

L'invisibilité moderne

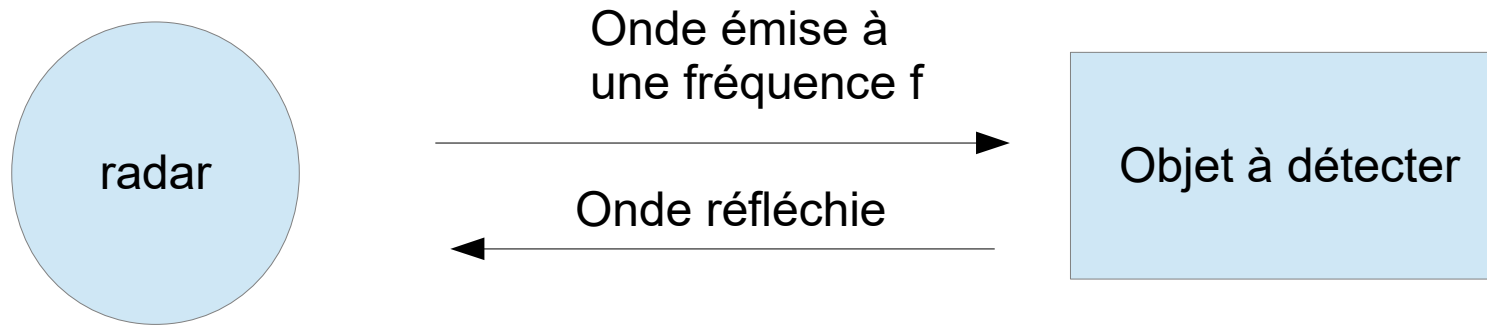


Comment ne pas se faire repérer par un radar ?

Plan

- I. Principe de fonctionnement du radar
- II. Principe de la technique retenue
- III. Modélisation du système réalisé
 - Détermination expérimentale de la célérité du son dans la mousse
 - Acquisition de la fréquence d'entrée
 - Paramètres du haut parleur électrique et mécanique
 - Adaptation de la tension
- IV. Dispositif entier et résultats obtenus
- V. Critique du modèle

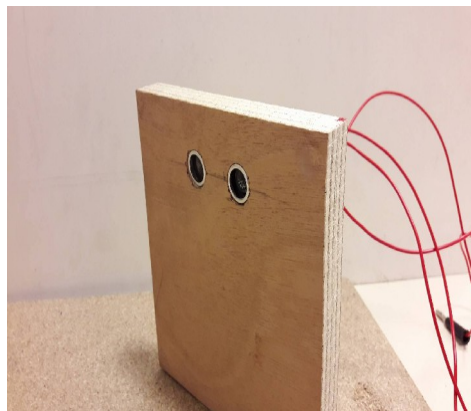
Principe de fonctionnement du radar



But : faire disparaître l'onde réfléchie

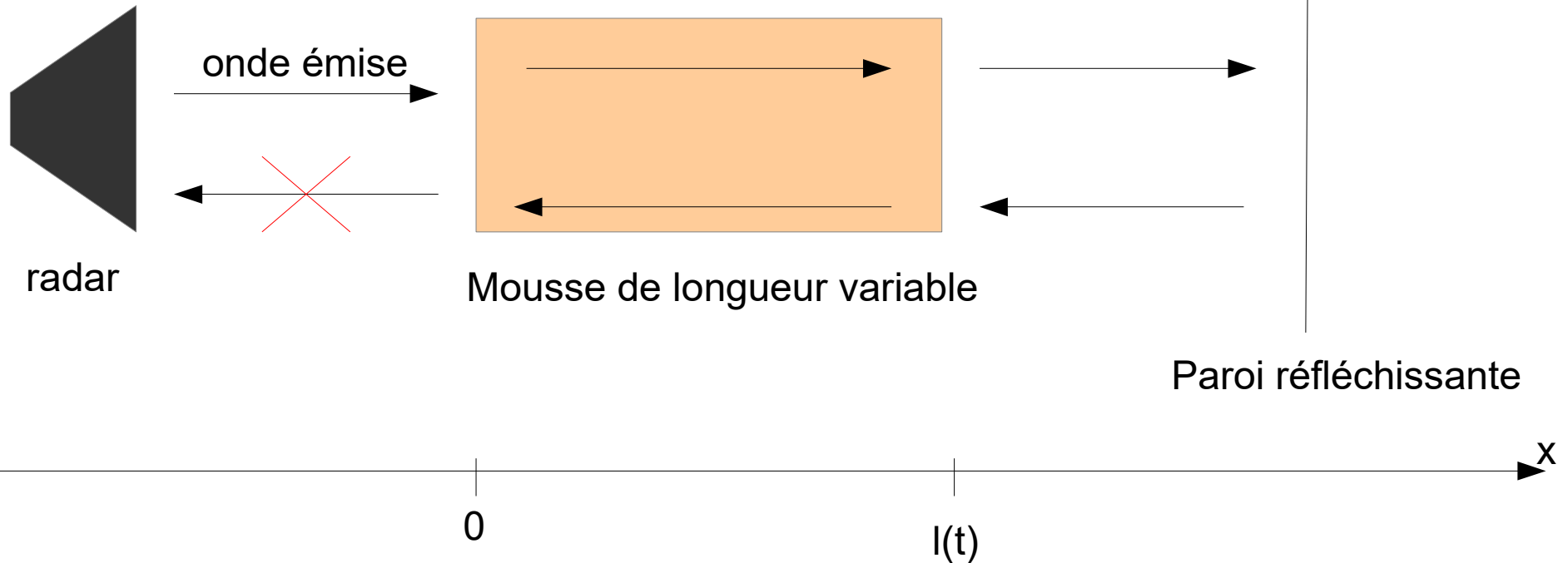
Le matériel utilisé :

- dispositif d'émetteur/récepteur ultrasonore



Bande passante à 3 dB: [39 ; 41] kHz

Principe de la technique



Résultat : pour $l(t) = \frac{n \cdot c}{2 \cdot f}$: absence d'onde réfléchie sur le radar

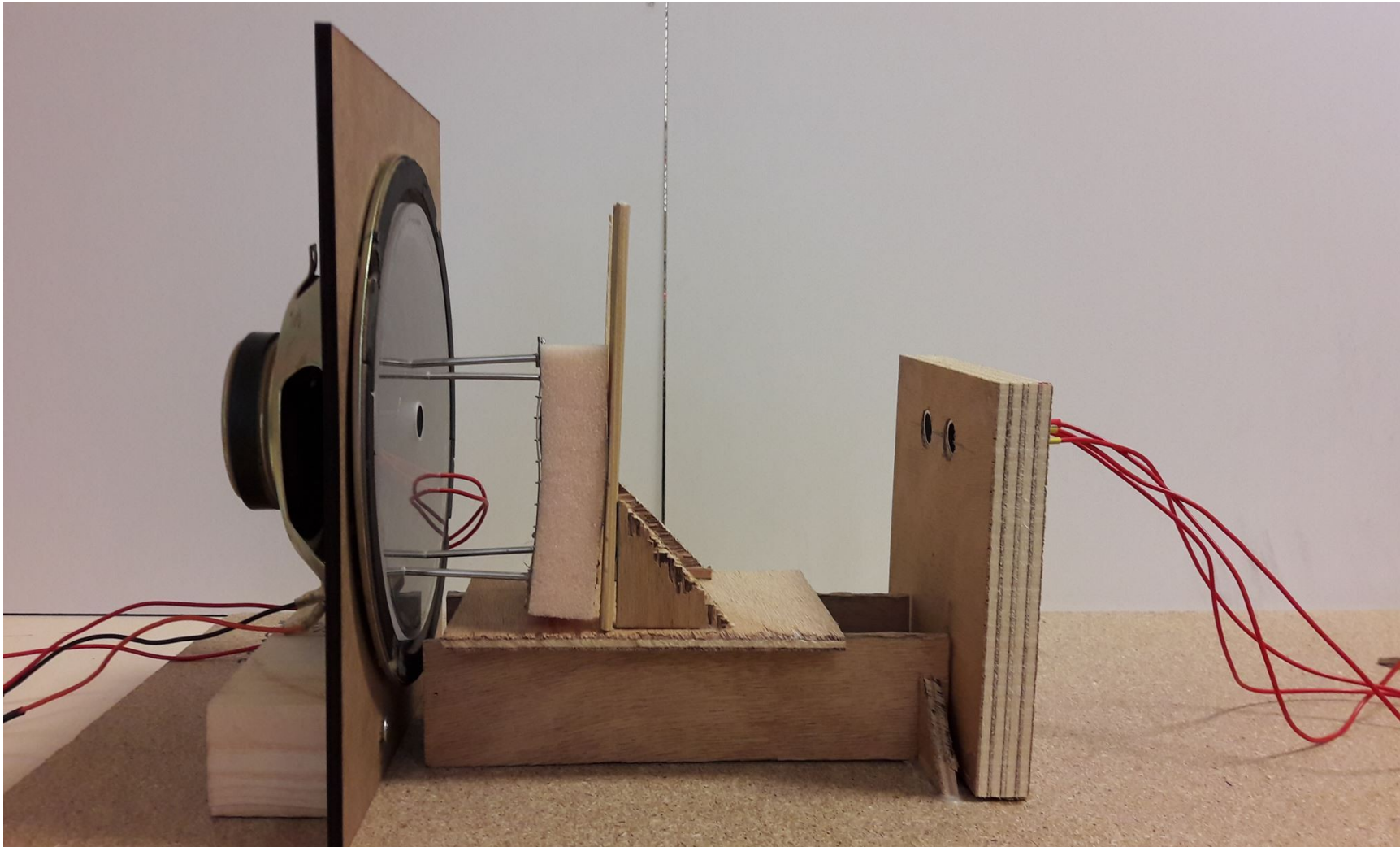
Avec :

- n un entier

- c la célérité du son dans la mousse

- f la fréquence de l'onde émise

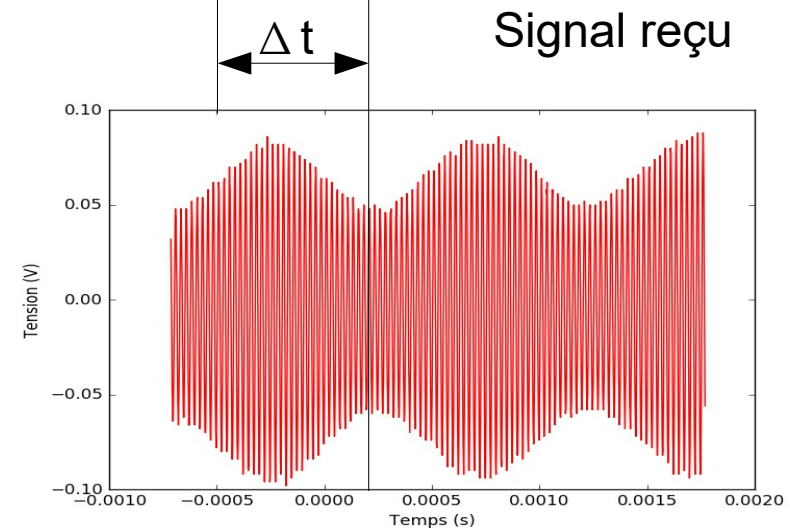
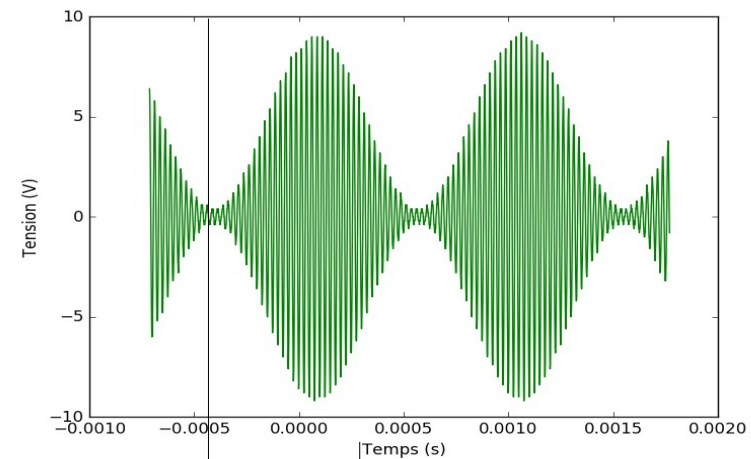
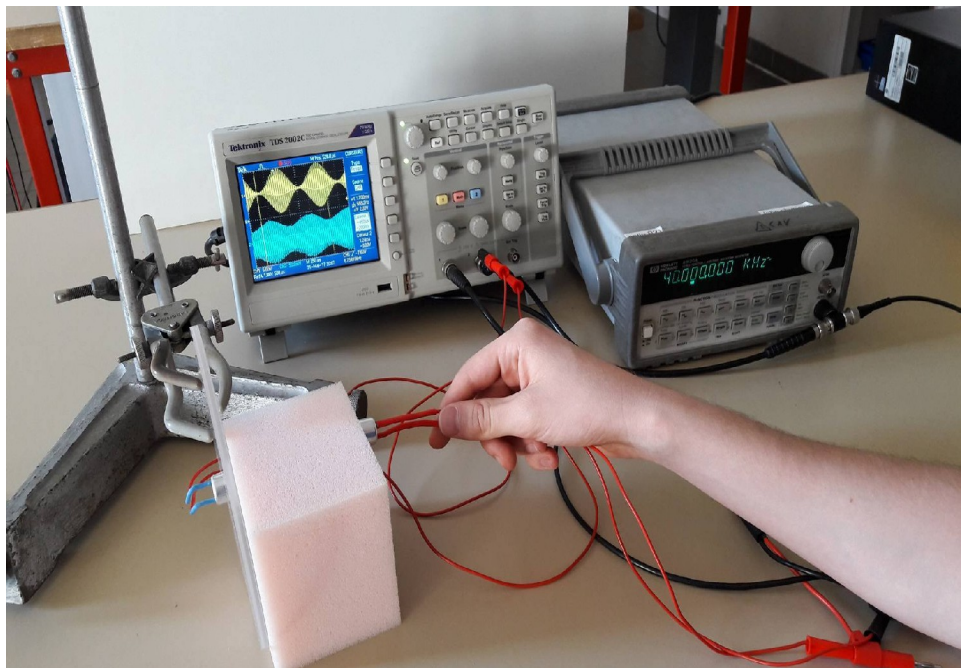
Principe radar	Notre procédé	Modélisation	Dispositif entier	Critique
----------------	----------------------	--------------	-------------------	----------



Recherche des paramètre nécessaires

- Célérité du son dans la mousse

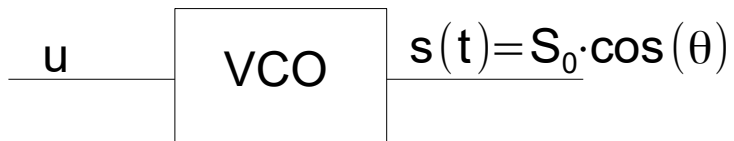
Signal envoyé



On trouve $v = 126 \pm 2 \text{ m/s}$

• Fréquence d'entrée

-Principe d'un VCO



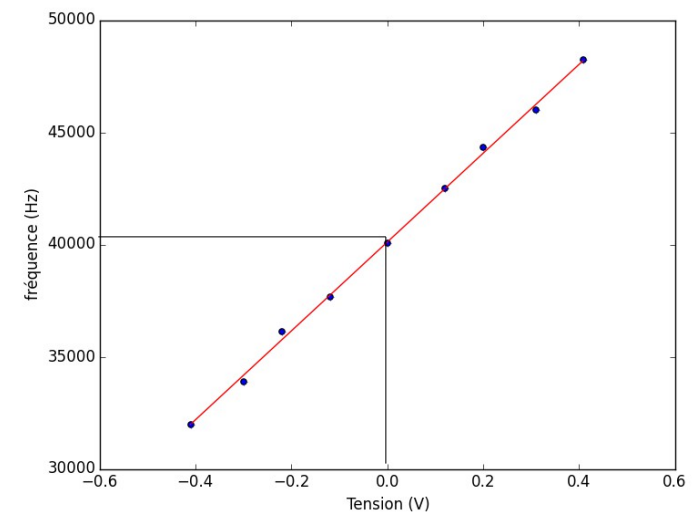
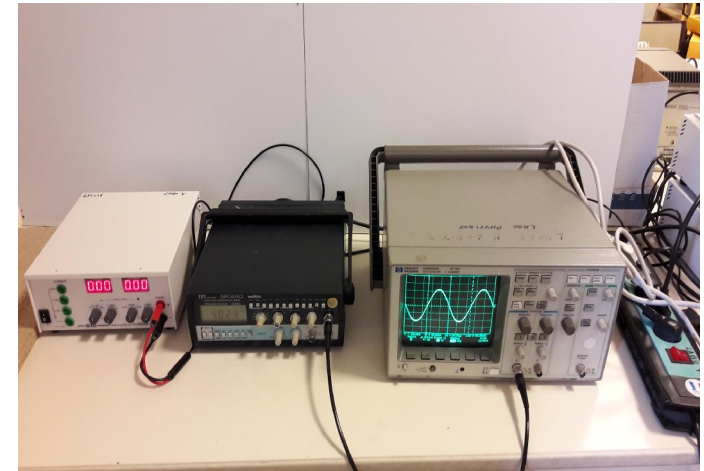
$$\text{avec } f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\theta}{dt} = Ku(t) + f_0$$

Avec :

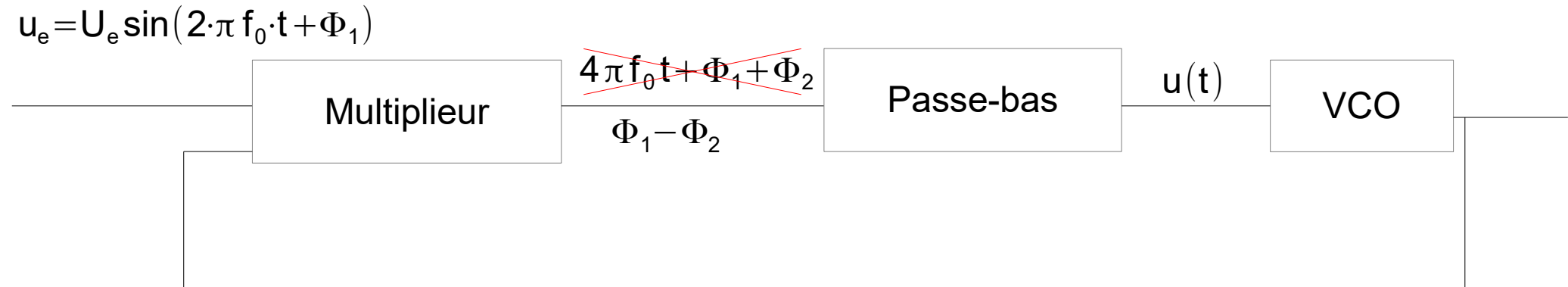
- $f = K \cdot u + f_0$
- $f_0 = 40000 \text{ Hz}$
- $K = 19800 \text{ Hz/V}$

En linéarisant :

$$f_2(t) = f - f_0 = K \cdot u(t)$$



-Montage du bouclage à verrouillage de phase



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

On introduit les variables suivantes :

$$-\Phi_1(p) = I[\Phi_1(t)]$$

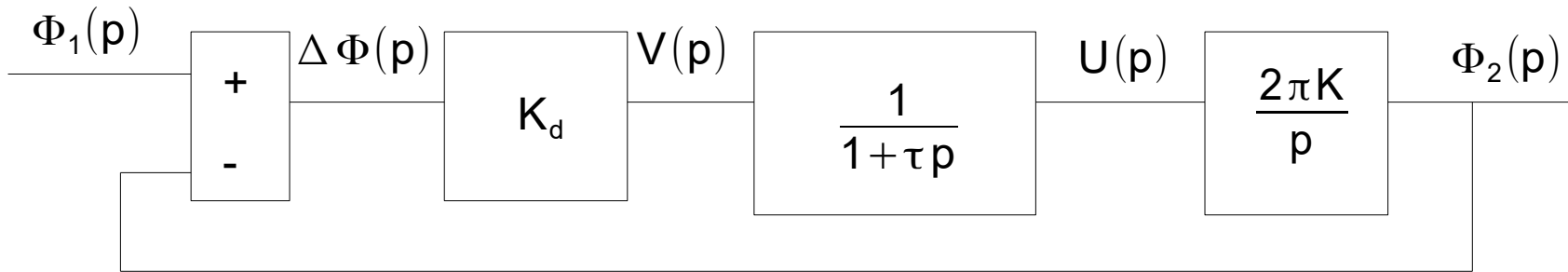
$$-\Phi_2(p) = I[\Phi_2(t)]$$

$$-V(p) = K_d[\Phi_1(p) - \Phi_2(p)]$$

$$-U(p) \text{ tel que } \frac{\Phi_2(p)}{U(p)} = \frac{2\pi K}{p}$$

Principe radar	Notre procédé	Modélisation	Dispositif entier	Critique
----------------	---------------	---------------------	-------------------	----------

- Schéma bloc équivalent



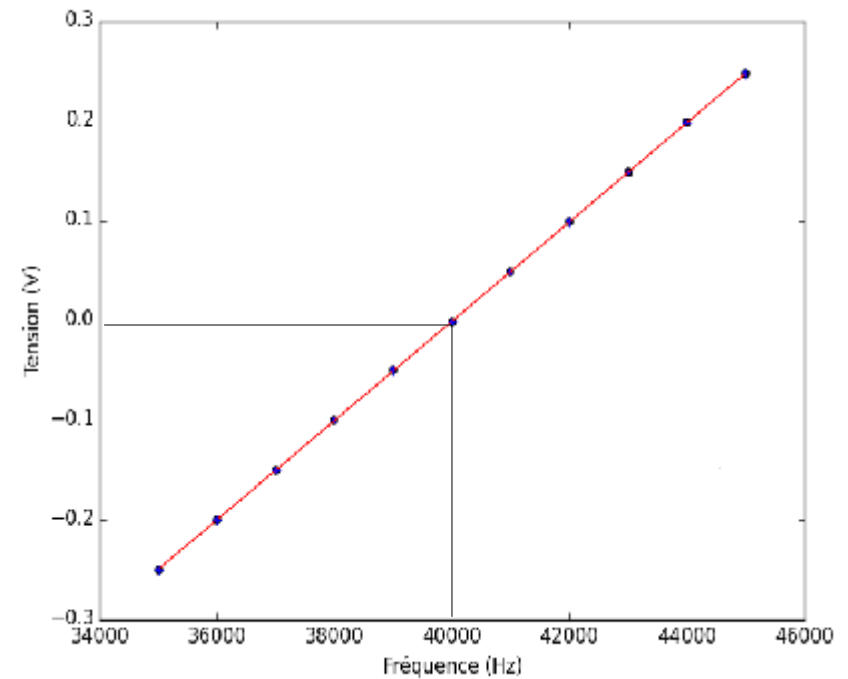
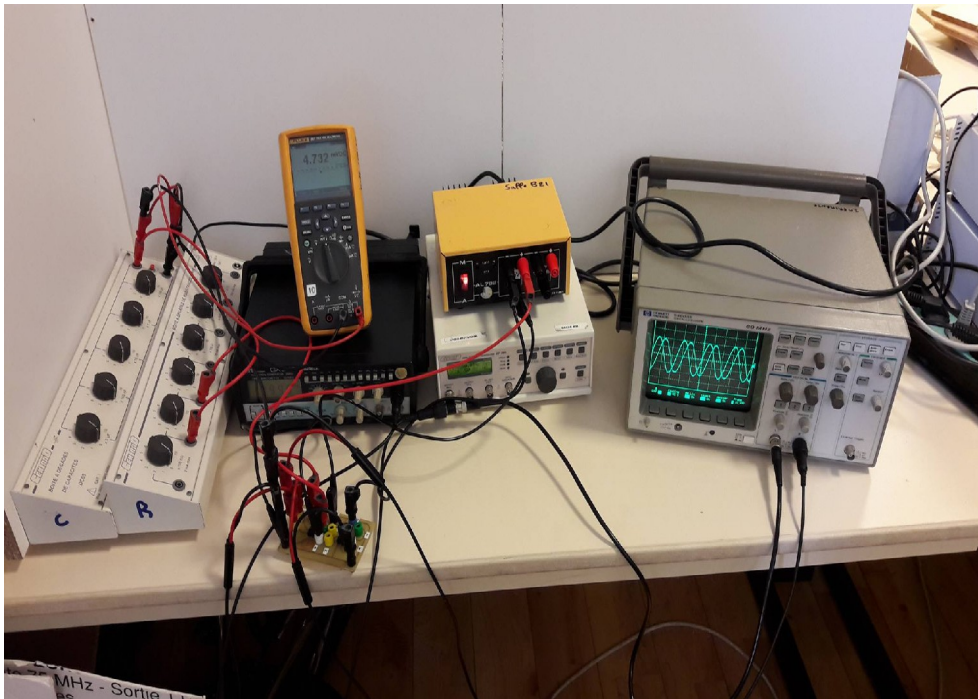
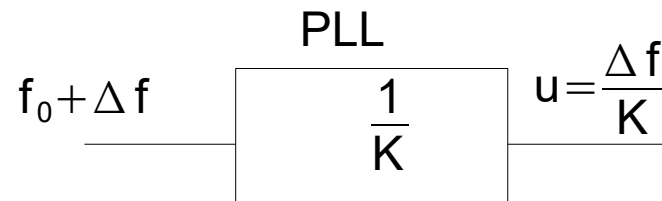
$$H(p) = \frac{\Phi_2(p)}{\Phi_1(p)} = \frac{1}{1 + \frac{p}{K_d \cdot 2\pi K} + \frac{\tau p^2}{K_d \cdot 2\pi K}}$$

-Réponse à un échelon de fréquence

$$u_e = U_e \sin(2 \cdot \pi (f_0 + \Delta f) \cdot t) \longrightarrow f_2(p) = \frac{p \Phi_2(p)}{2\pi} = \frac{p}{2\pi} \cdot H(p) \cdot \Phi_1(p) = \frac{\frac{\Delta f}{p}}{1 + \frac{p}{K_d \cdot 2\pi K} + \frac{\tau p^2}{K_d \cdot 2\pi K}}$$

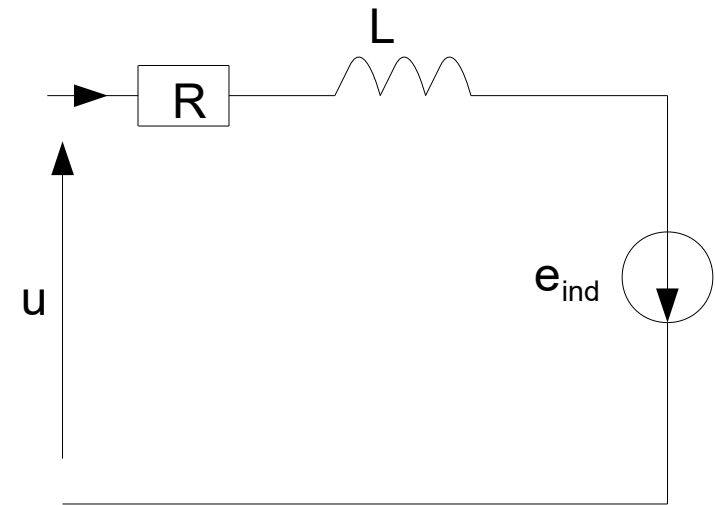
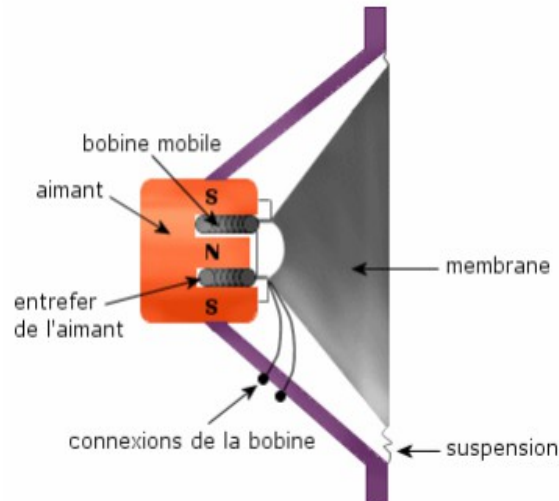
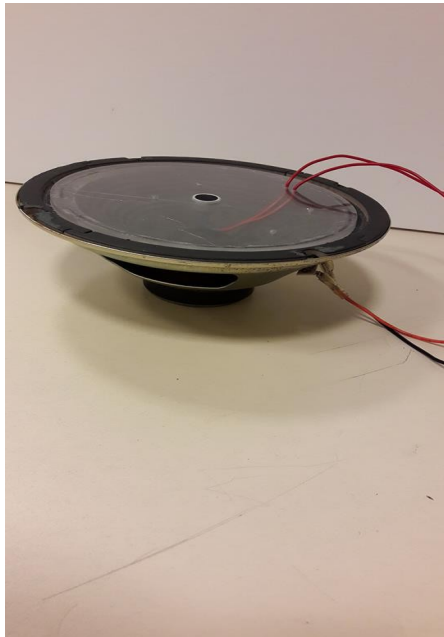
$$f_2(t) \rightarrow \Delta f$$

- Caractéristique PLL



On trouve un coefficient directeur de $5 \cdot 10^{-5}$ V/Hz

- Paramètres du haut parleur



- Modélisation

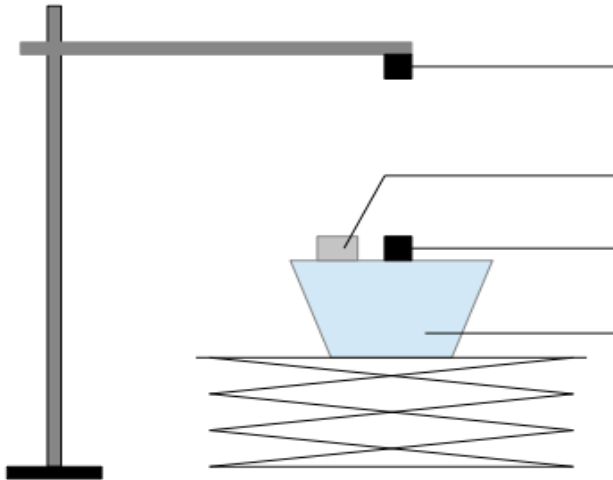
équation électrique : $U(t) = Ri(t) + L \frac{di}{dt} + e_{ind}$ avec $e_{ind} = -Blv(t)$

équation mécanique : $m \frac{d^2z}{dt^2} + h \frac{dz}{dt} + kz(t) = -Bli(t)$

Hypothèse : on néglige la force de la mousse sur le haut parleur

Avec un ohmmètre : $R = 6,53 \pm 0,03 \Omega$

- Constante de raideur

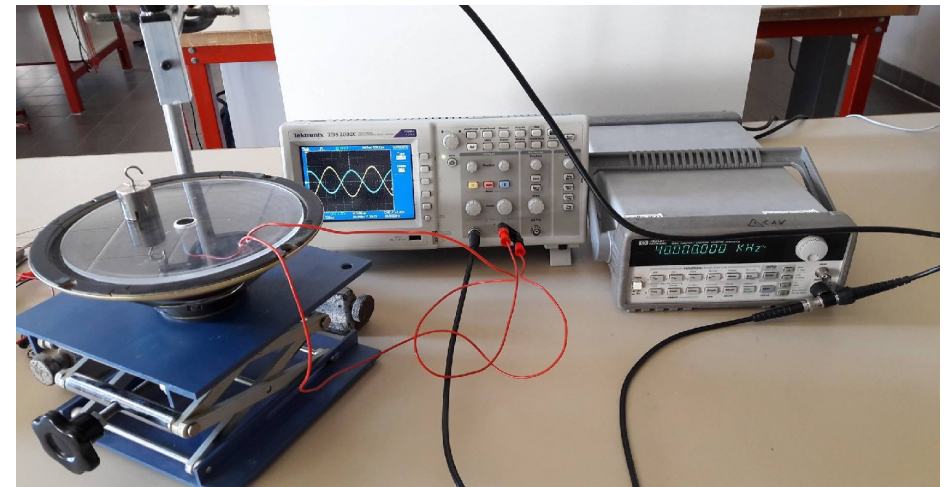


émetteur

masse

récepteur

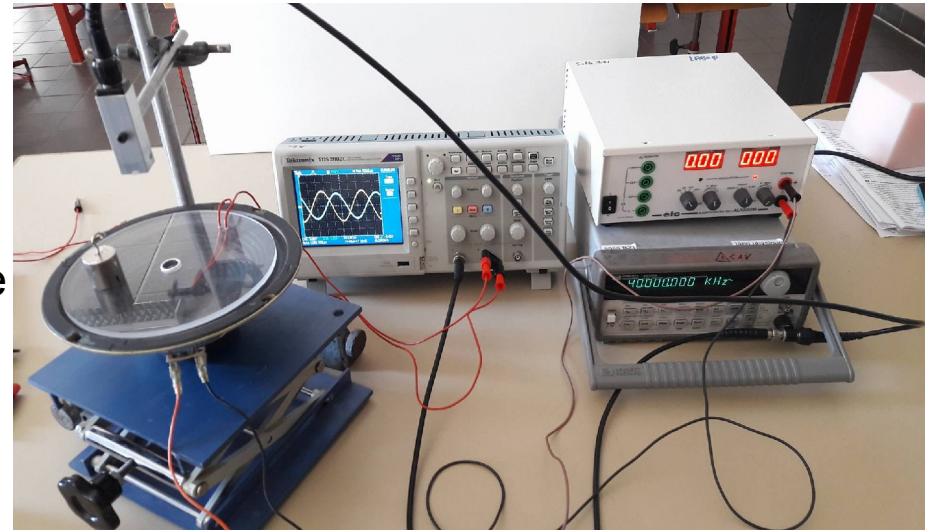
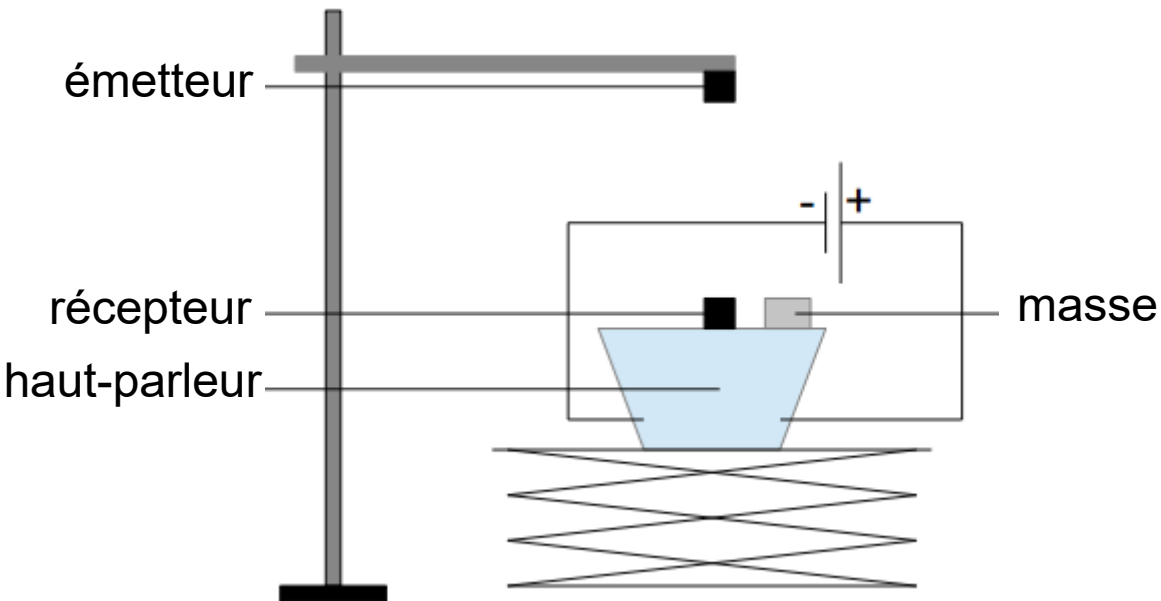
haut-parleur



$$mg = k \cdot \delta z$$

$$k = 4910 \pm 280 \text{ N/m}$$

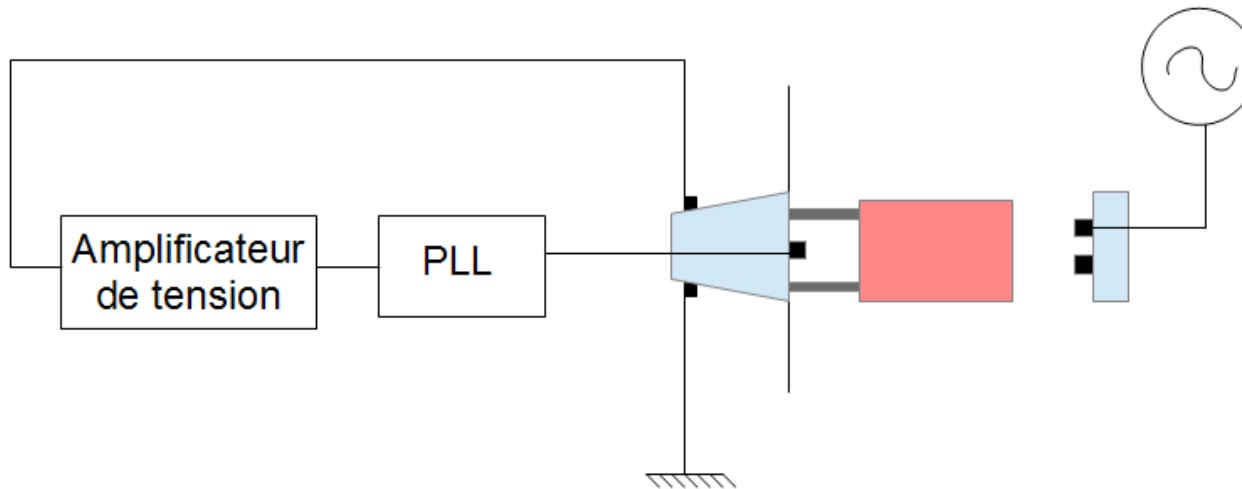
- Produit BI



$$mg = Bli$$

$$BI = 3,5 \pm 0,4 \text{ Tm}$$

- Amplification en tension



$$-z(t) = -\frac{Bli}{k}$$

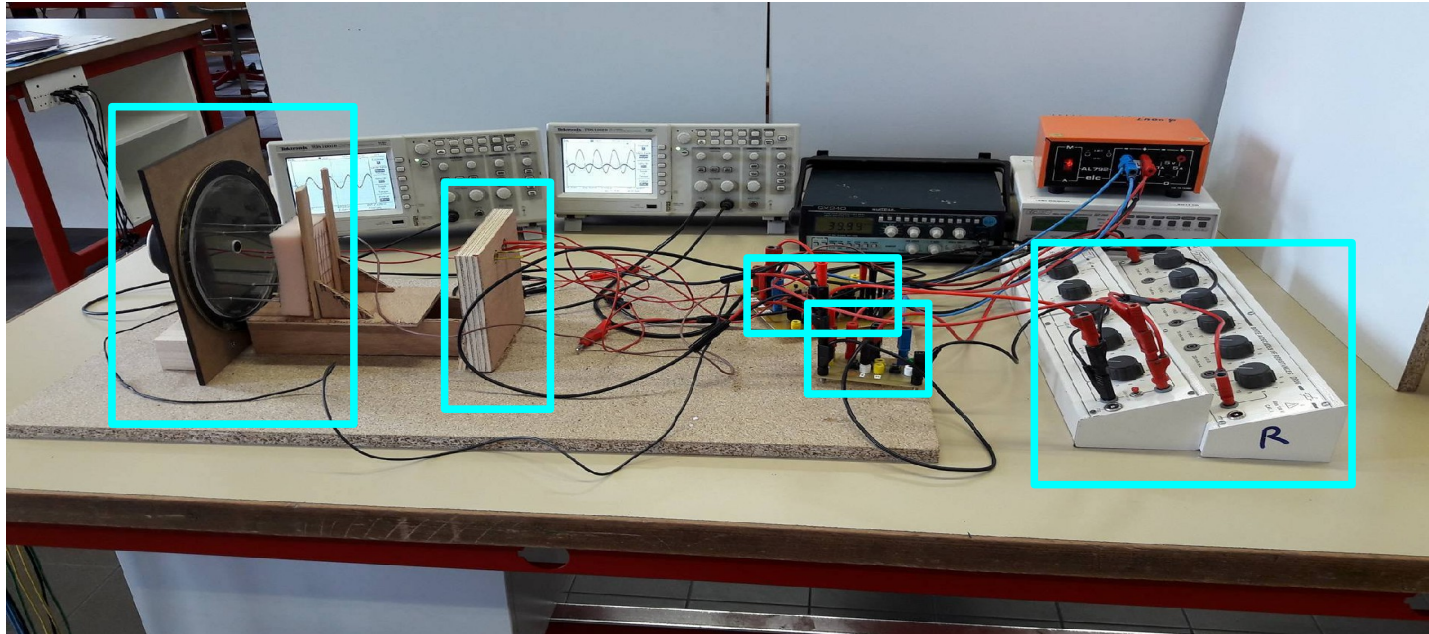
$$-A = \frac{\Delta U'}{\Delta U}$$

$$-\Delta z = -\frac{Bl}{k} \cdot \Delta i = -\frac{Bl}{kR} \cdot \Delta U' = \frac{12v}{2f_f} - \frac{12v}{2f_0}$$

$$-\Delta U = \frac{\Delta f}{K}$$

$$A = -6 \cdot \frac{kKR \cdot \Delta \lambda}{Bl \cdot \Delta f}$$

Dispositif entier et résultats obtenus



Problème : les amplitudes des tensions restaient identiques lors du passage de 40 kHz à 41 kHz

Principe radar	Notre procédé	Modélisation	Dispositif entier	Critique
----------------	---------------	--------------	-------------------	----------

Critique

Éléments problématiques :

- bande passante des récepteurs ultrasons
- mousse milieu non dispersif
- force de la mousse sur le haut-parleur
- manque de précision
- réflexion de l'onde sur le bois

Annexe

m	dt	dx	k		I	Bl
5,00E-02	2,60E-07	8,84E-05	5,55E+03		0,129	3,80E+00
0,1	6,20E-07	2,11E-04	4,65E+03		0,29	3,38275862
0,15	1,00E-06	3,40E-04	4,33E+03		0,42	3,50E+00
0,2	1,18E-06	4,01E-04	4,89E+03		0,6	3,27
0,25	1,50E-06	5,10E-04	4,81E+03			
0,3	1,82E-06	6,19E-04	4,76E+03			
0,35	2,08E-06	7,07E-04	4,86E+03			
0,4	2,12E-06	7,21E-04	5,44E+03			
	Kmoy (N/m)	4910,55364			Bl moy =	3,48966391
	U(k) =	284,706855			U(Bl) =	0,22922457