

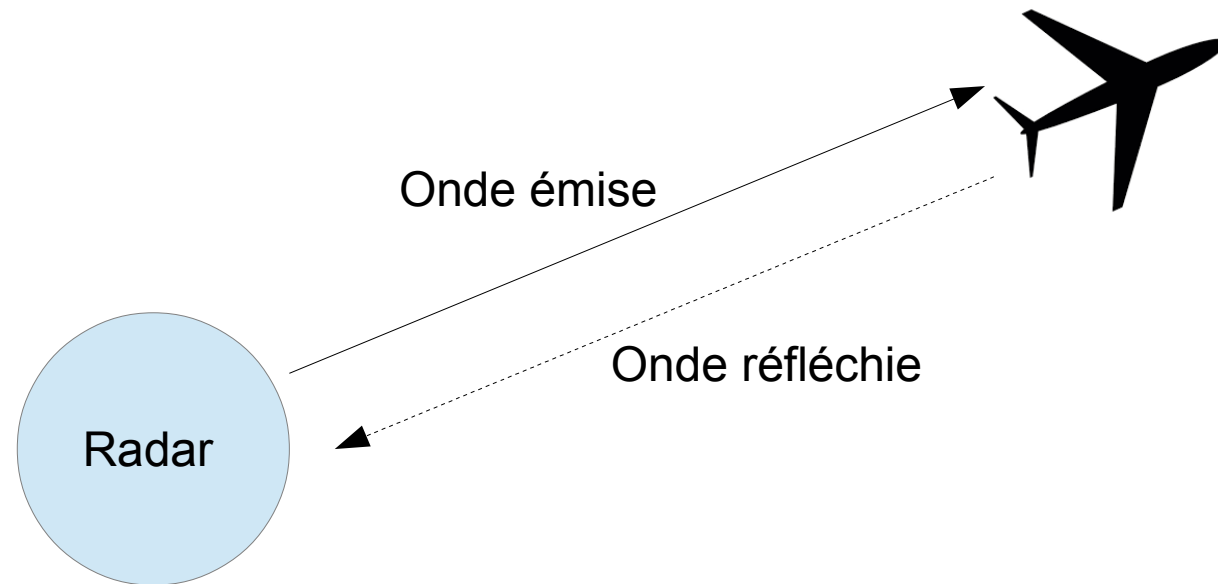
L'invisibilité moderne : rendre des surfaces indétectables au radar

Comment rendre un objet invisible pour un radar

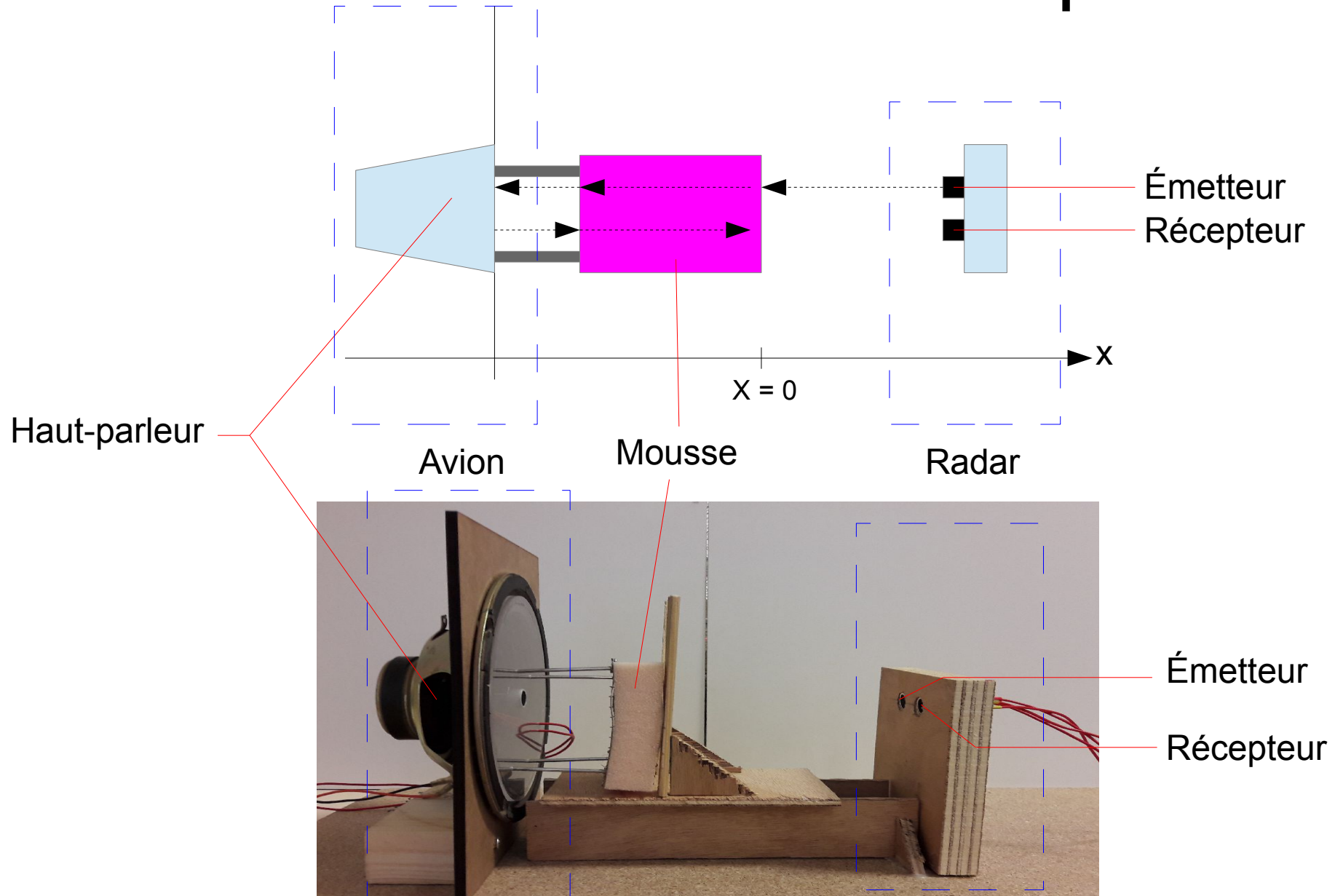
- I. Principe de fonctionnement d'un radar
- II. Modélisation du dispositif
- III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle
- IV. Maquette
- V. Critique du modèle
- VI. Conclusion



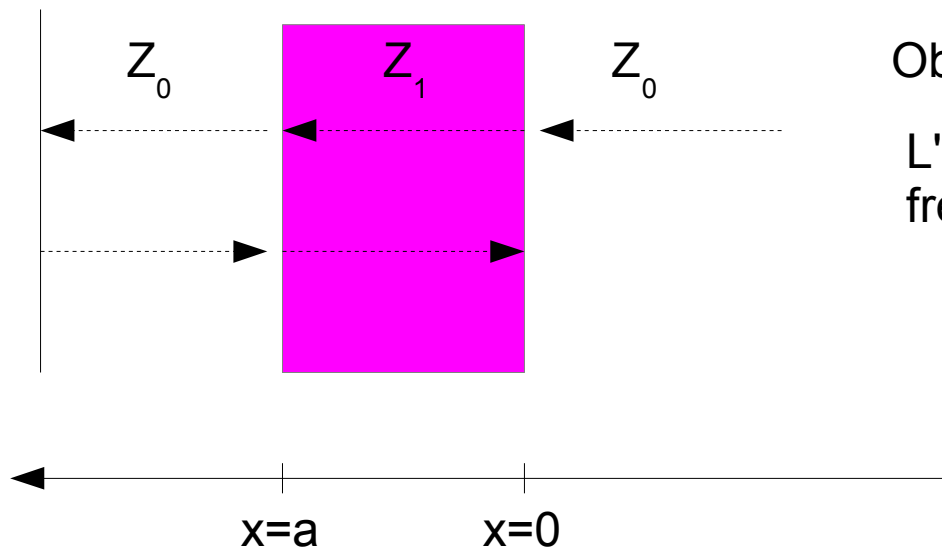
I. Principe de fonctionnement d'un radar



II. Modélisation du dispositif



II. Modélisation du dispositif



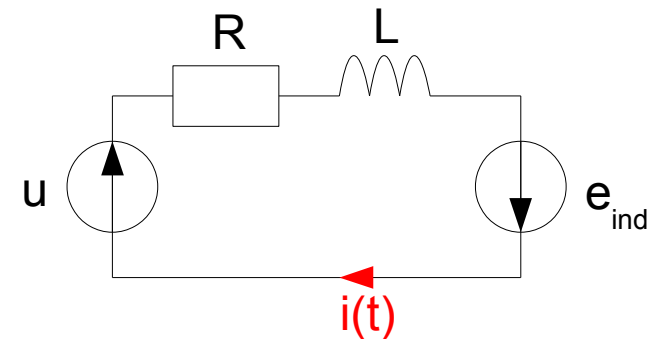
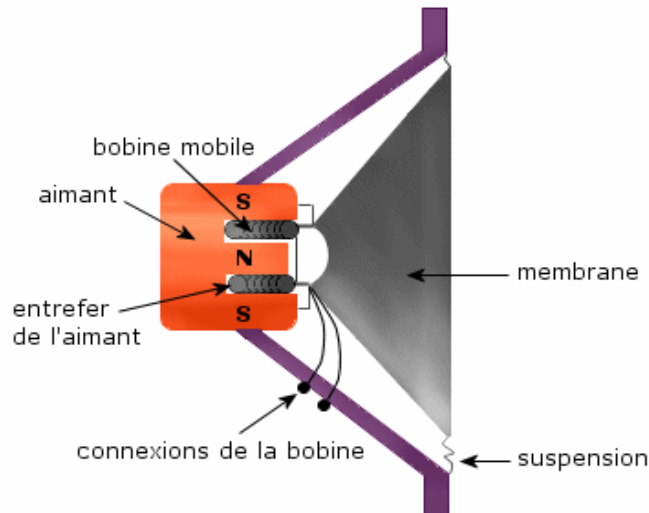
Objectif : pas d'onde réfléchiée en $x < 0$

L'épaisseur de la mousse est variable avec la fréquence des ondes envoyées par le radar

Hypothèses : - milieu non dispersif
- approximation acoustique

$$a_n = \frac{nc}{2f}$$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle



$$R = 6,53 \pm 0,03 \, \Omega$$

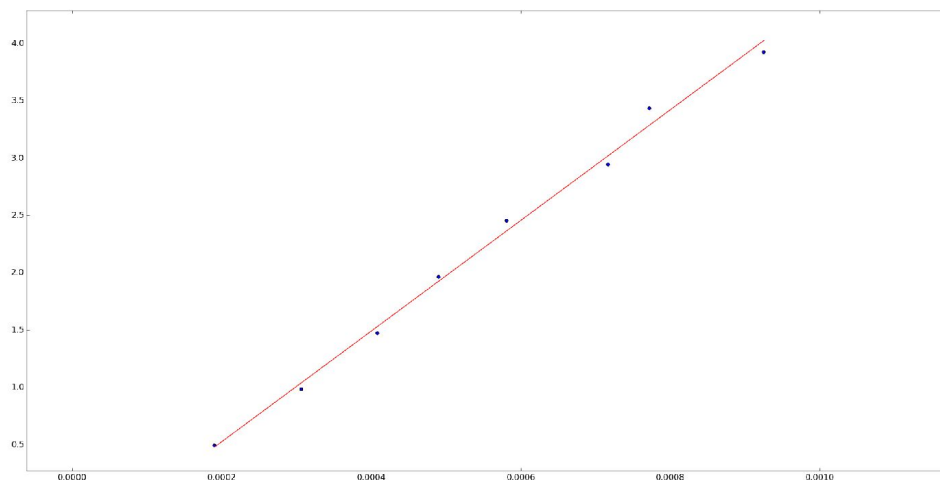
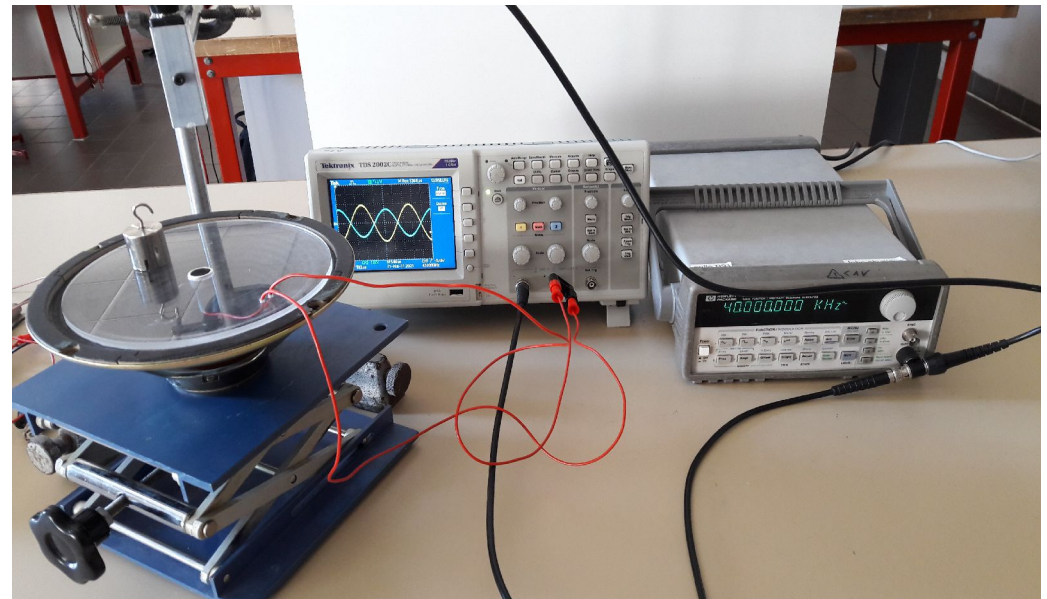
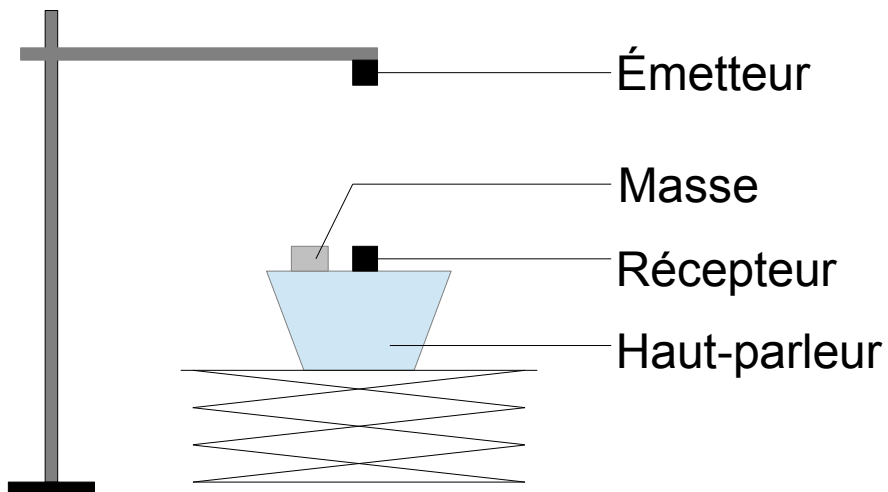
$$\text{Équation mécanique : } m \frac{d^2 v}{dt^2}(t) + h \frac{dv}{dt}(t) + k \cdot z(t) = -Bl \cdot i(t)$$

$$\text{Équation électrique : } u(t) = Ri(t) + L \frac{di}{dt}(t) + e_{\text{ind}}$$

$$\text{avec } e_{\text{ind}} = -Bl \cdot i$$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle

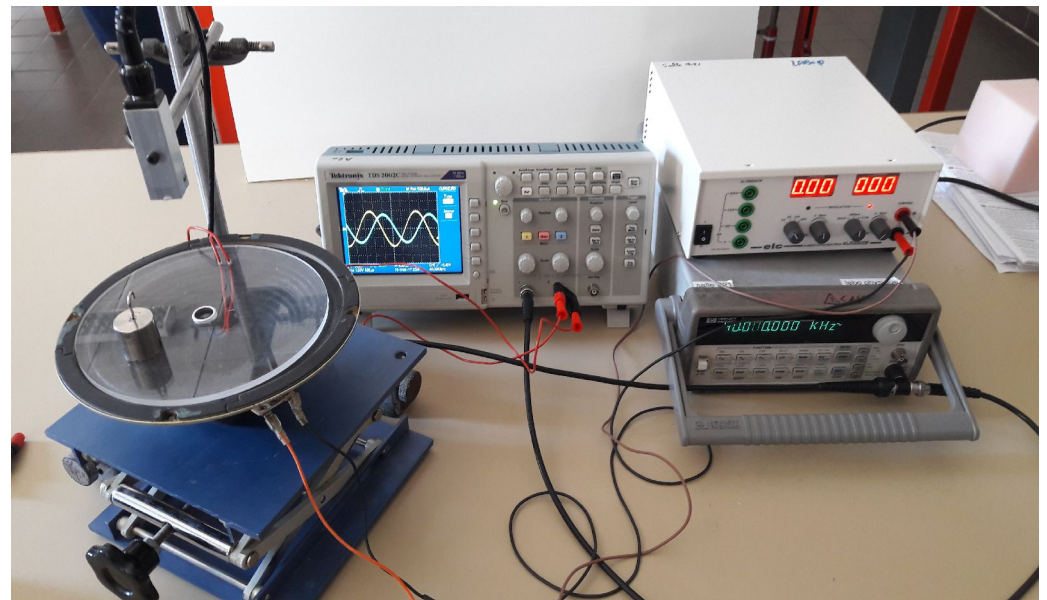
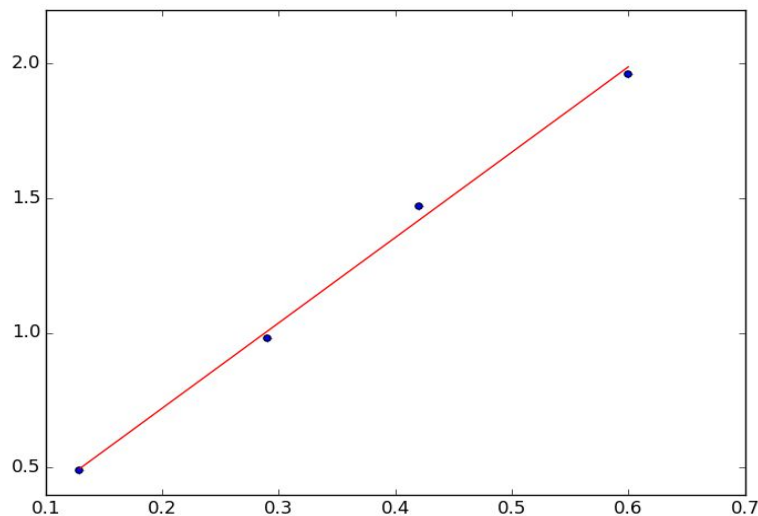
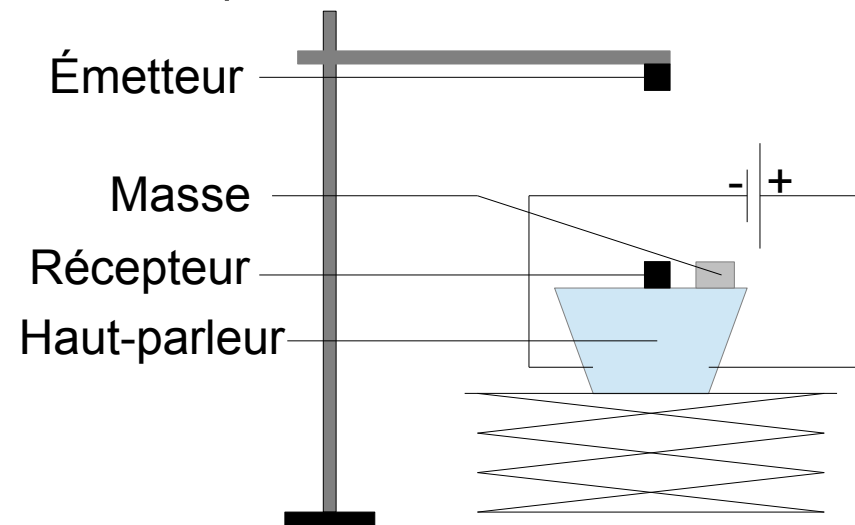
1) Mesure de k



$$k = 4900 \pm 300 \text{ Nm}^{-1}$$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle

2) Mesure du produit BI



$$BI = 3,49 \pm 0,23 Tm$$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle

Équation mécanique : $m \frac{d^2 v}{dt^2}(t) + h \frac{dv}{dt}(t) + k \cdot z(t) = -Bl \cdot i(t)$

En régime permanent : $k \cdot z(t) = -Bl \cdot i(t)$

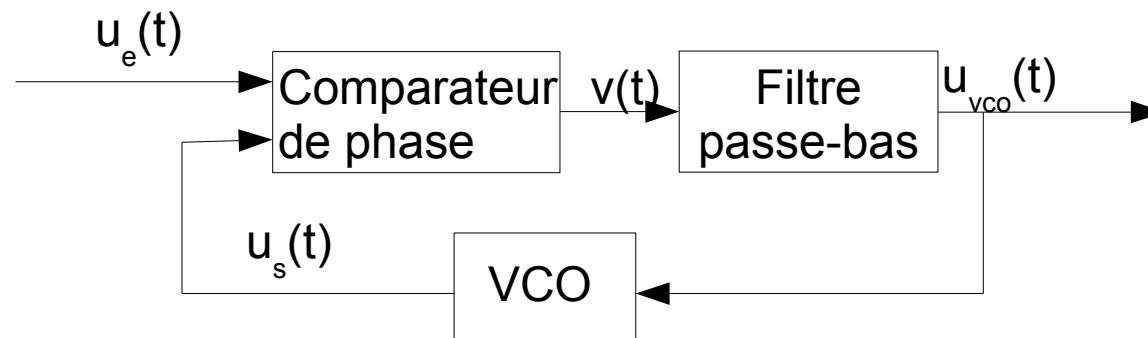
Donc

$$z = -\frac{Bl \cdot i}{k}$$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle

• Boucle à verrouillage de phase

Principe :



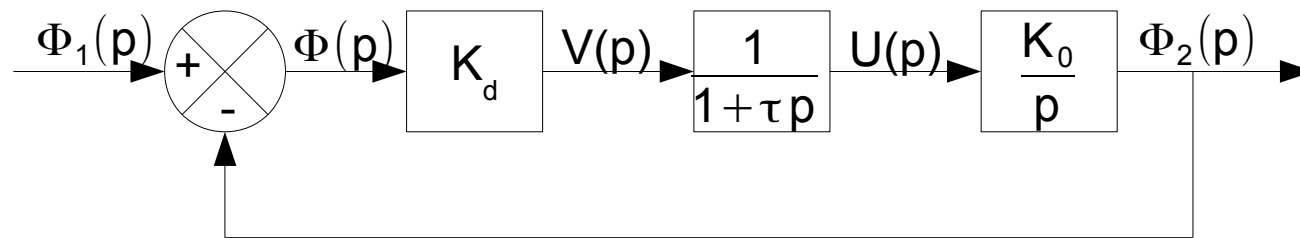
$$u_e(t) = U_e \sin(2\pi f_0 t + \Phi_1)$$

$$u_s(t) = U_s \cos(2\pi f_0 t + \Phi_2)$$

$$v(t) = \frac{kU_e U_s}{2} [\sin(\Phi_1 - \Phi_2) + \sin(\cancel{4\pi f_0 t + \Phi_1 + \Phi_2})] = K_c \sin(\Phi_1 - \Phi_2)$$

On définit : $\Phi_1(p) = L[\Phi_1(t)]$ $V(p) = L[v(t)]$ $\frac{d\Phi_2}{dt}(t) = K_0 u(t)$ et donc $p\Phi_2(p) = K_0 U(p)$
 $\Phi_2(p) = L[\Phi_2(t)]$ $U(p) = L[u(t)]$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle



$$H(p) = \frac{\Phi_2(p)}{\Phi_1(p)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{K_c \cdot K_0} p + \frac{\tau}{K_c \cdot K_0} p^2}$$

Réponse à un échelon de fréquence :

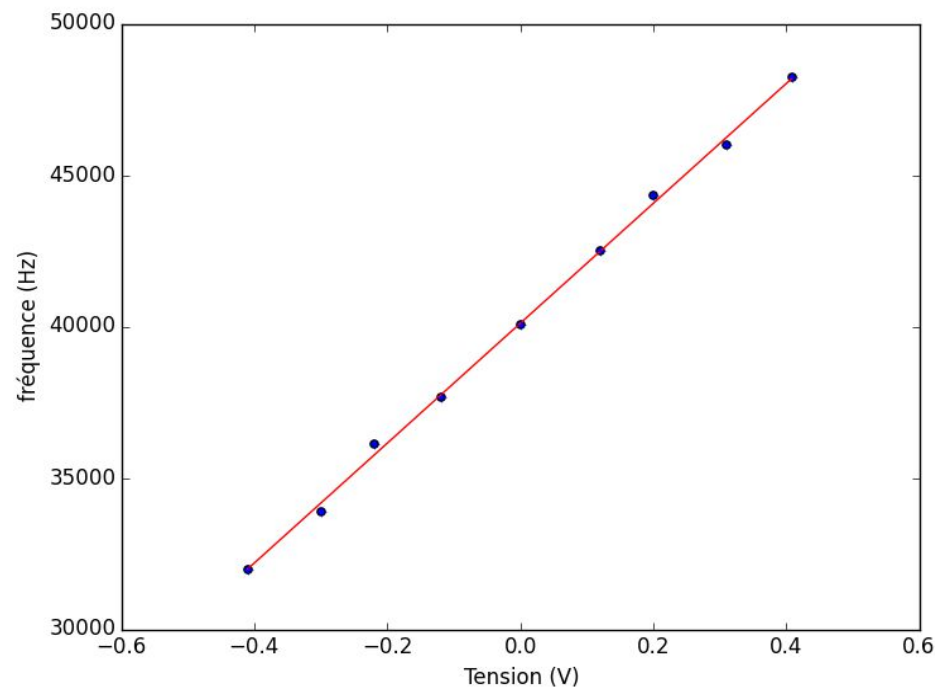
À $t=0$ on applique un échelon de fréquence d'amplitude $\Delta f = \frac{\Delta \omega}{2\pi}$

$$\Phi_2(p) = H(p) \cdot \Phi_1(p) = H(p) \cdot \frac{\Delta \omega}{p^2}$$

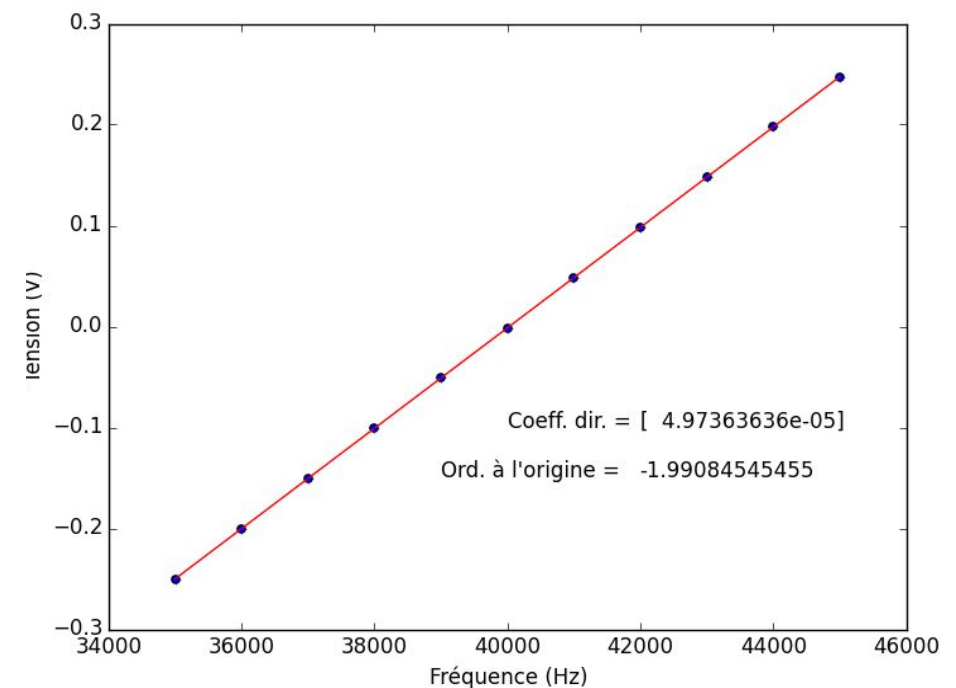
$$\text{Donc } f_2(p) = \frac{1}{2\pi} p \Phi_2(p) = \frac{\Delta \omega}{2\pi} \frac{1}{1 + \frac{1}{K_c \cdot K_0} p + \frac{\tau}{K_d \cdot K_0} p^2}$$

III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle

Caractéristiques finales :



VCO

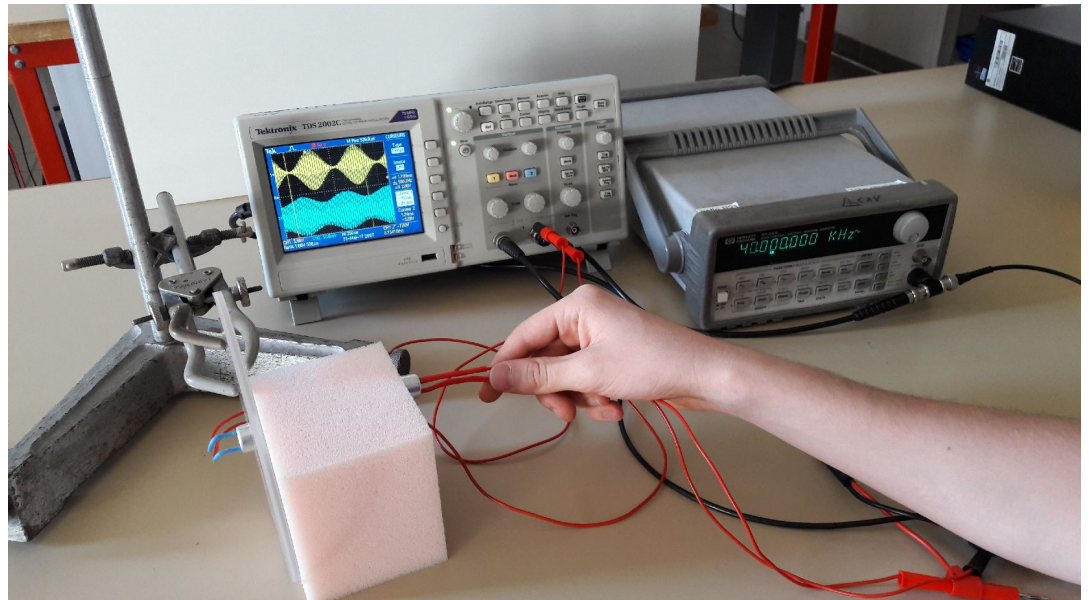
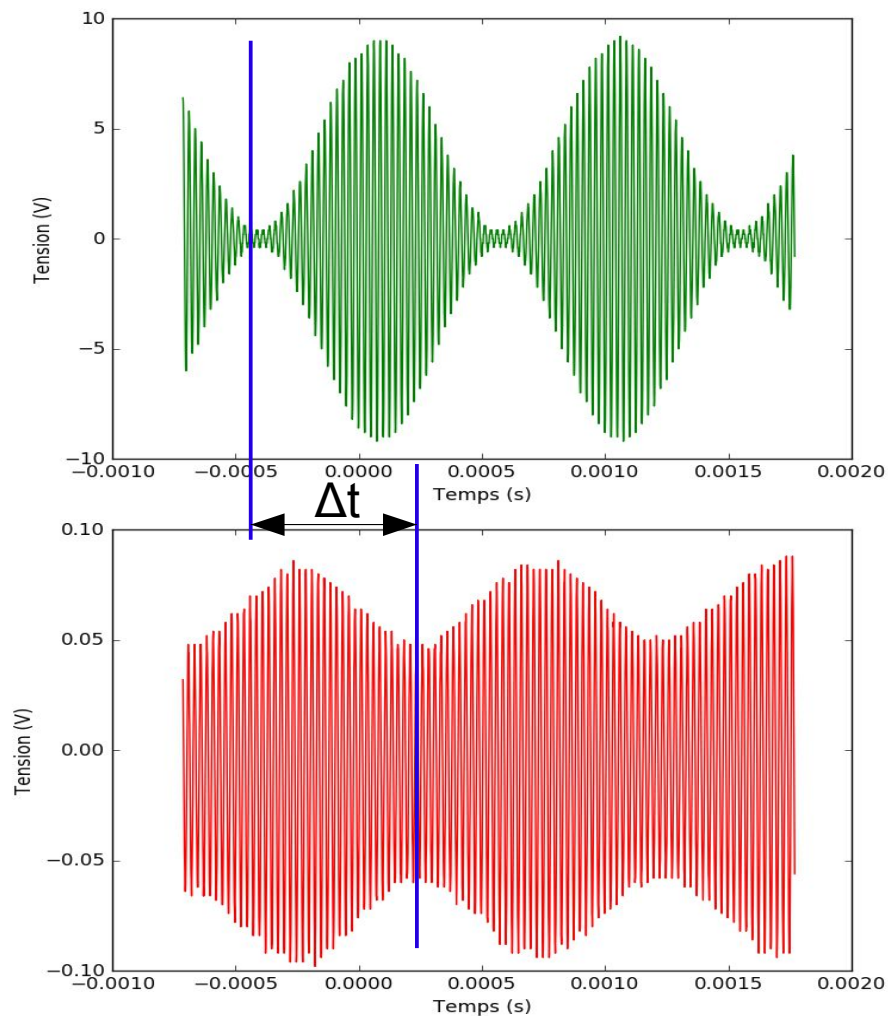


PLL

On retient coefficient directeur pour la PLL : $K = 5 \cdot 10^{-5} \text{ V} \cdot \text{s}$

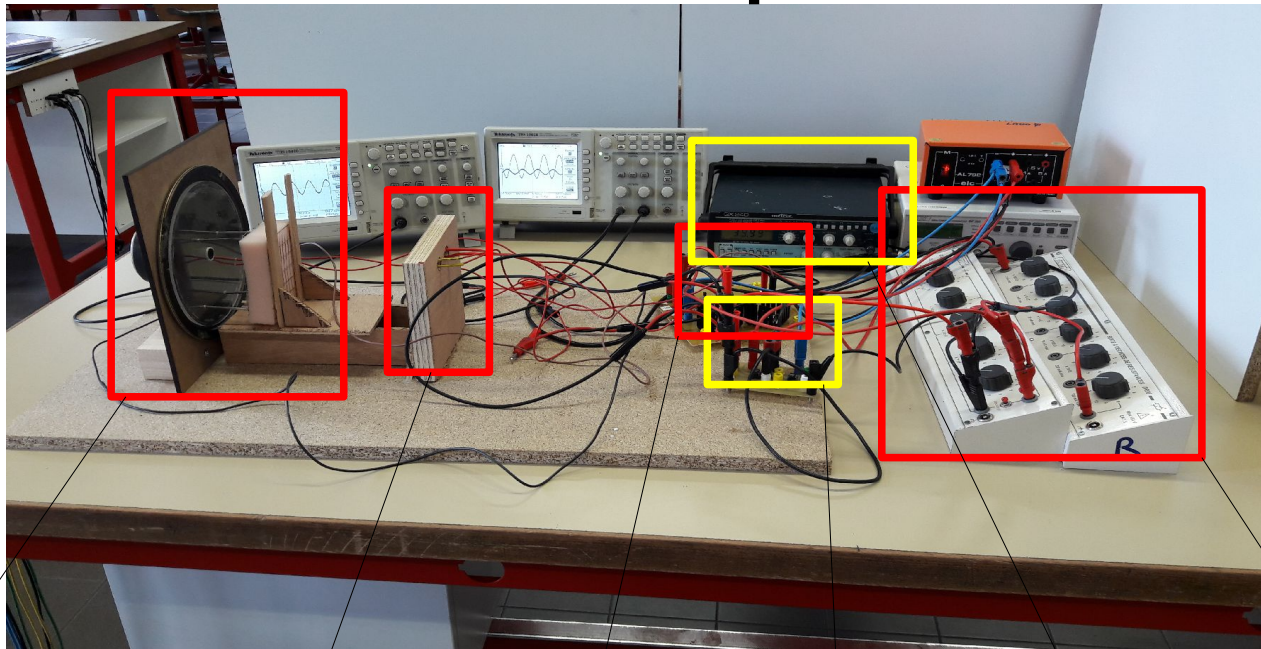
III. Détermination expérimentale des paramètres physiques du modèle

- Célérité du son dans la mousse



$$c = \frac{d}{\Delta t} = 126 \pm 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

IV. Maquette



Surface + mousse

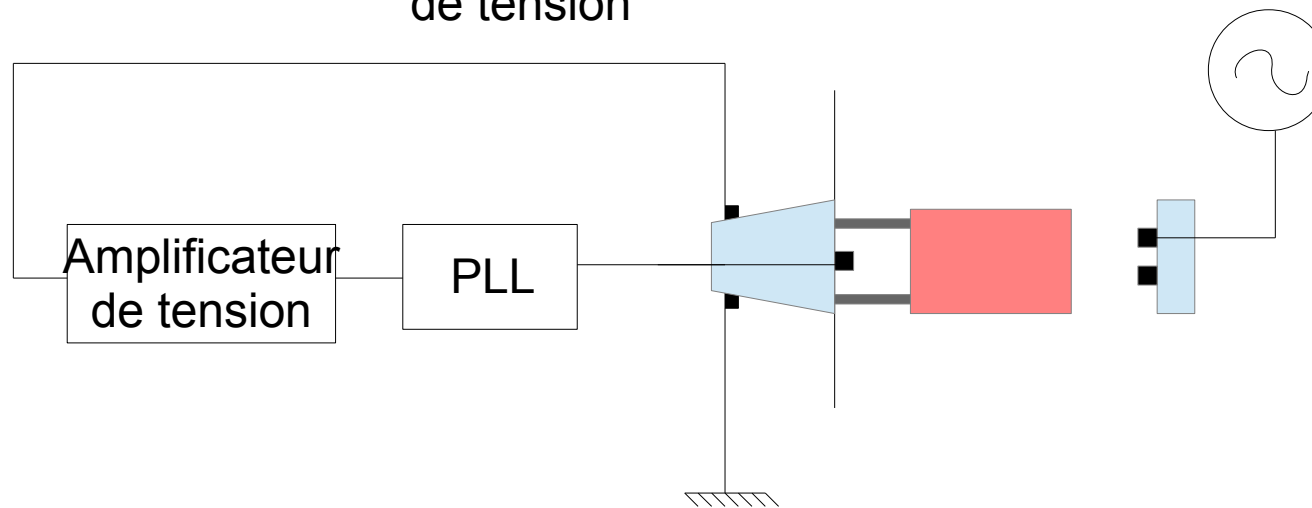
Radar

Amplificateur de tension

Multiplieur

VCO

Filtre passe-bas



IV. Maquette

Amplification en tension

Position $z = -\frac{Bl \cdot i}{k}$

Variation $\Delta z = -\frac{Bl}{k} \cdot \Delta i$

Tension $U_{HP} = R \cdot i$

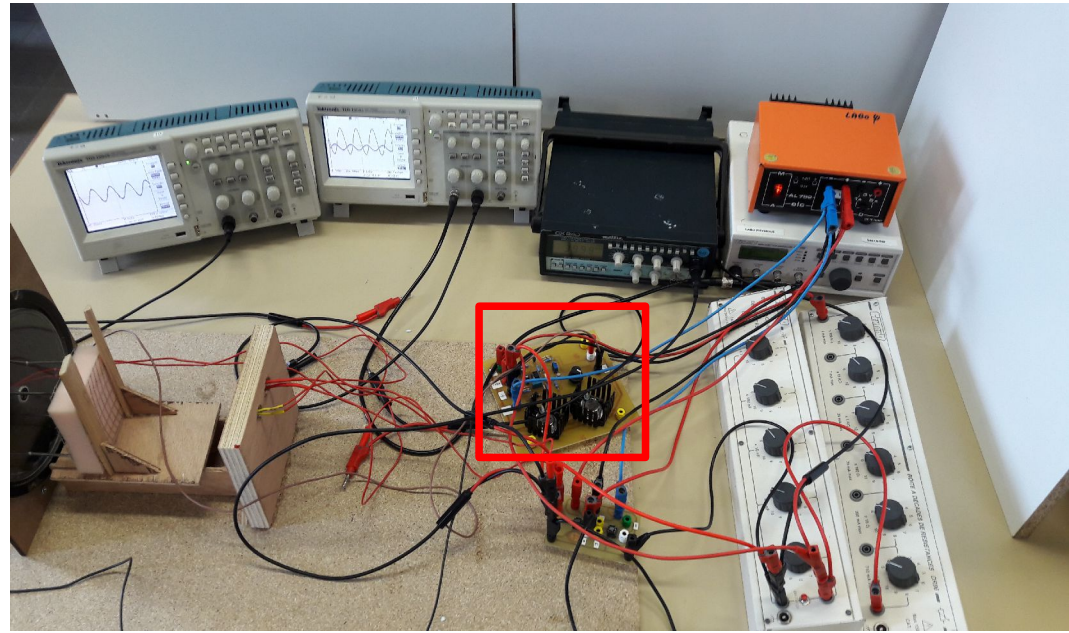
Donc $\Delta z = -\frac{Bl}{k \cdot R} \cdot \Delta U_{HP}$

D'autre part $\Delta z = \frac{12c}{2f_f} - \frac{12c}{2f_i} = 6 \Delta \lambda$

Donc $\Delta U_{HP} = -6 \frac{k \cdot R}{Bl} \cdot \Delta \lambda$

On a déterminé $\Delta U_{PLL} = K \cdot \Delta f$

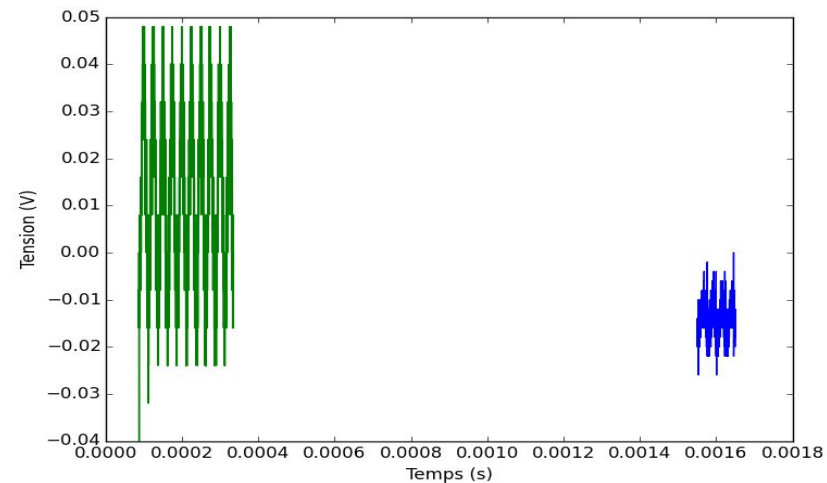
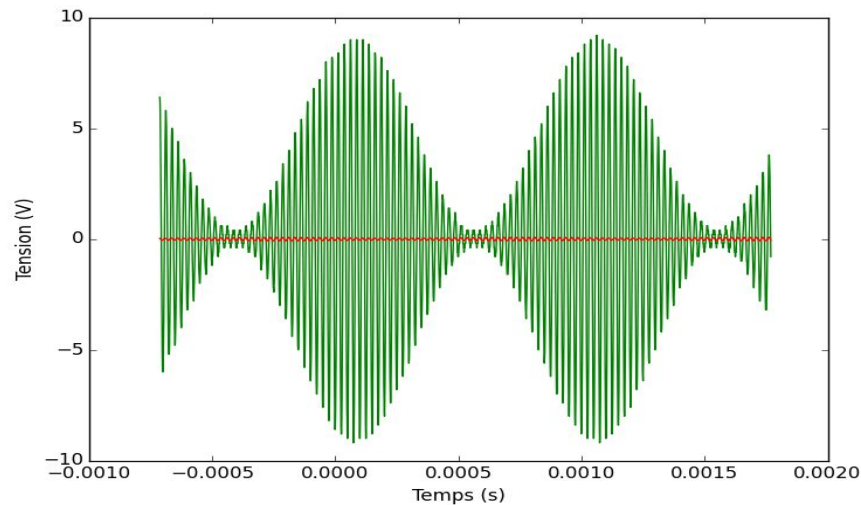
L'amplification à appliquer est donc $A = \frac{\Delta U_{HP}}{\Delta U_{PLL}} = -6 \frac{k \cdot R}{K \cdot Bl} \cdot \frac{\Delta \lambda}{\Delta f}$



V. Critique du modèle

Bande passante à 3dB du système émetteur-récepteur :
[39,70 ; 40,62] kHz

Mousse qui atténue déjà fortement les ultrasons



Plaque de plexiglas change la raideur du haut-parleur

