

Leçon N°9: Applications : Production d'ondes électromagnétiques et communication

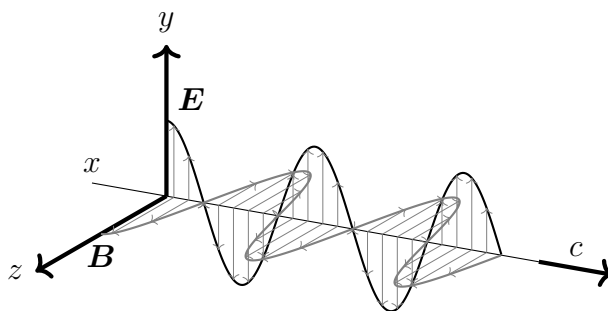
I INTRODUCTION :

Messagers porteurs, pigeons voyageurs, signaux de fumée, signaux audibles (tam-tam), télégraphe, téléphone, radio, télévision sans fil, internet... Depuis toujours, l'Homme a cherché à transmettre des messages, le plus vite et le plus loin possible... Nous étudierons dans ce chapitre comment peuvent être transmises les informations d'un bout à l'autre du monde ou même dans l'espace, ainsi que la nécessité de coder puis décoder l'information pour pouvoir la transmettre. La transmission rapide d'information sans fil est devenue une banalité : sur quel principe repose-t-elle ? On ne s'intéresse dans ce programme qu'aux transmissions de type radio (sans fil) encore appelées transmissions hertziennes. Le support est une onde, appelée onde porteuse, sur laquelle, on greffe l'information à transporter. On dit que l'onde porteuse a été modulée par le signal à transmettre.

II Les Ondes électromagnétiques- Transmission d'informations.

II.1 Définition :

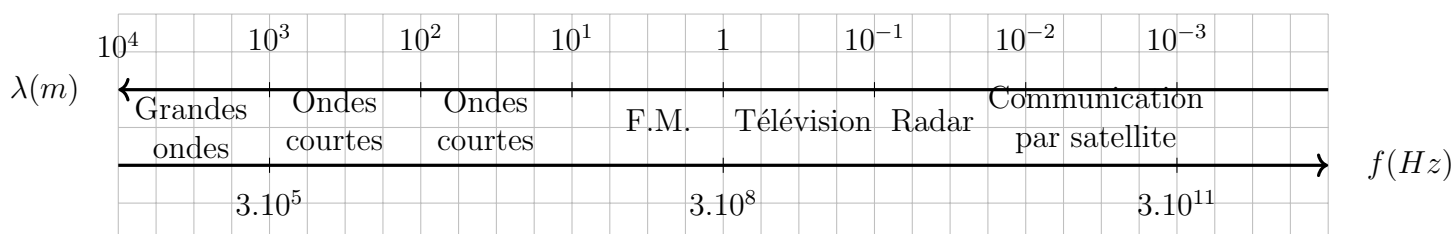
Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propagent tous deux à la même vitesse. Dans le vide, les ondes électromagnétiques se propagent à la célérité de la lumière : $c = 3.10^8 m.s^{-1}$.



Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de support matériel pour se propager. On observe des phénomènes de diffraction, d'interférence, elles se réfléchissent et se réfractent comme les ondes lumineuses ce qui montre que les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques. Les ondes hertziennes, utilisés dans le domaine de la radio, la télévision, la téléphonie mobile sont également des ondes électromagnétiques.

II.2 La classification des ondes électromagnétiques:

Les ondes hertziennes sont utilisées dans les télécommunications. Leurs domaines de fréquences sont indiqués par le document suivant :



II.3 Intérêt des ondes électromagnétiques

Il réside dans leur mode de propagation : rectiligne, avec une vitesse égale à celle de la lumière, pouvant subir les phénomènes de réflexion et de réfraction. Les ondes hertziennes se propagent dans le vide. Elles traversent plus ou moins bien les milieux matériels, mais ne se propagent pas à travers les métaux.

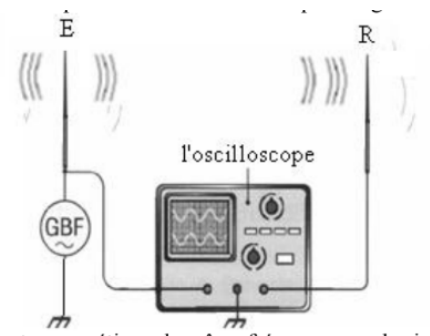
Les ondes électromagnétiques ont de nombreuses utilisations pratiques dans la vie quotidienne. Les exemples incluent :

- la transmission de la radio et de la télévision,
- la communication mobile (téléphone portable, réseau 4G/5G),
- la navigation GPS,
- la détection des radar,
- la cuisson des aliments au micro-ondes,
- la thérapie par rayons X,
- les technologies sans fil telles que le Wi-Fi et le Bluetooth, les technologies de l'énergie solaire,
- les technologies de l'énergie éolienne,
- les technologies de l'Internet des objets (IoT).
- Les ondes électromagnétiques sont également utilisées dans des domaines tels que l'astronomie, la météorologie, la médecine et l'agriculture. En outre, les ondes électromagnétiques sont utilisées dans de nombreux systèmes industriels pour la détection, la communication, la surveillance et la commande à distance.

II.4 Mise en évidence de la présence d'ondes électromagnétiques :

Dans le montage suivant E et R sont deux fils électriques conducteurs qui jouent le rôle d'émetteur et de récepteur . On visualise sur l'entrée Y_A de l'oscilloscope un signal sinusoïdal émis par le générateur GBF et on obtient sur l'entrée Y_B un signal reçu par le récepteur R qui la même fréquence et la même forme que le signal émis par E.

L'antenne émettrice E émet une onde électromagnétique de même fréquence que le signal électrique du circuit . Cette onde se propage dans tout l'espace et provoque dans l'antenne réceptrice R un signal de même fréquence. L'onde électromagnétique peut transporter le signal qui contient l'information à des grandes distances sans aucun transport de la matière et avec une vitesse égale à la célérité de lumière dans le vide.



II.5 le rôle de la modulation :

Pour transmettre un signal de basse fréquence BF à une distance de plusieurs millions de kilomètres, il serait rapidement atténué et en plus la réception de ce signal nécessitera des antennes de très grandes dimensions, car la longueur de l'antenne est en général de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde du signal de réception : $l = \frac{\lambda}{2}$

Pour un signal BF, $f=200\text{Hz}$ par exemple, sa longueur d'onde $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{200} = 15 \cdot 10^5 \text{m} = 1500 \text{km}$, pour le capter on a

besoin d'une antenne de longueur $l = \frac{\lambda}{2} = 750 \text{km}$

Un signal haute fréquence HF sera facilement transmissible [HF correspond à des fréquences $f > 100 \text{MHz}$] , de longueurs d'ondes $\lambda = \frac{c}{f} < 3 \text{m}$ et pour le capter l'antenne utilisée sera de longueur inférieure à 1,5m.

Pour cette raison on doit utiliser une technique pour transmettre les informations , cette technique s'appelle la modulation. La modulation est un processus qui consiste à transmettre le signal de sa forme original en une forme adaptée au canal de transmission en faisant varier son amplitude ou sa fréquence ou bien sa phase.

II.6 Les différents types de modulations :

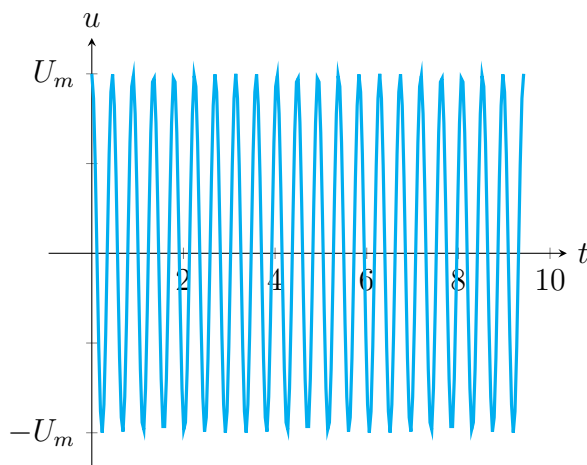
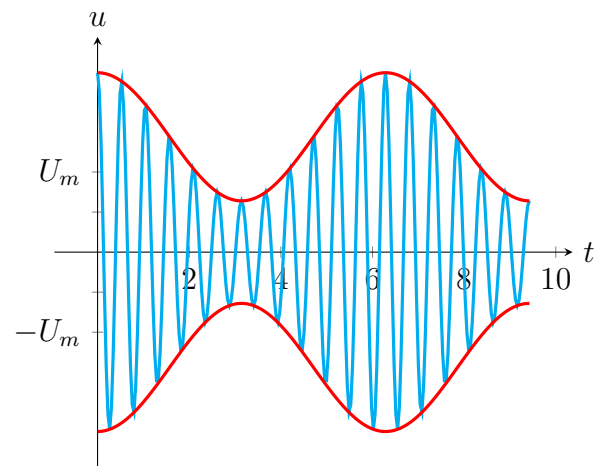
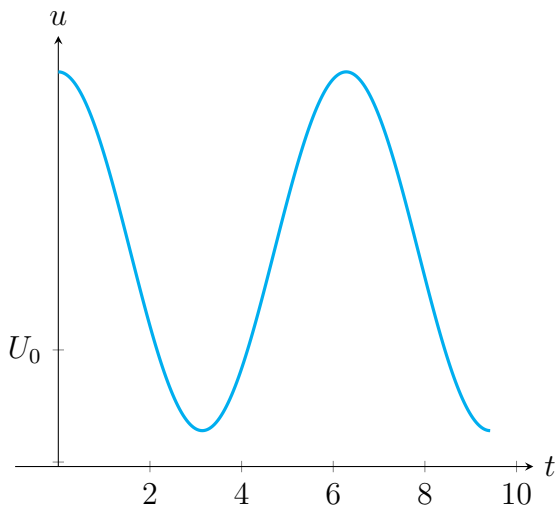
La technique de modulation consiste à superposer un signal de basse fréquence (le signal modulant) sur un signal de haute fréquence (l'onde porteuse) pour obtenir un signal modulé. Cela permet de transmettre des informations à une fréquence plus élevée, qui peut être plus résistante aux perturbations et parcourir de plus grandes distances. Il existe différents types de modulation,

- tels que la modulation en amplitude (AM),
- la modulation en fréquence (FM)
- la modulation en phase (PM).

La modulation par amplitude :

Elle correspond à la modulation de l'amplitude de l'onde porteuse selon le signal modulant contenant l'information.

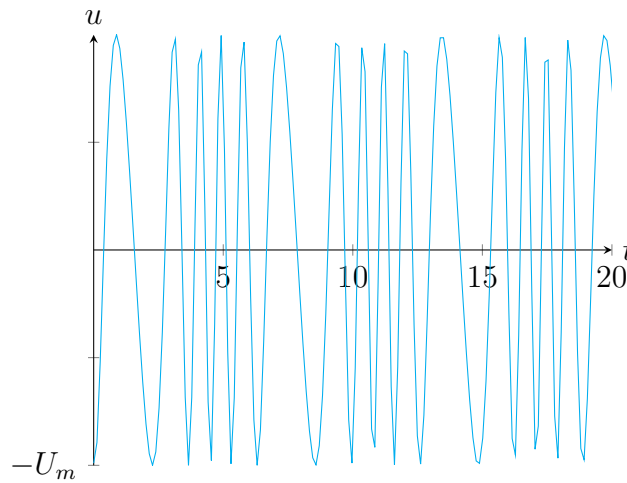
$$u(t) = u_m(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \phi)$$



La modulation de fréquence :

Elle correspond à une variation de la fréquence de l'onde porteuse par celle de l'information.

$$u(t) = u_m \cdot \cos(2\pi \cdot f(t) \cdot t + \phi)$$



La modulation de phase :

Elle correspond à une variation de la phase de l'onde porteuse par celle de l'information.

$$u(t) = u_m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \phi(t))$$

III Modulation d'amplitude:

III.1 Définition:

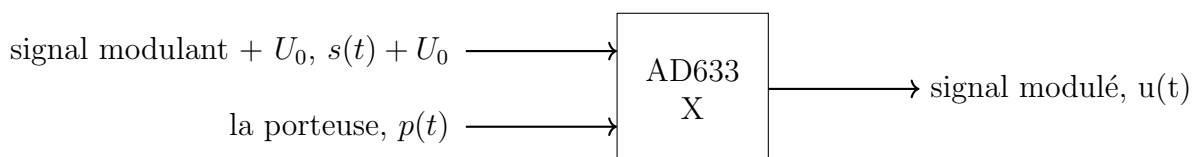
Le principe de modulation d'amplitude consiste à transmettre une onde de basse fréquence au moyen d'une onde électromagnétique porteuse de haute fréquence puis par démodulation on obtient le signal transmit. Parmi les conditions nécessaires pour faire la modulation d'amplitude:

- Les signaux basses fréquences sont rapidement amortis avec la distance.
- leur vitesse de propagation est faible par rapport à celle des ondes électromagnétiques.
- La réception des signaux de basses fréquences nécessitent des antennes de grandes dimensions difficiles à réaliser.

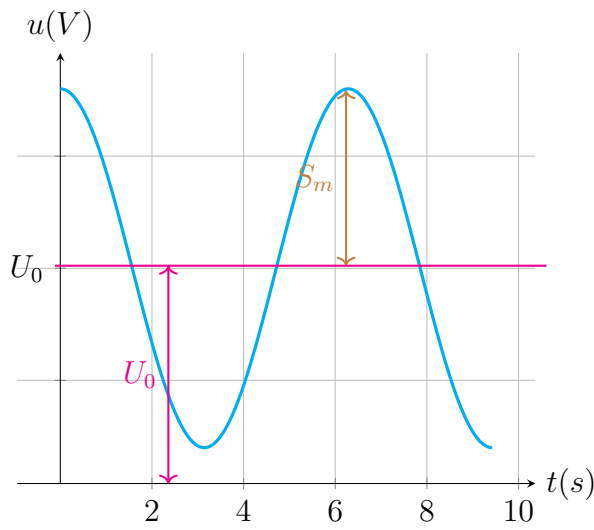
III.2 Le modulateur d'amplitude:

Le montage expérimental est constitué de deux générateurs GBF plus un oscilloscope et un multiplieur réalisant la modulation. Le premier générateur GBF fournit un signal $s(t)$ sinusoïdal de basse fréquence décalé :

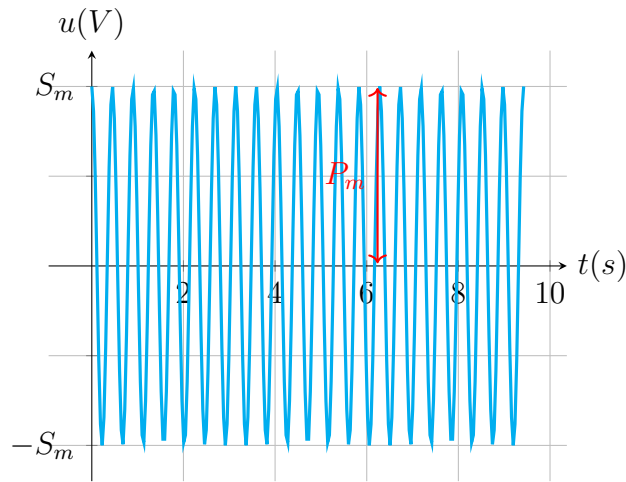
- $s(t)$ le signal sinusoïdal de basse fréquence à transmettre appelé: **signal modulant**, de fréquence f_s
- Le deuxième générateur GBF fournit un signal $p(t)$ sinusoïdal de haute fréquence (la porteuse), de fréquence f_p très grande par rapport à la fréquence f_s .
- Pratiquement on utilise un composant électronique AD633 nommé multiplieur symbolisé par X qui multiplie les tensions qui lui sont appliquées en entrées, et qui donne à sa sortie une tension proportionnelle à ce produit.



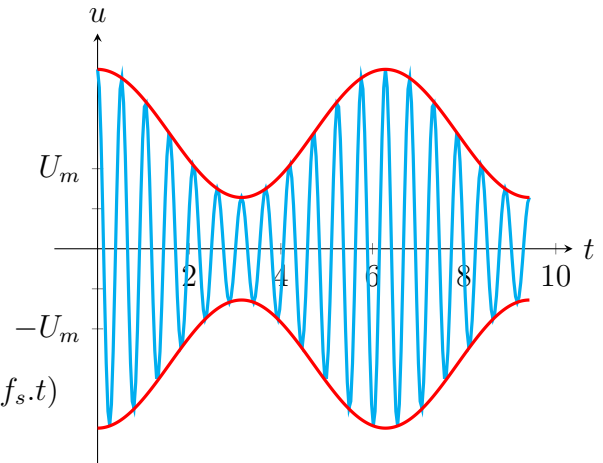
La tension modulée $u(t)$ obtenue à la sortie du multiplieur est proportionnelle au produit des deux tensions : $p(t)$ et $(s(t)+U_0)$. $s(t)$: étant la tension modulante qui représente le signal à transmettre et U_0 est une tension constante appelée tension de décalage.



signal modulant $s(t) + U_0$ avec $s(t) = S_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t)$



la porteuse $p(t)$ avec $p(t) = P_m \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$



La tension modulée $u(t) = K[s(t) + U_0] \cdot p(t)$

III.3 Expression de l'amplitude de la tension modulée:

L'amplitude de la tension modulée (AM) peut être exprimée en fonction des tensions d'amplitude modulante ($s(t)$) et de porteuse ($p(t)$) de la manière suivante :

$$u(t) = k \cdot [s(t) + U_0] \cdot p(t)$$

donc

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

alors

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

On écrit généralement :

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

en posant : $A = K \cdot P_m \cdot U_0$ et $m = \frac{S_m}{U_0}$ taux de modulation

On développe

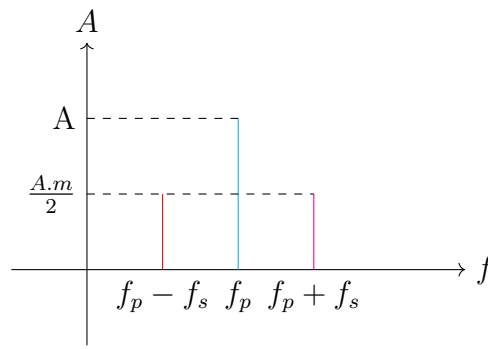
$$u(t) = A \cdot m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t) + A \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

Rappel : $\cos(a) \cdot \cos(b) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(a + b) + \cos(a - b)]$

On écrit :

$$u(t) = A \cdot m \cdot \frac{1}{2} \cdot [\cos(2\pi \cdot (f_s + f_p) \cdot t) + \cos(2\pi \cdot (f_s - f_p) \cdot t)] + A \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

On obtient bien une tension $u(t)$, somme de trois fonctions sinusoïdales de fréquences: f_p , $f_p + f_s$, $f_p - f_s$



De la relation ci-dessous , montre que l'amplitude modulée $Um(t)$ varie entre deux valeurs extrêmes Um_{min} et Um_{max} tel que : $Um_{max} = A(m + 1)$ et $Um_{min} = A(-m + 1)$
c'est à dire que : $Um_{max} + Um_{min} = 2A.m$ ET $Um_{max} - Um_{min} = 2A$
d'où le taux de modulation est :

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

- L'enveloppe du signal modulé a la même forme et la même fréquence que le signal modulant.
- L'amplitude du signal modulé varie entre deux valeurs Um_{max} et Um_{min} .
- La modulation est bonne qualité si l'enveloppe du signal modulé correspond au signal modulant.

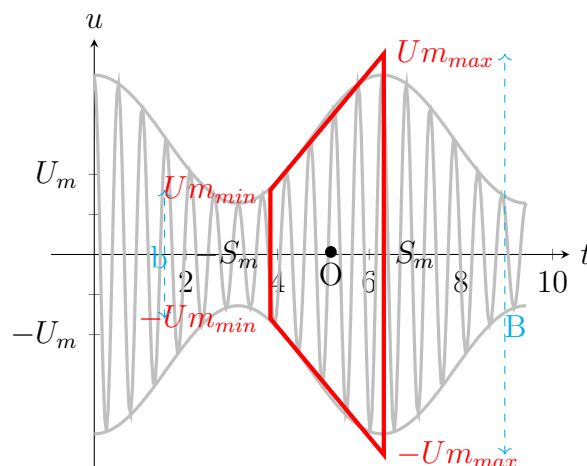
III.4 Qualité de modulation :

1-Premier cas : $m < 1$

On constate que la tension modulée $u(t)$ a une enveloppe qui correspond parfaitement au signal modulant $s(t)$. La modulation dans ce cas est de bonne qualité.

Pour s'assurer que la modulation est de bonne qualité on utilise la méthode du trapèze qui représente $us(t)$ en fonction de $s(t)$. Pratiquement on suit la démarche suivante :

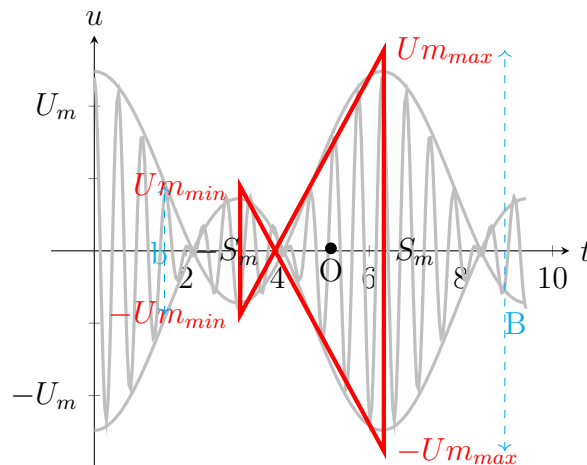
- La grande base représente $2Um_{max}$
- la petite base représente $2Um_{min}$
- la relation entre le taux demodulation et les dimensions du trapèze : $m = \frac{B-b}{B+b}$
- Um_{max} :amplitude maximale du signal modulé
- Um_{min} :Tamplitude minimale du signal modulé.



La tension modulée $u(t) = K[s(t) + U_0].p(t)$

2-Premier cas : $m > 1$

On constate que la tension modulée $u(t)$ possède une enveloppe qui n'est pas semblable à la tension modulante $s(t)$. La modulation dans ce cas est mauvaise qualité ce phénomène s'appelle sur-modulation.



La tension modulée $u(t) = K[s(t) + U_0].p(t)$

Quand la modulation est mauvaise qualité, l'enveloppe du signal modulé n'est pas identique au signal modulant. Cela est dû au fait que le décalage en tension U_0 est inférieur à l'amplitude S_m du signal modulant, $m = \frac{S_m}{U_0} > 1$ soit $U_0 < S_m$ on dit qu'il y'a surmodulation.

Pour éviter la surmodulation le décalage U_0 doit être supérieur à S_m ce qui permet par la suite la restitution du signal initial complet par démodulation.

Conditions d'obtention d'une bonne modulation Pour obtenir une modulation d'amplitude de bonne qualité il faut que :

- La tension de décalage U_0 doit être plus grande à l'amplitude S_m de la tension modulante : $U_0 > S_m$ i.e que $m < 1$
- La fréquence F_p de la tension porteuse doit être supérieure à la fréquence f_s de la tension modulante. ($F_p \gg f_s$). Au minimum $F_p > 10.f_s$

IV La démodulation:

IV.1 Définition:

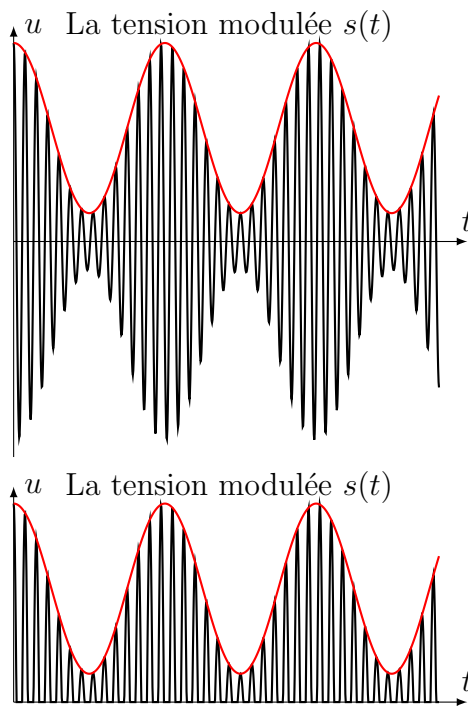
La démodulation consiste à récupérer au niveau du récepteur le signal modulant qui contient l'information et qui représente la partie supérieure du signal modulé. Elle s'opère en deux étapes:

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

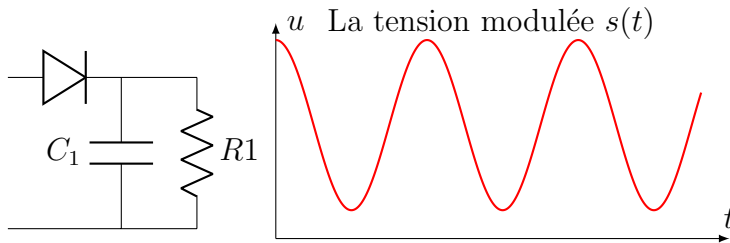
IV.2 Les étapes de démodulation:

1ère étape:

Suppression des alternances négatives et élimination de l'enveloppe. Le montage utilisé est un filtre passe-bas qui comporte une diode qui bloque les alternances négatives et on obtient une tension redressée.



En associant la diode et le filtre passe-bas (qui élimine la partie restante de la porteuse) on obtient le détecteur d'enveloppe .

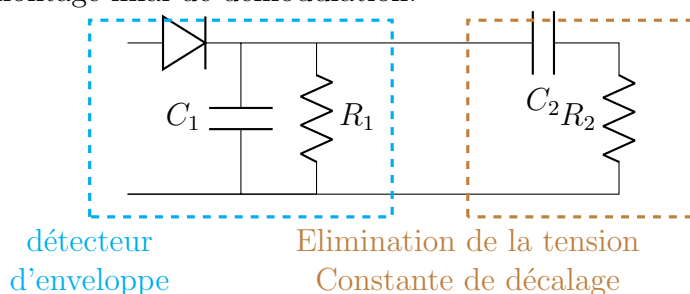


Remarque: Pour obtenir une bonne détection d'enveloppe il faut que la constante de temps du dipôle $R_1 C_1$ vérifie la condition suivante:

- $T_p \ll \tau < T_s$
- bonne détection d'enveloppe $T_p \ll R_1 \cdot C_1 < T_s$ donc $f_s \ll \frac{1}{R_1 C_1} < f_p$

2.ème étape:

Elimination de la tension constante de décalage U_0 . Cette dernière étape consiste à éliminer la tension constante pour cela on utilise un filtre passe-haut. Le condensateur C_2 élimine la tension U_0 et on obtient le montage final de démodulation.



V Réalisation d'un dispositif permettant de capter une émission radio en modulation d'amplitude:

Un récepteur radio AM se compose les éléments suivants:

- Une antenne qui capte les ondes radio.
- Un circuit LC pour sélectionner la fréquence de l'onde porteuse que l'on veut capter.
- Cette sélection se réalise en faisant varier l'inductance de la bobine ou la capacité du condensateur jusqu'à ce la fréquence propre f_0 du circuit LC soit égale à la fréquence de l'onde porteuse $f_0 = f_p$ avec

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

La fréquence propre f_0 du circuit LC :

- On utilise un amplificateur après la réception et après la modulation du signal modulé.
- Un circuit de démodulation d'amplitude qui comporte un circuit de détection d'enveloppe et un autre d'élimination de la tension constante.

