



المملكة المغربية



وزارة التربية الوطنية
الأكاديمية الجهوية للتربية و التكوين - فاس بولمان
المركز الجهوي لمهن التربية و التكوين - فاس بولمان

Modulation et démodulation d'amplitude

Réalisée par :

- Mohamed HANINI*
- Hicham ACHKIR*
- Abdelghani JAMAL*
- Mustapha BENHAMMI*

Encadré par :

Pr. Lh. KADIRA

2014/2015

Modulation et démodulation d'amplitude

I-Historique :

Le terme télécommunications signifie « communiquer à distance ». Le but est de transmettre un signal contenant une information (son, musique, images, données.. etc.) d'un point à un autre situé à distance. Divers dispositifs de communication ont depuis été élaborés. Chez les Romains le message est codé par un signe visuel pour signaler la victoire, la défaite, l'attaque d'un côté ou d'un autre ...etc. Le premier système permettant de communiquer des messages complets fut construit au XVIII siècle. Il était basé sur un dispositif mécanique : trois règles mobiles au haut d'un mât codaient, par leur position, des mots d'un lexique. Le télégraphe électrique inventé par Samuel MORSE en 1832 fut une révolution (exemple : S O S - - -). C'est ce principe qui servira plus tard pour réaliser les premières liaisons radio. En 1876, l'Américain Graham Bell inventa le téléphone : enfin, la voix humaine pouvait être transportée au-delà de l'horizon sonore. De nombreuses améliorations du téléphone de Bell (comme l'invention du microphone à charbon par Hughes en 1878 et l'introduction dans le circuit de piles et transformateurs) conduisirent au développement que l'on connaît. L'ère du sans-fil fut ouverte avec la découverte des ondes Hertziennes. MARCONI Guglielmo (Italo-Irlandais) est reconnu comme l'inventeur de la radio sans fil. Il permit à plusieurs stations d'émettre simultanément, et sans interférence, sur des longueurs d'ondes différentes. En 1921 des émissions expérimentales sont diffusées depuis la Tour Eiffel d'où sont transmis les premiers journaux parlés et émissions musicales en direct. Les premiers prototypes de téléviseurs ont vu le jour dans les années 1920. En 1929, la BBC émet des émissions expérimentales malgré des images de mauvaise qualité. L'invention du transistor, par des américains, en 1947, va accélérer les évolutions techniques. En 1962, le premier satellite de télécommunications est lancé. En 1974, la mise au point d'un programme d'échange de données via le réseau téléphonique annonça le début de l'Internet.

II- Description d'une transmission :

II.1. Transmission en bande de base

La transmission en bande de base consiste à envoyer le signal informatif sans adaptation au canal de transmission. La bande de fréquence occupée par le signal en bande de base est comprise entre une fréquence minimale généralement proche de zéro et une fréquence maximale f_{\max} . Cette limite est en général fixée à -3dB, ce qui correspond à la moitié de la puissance maximale. Cependant, pour certaines applications cette limite peut être définie par rapport à 98% de la puissance totale. Malheureusement la transmission en bande de base qui est une solution simple est souvent irréalisable en raison des contraintes liées aux caractéristiques physiques du canal, aux technologies employées et aux fonctionnalités souhaitées. Notamment pour les raisons suivantes :

- Bande passante du canal limitée.

- Non linéarité du canal, par exemple le canal hertzien ne laisse pas passer les basses fréquences et présente des atténuations diverses en fonction de la fréquence de travail.
- Nécessité de partager un même support de transmission entre plusieurs émetteurs qui ne doivent pas se brouiller mutuellement, les récepteurs concernés devant pouvoir s'accorder sur l'émetteur choisi.
- Bruit pouvant être important en fonction de la fréquence de travail et gêner le signal informatif.
- Distances de communications très réduites en raison des différentes distorsions introduites par le canal de transmission.

Par exemple si on cherche à transmettre sous forme d'ondes électromagnétiques le signal audio dont le spectre s'étale de 20Hz à 20KHz ; il aurait fallu une antenne dont les dimensions sont de l'ordre de la longueur d'onde s'étalant de 15km à 15000 km. Pour éviter ces problèmes et contraintes et ainsi augmenter les possibilités et la rentabilité des systèmes de communications on a recours au procédé de modulation.

II.2. Transmission sur porteuse :

La modulation consiste à utiliser le signal modulant pour faire varier l'un des paramètres d'une onde sinusoïdale qu'on désigne par porteuse. La porteuse doit avoir une fréquence très supérieure à la fréquence la plus élevée du signal modulant à transmettre. Le but de la modulation est donc d'adapter le signal à transmettre au canal de transmission par une transposition en hautes fréquences. La chaîne de transmission globale est donc celle de la figure ci-dessous.

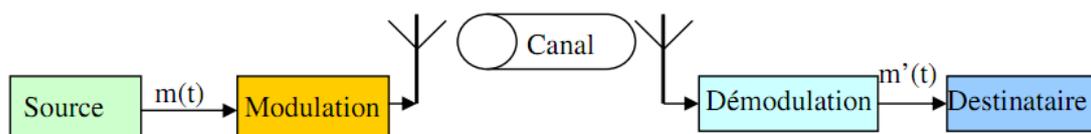


Figure 1: Structure de la chaîne de transmission

L'information est convertie par un capteur en un signal électrique puis amplifiée et filtrée si nécessaire. Elle est transmise via un émetteur dans un canal de transmission. L'émetteur est composé d'un modulateur, d'un amplificateur de puissance et des dispositifs d'adaptation. Le canal de transmission peut être un guide d'onde, un câble, une fibre optique ou un faisceau Hertzien. Selon la nature du canal un élément de couplage est utilisé tel que une antenne dans le cas d'un canal radio. Le signal transmis auquel se seront superposés des parasites (bruit ou perturbations) est récupéré sur le canal grâce à un récepteur. Le cœur du récepteur est constitué du démodulateur. Etant donné que le signal contenant l'information à transmettre est généralement basses fréquences, le procédé de modulation consiste à imprimer l'information

sur une onde sinusoïdale haute fréquence. On appelle cette onde haute fréquence la porteuse. Il y a trois manières de faire cette modulation en faisant varier les trois caractéristiques d'une onde sinusoïdale:

- Rythmer l'amplitude de la porteuse en fonction du message à transmettre. On parle alors de modulation d'amplitude (AM : Amplitude Modulation).
- Utiliser le message pour faire varier la fréquence de la porteuse ; c'est la modulation de fréquence (FM : Frequency Modulation).
- La modulation de phase (PM : Phase Modulation) est obtenue en faisant varier la phase de la porteuse en fonction du message.

La fréquence de la porteuse est choisie en fonction de l'antenne et de la bande passante du canal de transmission.

La modulation offre plusieurs avantages :

- Des distances de communications très grandes.
- La transposition en hautes fréquences permet d'obtenir un signal à spectre étroit ce qui réduit l'effet des distorsions introduites par le canal de transmission.
- Selon le procédé on gagne une immunité à certains bruits.
- Possibilité de multiplexage permettant de transmettre plusieurs informations simultanément sur le même canal.

III- La modulation d'amplitude :

I-principe :

Les ondes radios ne peuvent pas être transmises sans une modulation d'amplitude. On entendrait sinon le son d'une émission directement depuis la station émettrice, ce qui est matériellement impossible. La modulation consiste à multiplier le signal émis (appelé signal modulant) avec un signal de fréquence très élevé (appelé signal porteur) pour faire en sorte que le signal soit bien transmis, sans que personne ne s'aperçoive de son trajet (son émis, lumière émise...). De plus, la vitesse est celle de la lumière et non plus celle de son.

Converti en tension électrique, le signal basse fréquence qui contient l'information à transmettre est utilisé pour modifier l'amplitude de l'onde porteuse, onde haute fréquence. La tension modulée en amplitude est obtenue grâce à un modulateur dont le symbole est celui de la figure ci-dessous :

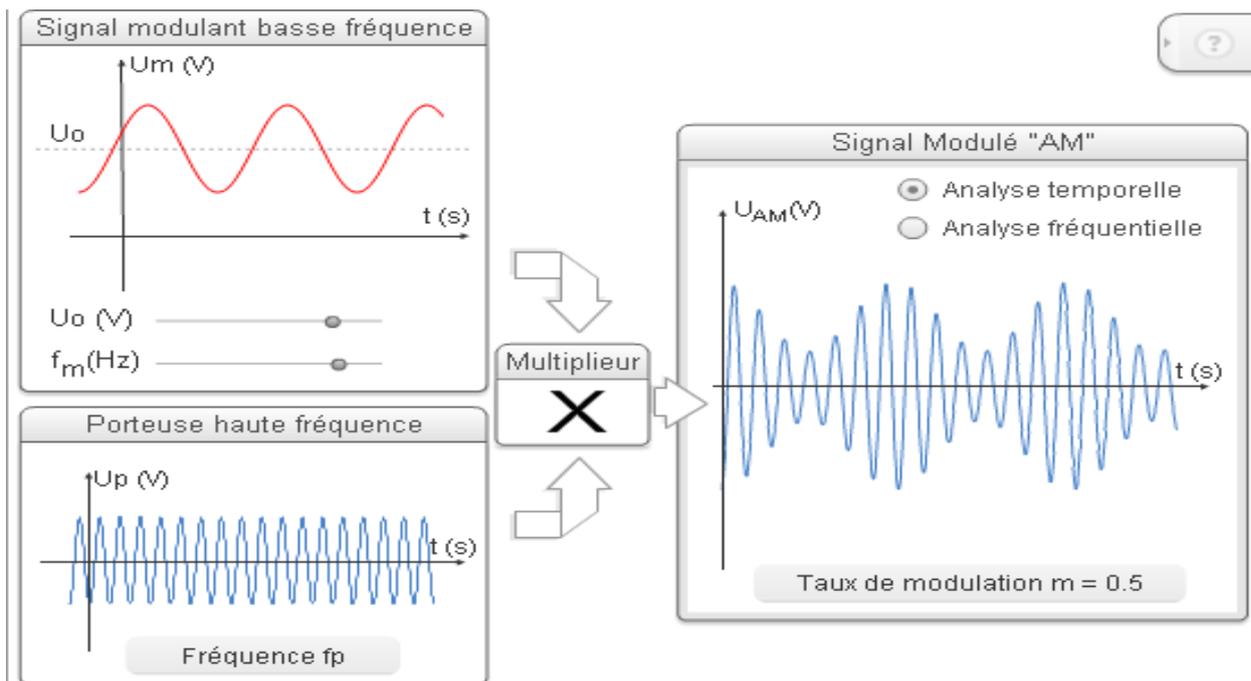
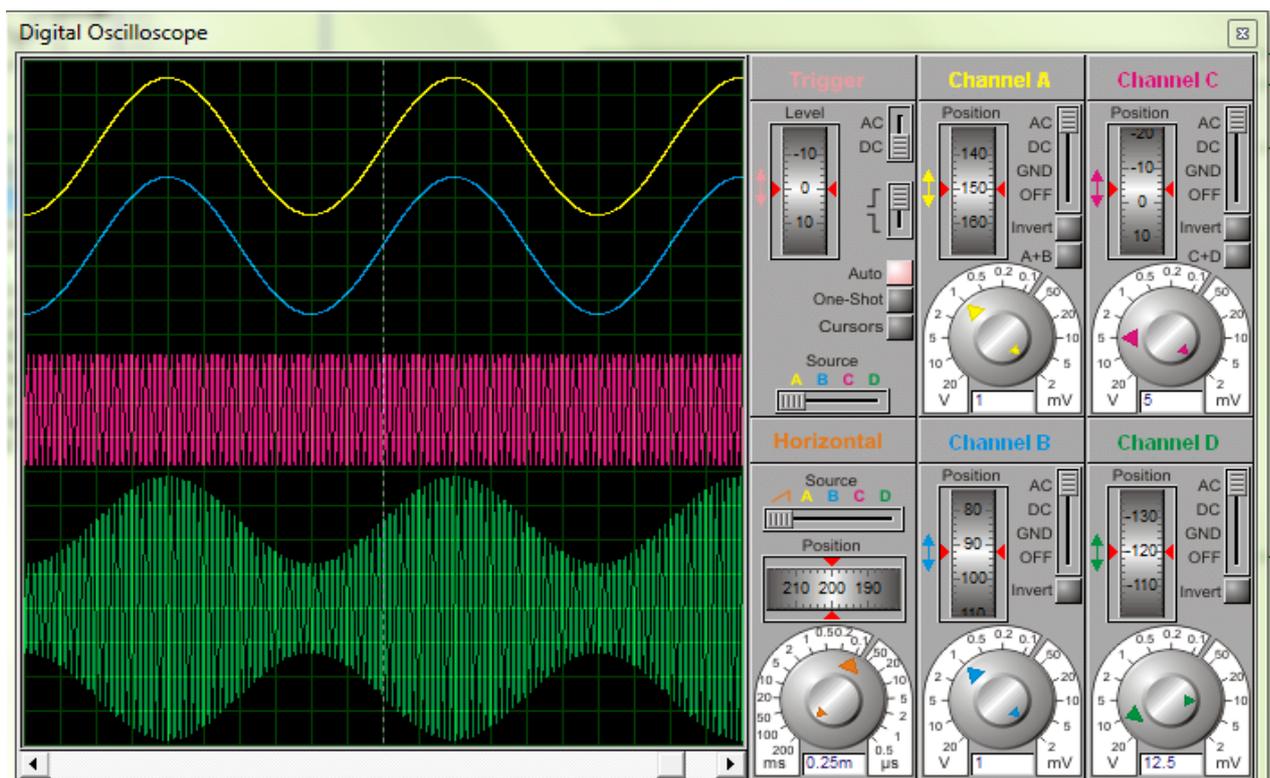


Figure 2: Définition de modulation d'amplitude



Une tension alternative sinusoïdale est modélisée par une fonction cosinus de la forme :

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

φ Se détermine en fonction des conditions initiales, si l'origine des dates est judicieusement choisie on a φ qui est nulle et :

$$u(t) = U_m \cos(2\pi f t)$$

Au signal modulant $u(t)$ d'amplitude U_m et de fréquence f , on ajoute une tension continue positive dite tension de décalage de valeur U_0 .

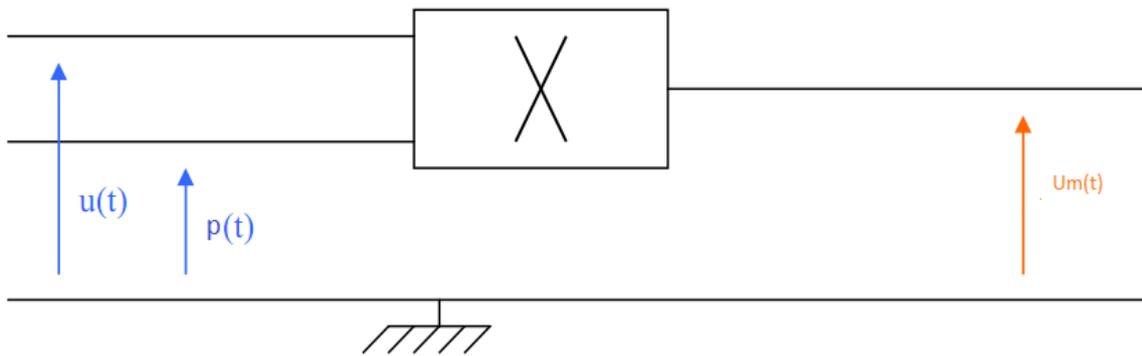
On obtient alors un signal modulant décalé $u'(t)$ d'équation :

$$u'(t) = U_m \cos(2\pi f t) + U_0$$

La porteuse est un signal sinusoïdal d'amplitude U_p et de fréquence f_p telle que $\omega = 2\pi f_p$. Nous supposons que la phase à l'origine est nulle. Donc la porteuse s'écrit :

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

La modulation d'amplitude consiste à faire varier linéairement l'amplitude de la porteuse en fonction du signal modulant $U_e(t)$. Il s'agit donc de rendre U_p fonction du message $U_e(t)$. Le signal modulé est obtenu à l'aide d'un Multiplieur



2- Spectre d'un signal AM :

Le multiplieur réalise le produit du signal de la porteuse par le signal modulant décalé affecté d'un coefficient k dépendant du multiplieur.

$$u_m(t) = k \cdot p(t) \cdot u'(t) = k \cdot p(t) \cdot (u(t) + U_0)$$

$$= k \cdot U_p \cos(2\pi f_p t) [U_m \cos(2\pi f t) + U_0]$$

$$= k \cdot U_p \cos(2\pi f_p t) \cdot U_0 + k \cdot U_p \cos(2\pi f_p t) \cdot U_m \cos(2\pi f t)$$

Donc : $u_m(t) = k \cdot U_p \cdot U_0 \cos(2\pi f_p t) + k \cdot U_p \cdot U_m \cdot \frac{1}{2} [\cos((2\pi f_p + 2\pi f)t) +$

$$\cos((2\pi f_p - 2\pi f)t)]$$

$$u_m(t) = k \cdot U_p \cdot U_0 \cos(2\pi f_p t) + \frac{k \cdot U_p \cdot U_m}{2} \cos((2\pi f_p + 2\pi f)t) +$$

$$\frac{k \cdot U_p \cdot U_m}{2} \cos((2\pi f_p - 2\pi f)t)$$

Posons $A = k \cdot U_p \cdot U_0$ et $m = \frac{U_m}{U_0}$

Alors :

$$u_m(t) = A \cdot \cos(2\pi f_p t) + \frac{A \cdot m}{2} \cos((2\pi f_p + 2\pi f)t) + \frac{A \cdot m}{2} \cos((2\pi f_p - 2\pi f)t)$$

Le signal modulé est donc équivalent à la somme de trois tensions alternatives sinusoïdales de fréquences et d'amplitudes respectives :

- $f_p - f$, $\frac{A \cdot m}{2}$
- $f_p + f$, $\frac{A \cdot m}{2}$
- f_p , A

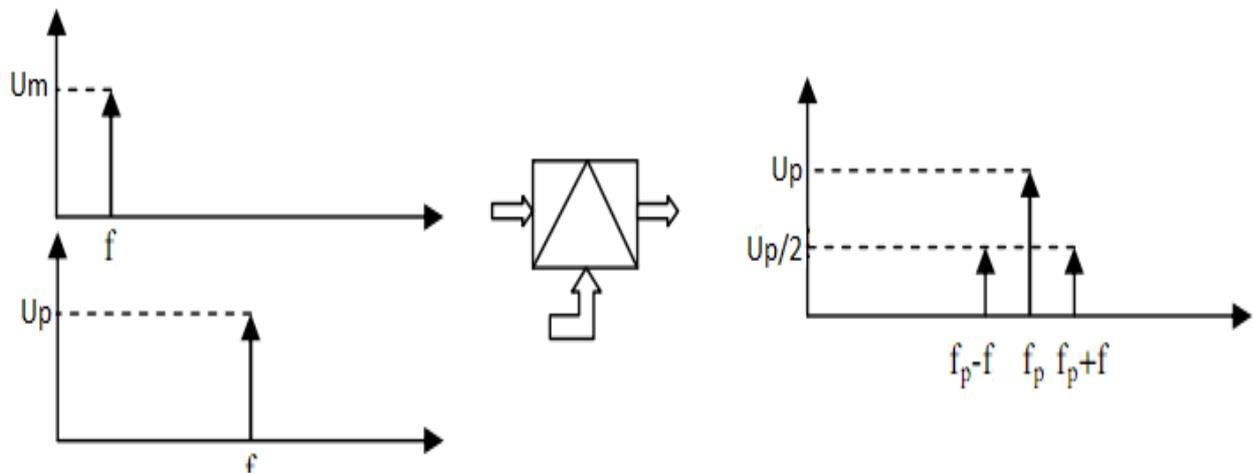
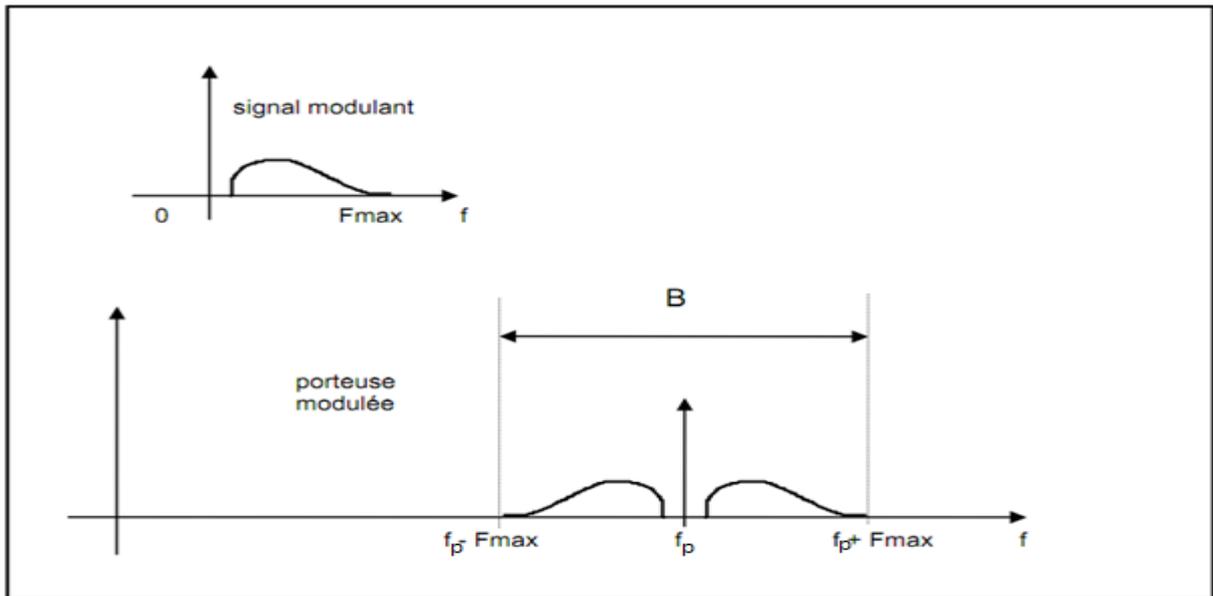


Figure 1: Effet de la modulation AM sur le spectre d'une porteuse modulée par un signal sinusoïdal.

Si le signal modulant est sinusoïdal (spectre limité à 1 raie), on retrouve cette raie de part et d'autre de la porteuse dans le spectre du signal modulé.

On démontre que ce résultat se généralise au cas d'un signal modulant $s(t)$ quelconque : la forme du spectre de $u_m(t)$ est plus riche qu'une simple raie on appelle f_{max} la fréquence la plus élevée contenue dans le signal modulant le spectre de $u_m(t)$ se retrouve de part et d'autre de la porteuse dans le spectre du signal modulé.



Le signal modulé en amplitude est un signal à bande étroite autour de la fréquence de la porteuse f_p . L'information totale est contenue dans la bande de fréquence comprise entre $f_p - f_{max}$ et $f_p + f_{max}$. La bande de fréquence occupée par le signal modulé est donc :

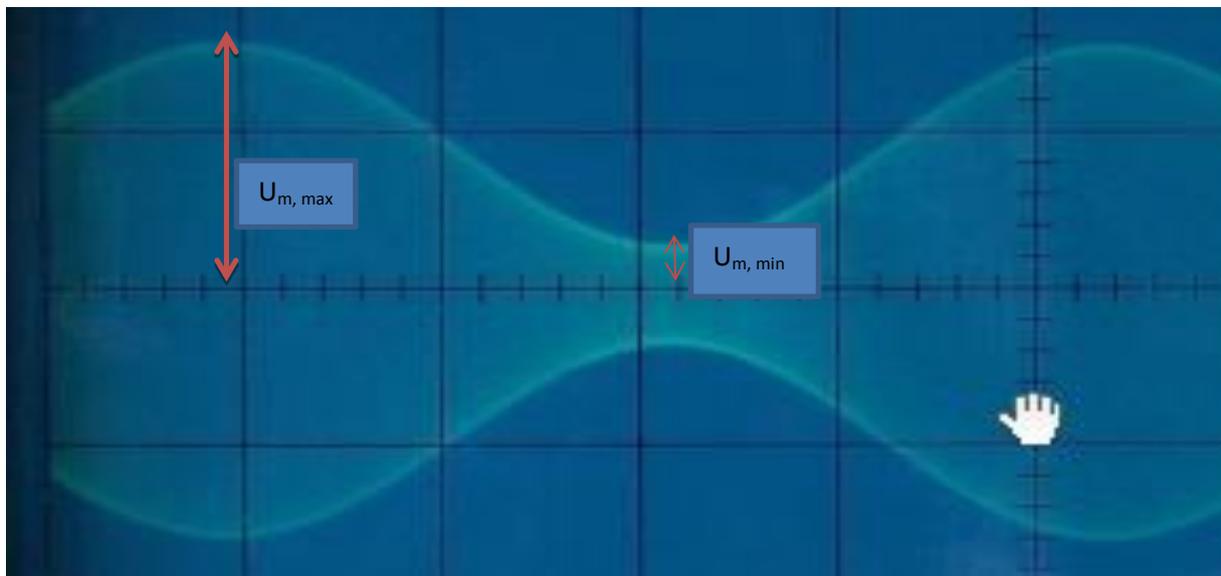
$$B = 2f_{max}.$$

Le but de la modulation qui est de transposer le modulant en hautes fréquences est atteint.

▪ Applications :

- en radiodiffusion PO ou GO, un émetteur a droit à une bande de 9 kHz, ceci ne peut être réalisé que si on limite le spectre basse-fréquence à 4 kHz.
- un canal CB ayant une largeur de 10 kHz, le spectre basse-fréquence doit être limité à 5kHz

3-Taux de modulation :

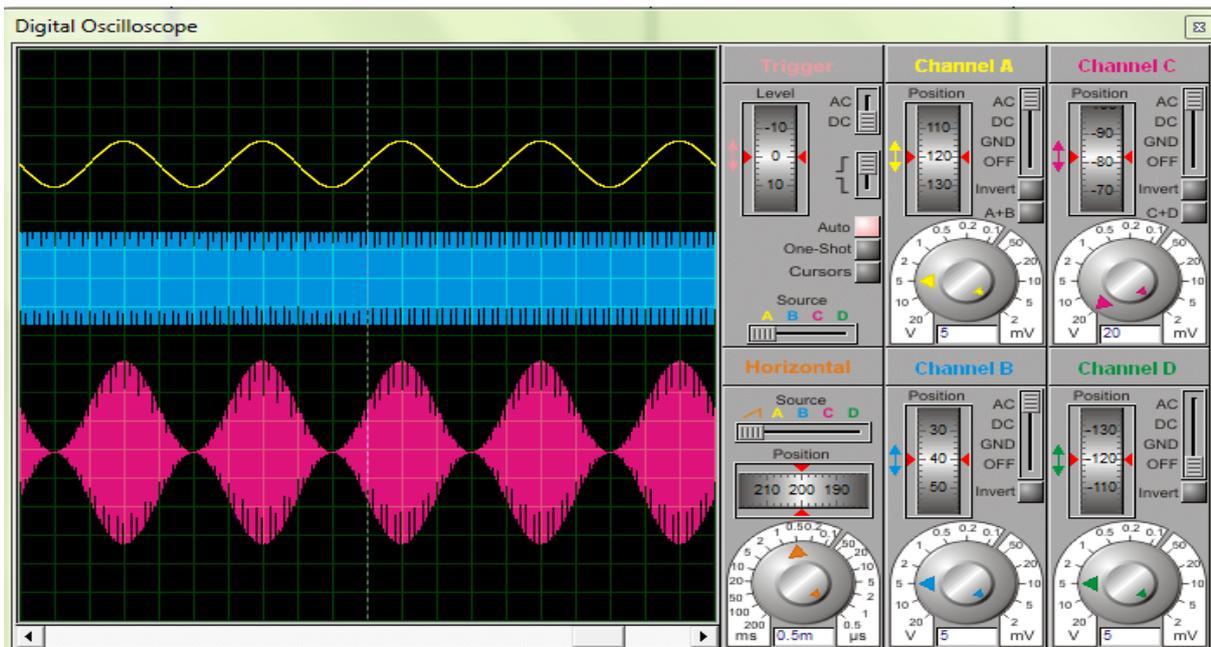


Le taux de modulation est :

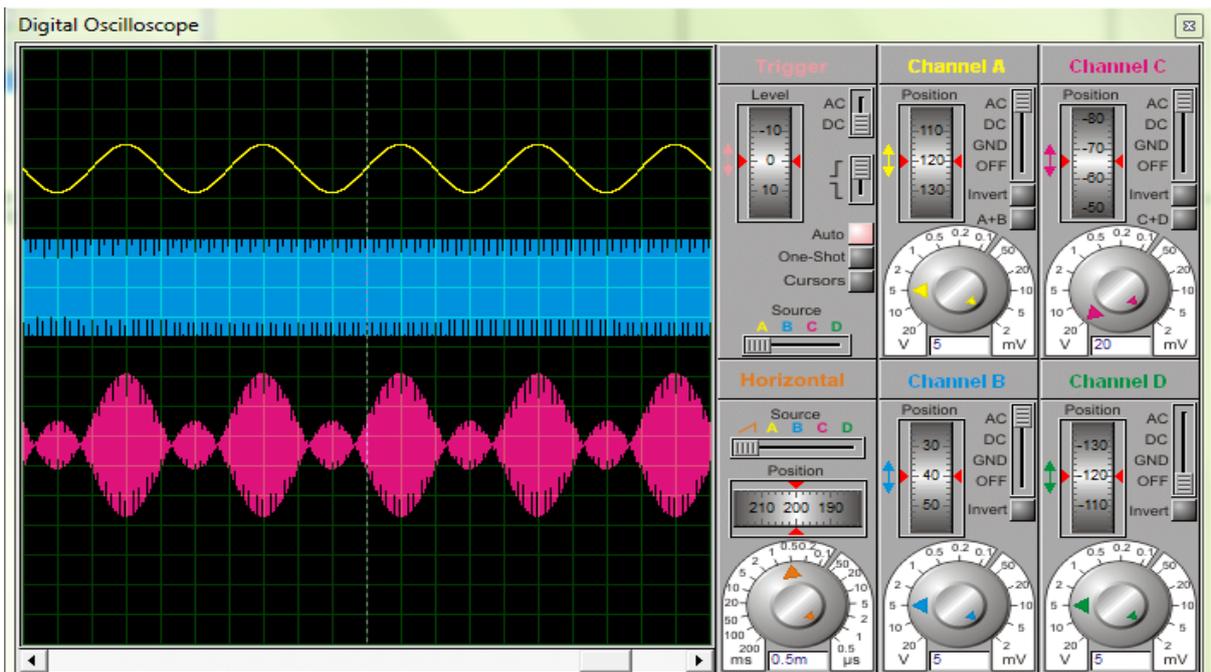
$$m = \frac{U_{m,max} - U_{m,min}}{U_{m,max} + U_{m,min}} = \frac{U_m}{U_0}$$

On obtient une bonne modulation si : $m < 1$.

Si la tension de décalage est plus faible, on aura modulation critique : $m = 1$, comme on voit sur l'image ci-dessous :

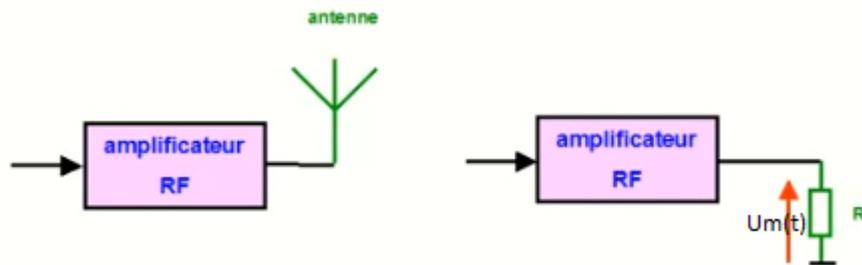


Lorsque la tension de décalage est encore plus faible, on aura surmodulation, dans ce cas lors de la démodulation une partie de l'information est supprimée, $m > 1$.



4-Puissance transportée par un signal AM :

Le signal AM est appliqué à l'antenne qui se comporte vis-à-vis de l'amplificateur de sortie comme une charge résistive R :



Avec une BF sinusoïdale, le signal appliqué à l'antenne à 3 composantes :

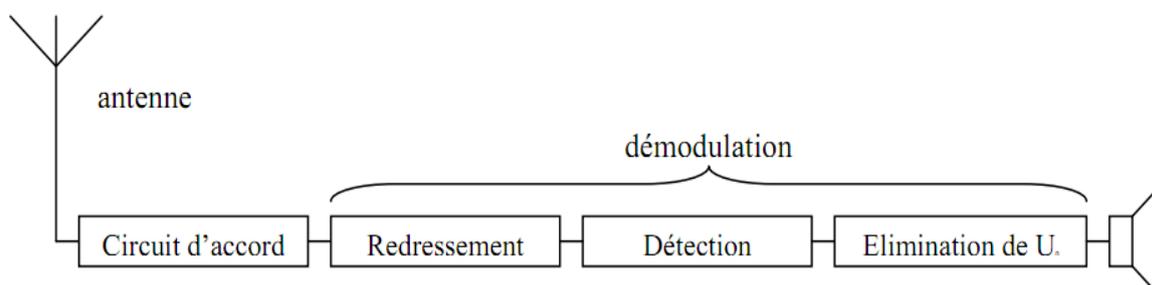
$$u_m(t) = A \cdot \cos(2\pi f_p t) + \frac{A \cdot m}{2} \cos(2\pi(f_p + f)t) + \frac{A \cdot m}{2} \cos(2\pi(f_p - f)t)$$

Donc la puissance totale dissipée dans l'antenne est donc la somme de 3 puissances :

$$P = \frac{A^2}{2R} + \frac{\left(\frac{A \cdot m}{2}\right)^2}{2R} + \frac{\left(\frac{A \cdot m}{2}\right)^2}{2R} = \frac{A^2}{2R} \left[1 + \frac{m^2}{2}\right]$$

IV- La démodulation d'amplitude :

Une fois le signal modulé transmis par onde radio et détecté par l'antenne de la chaîne, il faut pouvoir récupérer le signal d'origine qui contient l'information que l'on souhaite « écouter ». On doit donc effectuer la transformation inverse de la modulation : la démodulation



Il existe plusieurs méthodes pour démoduler un signal modulé en amplitude. Dans certaines situations, que l'on va préciser, on peut détecter l'enveloppe du signal modulé qui représente : c'est la méthode de détection de crête.

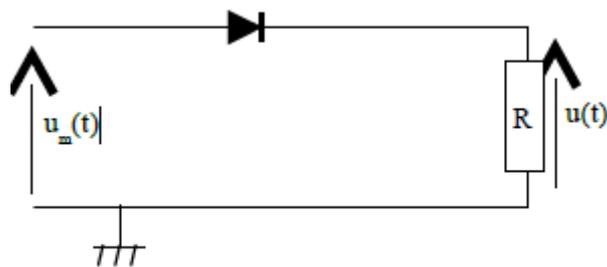
1-Démodulateur à détecteur de crêt :

1-1-Première étape : la détection d'enveloppe :

a-Première opération : la suppression des alternances négatives :

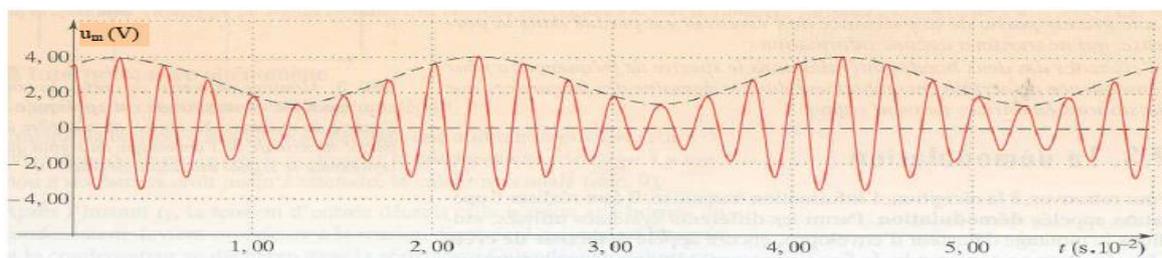
✚ montage :

Le montage à utiliser comporte une diode : il s'agit d'un montage redresseur simple alternance : la diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une tension modulée redressée.

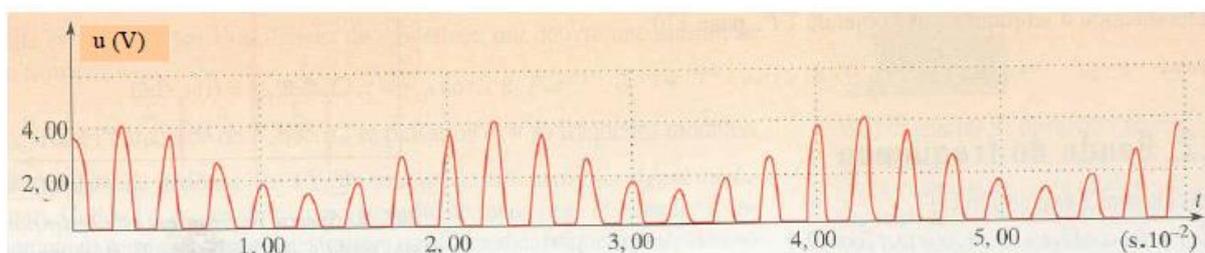


✚ Le résultat

Avant redressement



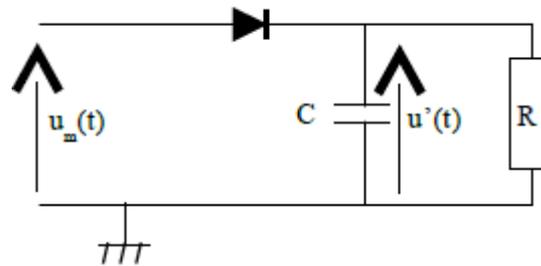
Après redressement



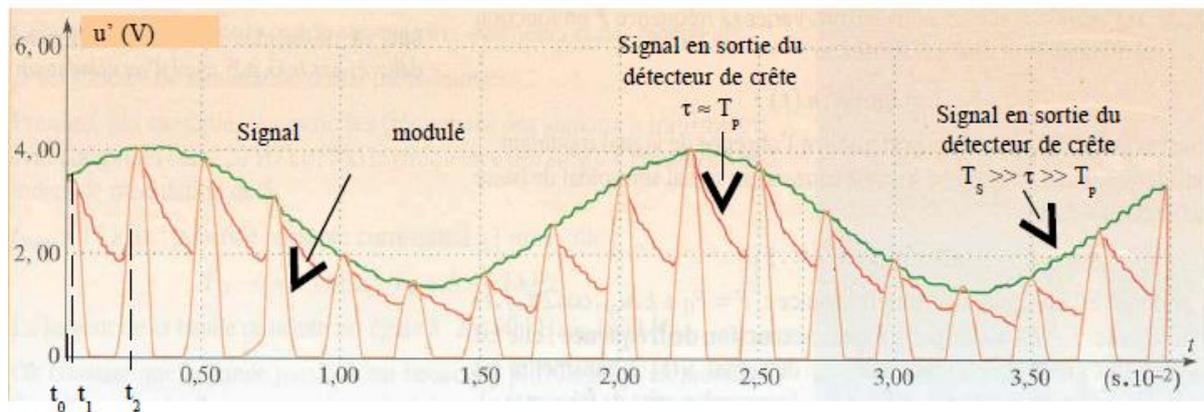
b-Deuxième opération : la suppression de la porteuse :

✚ Le montage

L'opération consiste à ajouter un condensateur en dérivation aux bornes du conducteur ohmique du montage redresseur.



✚ Le résultat



✚ Interprétation

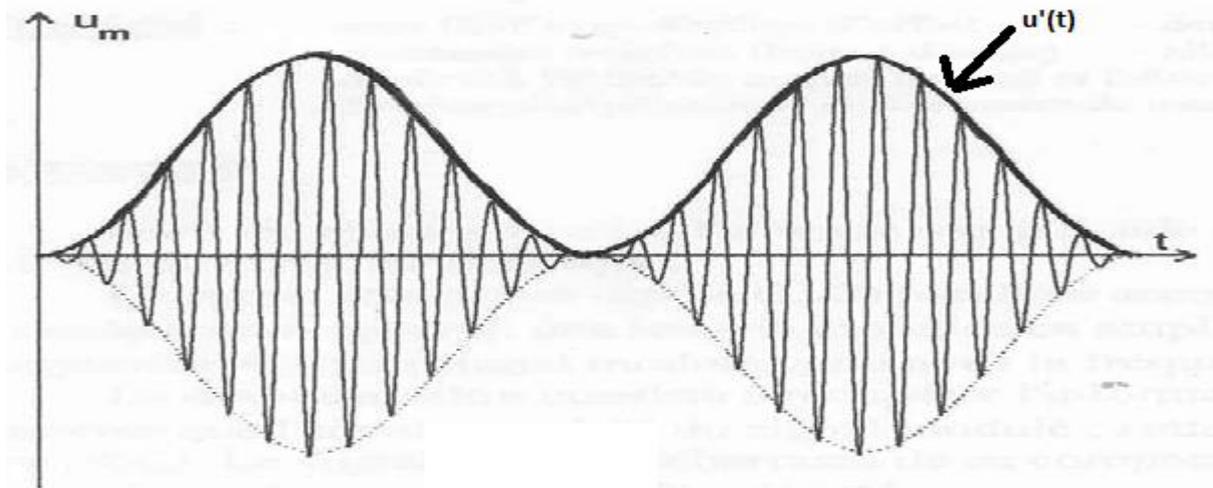
- Supposons le condensateur chargé à $t = 0$ s, au début d'une alternance positive ;
- Entre $t = 0$ s et t_1 , la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$ croît :
 - ❖ la diode laisse passer le courant ;
 - ❖ le condensateur se charge et la tension à ses bornes augmente jusqu'à atteindre une valeur Maximale.
- · Après la date t_1 , la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$ décroît :
 - ❖ la diode ne laisse pas passer le courant ;

- ❖ la tension aux bornes du condensateur étant supérieure à $u_m(t)$, celui-ci se décharge dans le conducteur ohmique et la tension $u(t)$ diminue jusqu'à atteindre une valeur égale à celle de la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$: ceci se produit à la date t_2 .
- · Après la date t_2 , la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$ croît :
 - ❖ la diode laisse passer le courant ;
 - ❖ le condensateur se recharge et la tension à ses bornes augmente jusqu'à atteindre une nouvelle valeur maximale.

✚ Influence de la constante de temps

- la durée de la décharge a une influence notable sur la forme du signal recueil en sortie du montage « Détecteur de crête ».
 - ❖ concernant la décharge :
 - ✓ plus la décharge est rapide, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera au signal modulé redressé ;
 - ✓ plus la décharge est lente, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera à l'enveloppe du signal modulant.
 - ❖ concernant la charge
 - ✓ plus la charge est rapide, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera à l'enveloppe du signal modulant
 - ✓ plus la charge est lente, plus ce signal $u'(t)$ ressemblera au signal modulé redressé
- illustrations

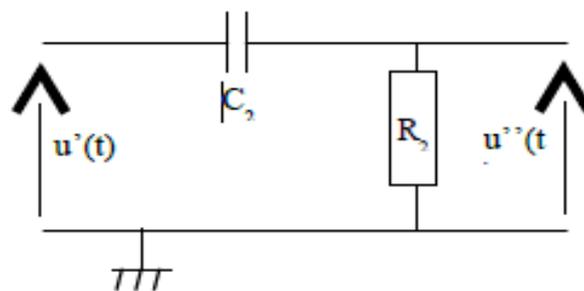
$TS \gg \tau \gg Tp$: La montée en charge comme la décharge sont bonnes.



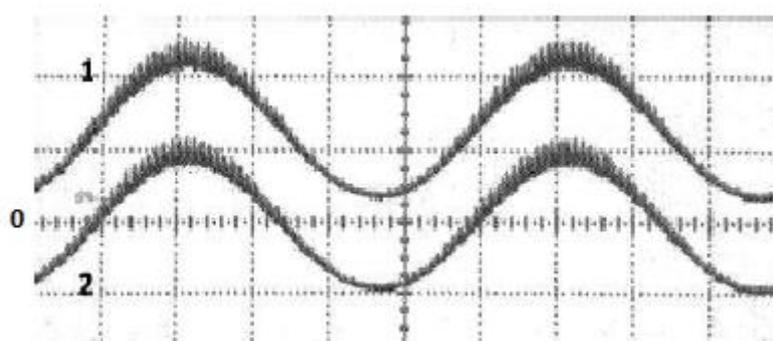
1-2-Deuxième étape : la suppression de la composante continue :

✚ Montage :

Le montage à utiliser comporte un filtre passe – haut, c'est-à-dire ne laissant passer que les composantes aux fréquences élevées et arrêtant celles aux basses fréquences et continues. Il s'agit d'un montage RC simple alternance : la diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une tension modulée redressée



✚ Le résultat :



Courbe 1 : Enveloppe du signal modulé redressé

Courbe 2 : Signal modulant reformé

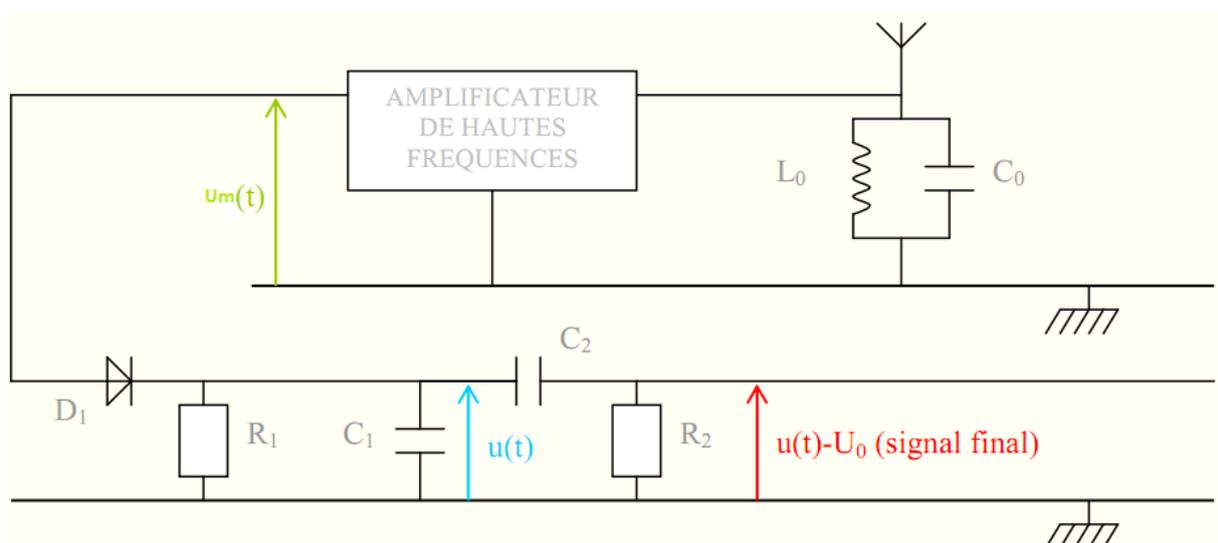
✚ Condition de réalisation :

La tension modulante reformée est une tension variable.

Pour que le filtre passe-haut n'altère pas ce signal, la constante de temps de ce filtre doit être bien supérieure à $t_2 \gg TS$.

1-3 -Bilan :

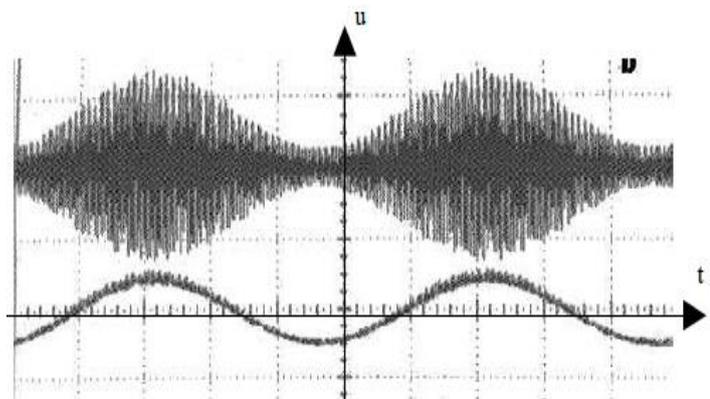
✚ Schéma électrique global du circuit de démodulation :



✚ Résultat de la démodulation :

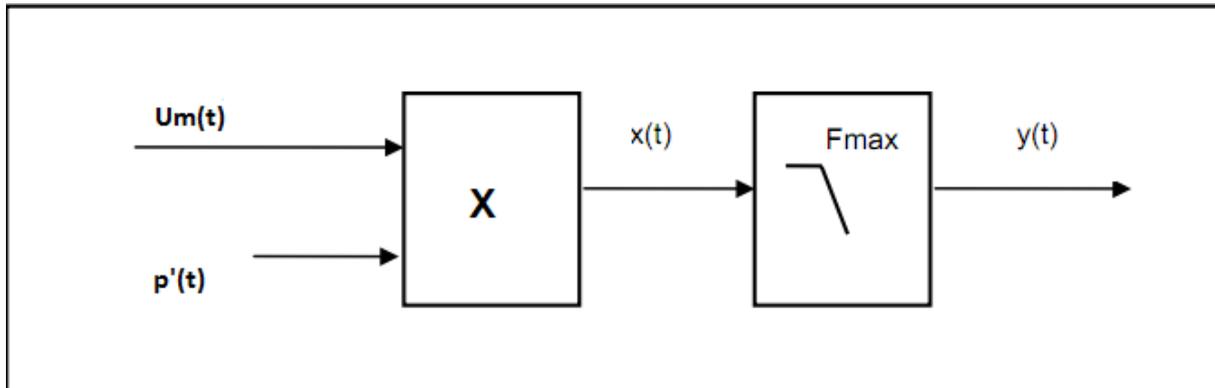
Courbe 1 : Signal modulé détecté

Courbe 2 : Signal modulant reformé



2-Détection synchrone

Dans une démodulation synchrone, on multiplie simplement le signal AM par un signal sinusoïdal en phase (synchrone) avec la porteuse :



En sortie du multiplieur, le signale $x(t)$ s'écrit :

$$\begin{aligned} X(t) &= p'(t) \cdot u_m(t) = p'(t) \cdot u_m(t) \\ &= A \cos(2\pi f_p t) [m \cos(2\pi f t) + 1] \cdot U'_p \cos(2\pi f'_p t) \end{aligned}$$

Et puisque : $f'_p \approx f_p$

On aura : $X(t) = A \cdot U'_p \cos^2(2\pi f_p t) [m \cos(2\pi f t) + 1]$

$$\begin{aligned} &= A U'_p [m \cos(2\pi f t) + 1] \cdot \frac{1 + \cos(4\pi f_p t)}{2} \\ &= \frac{A U'_p}{2} + \frac{m A U'_p}{2} \cos(2\pi f t) + \frac{A U'_p}{2} [m \cos(2\pi f t) + 1] \cdot \cos(4\pi f_p t) \end{aligned}$$

après filtrage et suppression de la composante continue, on obtient le signal basse-fréquence:

$$Y(t) = \frac{m A \cdot U'_p}{2} \cos(2\pi f t)$$

La détection synchrone est une technique de traitement du signal hétérodyne utilisée en mesure physique permettant d'extraire des signaux de faible amplitude, mais à bande étroite, noyés dans du bruit important, à large bande, par multiplication du signal par un signal sinusoïdal de fréquence proche de celle de la fréquence moyenne à détecter.