

Produire des sons, communiquer

MODULATION ET DÉMODULATION D'AMPLITUDE

Introduction :

La première technique d'émission utilisée en radiophonie a été la **modulation d'amplitude**.

Une tension électrique, appelée **tension modulante** et contenant l'information à diffuser, module l'amplitude d'un **signal porteur**.

Pour restituer l'information de la tension modulante, il suffit ensuite de **démoduler** le signal reçu.

I- La modulation d'amplitude

1°) Présentation ...

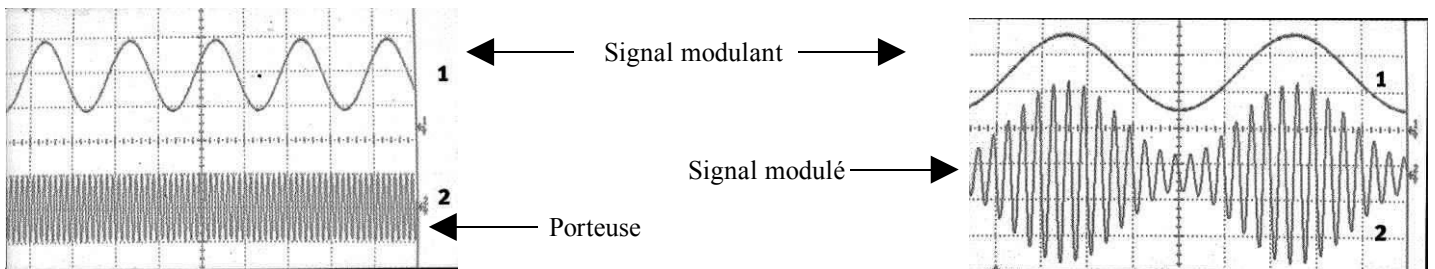
a) ... utilitaire

- La **modulation d'amplitude** permet la transmission de signaux de faibles fréquences par ondes électromagnétiques.

Le signal à transmettre (musique, voix ...) (appelé **signal modulant**), signal de basse fréquence, est transformé en tension électrique par un microphone ; la tension ainsi formée est utilisée pour faire varier (on dit **moduler**) l'amplitude d'un signal de Haute Fréquence (H.F.) appelée **porteuse**.

- Le signal modulé ainsi formé est transformé en **onde électromagnétique** contenant les mêmes fréquences, au moyen d'une antenne émettrice.

Une antenne réceptrice capte l'onde électromagnétique et restitue le signal électrique modulé. La **démodulation** permet alors d'**extraire le signal modulant** d'origine du signal modulé.



b) ... mathématique

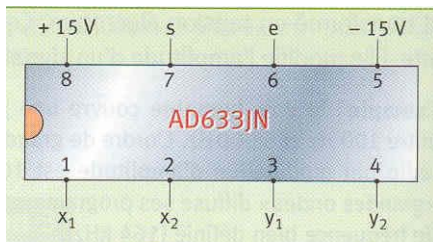
- Le **signal modulant** est une tension sinusoïdale $u_s(t)$ de fréquence f_s : $u_s(t) = (U_s)_{\text{Max}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)$
- La **porteuse** est une tension sinusoïdale $u_p(t)$ de fréquence f_p : $u_p(t) = (U_p)_{\text{Max}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$
- **Moduler l'amplitude** de ce signal sinusoïdal $u_p(t)$ consiste à transformer son amplitude constante $(U_p)_{\text{Max}}$ en une fonction affine de la tension modulante $u_s(t)$: $a \cdot u_s(t) + b$ où a et b sont des constantes
- Le résultat de cette modulation donne le **signal modulé** ayant pour équation :
 $u_m(t) = [a \cdot u_s(t) + b] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$ Le signal modulant est en fait l'**enveloppe** du signal modulé.

2°) Le principe mathématique

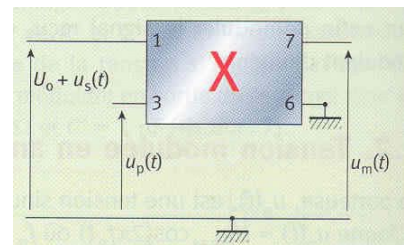
- Le **signal modulé** a pour équation : $u_m(t) = [a \cdot u_s(t) + b] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$
 soit $u_m(t) = [u_s(t) + \frac{b}{a}] \cdot a \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$ ou $u_m(t) = [u_s(t) + U_0] \cdot [(U_p)_{\text{Max}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)]$
 soit $u_m(t) = [u_s(t) + U_0] \cdot u_p(t)$
- **Moduler l'amplitude** d'un signal consiste alors à **ajouter une composante continue** (ici U_0) au signal modulant $u_s(t)$ à transmettre, puis de **multiplier** la tension résultante **par la tension $u_p(t)$ de la porteuse**.
- Le **décalage en tension U_0** est indispensable pour éviter la **surmodulation** et permettre ensuite la restitution du signal initial par démodulation (Cf. § 4°) ; le **taux de modulation m** est révélateur de la qualité de la modulation : $u_m(t) = [u_s(t) + U_0] \cdot u_p(t)$ soit $u_m(t) = [(U_s)_{\text{Max}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + U_0] \cdot u_p(t)$
 Soit $u_m(t) = U_0 \cdot [\frac{(U_s)_{\text{Max}}}{U_0} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot u_p(t)$ ou $u_m(t) = U_0 \cdot [m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot u_p(t)$

3°) La réalisation pratique

Pour réaliser expérimentalement la **modulation d'amplitude d'une porteuse par un signal modulant**, on utilise un **multiplieur**.



Le multiplieur AD 633 JN



Le montage multiplieur de tension

4° Étude du signal modulé

a) Analyse fréquentielle

- Nous avons montré dans le paragraphe 2° que la tension du signal modulé était de la forme :

$$u_m(t) = U_0 \cdot [m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot [u_p(t)]$$

$$\text{soit } u_m(t) = U_0 \cdot [m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot [(U_p)_{\text{Max}} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)]$$

$$\text{soit } u_m(t) = U_0 \cdot (U_p)_{\text{Max}} \cdot [m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$$

$$\text{soit } u_m(t) = k \cdot [m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$$

$$\text{soit } u_m(t) = k \cdot [m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) + \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)]$$

- Une étude mathématique permettrait de montrer que le produit $m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$ peut

$$\text{s'écrire : } m \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) = \frac{m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p + f_s) \cdot t) + \frac{m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p - f_s) \cdot t)$$

- La tension du signal modulé peut alors s'écrire :

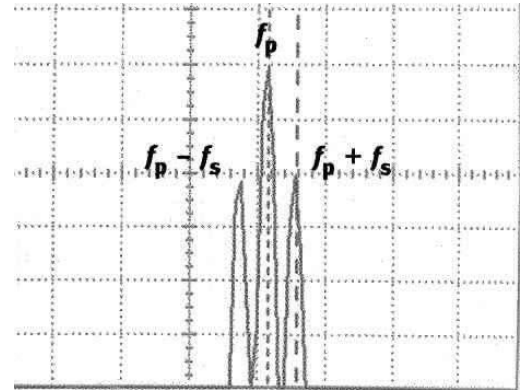
$$u_m(t) = k \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) + \frac{k \cdot m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p + f_s) \cdot t) + \frac{k \cdot m}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p - f_s) \cdot t)$$

- Conclusion :

- Lorsque la tension modulante $u_s(t)$ et la porteuse $u_p(t)$ sont des tensions sinusoïdales, de fréquences respectives f_s et f_p , la tension modulée $u_m(t)$ est la somme de trois tensions sinusoïdales de fréquences f_p , $f_p - f_s$ et $f_p + f_s$.

- Cette propriété nous montre qu'un émetteur fonctionnant en modulation d'amplitude doit réserver une bande de fréquence ayant une largeur égale à f_s de part et d'autre de la fréquence de la porteuse f_p .

Le son le plus aiguë à émettre ayant une fréquence f_s de 20 kHz, une bande de 40 kHz au total est nécessaire.



b) Qualité de la modulation

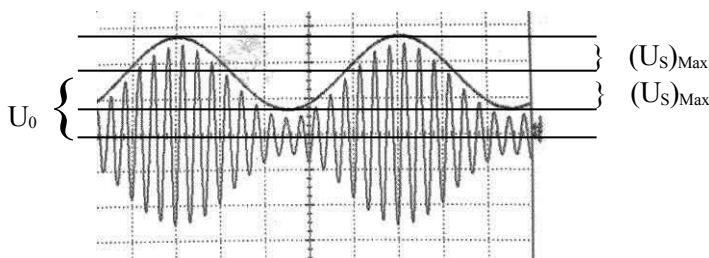
- La tension U_0 joue un rôle important dans la qualité de la modulation ; en effet, de la valeur du décalage en tension dépend de la **fidélité de l'enveloppe du signal modulé** par rapport au signal modulant.

- Pour que la modulation soit de **bonne qualité**, l'enveloppe du signal modulé doit être fidèle au signal modulant. Le décalage en tension U_0 doit alors être supérieur à l'amplitude $(U_s)_{\text{Max}}$ du signal modulant,

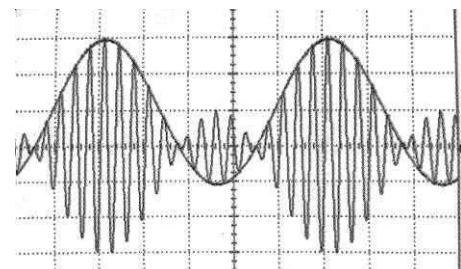
$$\text{soit } U_0 > (U_s)_{\text{Max}} \cdot \text{ soit } \frac{(U_s)_{\text{Max}}}{U_0} < 1 \text{ ou } m < 1, m \text{ étant le } \mathbf{\text{taux de modulation}}$$

- Si la modulation est de **mauvaise qualité**, l'enveloppe du signal modulé n'est pas fidèle au signal modulant. Cela est dû au fait que le décalage en tension U_0 est alors inférieur à l'amplitude $(U_s)_{\text{Max}}$ du

$$\text{signal modulant, soit } U_0 < (U_s)_{\text{Max}} \cdot \text{ soit } \frac{(U_s)_{\text{Max}}}{U_0} > 1 \text{ ou } m > 1 : \text{ il y a } \mathbf{\text{surmodulation.}}$$



Modulation de bonne qualité



Modulation de mauvaise qualité due à une surmodulation

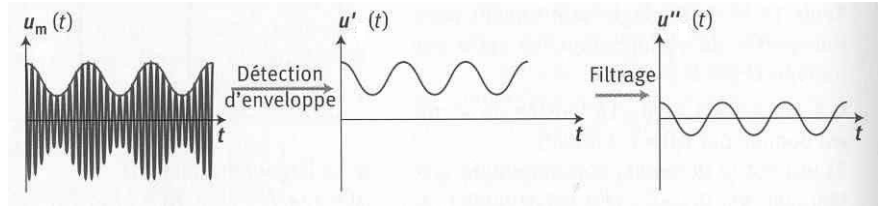
II- La démodulation d'amplitude

1°)Présentation

La démodulation d'amplitude est l'opération consistant à reconstituer le signal modulant à partir de l'onde modulée en amplitude.

Elle s'opère en deux étapes :

- la détection d'enveloppe ;
- l'élimination de la composante continue par filtrage.

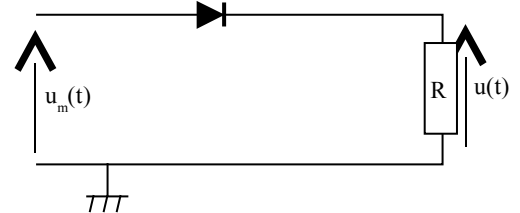


2°)Première étape : la détection d'enveloppe

a) Première opération : la suppression des alternances négatives

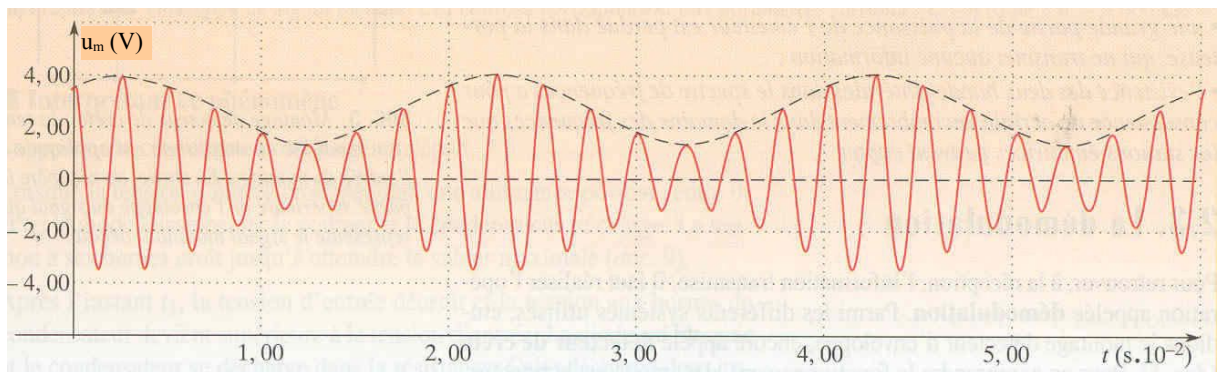
1- Le montage

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**.

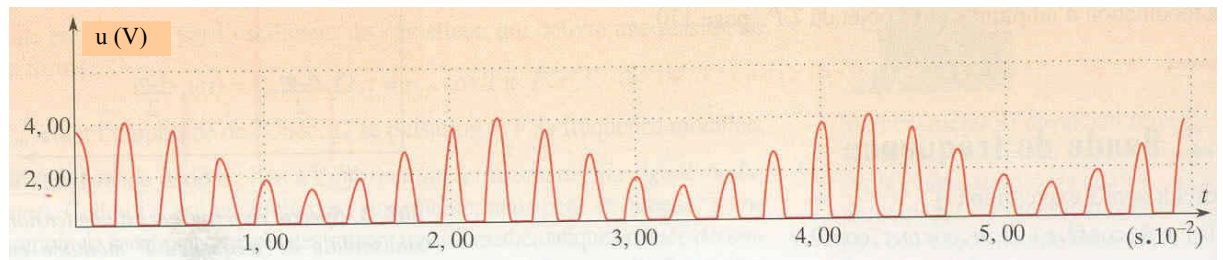


2- Le résultat

Avant redressement



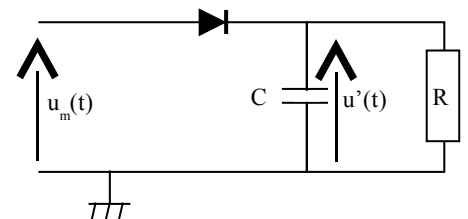
Après redressement



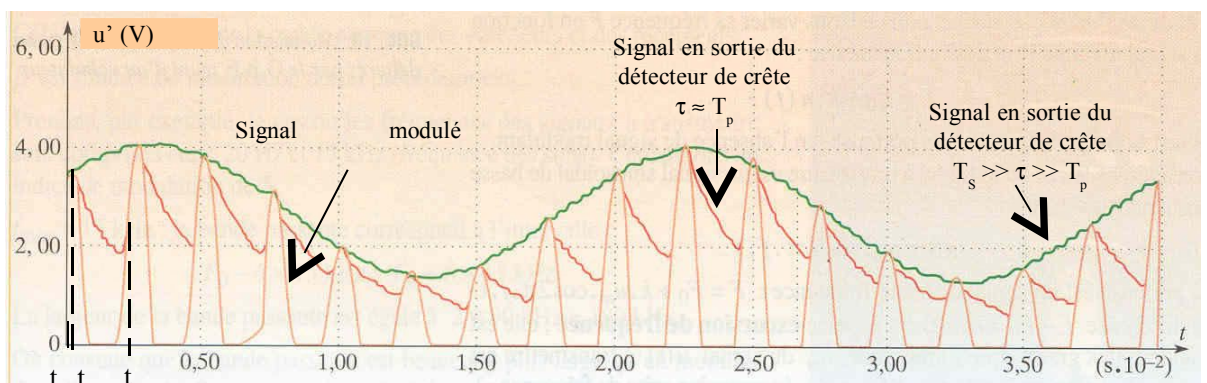
b) Deuxième opération : la suppression de la porteuse

1- Le montage

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



2- Le résultat



3- Interprétation

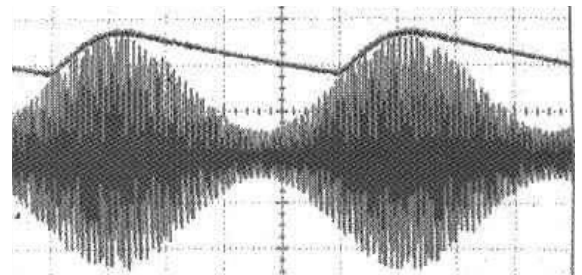
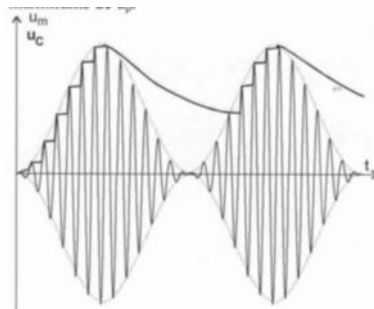
- Supposons le condensateur chargé à $t = 0$ s, au début d'une alternance positive ;
- Entre $t = 0$ s et t_1 , la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$ croît :
 - la diode laisse passer le courant ;
 - le condensateur se charge et la tension à ses bornes augmente jusqu'à atteindre une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

4- Influence de la constante de temps τ

- L'étude montre que la durée de la décharge a une influence notable sur la forme du signal recueilli 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 :

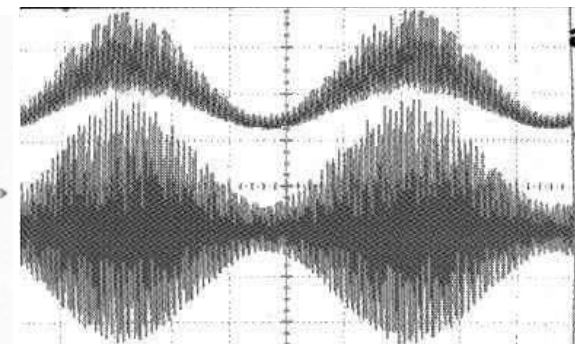
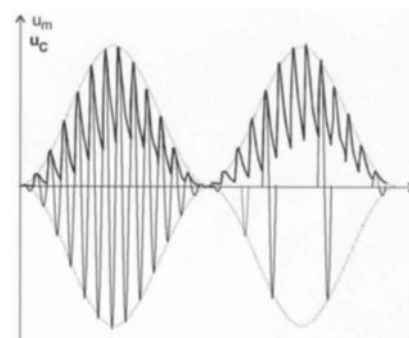
$$\tau \approx T_s :$$

La montée en charge est correcte
La décharge est trop lente.



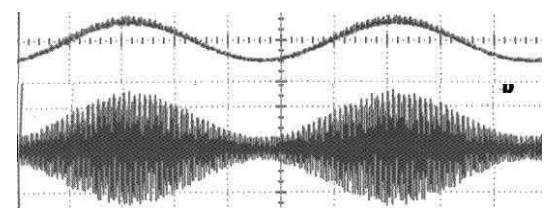
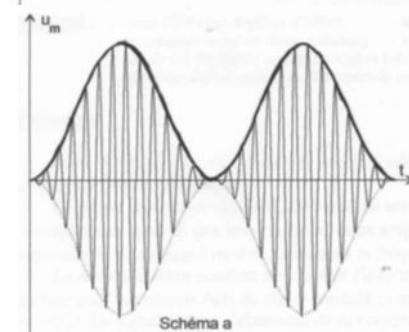
$$\tau \approx T_p :$$

La montée en charge comme la
décharge sont trop rapides.



$$T_s \gg \tau \gg T_p :$$

La montée en charge comme la
décharge sont bonnes.



- Conclusion :

- Pour que la montée en tension ne soit ni trop lente, ni trop rapide, il faut que :

$$\tau \ll T_s \quad (\text{au-moins } \tau < \frac{T_s}{10})$$

- Pour que la chute en tension soit rapide, il faut que :

$$\tau \gg T_p \quad (\text{au-moins } \tau > 10.T_p)$$

- Pour retrouver une enveloppe de porteuse fidèle au signal modulant original, il faut donc que :

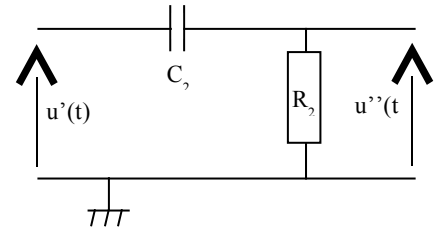
$$\frac{T_s}{10} > \tau > 10.T_p \quad \text{soit } T_s > 100.T_p \quad \text{soit } f_p > 100.f_s$$

3°) Deuxième étape : la suppression de la composante continue

a) 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.

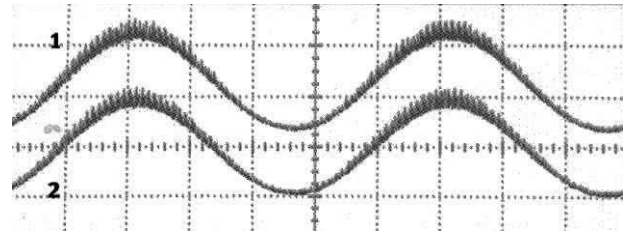
Il s'agit d'un **montage RC** simple alternance : la diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une **tension modulée redressée**.



b) Le résultat

Courbe 1 : Enveloppe du signal modulé redressé

Courbe 2 : Signal modulant reformé



c) Condition de réalisation

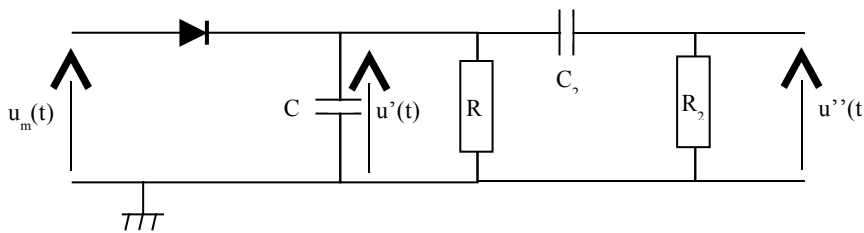
La tension modulante reformée est une tension variable.

Pour que le filtre passe-haut n'altère pas ce signal, la constante de temps de ce filtre doit être bien supérieure à la période du signal modulant :

$$\tau_2 \gg T_s$$

4°) Bilan

a) Schéma électrique global du circuit de démodulation



b) Résultat de la démodulation

Courbe 1 : Signal modulé détecté

Courbe 2 : Signal modulant reformé

