Décrire la courbe de réponse Ums en fonction de f . Pour des fréquences plus petites que f=5kHz , Ums augmente et pour des fréquences plus grandes que f=5kHz , Ums diminue . 2. Justifier l'appellation " filtre passe-bande " pour le dipôle LC parallèle . "filtre passe-bande" pour la tension : Il laisse passer seulement les tensions dont les fréquences appartiennent à une bande centrée sur la fréquence propre f0 = 5kHz où Ums est maximale .
3. Déterminer graphiquement la fréquence f , correspond à la valeur maximale de l'amplitude Usm . Comparer f avec f0 = 1 2π √ LC la fréquence propre du circuit LC . Comment procéder expérimentalement pour sélectionner un signal de fréquence f ? D'après la courbe : f = 5kHz Si on fait le calcul : f0 = 1 2π √ LC A.N : f0 = 5kHz donc f = f0 qui s'appelle la fréquence propre du circuit LC en parallèle . Pour sélectionner un signal émet , il faut faire un accord entre la fréquence propre du circuit LC parallèle est la fréquence porteuse de la station . Cette sélection se fait en faisant varier le coefficient d'induction L de la bobine ou la capacité C du condensateur .

Www.AdrarPhysic.Fr