

## TP 08

### Détection hétérodyne : mesure de vitesse par décalage Doppler

**Principe de l'étude** : soit  $E$  un émetteur générant une onde sinusoïdale de fréquence d'émission  $f_{em}$  selon la direction donnée par le vecteur  $\vec{u}$ . L'effet Doppler assure qu'un récepteur, en mouvement à la vitesse  $\vec{v}$  par rapport à la source, perçoit un signal de fréquence  $f_{rec}$  :

$$f_{rec} = f_{em} \left( 1 - \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{c} \right) \text{ avec } c \text{ la célérité de l'onde}$$

La mesure de l'écart relatif de fréquence permet d'accéder à la vitesse du mobile.

Une méthode de détection dite « hétérodyne » repose sur le traitement de signaux de fréquences distinctes.

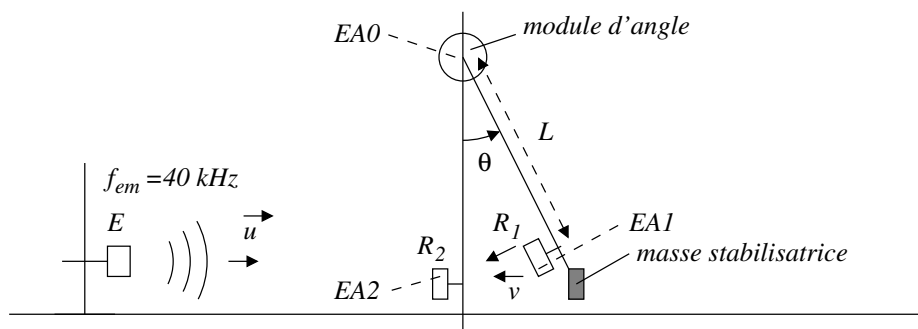
**Q.1** : On considère une source fixe qui émet des impulsions espacées de  $T_{em}$ . Le récepteur se déplace à la vitesse  $v$  constante en direction de la source. Les ondes se propagent à la célérité  $c$ .

Dans ce cas particulier, déterminer à l'aide d'un raisonnement la relation entre  $f_{em}$  et  $f_{rec}$ , la fréquence perçue par le récepteur.

Montrer que l'on retrouve dans ce cas particulier la formule de l'effet Doppler.

## 1 Présentation de l'expérience

L'émetteur  $E$ , fixe, génère une onde ultrasonore de fréquence  $f_{em} = 40 \text{ kHz}$ . Le récepteur  $R_2$  est fixe, le récepteur  $R_1$  est lié à une tige en rotation autour d'un axe fixe.



On enregistre les signaux suivants :

- EA0 : le module d'angle permet d'accéder à la mesure de l'angle  $\theta$  ;
- EA1 : signal reçu par le récepteur mobile  $R_1$  ;
- EA2 : signal reçu par le récepteur fixe  $R_2$ .

L'enregistrement est déclenché lorsque  $R_1$  passe au voisinage de  $R_2$ , c'est à dire pour  $\theta \simeq 0^\circ$ , et ceci grâce à la voie EA0. L'enregistrement dure 20 ms et on prend des points toutes les  $1 \mu\text{s}$ .

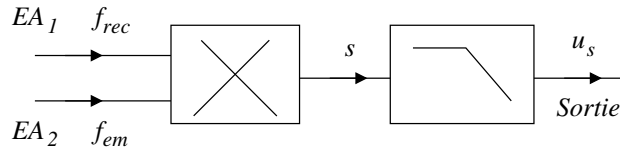
**Q.2** : Expliquer l'intérêt d'effectuer l'enregistrement lorsque les deux récepteurs sont voisins.

Peut-on considérer que la vitesse du récepteur  $R_1$  est constante lors de l'enregistrement ? On demande un critère quantitatif.

## 2 Mesure hétérodyne

### 2.1 Principe de la méthode

Les signaux issus des deux récepteurs traversent un multiplieur puis un filtre passe-bas :



**Q.3 :** Montrer que la fréquence du signal en sortie du filtre est proportionnelle à la vitesse du mobile  $R_1$ . Proposer une valeur pour  $f_c$  la fréquence de coupure du filtre passe-bas.

## 2.2 Traitement numérique

À l'aide de Latis-Pro, on crée la grandeur  $Prod = EA1 \times EA2$ .

On réalise alors un filtrage numérique dont le code est donné ci-dessous :

$$T_e = 1e-6$$

$$f_e = 1/T_e$$

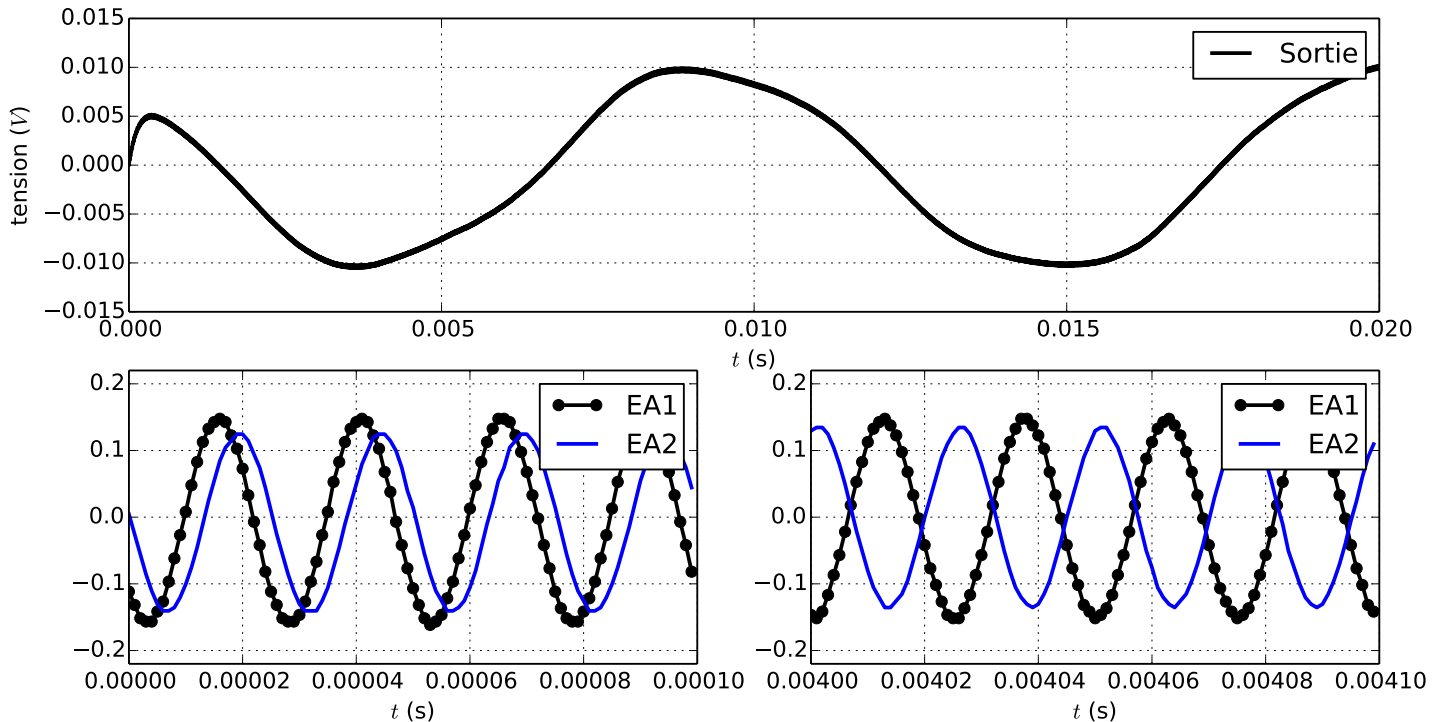
$$f_c = 1000$$

$$\text{tau} = 1/(2 \times 3.14 \times f_c)$$

$$\text{Sortie} = \text{Table}(0)$$

$$\text{Sortie} = \text{Sortie}[n - 1] + \frac{T_e}{\text{tau}} \times (\text{Prod}[n - 1] - \text{Sortie}[n - 1])$$

Le résultat des enregistrements est fourni sur les courbes ci-dessous :



**Q.4 :** Commenter le code proposé pour le filtrage.

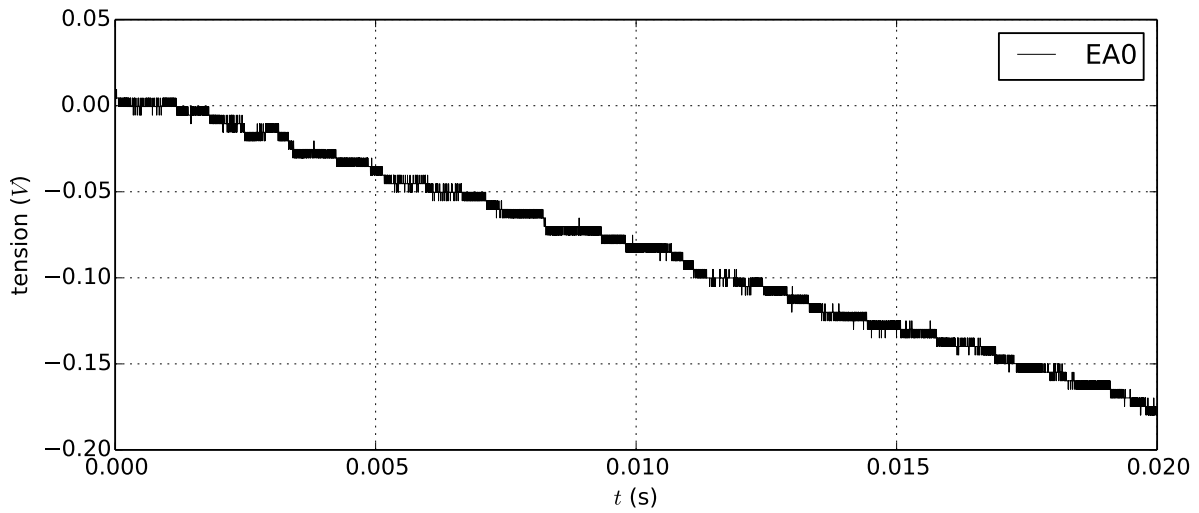
**Q.5 :** Commenter les courbes obtenues. En déduire la vitesse du récepteur  $R_1$ .

## 2.3 Mesure directe de la vitesse

Le suivi de la position angulaire de la tige grâce au capteur « module d'angle » permet d'accéder à la vitesse angulaire et par suite à la vitesse du récepteur  $R_1$  dont on rappelle qu'il est fixé à  $L = 54$  cm de l'axe de rotation.

La notice du capteur indique que la tension de sortie (ici  $EA0$ ) est proportionnelle à l'angle  $\theta$  que fait la tige avec la verticale et qu'un angle de  $45^\circ$  est associé à une tension de 5,0 V.

La figure ci-après représente  $EA0$  au cours du temps pour l'expérience précédemment réalisée.



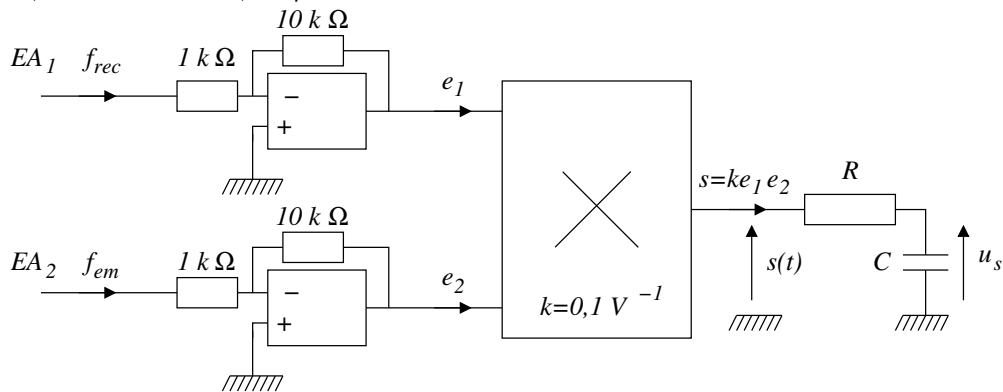
**Q.6 :** Déterminer la vitesse du récepteur  $R_1$  à l'aide des données et de la courbe. Comparer avec la mesure hétérodyne.

## 2.4 Traitement analogique

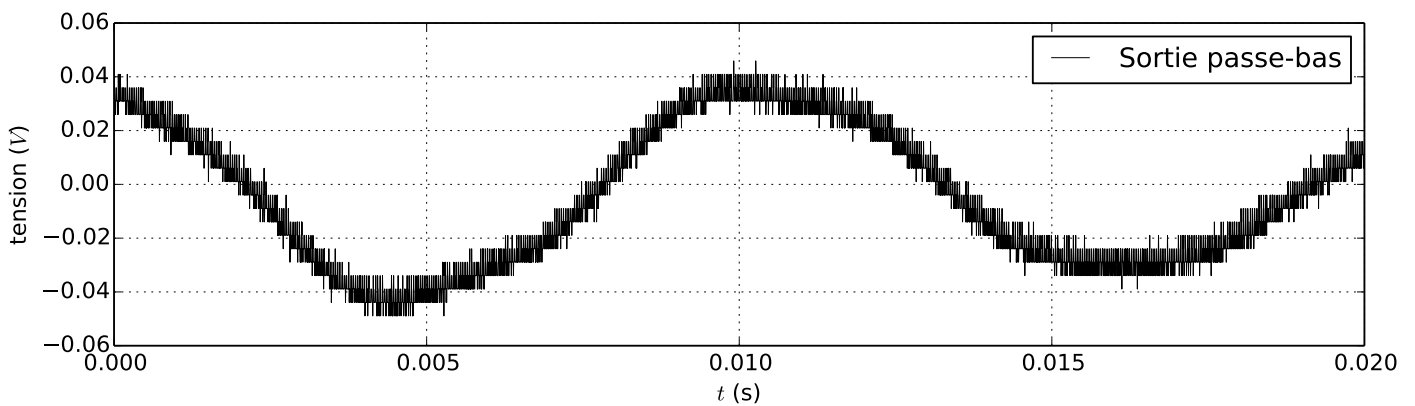
Pour le traitement analogique, les signaux des récepteurs sont envoyés sur le multiplieur analogique puis sur un filtre passe-bas selon le montage de la page suivante.

**Q.7 :** Quelle est la fonction des ALI dans le montage ?

On retient  $R = 1,0 \text{ k}\Omega$  et  $C = 0,16 \text{ }\mu\text{F}$ . Justifier.



À titre d'information, on donne la tension en sortie du filtre passe-bas.



**Q.8 :** En déduire la vitesse du récepteur  $R_1$  pour cette nouvelle expérience.