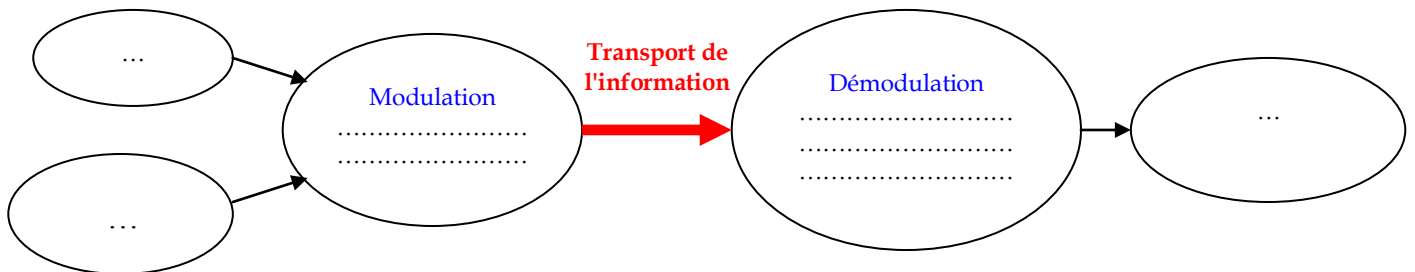


PRODUIRE DES SIGNAUX 2 : **MODULATION ET DEMODULATION D'AMPLITUDE**

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.

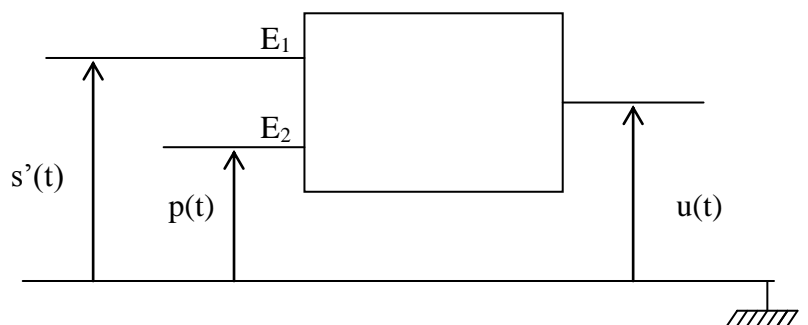
I Modulation d'une porteuse : utilisation d'un multiplieur :

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 :

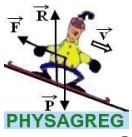
$$s'(t) = U_0 + A_s \times \cos(2\pi f_s \times t)$$

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 :

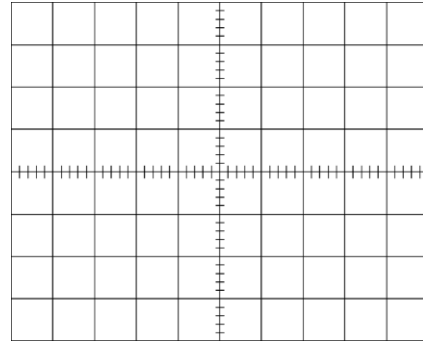
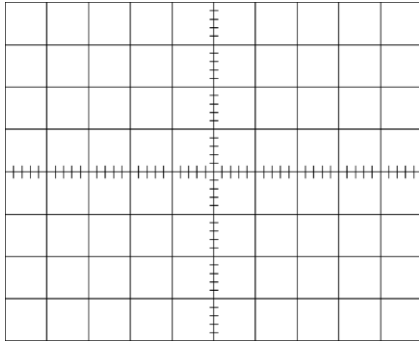
$$p(t) = A_p \times \cos(2\pi f_p \times t)$$

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 $f_p = 10 \text{ kHz}$.

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



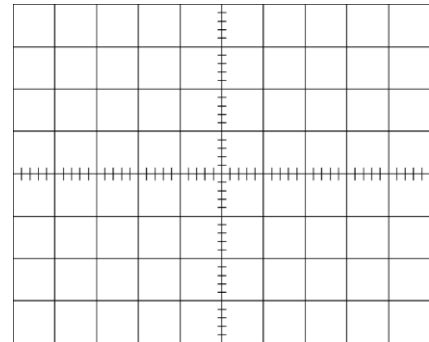
➤ Forme mathématique du signal modulé :

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

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

- 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.

- Question* : dessinez le signal obtenu : \longrightarrow



Remarque :

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

$$u(t) =$$

$$\Leftrightarrow u(t) =$$

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

- 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 :

$$u(t) = A [1 + m \cos(2\pi f_s \times t)] \cos(2\pi f_p \times t) \text{ avec } A = \dots \text{ et } m = \dots,$$

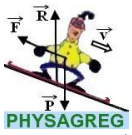
m étant appelé taux de modulation.

➤ Développons $u(t)$:

$$u(t) =$$

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

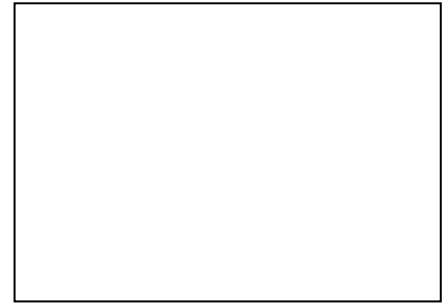
D'où $u(t) =$



➤ Spectre en fréquence :

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

.....
.....

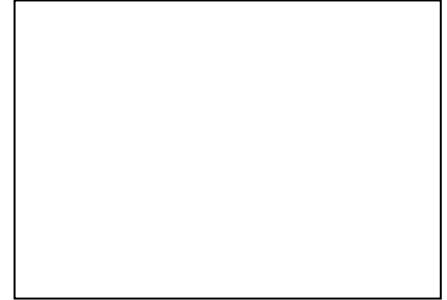


Rq :

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 :

.....
.....

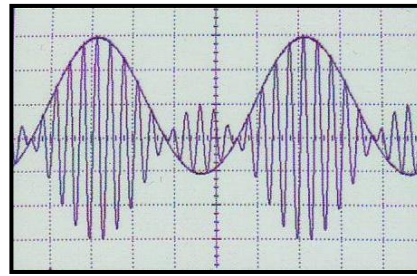
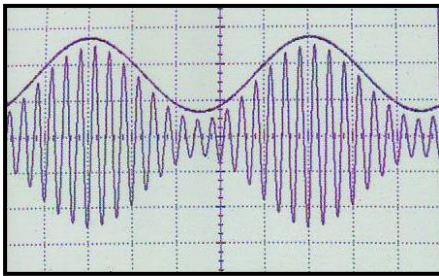


b. Qualité de la modulation, surmodulation :

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 ou bien si l'amplitude du signal modulant est, on voit, dans les oscillogrammes ci-dessous, que l'enveloppe de la tension modulée la forme de la tension modulante : on est en



Le taux de modulation nous permet de repérer un cas de

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

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

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

- ✓ le taux de modulation soit à 1 ($m < 1$) soit (sinon il y a
- ✓ la fréquence f_p de la porteuse soit largement (.....) à celle de la tension modulante f_s .

II Démodulation : Utilisation du détecteur d'enveloppe :

Comme nous l'avons dit en introduction, modulé 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.

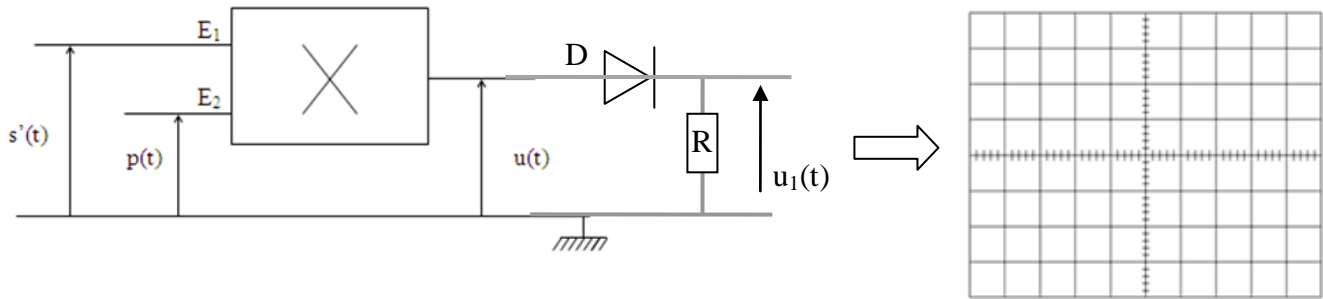
1) Le détecteur d'enveloppe :

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 :

.....

.....

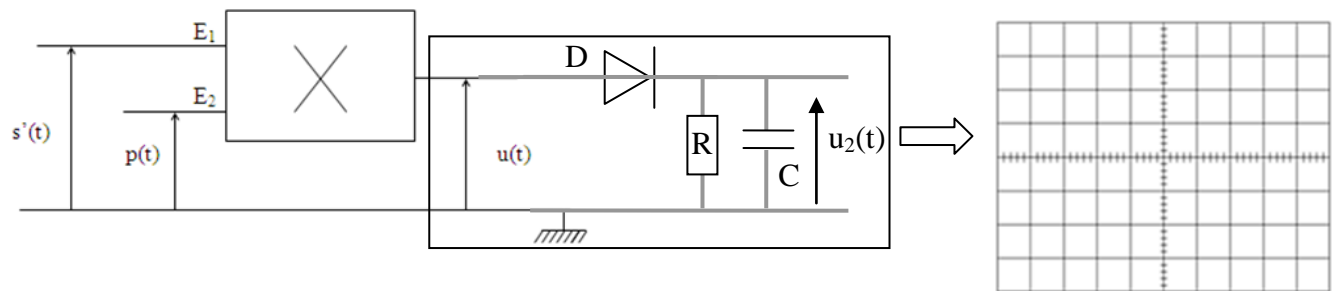
.....

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 $u_2(t)$ vous observez :

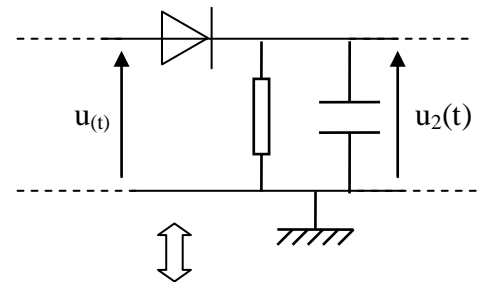
$C = 100\text{nF}$



➤ *Explications* :

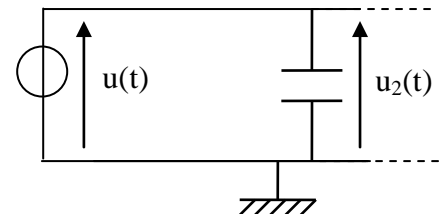
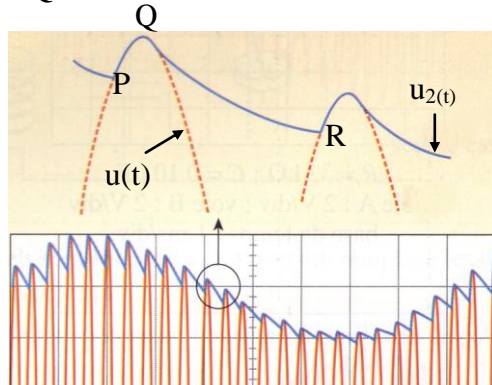
Même si nous décomposons la fonction du montage encadré ci-dessous (détecteur d'enveloppe) en deux étages, il convient d'expliquer plutôt son fonctionnement dans son ensemble :

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 :

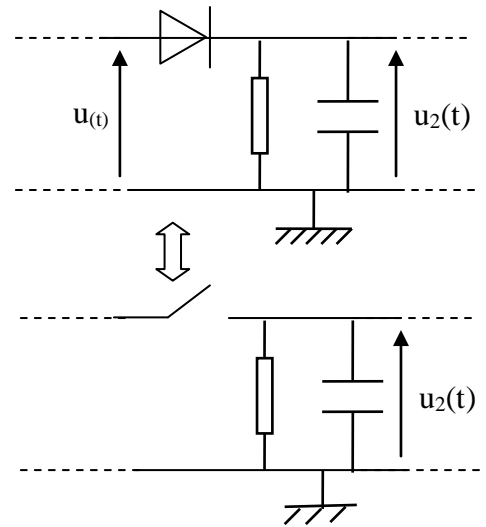
Ainsi la tension $u_2(t)$ suit la montée de la tension modulée $u(t)$ ($u_2(t) = u(t)$) : **portion PQ du schéma ci-dessous :**



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 :

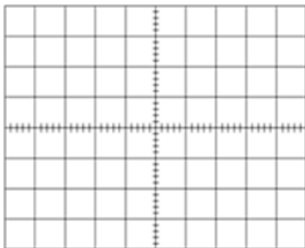
Ainsi la tension $u_2(t)$ ne suit pas la descente de la tension modulée $u(t)$: **portion QR du schéma ci-dessus.**



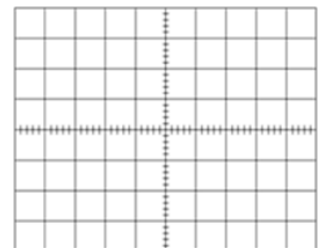
En répétant 1. et 2. à chaque crête du signal modulé, on réalise la détection de l'enveloppe de ce signal, on récupère donc à la tension de décalage près, la forme du signal modulant.

c. Comment choisir les composants pour une bonne détection :

- *Manipulation 1* : réalisez la détection d'enveloppe avec une diode D au germanium ($U_{\text{seuil}} = 0.4V$) ou une diode D au silicium ($U_{\text{seuil}} = 0.6V$).
Dessinez les deux signaux obtenus et concluez quand au choix de la diode D .



.....
.....
.....
.....



➤ *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.

$T_p =$

$T_s =$

- ✓ 1^{er} cas : $R = 4,7 \text{ k}\Omega$; $C = 100 \text{ nF}$; $\tau =$: comparaison :

Observations :

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

Observations :

- ✓ 3^{ème} cas : $R = 100 \text{ k}\Omega$; $C = 100 \text{ nF}$; $\tau =$ s : comparaison :

Observations :

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.

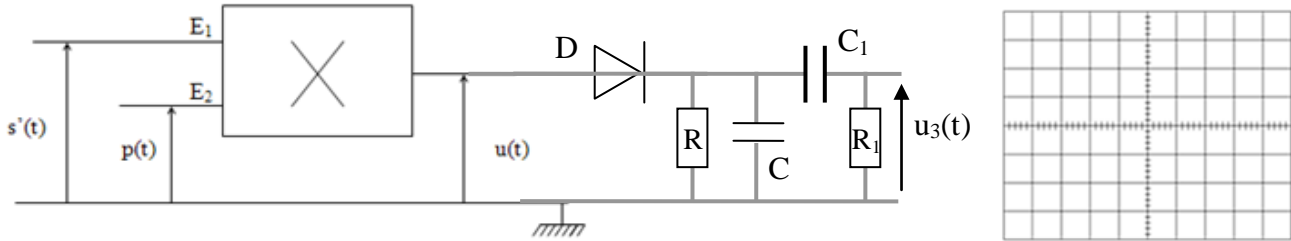
Montage :

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 :

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

➤ *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_1C_1 , on obtient $\tau_1 = \dots\dots\dots$. Cette constante de temps correspond à une fréquence $f_1 = \dots\dots\dots$.

.....
.....