

MODULATION ET DÉMODULATION D'AMPLITUDE

1. La modulation d'amplitude

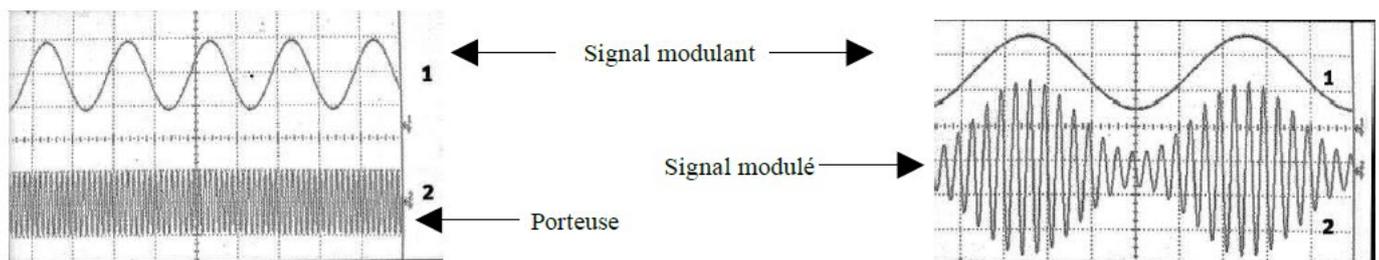
1.1. Principe

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.



- Le **signal modulant** est une tension sinusoïdale $u_s(t)$ de fréquence f_s :
$$u_s(t) = U_s \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)$$
- La **porteuse** est une tension sinusoïdale $u_p(t)$ de fréquence f_p :
$$u_p(t) = U_p \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$$
- Le signal modulant est en fait l'**enveloppe** du signal modulé.

1.2. Le montage expérimental

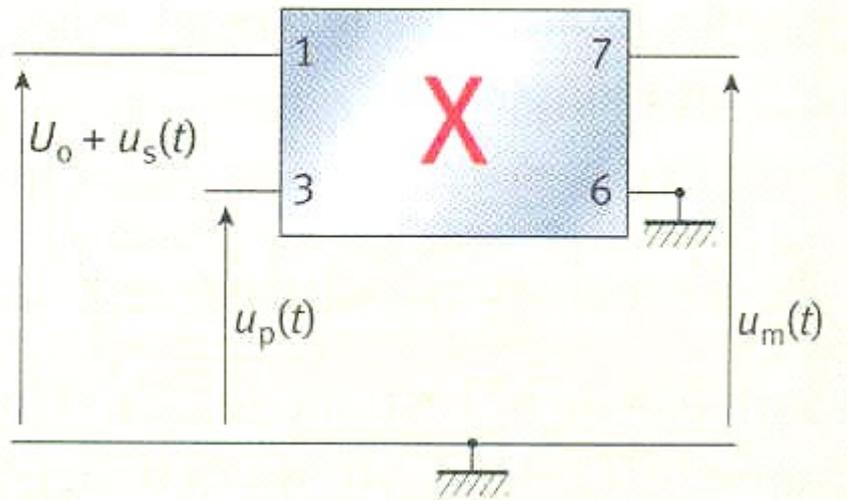
Le montage expérimental est constitué de deux générateurs GBF, d'un oscilloscope et d'un multiplieur réalisant la modulation.

Le premier générateur GBF fournit le signal $u_s(t)$ sinusoïdal de basse fréquence auquel on ajoute une composante continue U_0 .

Le deuxième générateur GBF fournit un signal $u_p(t)$ sinusoïdal de haute fréquence (la porteuse, de fréquence f_p très grande par rapport à la fréquence f_s).

Le multiplieur symbolisé par X multiplie les tensions qui lui sont appliquées en entrées, et qui donne à sa sortie une tension proportionnelle à ce produit.

On applique donc à l'entrée E1 du multiplieur le signal modulant $u_s(t) + U_0$ puis on applique à l'entrée E2 la tension porteuse $u_p(t)$ et on obtient à la sortie S du multiplieur la tension modulée $u_m(t)$



Valeurs expérimentales :



1.3. Étude du signal modulé

La tension modulée $u_m(t)$ obtenue à la sortie du multiplieur est proportionnelle au produit des deux tensions : $u_p(t)$ et $(u_s(t)+U_0)$.

$$\text{Donc : } u_m(t) = K \cdot [u_s(t) + U_0] \cdot u_p(t)$$

Le coefficient multiplicateur K dépend du multiplieur, il s'exprime en V^{-1} .

$$\text{On a donc : } u_m(t) = K \cdot [u_s(t) + U_0] \cdot U_p \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

$$\text{Ce qui est de la forme : } u_m(t) = U_m(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f_p \cdot t)$$

avec : $U_m(t) = K \cdot [u_s(t) + U_0] \cdot U_p$ qui représente l'amplitude de la tension modulée.

$$\text{Donc : } U_m(t) = K \cdot [U_s \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + U_0] \cdot U_p = K \cdot U_p \cdot U_0 \cdot [(U_s/U_0) \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + 1]$$

$$\text{Soit : } U_m(t) = A \cdot [m \cdot \cos(2\pi \cdot f_s \cdot t) + 1]$$

Avec : $A = K \cdot U_p \cdot U_0$ et $m = U_s/U_0$ (m représente le taux de modulation)

L'expression de la tension modulée devient :

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

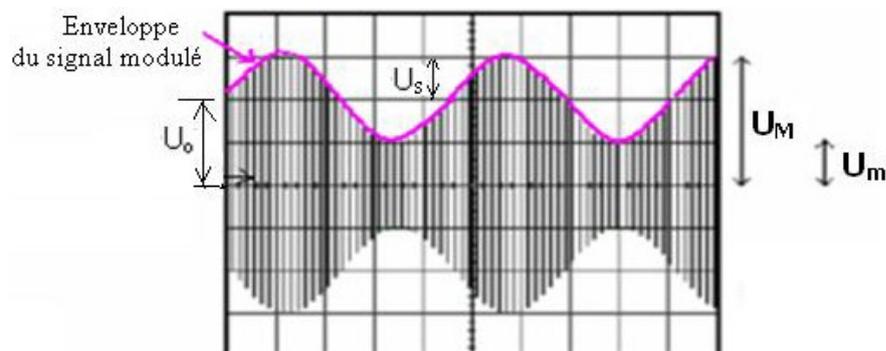
$$\text{On a : } -1 \leq \cos(2\pi f_s t) \leq +1 \Rightarrow \begin{array}{l} U_{m,\min} = A \cdot (1 - m) \\ \text{et : } U_{m,\max} = A \cdot (1 + m) \end{array} \quad \text{donc : } \begin{array}{l} U_{m,\max} + U_{m,\min} = 2A \\ U_{m,\max} - U_{m,\min} = 2A \cdot m \end{array}$$

En posant : $U_{m,\max} = U_M$ et : $U_{m,\min} = U_m$

On a alors:

le taux de modulation :

$$m = \frac{U_M - U_m}{U_M + U_m}$$



- 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 U_M et U_m .
- La modulation est bonne qualité si l'enveloppe du signal modulé correspond au signal modulant.

Remarque :

Les conditions pour avoir une modulation de bonne qualité sont :

- Le taux de modulation doit être : $m < 1$
- La fréquence de l'onde porteuse doit être : $f_p > 10.f_s$

1.4. Analyse fréquentielle du signal modulé

En développant l'expression de la tension modulée :

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

$$u_m(t) = A.\cos(2.\pi.f_p.t) + A.m.\cos(2.\pi.f_s.t).\cos(2.\pi.f_p.t)$$

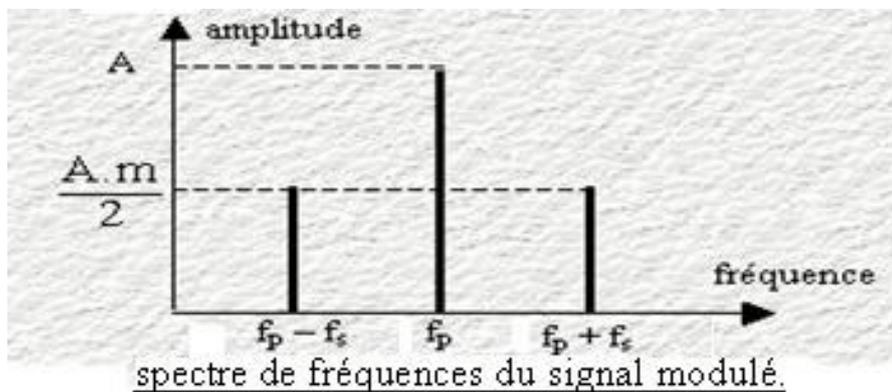
Et en utilisant la relation :

$$\cos p \times \cos q = \frac{1}{2} [\cos(p + q) + \cos(p - q)]$$

On obtient :

$$U_m(t) = A.\cos(2.\pi.f_p.t) + (A.m/2).\cos(2.\pi.(f_p+f_s).t) + (A.m/2).\cos(2.\pi.(f_p-f_s).t)$$

Donc, 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 $f_p + f_s$.



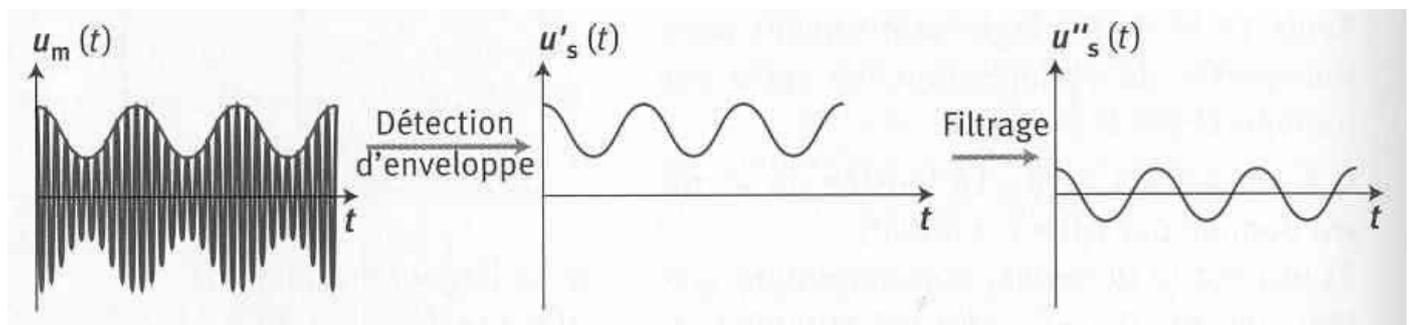
2. La démodulation d'amplitude

2.1. Principe

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 :

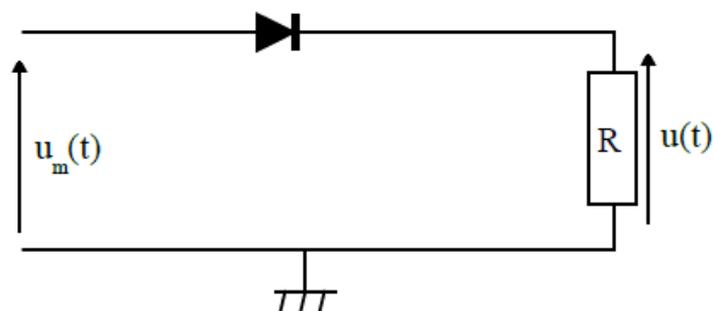
- la détection d'enveloppe ;
- l'élimination de la composante continue par filtrage.



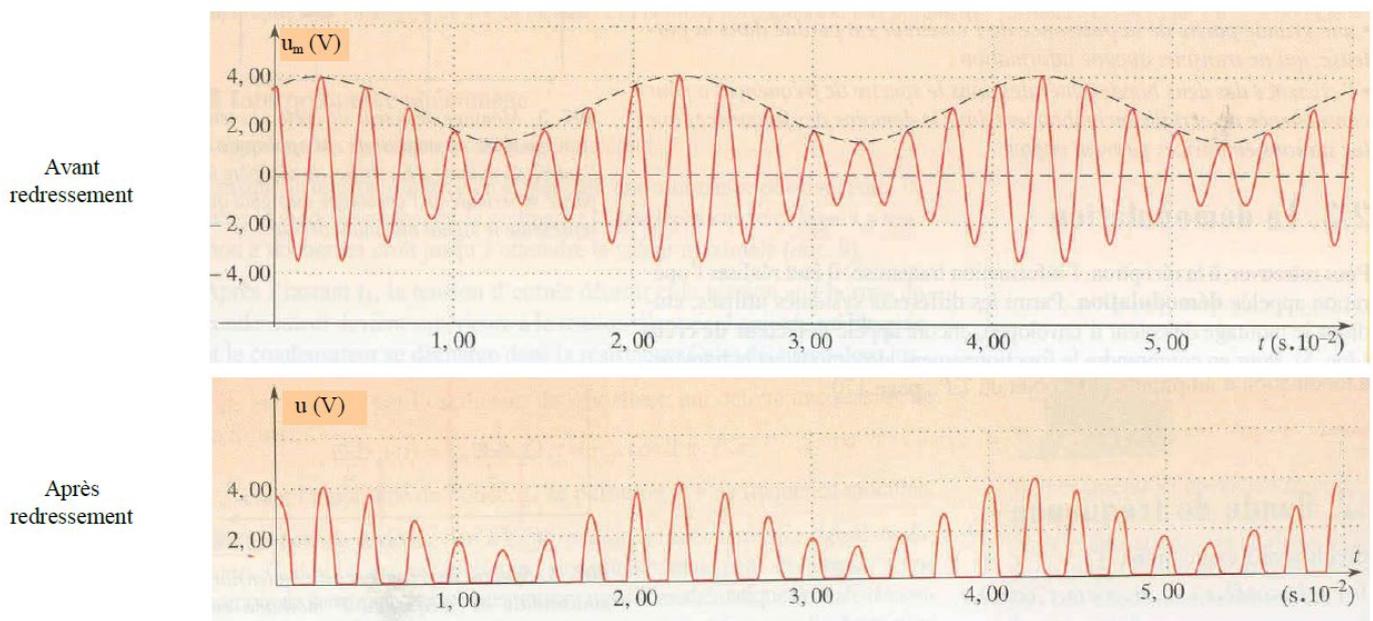
2.2. La détection d'enveloppe

La première opération est la suppression des alternances négative.

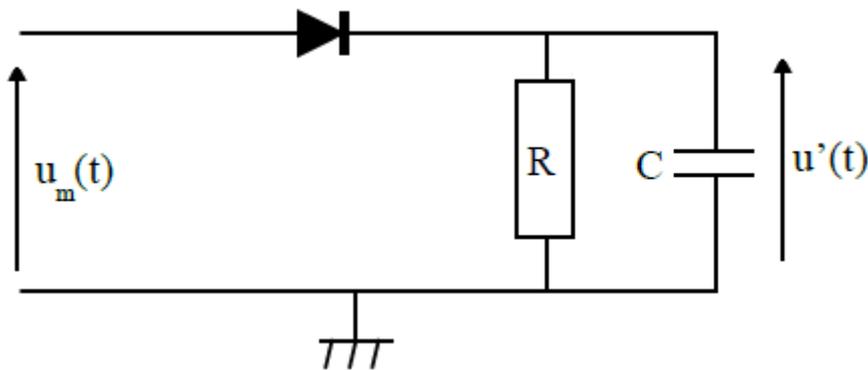
Pour cela, on utilise un montage redresseur simple alternance constitué d'une diode et d'une résistance :



La diode bloque les alternances négatives. La tension recueillie aux bornes du conducteur ohmique est une tension modulée redressée.



Puis on supprime la porteuse en ajoutant un condensateur en dérivation aux bornes du conducteur ohmique du montage redresseur :

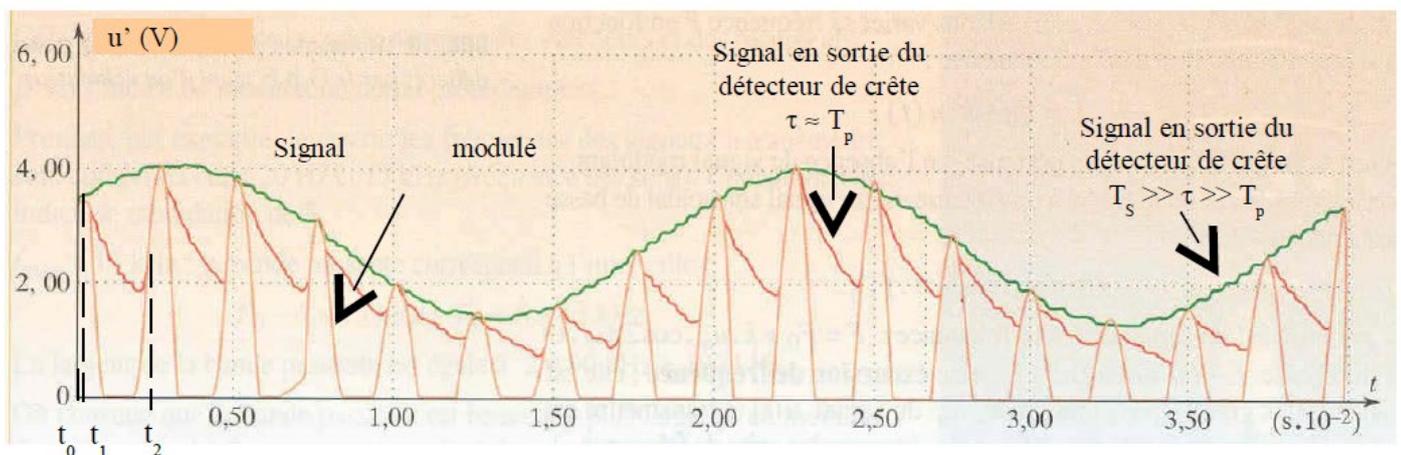


Interprétation :

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 ;

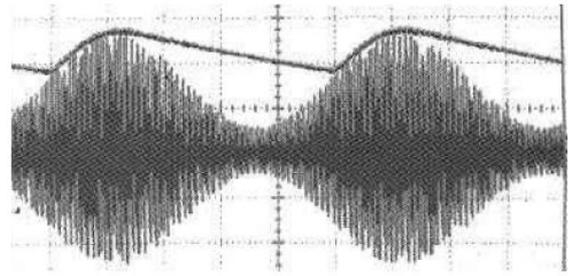
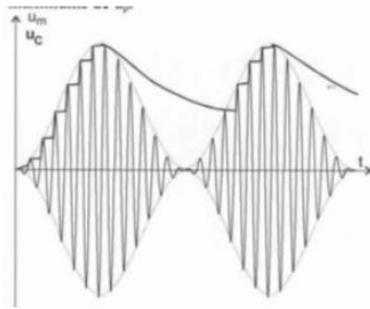
- la tension aux bornes du condensateur étant supérieure à $u_m(t)$, celui-ci se décharge dans le conducteur ohmique et la tension $u(t)$ diminue jusqu'à atteindre une valeur égale à celle de la tension à l'entrée du circuit de démodulation $u_m(t)$, ceci se produit à la date t_2 .
- Après la date t_2 , 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.



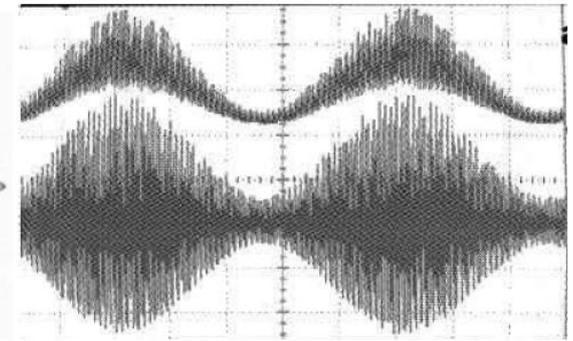
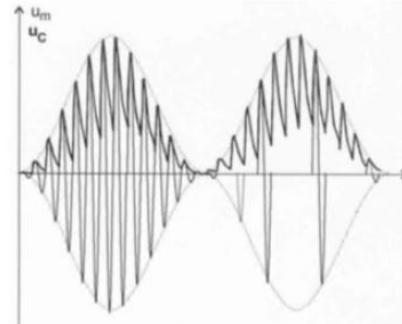
La durée de la décharge ou de la charge a une influence notable sur la forme du signal recueilli en sortie du montage « Détecteur de crête ».

- plus la décharge est rapide, plus le signal $u'(t)$ ressemblera au signal modulé redressé ;
- plus la décharge est lente, plus le signal $u'(t)$ ressemblera à l'enveloppe du signal modulant.
- plus la charge est rapide, plus le signal $u'(t)$ ressemblera à l'enveloppe du signal modulant ;
- plus la charge est lente, plus le signal $u'(t)$ ressemblera au signal modulé redressé.

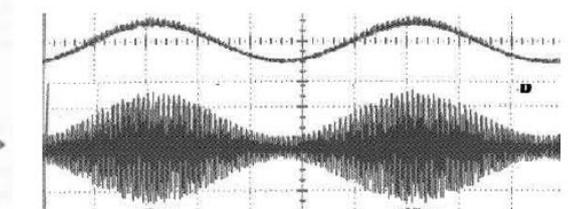
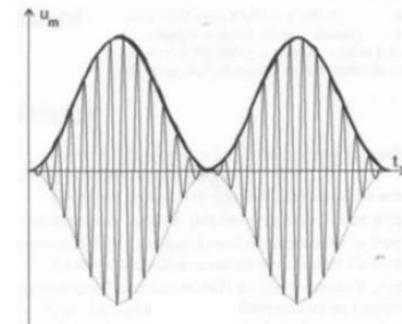
$\tau \approx T_s :$
 La montée en charge est correcte
 La décharge est trop lente.



$\tau \approx T_p :$
 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 :

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

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

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

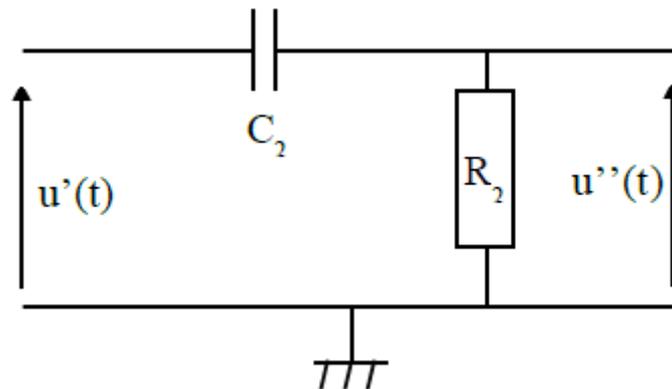
- Pour retrouver une enveloppe de porteuse fidèle au signal modulant originel, il faut donc que :

$$10 T_s > \tau > 10 T_p$$

$$\text{soit } T_s > 100 T_p \text{ soit } f_p > 100 f_s$$

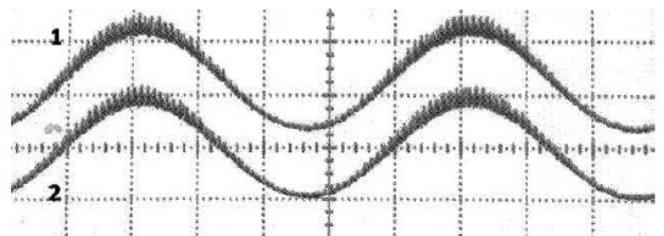
2.3. La suppression de la composante continue

Afin de supprimer la composante continue de l'enveloppe du signal modulé redressé $u'(t)$, on utilise un filtre haut RC ne laissant passer que les composantes aux fréquences élevées et arrêtant celles aux basses fréquences et continues.



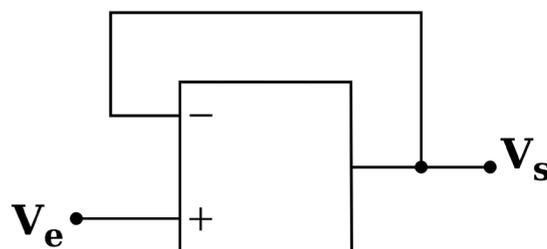
Courbe 1 : Enveloppe du signal modulé redressé

Courbe 2 : Signal modulant reformé



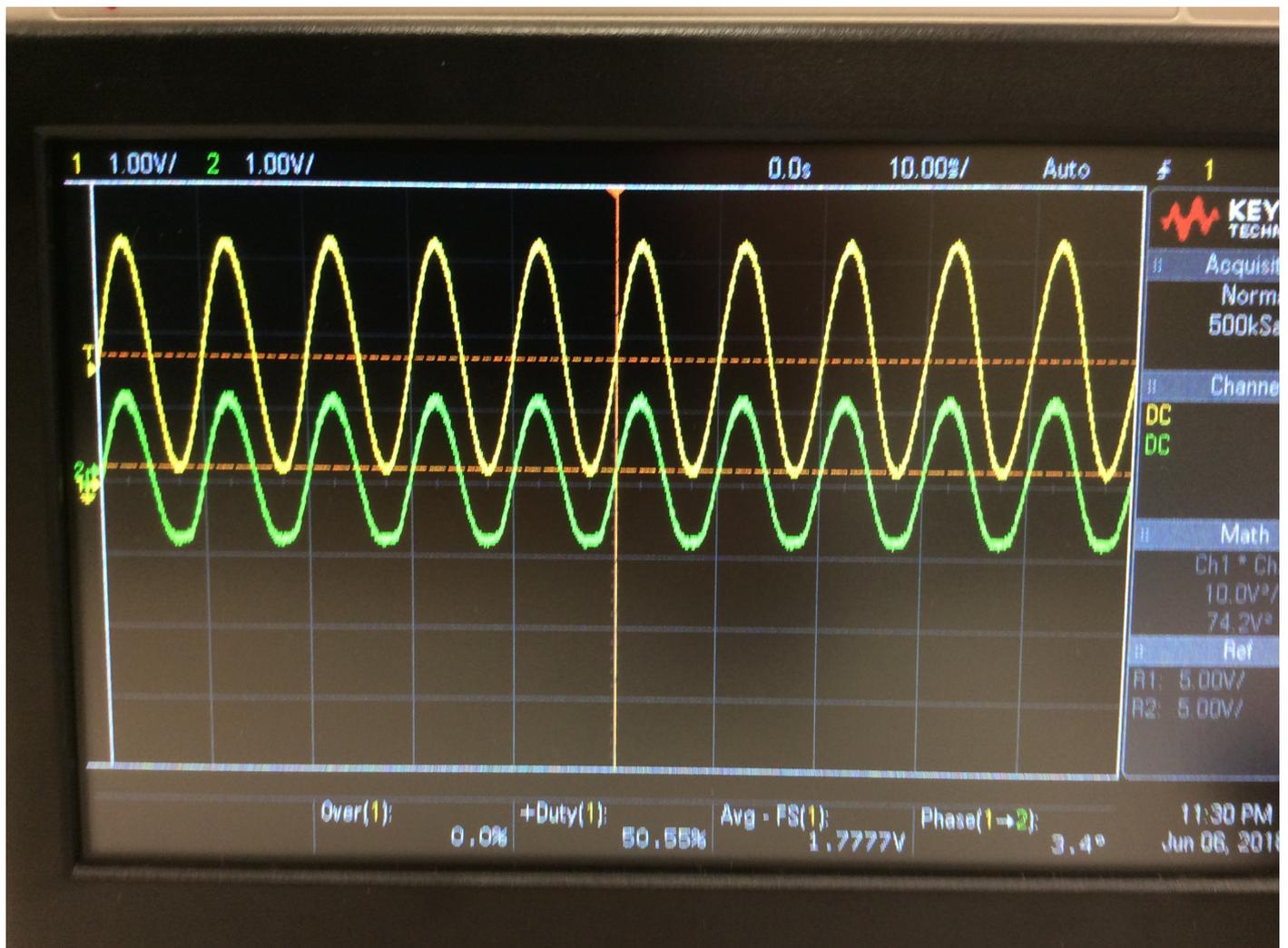
Pour que le filtre passe-haut n'altère pas le signal modulant reformé, la constante de temps de ce filtre doit être bien supérieure à la période du signal modulant : $\tau_2 \gg T_S$

On pourra également intercaler entre le montage détecteur de crêtes et le filtre passe-haut, un montage suiveur, également appelé « étage tampon de tension » (Buffer en anglais) :



Grâce à son impédance d'entrée très importante et à sa faible impédance de sortie, il permet l'adaptation d'impédance entre les deux étages successifs du circuit de démodulation.

Résultats :



- En jaune, le signal modulant avec la composante continue.
- En vert, le signal modulé puis démodulé après la détection d'enveloppe et l'élimination de la composante continue par filtrage.