

PROF-PRODUIRE DES SIGNAUX 2 : **MODULATION ET DEMODULATION D'AMPLITUDE**

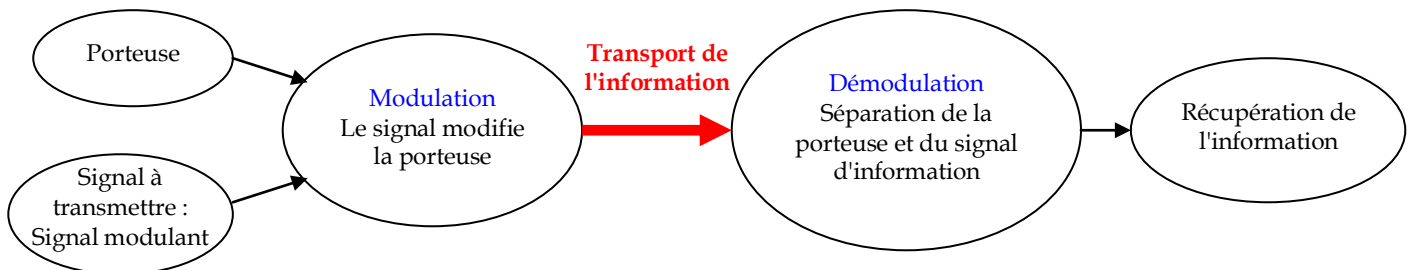
Matériel :

- 2 GBF
 - Un oscilloscope
 - 1 alimentation +15/-15 V
 - 1 multiplieur sur plaquette de modulation
 - 1 diode au germanium $U_{seuil} = 0.4 V$
 - 1 diode au silicium $U_{seuil} = 0.6V$
 - Résistances $R = 1 k\Omega ; 4.7 k\Omega ; 10 k\Omega ; 100 k\Omega$
 - Condensateurs $C = 100 nF ; 10 nF ; 1\mu F$
- Pour le prof : même matériel + synchronie + carte acquisition (pour spectre fréquentiel)

Connaissances et savoir-faire exigibles :

- (1) Savoir que réaliser une modulation d'amplitude c'est rendre l'amplitude du signal modulé fonction affine de la tension modulante.
- (2) Connaître les conditions à remplir pour éviter la surmodulation.
- (3) Dans le cas d'une tension modulante sinusoïdale de fréquence f_s , savoir que la tension modulée est la somme de trois tensions sinusoïdales de fréquences $f_p - f_s, f_p, f_p + f_s$, f_p étant la fréquence du signal qui a été modulé.
Savoir-faire expérimentaux :
- (4) Réaliser un montage de modulation d'amplitude à partir d'un schéma.
- (5) Choisir des tensions permettant une modulation de bonne qualité ; savoir visualiser les tensions pertinentes.
- (6) 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.
- (7) Savoir exploiter les oscillogrammes relatifs à une modulation et à une démodulation d'amplitude.
Savoir-faire expérimentaux :
- (8) Réaliser un montage de démodulation d'amplitude à partir d'un schéma.
- (9) Choisir les composants permettant une démodulation de bonne qualité ; savoir visualiser les tensions pertinentes.

Introduction : Transmission d'une information par ondes électromagnétiques :



Nous allons étudier dans ce chapitre les étapes de modulation et de démodulation.

I Modulation d'une porteuse : utilisation d'un multiplieur :

Pour avoir une tension modulée en amplitude il faut obtenir une tension de la forme $u(t) = A(t) \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)$ où $A(t)$ est l'amplitude qui varie en fonction du signal modulé.

On s'intéressera ici au cas d'un signal modulant sinusoïdal.

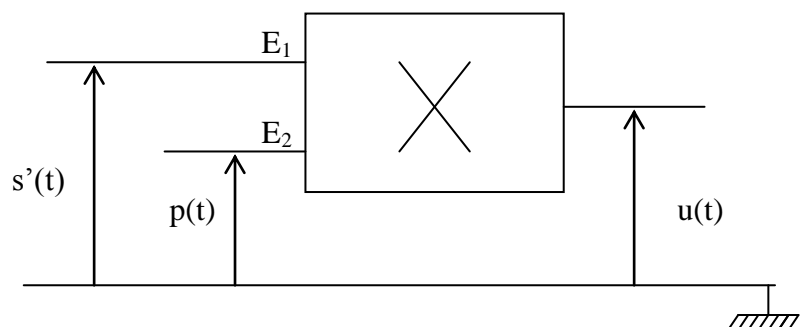
1) Schéma du multiplieur et branchements :

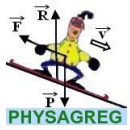
On utilise un multiplieur alimenté en -15/+15V dans lequel on fera entrée le signal modulant $s'(t)$ d'une part (en E_1) et la porteuse $p(t)$ d'autre part (E_2).

En sortie, celui délivre une tension proportionnelle aux deux tensions d'entrée :

$$u(t) = k \times s'(t) \times p(t)$$

k étant le facteur de proportionnalité.





2) Exemple de modulation, forme du signal modulé :

➤ Forme mathématique du signal modulant :

$s(t) = A_s \times \cos(2\pi f_s \times t)$, auquel nous allons ajouter une tension U_0 de décalage :

$$s'(t) = U_0 + A_s \times \cos(2\pi f_s \times t)$$

On prendra les caractéristiques suivantes : $A_s = 2 \text{ V}$; $U_0 = 5 \text{ V}$ et $f = 500 \text{ Hz}$.

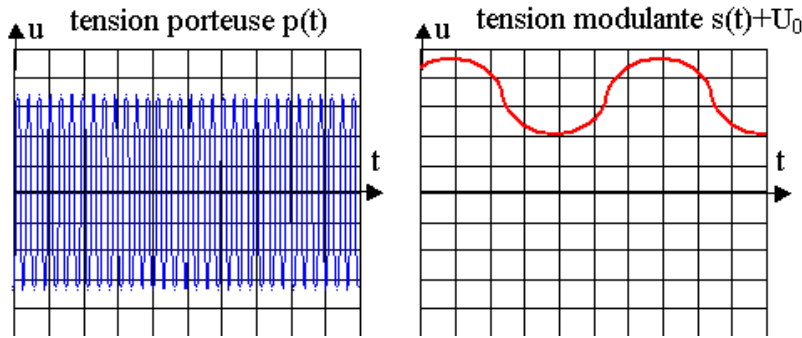
➤ Forme mathématique de la porteuse : $p(t) = A_p \times \cos(2\pi f_p \times t)$

On rappelle que la porteuse, pour être efficace, doit avoir une fréquence élevée $f_p \gg f_s$.

On prendra donc : $A_p = 4 \text{ V}$ et $f_p = 10 \text{ kHz}$.

a. *Manipulation* : A l'aide d'un oscilloscope, réglez les deux tensions sinusoïdales décrites ci-dessus.

b. *Question* : dessinez les deux tensions visualisées :



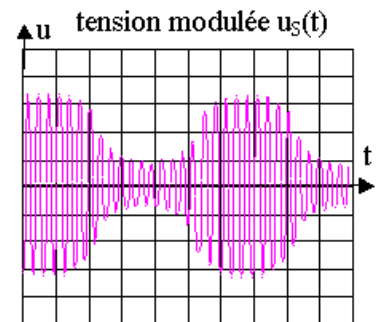
➤ Forme mathématique du signal modulé :

D'après ce que nous avons dit sur la fonction du multiplieur on obtient :

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

c. *Manipulation* : reliez ces deux tensions aux deux entrées du multiplieur, alimenté celui-ci puis envoyé le signal de sortie, signal modulé, sur une des entrées de l'oscilloscope.

d. *Question* : dessinez le signal obtenu :



Remarque :

On voit que le signal modulé a pour fréquence la fréquence **de la porteuse**, on peut donc écrire le signal modulé sous la forme :

$$u(t) = k \times [U_0 + s(t)] \times A_p \times \cos(2\pi f_p \times t)$$

$$\Leftrightarrow u(t) = \underbrace{[k_1 + k_2 \times s(t)]}_{\text{Amplitude}} \times \cos(2\pi f_p \times t) \quad (\text{avec } k_1 = kU_0A_p \text{ et } k_2 = kA_p)$$

L'amplitude de ce signal modulé est une fonction affine du signal modulant.

3) Etude du signal modulé et qualité de la modulation :

a. Etude du signal modulé :

➤ On vient donc de voir un signal modulé de la forme :

$$u(t) = k \times [U_0 + A_s \times \cos(2\pi f_s \times t)] \times A_p \times \cos(2\pi f_p \times t)$$

➤ Généralement, on écrit :

$$u(t) = A [1 + m \cos(2\pi f_s \times t)] \cos(2\pi f_p \times t) \text{ avec } A = kU_0A_p \text{ et } m = \frac{A_s}{U_0}, \text{ m étant appelé taux de modulation.}$$

➤ Développons $u(t)$:

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

Or on connaît une formule mathématique qui dit que $\cos(a) \times \cos(b) = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)]$

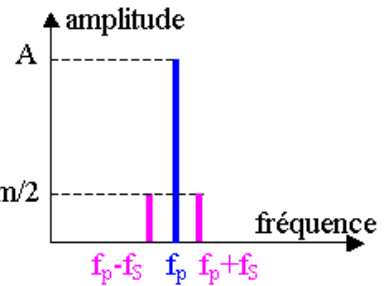
$$\text{D'où } u(t) = A \times \cos(2\pi f_p \times t) + A \times m \times \frac{1}{2} \times \cos(2\pi(f_p + f_s)t) + A \times m \times \frac{1}{2} \times \cos(2\pi(f_p - f_s)t)$$

Le signal modulé est donc la somme de trois fonctions sinusoïdales de fréquence f_p , f_p+f_s et f_p-f_s

➤ Spectre en fréquence :

Ainsi on peut tracer le spectre en fréquence de ce signal modulé (transformée de Fourier vue en acoustique). On obtient : →

On voit alors que pour transmettre l'information à l'aide d'une porteuse, il faut une bande de fréquence de $2f_s$.

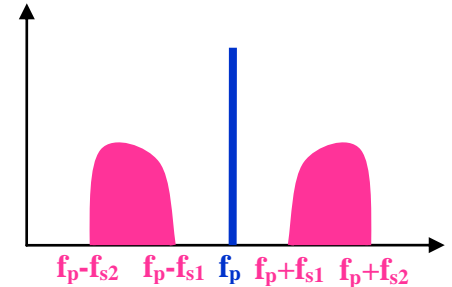


Rq :

En réalité, on ne transporte pas qu'un signal de fréquence f_s mais une gamme de fréquence entre f_{s1} et f_{s2} par exemple.

Question : Qu'observe-t-on sur le spectre en fréquence ? Dessinez-le :

On observe alors sur le spectre en fréquence du signal modulant deux bandes latérales de part et d'autre de la porteuse.

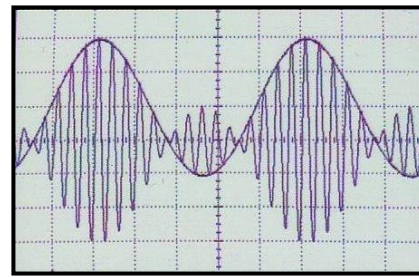
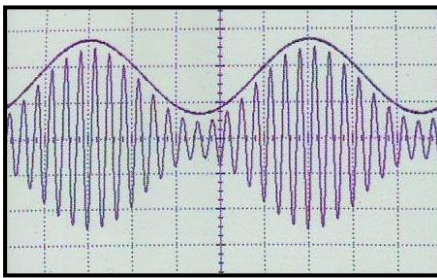


b. Qualité de la modulation, surmodulation :

Question : Observez les oscillogrammes ci-dessous et essayez de remplir le texte ci-dessous :

C'est la tension de décalage U_0 qui joue un rôle important dans la qualité de la modulation :

Si jamais, on prend une tension de décalage **trop grande** ou bien si l'amplitude du signal modulant est **trop grande**, on voit, dans les oscillogrammes ci-dessous, que l'enveloppe de la tension modulée **ne reproduit pas** la forme de la tension modulante : on est en **surmodulation**.



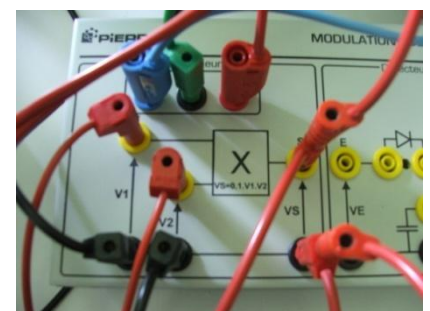
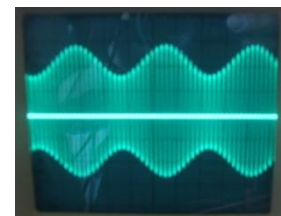
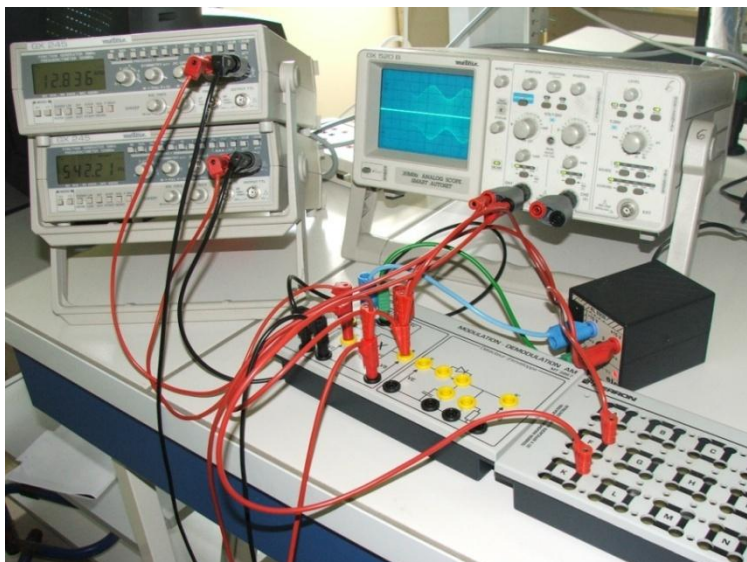
Le taux de modulation nous permet de repérer un cas de **surmodulation** :

* Modulation correcte si $U_0 > A_s \Leftrightarrow m = \frac{A_s}{U_0} < 1$

* Surmodulation si $U_0 \leq A_s \Leftrightarrow m = \frac{A_s}{U_0} \geq 1$

En résumé : pour obtenir une modulation de qualité, il faut que :

- ✓ le taux de modulation soit **inférieur** à 1 ($m < 1$) soit $U_0 > A_s$ (sinon il y a **surmodulation**).
- ✓ la fréquence f_p de la porteuse soit largement **supérieure (10 fois plus)** à celle de la tension modulante f_s .



II Démodulation : Utilisation du détecteur d'enveloppe :

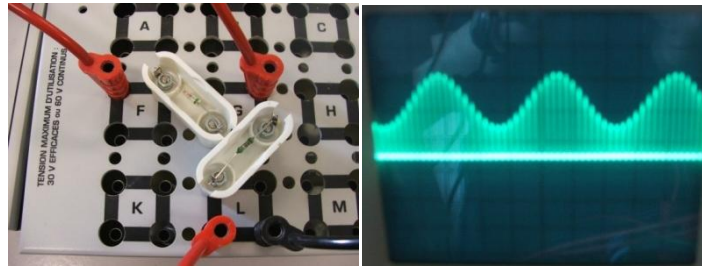
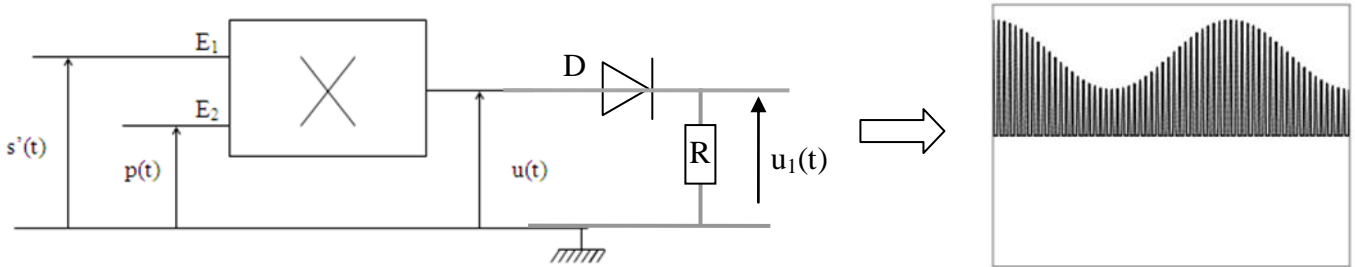
Comme nous l'avons dit en introduction, moduler un signal nous permet de transporter l'information, mais il faut être ensuite capable, à la réception, de décoder c'est-à-dire de démoduler le signal transmis pour récupérer l'information.

1) Le détecteur d'enveloppe :

a. 1^{er} étage :

La partie négative du signal modulé ne nous intéresse pas, puisqu'elle fait doublon avec la partie haute à un déphasage près, nous allons donc récupérer « le haut de l'enveloppe » du signal modulé.

- *Manipulation* : réalisez le montage suivant et dessinez la tension $u_1(t)$ que vous observez :
Diode D au germanium ; $R = 1k\Omega$



- *Explications* : en 2 ou 3 lignes, expliquez quel rôle joue la diode et la résistance :

La diode ne laisse passer le courant que dans un seul sens (sens passant donné par le sens du triangle) elle supprime donc la partie négative du signal modulé.

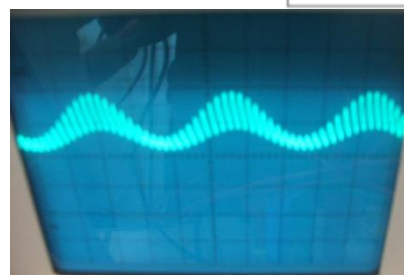
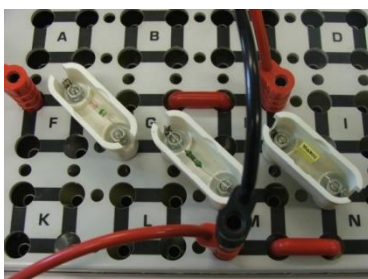
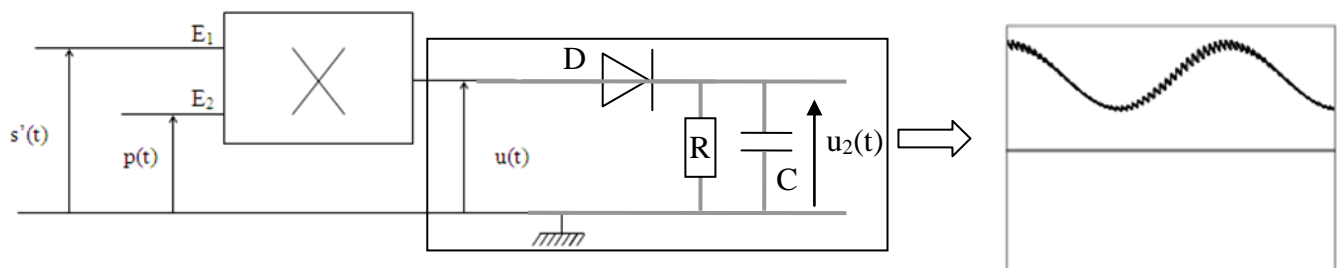
On dit que le signal a été redressé.

(la résistance R permet à la diode de conduire en basse fréquence).

b. 2^{ème} étage :

Avec celui-ci, on veut supprimer la porteuse, donc éliminer en quelques sortes les hautes fréquences pour ne garder que la fréquence du signal modulant. C'est le rôle du condensateur C mis en parallèle avec la résistance R.

- *Manipulation* : réalisez le montage suivant et dessinez la tension $u_2(t)$ que vous observez :
 $C = 100nF$



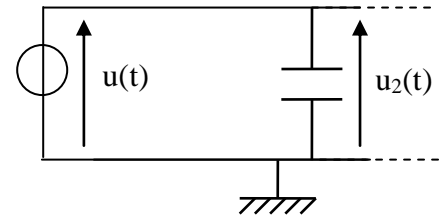
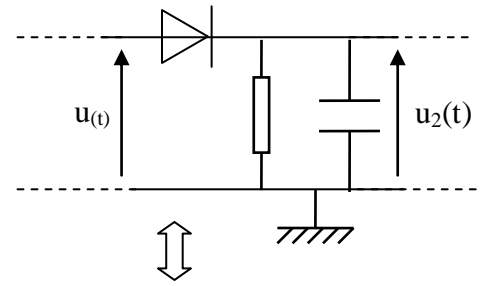
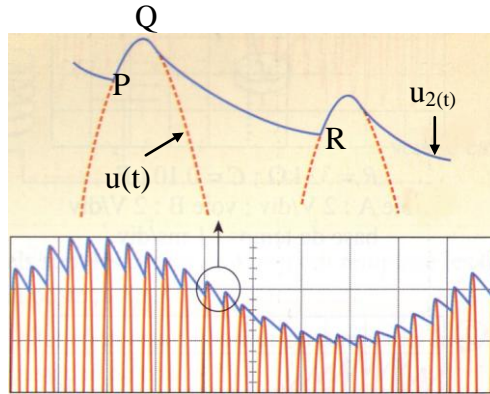
➤ **Explications :**

Même si nous décomposons la fonction du montage encadré ci-dessous (détecteur d'enveloppe) en deux étages, il convient d'expliquer plutôt son fonctionnement dans son ensemble :

1. Lorsque la tension $u(t)$ à l'entrée du détecteur d'enveloppe est supérieure à la tension de sortie $u_2(t)$, la diode D est passante et le condensateur C va se charger instantanément (constante de temps pratiquement nulle car pas de résistance en série avec le condensateur) :

On pourrait alors représenter ce détecteur d'enveloppe par le schéma ci-contre :

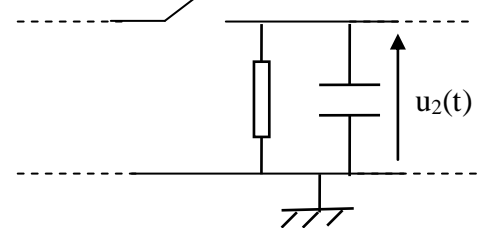
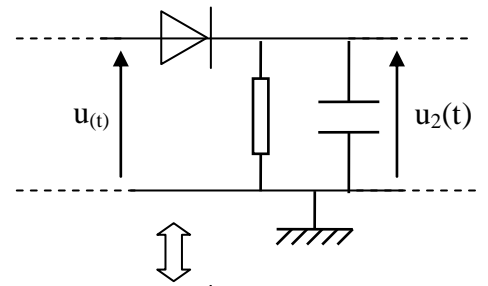
Ainsi la tension $u_2(t)$ suit la montée de la tension modulée $u(t)$ ($u_2(t) = u(t)$) : **portion PQ du schéma ci-dessous :**



2. Lorsque la tension $u(t)$ est inférieure à la tension $u_2(t)$, la diode D est bloquée, le condensateur C va se décharger dans la résistance R avec la constante de temps $\tau = RC$, jusqu'à ce que l'on repasse au cas où $u(t) > u_2(t)$.

On pourrait alors représenter le détecteur d'enveloppe par le schéma ci-contre :

Ainsi la tension $u_2(t)$ ne suit pas la descente de la tension modulée $u(t)$: **portion QR du schéma ci-dessus.**



En répétant 1. et 2. à chaque crête du signal modulé, on réalise la détection de l'enveloppe de ce signal, on récupère donc à la tension de décalage près, la forme du signal modulant.

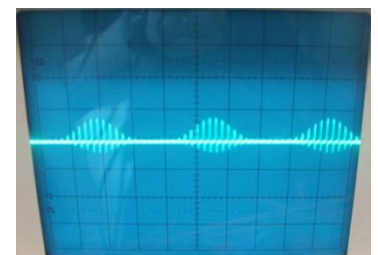
c. Comment choisir les composants pour une bonne détection :

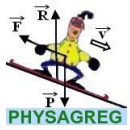
- **Manipulation 1 :** réalisez la détection d'enveloppe avec une diode D au germanium ($U_{seuil} = 0.4V$) ou une diode D au silicium ($U_{seuil} = 0.6V$).

Dessinez les deux signaux obtenus et concluez quand au choix de la diode D .



Seule la diode au germanium (photo de gauche) est capable de redresser correctement le signal modulé. Avec la diode au silicium, il y a un « écrasement » du signal (photo de droite).





➤ **Manipulation 2 :**

Pour chaque cas ci-dessous, calculez $\tau = RC$ et comparez-la avec T_p (période de la porteuse) et T_s (période du signal à transmettre) et précisez la qualité ou le défaut constaté du détecteur d'enveloppe.

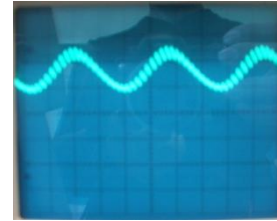
$$T_p = 1 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$T_s = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$$

- ✓ 1^{er} cas : $R = 4,7 \text{ k}\Omega$; $C = 100 \text{ nF}$; $\tau = 4.7 \times 10^{-4} \text{ s}$: comparaison : $T_p < \tau < T_s$

Observations :

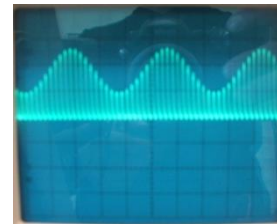
L'enveloppe semble avoir été correctement détectée, on retrouve la forme du signal modulant



- ✓ 2^{ème} cas : $R = 1 \text{ k}\Omega$; $C = 10 \text{ nF}$; $\tau = 1 \times 10^{-5} \text{ s}$: comparaison : $\tau < T_p < T_s$

Observations :

La constante de temps est trop petite, le condensateur se décharge trop rapidement et suit les variations de la porteuse : on ne détecte pas l'enveloppe.



- ✓ 3^{ème} cas : $R = 100 \text{ k}\Omega$; $C = 100 \text{ nF}$; $\tau = 1 \times 10^{-2} \text{ s}$: comparaison : $T_p < T_s < \tau$

Observations :

La constante de temps est trop grande, le condensateur se décharge trop lentement et ne reproduit pas l'enveloppe donc le signal modulant.

Voir schéma qualité modulation

2) Elimination de la composante continue : utilisation d'un filtre passe haut :

On vient donc de détecter l'enveloppe du signal modulé, qui a la forme du signal modulant.

Il ne reste plus qu'à supprimer ce que l'on appelle la composante continue, c'est-à-dire la tension d'offset que nous avons rajoutée à $s(t)$ avant l'entrer dans le multiplieur.

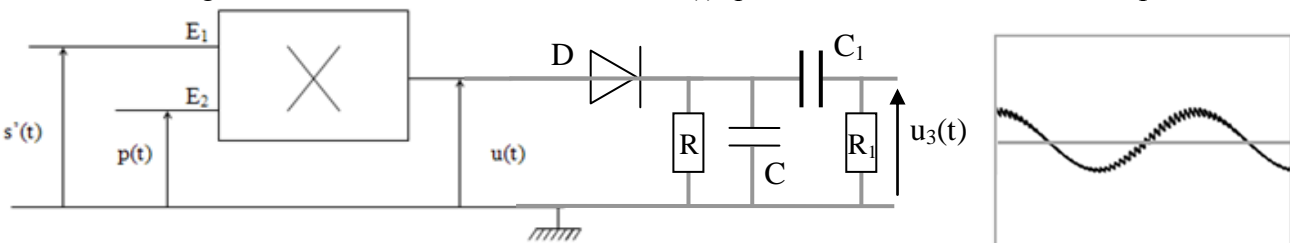
Montage :

On rajoute alors un étage au montage de démodulation composé d'un condensateur C_1 en série avec une résistance R_1 . La tension de sortie $u_3(t)$ est visualisée aux bornes de cette résistance :

$$C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F} \text{ et } R_1 = 33 \text{ k}\Omega.$$

➤ **Manipulation :**

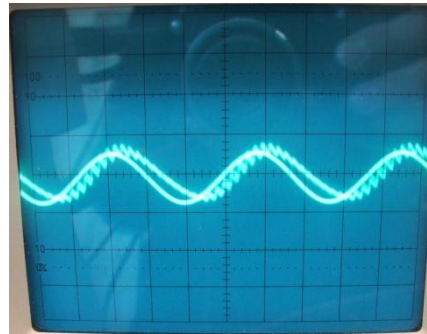
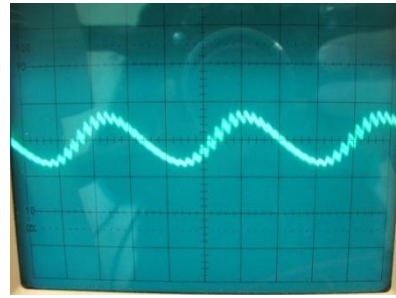
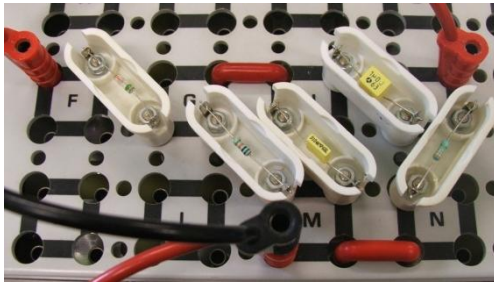
Montez le montage ci-dessous et dessinez la tension $u_3(t)$ que vous observez à l'oscilloscope.



➤ **Explications :**

Si on calcule la constante de temps du dipôle $R_1 C_1$, on obtient $\tau_1 = 3.3 \times 10^{-2} \text{ s}$. Cette constante de temps correspond à une fréquence $f_1 = 30 \text{ Hz}$.

Ainsi le filtre passe haut laisse passer toutes fréquences supérieures à f_1 et atténue les basses fréquences y compris la composante continue.



Comparaison du signal final
avec le signal modulant