

# **TP 02 : Principe de modulation démodulation d'amplitude (AM)**

*TP Fonction de l'Électronique*

Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	3
<b>I - Étude théorique</b>	4
1. Modulation démodulation AM double bande avec porteuse (DSB) .....	5
1.1. Modulation .....	5
1.2. Démodulation .....	6
2. Modulation démodulation double bande à porteuse supprimé (DBL-SC) .....	9
2.1. Modulation .....	9
2.2. Démodulation .....	9
<b>II - Manipulation</b>	10
1. Réalisation de la modulation / démodulation DSB: .....	10
2. Réalisation de la modulation / démodulation DSB-SC: .....	11

# Objectifs

- Moduler un signal en amplitude avec l'équation.
- Maîtriser en pratique la modulation à DSB et DSB-SC.
- Démoduler un signal par redressement et filtrage.
- Étudier le taux de modulation.

# Étude théorique



L'information à transmettre est contenue dans un signal électrique  $V_s(t)$  de basse fréquence. Pour le transporter, on utilise une « onde porteuse » de haute fréquence. L'amplitude de l'onde porteuse est modulée par le signal électrique de basse fréquence. Ceci est effectué par un modulateur.

# 1. Modulation démodulation AM double bande avec porteuse (DSB)

## 1.1. Modulation

La tension modulée  $V_m(t)$  à la sortie du multiplicateur est :  $V_m(t) = k * V_s(t) * V_p(t) + V_p(t)$

Avec  $k$  : gain du multiplicateur et  $V_p(t)$  porteuse,  $V_s(t)$  modulante et  $V_m(t)$  modulée.

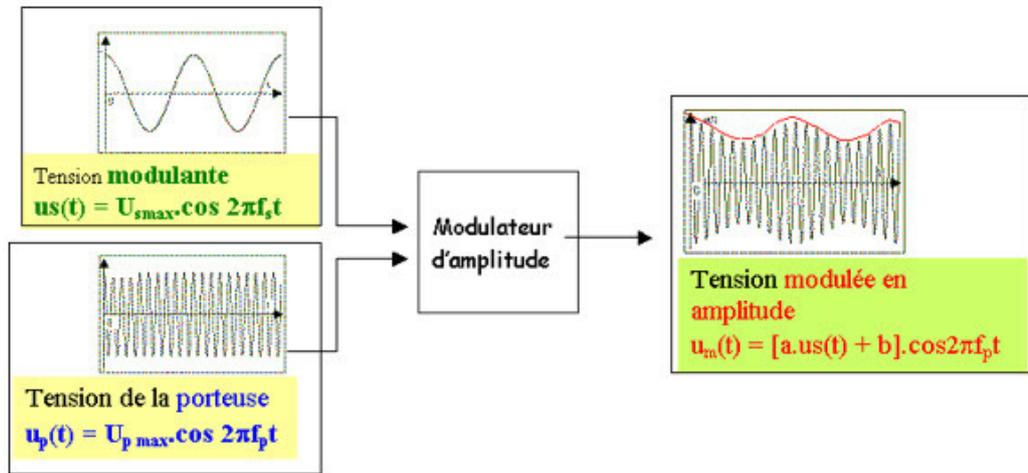


Figure 1 : Modulation Double bande latérale avec porteuse

### Complément

$$V_m(t) = (U_p * k * V_s(t) + U_p) * \cos(2 * \pi * f_p * t)$$

$$V_m(t) = U_p * (M * \cos(2 * \pi * f_s * t) + 1) * \cos(2 * \pi * f_p * t)$$

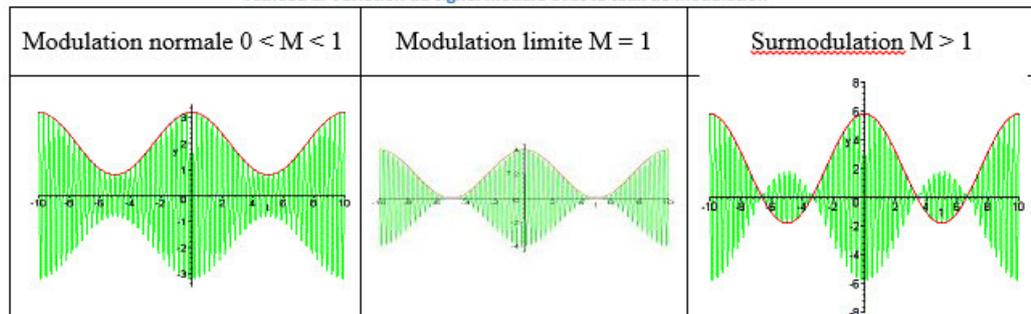
### Fondamental : Taux de modulation

$M = k * U_s$ , avec  $k$  le gain du multiplicateur.

Le taux de modulation idéale pour pouvoir démoduler le signal est  $0 < M < 1$ .

Le taux de modulation peut se calculer aussi comme suite :  $M = \frac{(U_m \text{ max} - U_m \text{ min})}{(U_m \text{ max} + U_m \text{ min})}$

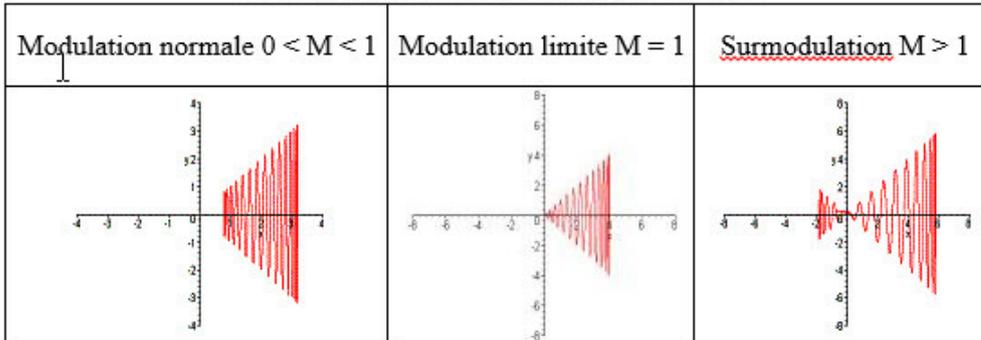
Tableau 1: Variation du signal modulé avec le taux de modulation



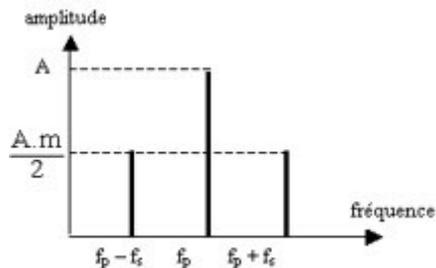
**Complément : En mode XY : méthode du "trapèze"**

Pour étudier la linéarité de la modulation d'amplitude, on visualise souvent à l'oscilloscope le trapèze de modulation. On l'obtient en connectant à l'oscilloscope dans le mode X-Y le signal modulant sur la voie X et le signal modulé sur la voie Y. La mesure de ces deux amplitudes permet de déterminer le coefficient de modulation.

**Tableau 2: variation de trapèze avec le taux de modulation**



**Remarque : Spectre en fréquence**



**Figure 2 : Spectre du signal modulé**

Lorsque la tension modulante et la porteuse sont des tensions sinusoïdales, de fréquences respectives  $f_s$  et  $f_p$ , la tension modulée en amplitude est la somme de 3 tensions sinusoïdales de fréquences  $f_p$ ,  $(f_p + f_s)$  et  $(f_p - f_s)$ . La tension modulée occupe la bande de fréquences  $(f_p - f_s ; f_p + f_s)$  une bande de fréquences de largeur minimale  $2 f_s$ , centrée en  $f_p$ , est nécessaire à la propagation et à la réception du signal à transmettre.

$$V_m(t) = U_p \cdot [M \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + 1] \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$$

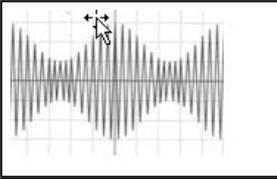
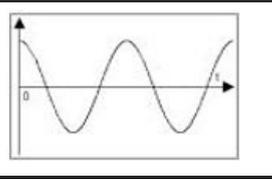
$$V_m(t) = U_p \cdot M \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) + U_p \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$$

$$V_m(t) = \frac{U_p \cdot M}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) + \frac{U_p \cdot M}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) + \frac{U_p \cdot M}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) + \frac{U_p \cdot M}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)$$

$$V_m(t) = U_p \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t) + \frac{U_p \cdot M}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p + f_s) \cdot t) + \frac{U_p \cdot M}{2} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_p - f_s) \cdot t)$$

**1.2. Démodulation**

La démodulation consiste à récupérer le signal informatif modulant qui est contenu dans la partie supérieure (ou inférieure) de l'enveloppe du signal modulé en amplitude.

On reçoit le signal $U_m(t)$	On veut récupérer le signal $U_s(t)$
	
Tension modulée en amplitude : $V_m(t) = (U_p \cdot k \cdot V_s(t) + U_p) \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_p \cdot t)$	Tension modulante : $V_s(t) = U_s \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t)$

 **Remarque**

Pour un signal DSB, l'enveloppe de la sinusoïde porteuse n'est pas une sinusoïde, mais une forme quelconque qui dépend du message BF émis. La symétrie du signal est cependant conservée, la forme du message se retrouvant en partie supérieure et en partie inférieure.

 **Complément**

On notera que la présence du terme  $0 < m < 1$  a permis de maintenir l'enveloppe dans les ordonnées positives, ce qui rend possible sa détection avec un détecteur d'enveloppe classique (redressement et filtrage).

 **Méthode : Redressement du signal (Suppression de la partie négatif)**

La diode ne laisse passer que les arches positives de  $V_s(t)$ . On peut réaliser le redressement Mono alternance soit par une simple diode ou un pont de diode double alternance

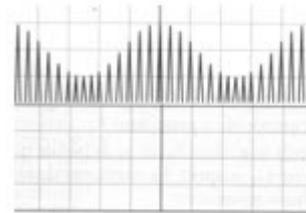


Figure 3 : Signale modulé  $V_m(t)$  redressé

 **Méthode : Filtrage du signal redressé (Suppression de la porteuse)**

L'association (R1C1) en parallèle constitue un filtre passe bas restituant l'enveloppe de  $V_s(t)$  par élimination des HF (signal porteur).

Partie PQ : Quand la tension modulée  $V_m(t)$  est supérieure à la tension ( $V_c$ ) la diode est passante et le condensateur C1 se charge de façon quasi-instantanée (puisque'il se charge au travers de la résistance de la diode, pratiquement nulle) : la tension  $V_c(t)$  augmente avec la tension  $V_m(t)$ .

Partie QR : Quand la tension modulée commence à décroître, la tension  $V_c(t)$  devient supérieure à  $V_m(t)$ . La diode est bloquée (car la tension à ses bornes est négative), donc elle se comporte comme un interrupteur ouvert et le condensateur se décharge dans la résistance R1. Cette décharge se poursuit jusqu'à ce que  $V_m(t)$  redevienne supérieure à  $V_c(t)$ . Pour réaliser une bonne démodulation c'est-à-dire pour que la tension  $V_c(t)$  reflète au mieux la tension modulante, il faut que :  $T_s > \tau_1 \gg T_p$ .  $\tau_1 = R1 * C1$ . Constate de temps de décharge.

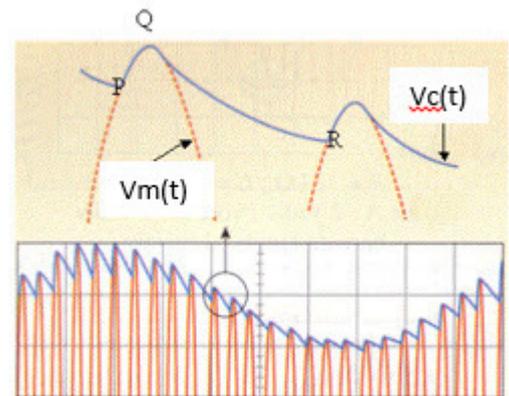


Figure 4 : Filtrage de du signale  $V_m(t)$  redressé

 *Remarque : Élimination de la composante continue filtre passe Haut*

---

L'association (R2C2) en série constitue un filtre passe-haut qui ne laisse passer que les hautes fréquences : la composante continue  $U_0$  due à la tension d'offset va pouvoir être éliminée. *Ici la composante continue est considérée comme un signal basse fréquence.*

## 2. Modulation démodulation double bande à porteuse supprimé (DBL-SC)

### 2.1. Modulation

Pour augmenter l'efficacité en puissance de l'émission, la porteuse peut être éliminée grâce à un modulateur équilibré, c'est la DSB-SC (suppressed carrier double sideband), modulation d'amplitude à porteuse supprimée, peu utilisée sauf en multiplex de deux bandes latérales indépendantes.

$$V_m(t) = k * V_s(t) * V_p(t)$$

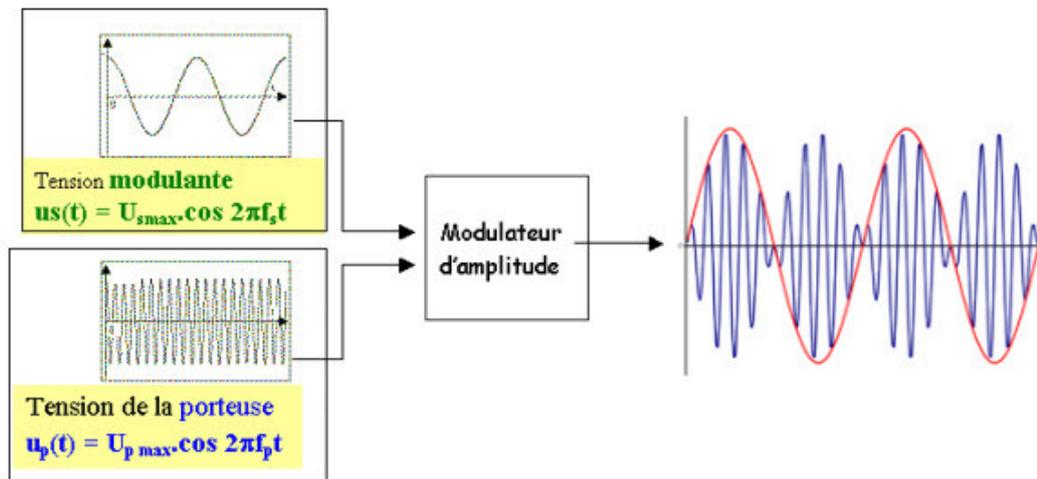


Figure 5 : Modulation Double bande latérale sans porteuse

### 2.2. Démodulation

La DSB-SC ne permet pas de restituer la phase du signal, il faut une porteuse résiduelle pour restituer exactement la porteuse à la démodulation : c'est le but de la DSB-RC (reduced carrier double sideband), modulation d'amplitude à porteuse réduite.

Le filtre est de type passe haut permet d'éliminer la porteur dont sa fréquence de coupure se calcule comme

suite :  $f_c = \frac{1}{(2 * \pi * R1 * C1)}$

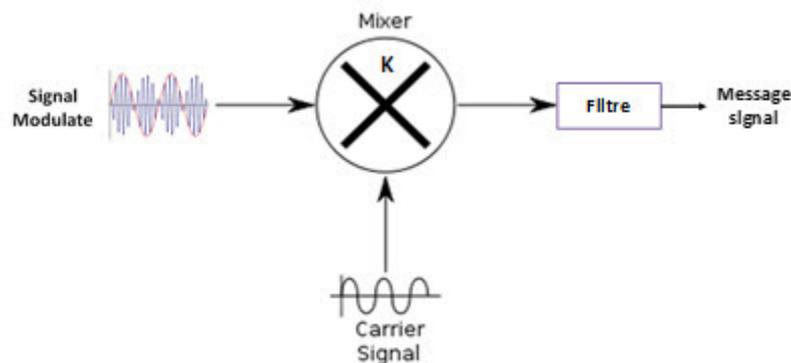


Figure 6 : Démodulation AM DSB-SC

# Manipulation

II

## 1. Réalisation de la modulation / démodulation DSB:

### Modulation

Réaliser le schéma ci-dessous

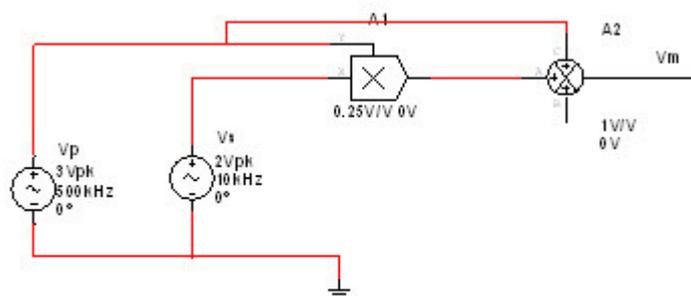


Figure 7: Modulation AM BSD

### Remarque

$V_p$  représente le signal de la porteuse avec sa fréquence et son amplitude.

$V_s$  représente la tension du signal avec sa fréquence et son amplitude.

### Méthode : Signale $V_m(t)$

Le circuit permet d'obtenir le signal  $V_m(t)$  en multipliant  $V_s(t)$  avec  $V_p(t)$  et en rajoutant la porteuse  $V_p(t)$  à la somme

### Remarque : Taux de modulation

Le taux de modulation se calcule de deux manières différentes :

1. En utilisant l'amplitude du signal  $V_s(t)$ .
2. En utilisant l'amplitude min et max du signal  $V_m(t)$ .

### Rappel : le gain $K$

Le taux de modulation est en fonction du gain  $k$ . parce qu'il y a une relation entre  $k$  et  $M$  selon la formule  $V_s(t)$

## Le spectre

Le spectre permet d'obtenir les fréquences présentes dans le signal modulé  $V_m(t)$ . Ainsi il nous permet de définir l'intervalle de la bande passante, qui doit contenir tous les fréquences présentes dans le spectre.

### ⚠ Attention

La porteuse doit présenter une fréquence très supérieure à celle du signal pour avoir une bonne modulation.

### 🔧 Conseil : Bonne modulation

Pour obtenir une bonne modulation nous avons deux conditions :

- La condition du taux de modulation.
- La condition de différence de fréquences entre le signal et la porteuse

### 🌸 Fondamental : Formulation de la modulation ABM Voltage

La formule pour obtenir une modulation avec ABM Voltage :

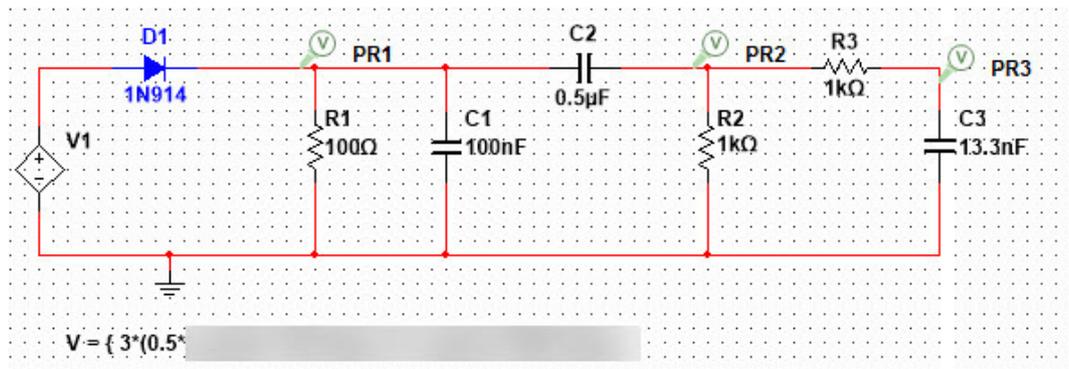
$$V_m(t) = U_p * (M * \cos(2 * \pi * f_s * t) + 1) * \cos(2 * \pi * f_p * t)$$

$t$  devient *time*,  $\pi$  devient *pi* et on remplace les variables par leurs valeurs à savoir  $U_p$ ,  $f_s$ ,  $f_p$ .

On doit écrire uniquement la formule dans ABM Voltage sans le terme  $V_m(t) =$

## Démodulation

Le circuit proposé pour la démodulation qui détecte l'enveloppe, supprime la porteuse et élimine la composante continue est le suivant.



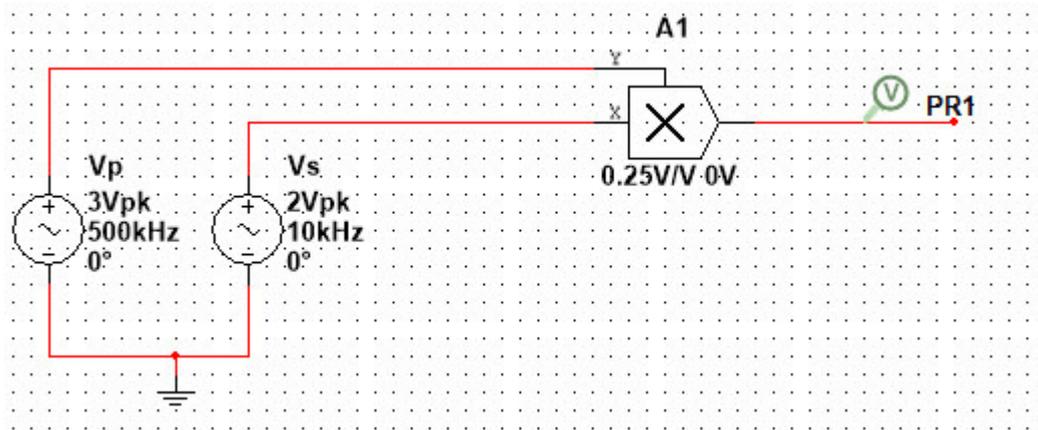
Visualiser la tension de l'entrée, C1, R2 et C3.

Visualiser le signal de C1 pour différentes valeurs 2μF et 5nF

## 2. Réalisation de la modulation / démodulation DSB-SC:

### Modulation

Réaliser le montage ci-dessous avec les mêmes conditions de la modulation DSB.



**Méthode : Signale  $V_m(t)$**

Le circuit permet d'obtenir le signal  $V_m(t)$  en multipliant  $V_s(t)$  avec  $V_p(t)$ .

*Le spectre*

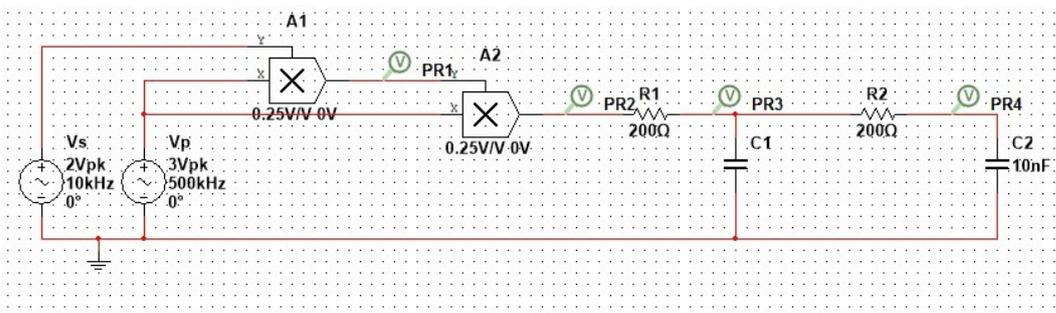
Le spectre permet d'obtenir les fréquences présentes dans le signalé modulé  $V_m(t)$ . Ainsi il nous permet de définir l'intervalle de la bande passante, qui doit contenir tous les fréquences présentes dans le spectre.

**Attention**

La porteuse doit présenté une fréquence très supérieure à celle du signal pour avoir une bonne modulation.

*Démodulation*

Réaliser le montage ci-dessous avec les mêmes conditions de la modulation DSB.



**Remarque**

La porteuse résiduelle utilisé pour la démodulation c'est la même qu'utilisé pour la modulation.

**Attention**

Le filtre àpre le multiplieur permet de supprimer la porteuse et restitue le signalé  $V_s(t)$ .

La fréquence de coupure du filtre doit être choisi de telle façon quelle filtre la fréquence de la porteuse qui est de 500 kHz et laisse passer la fréquence du signalé qui est de de 10 kHz.

**X** *Méthode : Calcul de C1*

---

La valeur du condensateur se calcule avec la formule de la fréquence de coupure du filtre

$$f_c = \frac{1}{(2 * \pi * R1 * C1)}, \text{ avec } R1=200 \Omega$$