

MP 23 : CAPTEURS ET TRANSDUCTEURS

Anne & Aurélien

20/11/2009

Bibliographie :

Donnini Tome IV : Électricité et applications

Duffait agreg : expérience

Sextant

Rapports du jury

-2009: La différence entre capteurs et transducteurs est trop souvent méconnue. De ce fait les candidats se limitent à l'étude des capteurs sans aborder les transducteurs.

-2007: Le montage ne peut se résumer à un catalogue plus ou moins exhaustif des capteurs. Le jury attend au moins une étude approfondie des propriétés de l'un des capteurs présentés ainsi que celle d'un transducteur. Les principes physiques qui sous-tendent le fonctionnement des capteurs étudiés ne peuvent être ignorés des candidats

Plan

I) Etude de capteurs optique

* La Photodiode

- 1) Caractéristique
- 2) Linéarité entre I_{ph} et éclairage
- 3) Sensibilité

* La Photoresistance

II) Le Haut-Parleur : transducteur électromagnétique

- 1) Diagramme de rayonnement
- 2) Résonance mécanique
- 3) Réversibilité et rendement

Introduction

Transducteur : dispositif convertissant une grandeur physique en une autre grandeur.

Capteur : dispositif convertissant une grandeur physique en une grandeur mesurable (tension, intensité, déplacement...)

Il faut noter que tous les capteurs sont au minimum composé d'un transducteur. Aussi, un capteur est différent de l'instrument de mesure car celui-ci possède un affichage ou une acquisition de données que le capteur ne possède pas forcément. On pourra caractériser les capteurs et transducteurs par leurs linéarité (ou leur non linéarité), leur réversibilité, sensibilité, bande-passante, résolution, étendue de mesure, temps de réponse, hystérésis...

exemples de capteurs (cf Donnini IV : Capteurs)

Nature de la grandeur à convertir	Mécanique	Thermique	Magnétique	Optique
Principes Physiques utilisés	• Piezoélectricité • Induction • Electrostatique	• Effet thermoélectriques • Semi-conducteurs	• Effet Hall • Magnétorésistance	• Effets Photoélectriques
Exemples de capteurs	• Jauge de contrainte • Capteurs de déplacement, vitesse, accélération • Microphone	• Thermomètres électroniques • Thermocouples	• Teslamétrie • Capteur magnétique de position	• Photomultiplicateur • Photodiode • Photorésistance • Photopile • Phototransistor • Capteur CCD

I) Etude de capteurs optiques

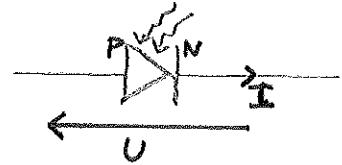
* La photodiode

La photodiode est constituée d'une jonction PN, lorsque ce semi-conducteur est soumis à un éclairage, les photons d'énergie E supérieure au gap sont absorbés et des électrons sont extraits de la bande de valence (si $W_s = h\nu_s$ est le travail d'extraction alors il existe un seuil photoélectrique pour $\lambda_s = \frac{E}{\nu_s}$). Il y a création de paires électrons-trous dans la zone de charge espace et sous l'action du champ électrique les électrons rejoignent la zone N et les trous la zone P. L'éclairage provoque l'apparition d'un courant inverse I_{ph} s'ajoutant au courant inverse de la jonction I_0 .

1) Caractéristique de la photodiode

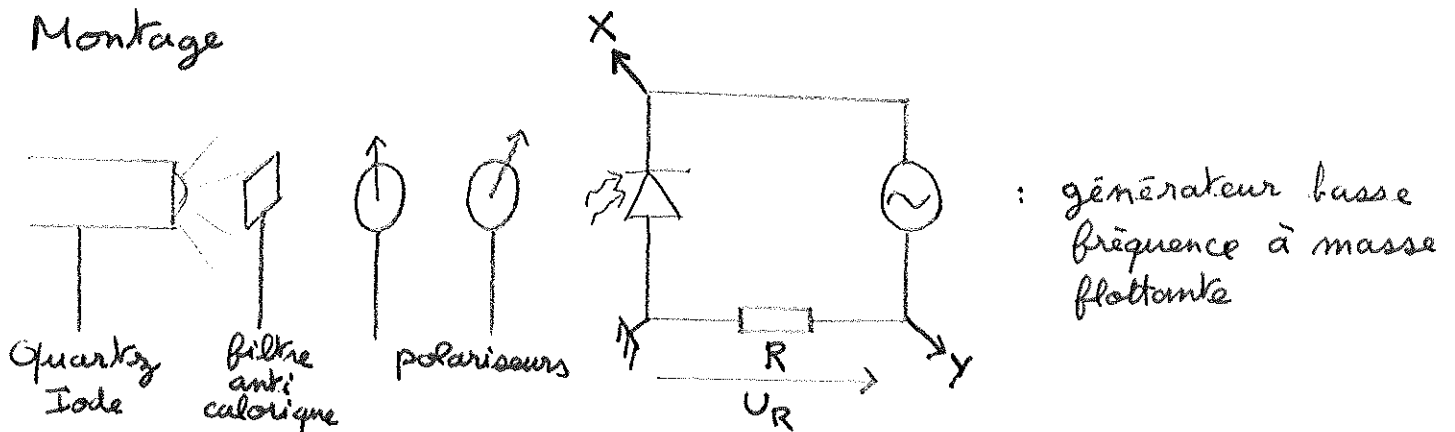
On peut modéliser $I = f(U)$

$$I = I_0 e^{\frac{U}{U_0}} - (I_0 + I_{ph})$$



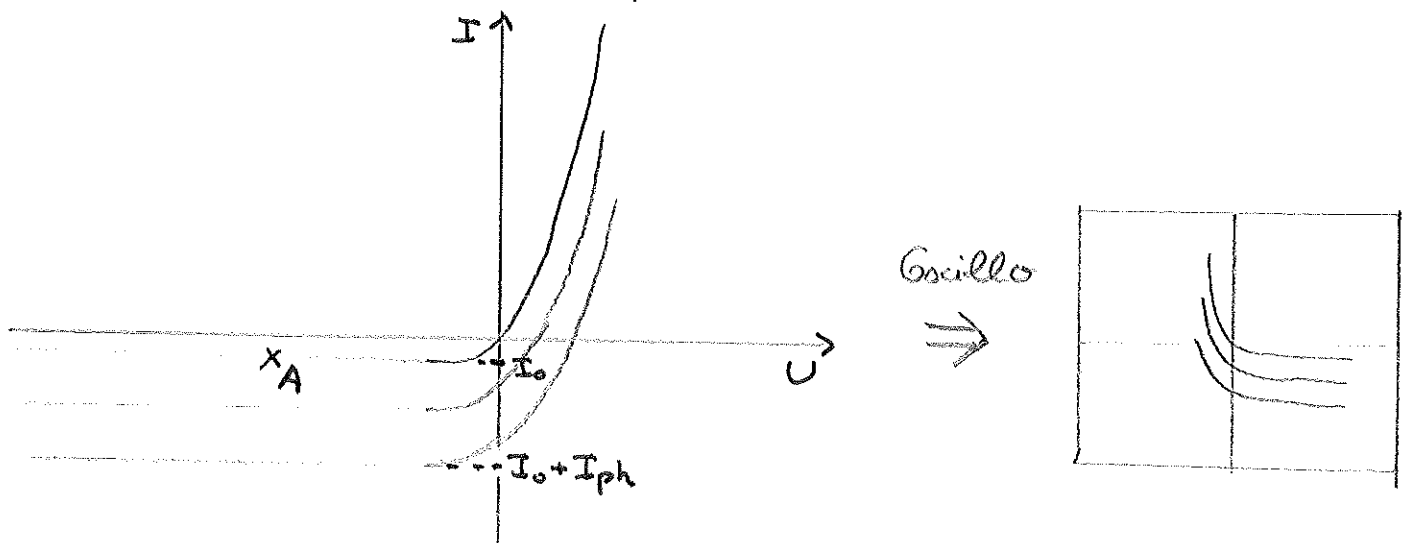
En polarisation inverse $I = -I_0 - I_{ph}$ ($\frac{U}{U_0} \ll -1$)
 où I_{ph} est le courant photoélectrique
 I_0 le courant d'obscurité

Montage



Les polariseurs servent à faire varier l'éclairement perçu par la diode

Etant donné que la tension prise en X est opposée, l'axe des X sera inversé sur l'oscilloscope.



En remplaçant le GBF par un générateur de tension continu, on se place en polarisation inverse au point de fonctionnement A:

Mesure de I_0 courant d'obscurité

$U_R = \pm$ $R = \pm$ $I_0 = \pm$

2) Linéarité entre I_{ph} et l'éclairement

On souhaite déterminer quel type de relation existe-t-il entre le photocourant et l'éclairement perçu par la diode. Pour cela on peut utiliser la loi de Malus donnant l'éclairement en sortie de deux polariseurs : $\bar{E} = \bar{E}_0 \cos^2 \alpha$ où α est l'angle que font les axes des 2 polariseurs.

On reprend le montage précédent

U est la tension aux bornes de la diode

U_R aux bornes de la résistance

$$\begin{array}{lcl} \alpha = & \pm & U_R = \pm \\ & & R = \pm \\ & & I_{ph} = \pm \end{array}$$

On cherche à vérifier si $I_{ph} = a \bar{E}$ où a est un coefficient de proportionnalité

$$\frac{\bar{E}}{\bar{E}_0} = \cos^2 \alpha \Rightarrow I_{ph} = a \bar{E}_0 \cos^2 \alpha = b \cos^2 \alpha$$

$$dI_{ph} = -2b a \sin \alpha \cos \alpha d\alpha + db \cos^2 \alpha$$

$$\frac{dI_{ph}}{I_{ph}} = -2 \tan \alpha d\alpha + \frac{db}{b} \Rightarrow \frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta I_{ph}}{I_{ph}} + 2 \tan \alpha \Delta \alpha$$

$$b = \pm$$

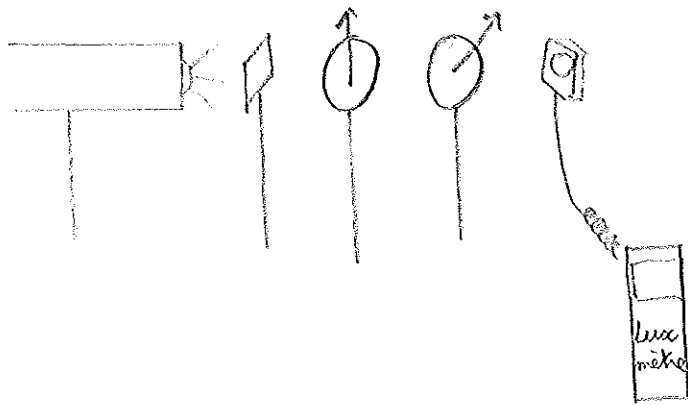
3) Sensibilité S

La sensibilité permet d'exprimer la variation du signal de sortie en fonction de la variation du signal d'entrée.

$$\text{Ici } S = \frac{dI_{ph}}{d\bar{E}} \quad \text{or comme la relation entre } I_{ph} \text{ et } \bar{E} \text{ est linéaire}$$

$$S = \frac{I_{ph}}{\bar{E}} \quad \begin{array}{lcl} U_R = & \pm & R = \pm \\ I_{ph} = & \pm & \end{array}$$

L'éclairement se mesure à l'aide d'un luxmètre



La diode est remplacée par le capteur du luxmètre pour mesurer l'éclairement

$$\bar{E} = \pm$$

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{\Delta I_{ph}}{I_{ph}} + \frac{\Delta \bar{E}}{\bar{E}}$$

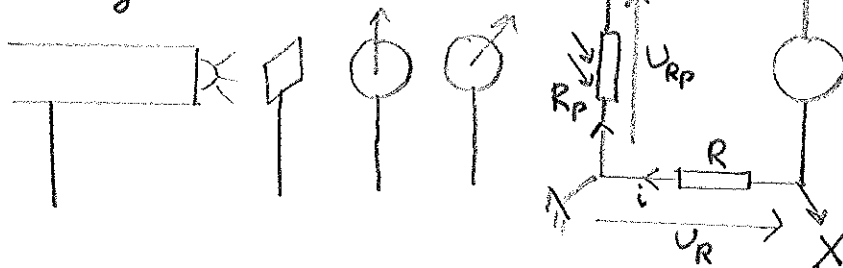
$$\text{D'où } S = \pm$$

Alors que la résolution nous renseigne sur la plus petite variation de mesure qu'un appareil peut déceler, la sensibilité renseignera la capacité à faire évoluer plus ou moins rapidement I_{ph} avec $\bar{E}$, on en déduira donc sur quelle intervalle on peut faire varier $\bar{E}$ sans qu'une évolution de I_{ph} ne soit perceptible.

* La photoresistance

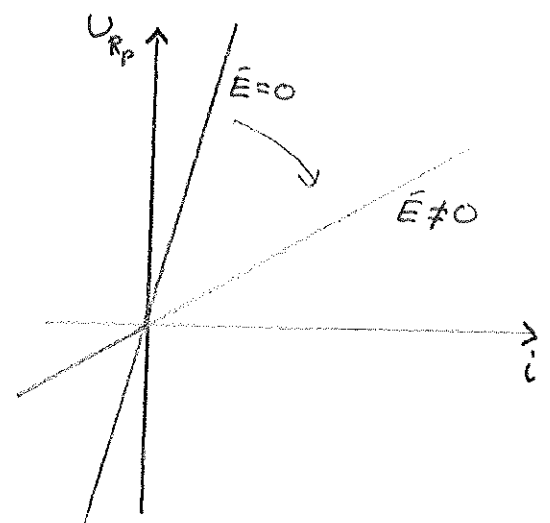
La photoresistance est composée d'un semi conducteur de forte résistivité. De la même manière que pour la photodiode, l'exposition à la lumière permet aux électrons de passer dans la bande de valence, ainsi la résistance du semi-conducteur diminue avec l'éclairement.

Montage:



$$\alpha = \pm$$

$$R_p = \pm$$

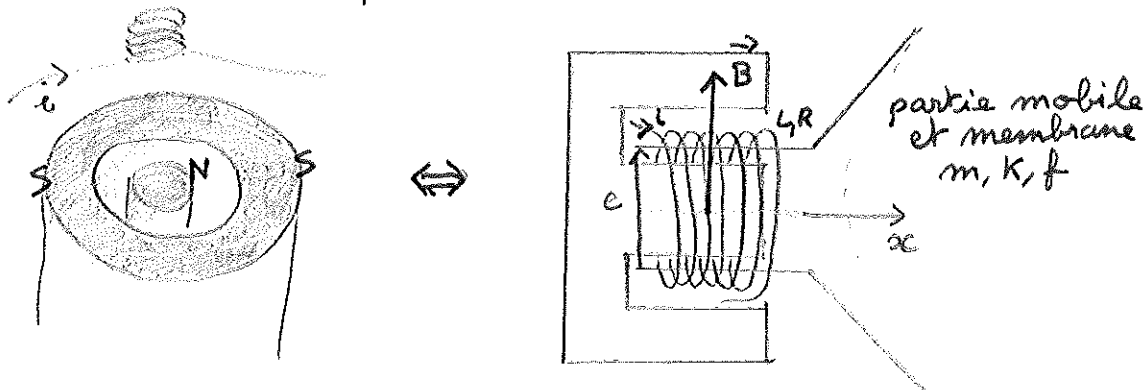


L'évolution de R_p n'est pas proportionnelle à l'éclairement,

R_p évolue en $\frac{1}{\bar{E}}$ (de manière plus générale en $\frac{1}{\bar{E}^m}$)
 $m \in [0,5; 1]$

II) Le Haut-Parleur : Transducteur électromagnétique

Le haut parleur est placé dans un champ B radial crée par un aimant permanent. Lorsque la bobine est parcourue par une intensité périodique, elle entre en vibration sous l'effet des forces de Laplace et entraîne la membrane qui met un son de même fréquence



2 équation

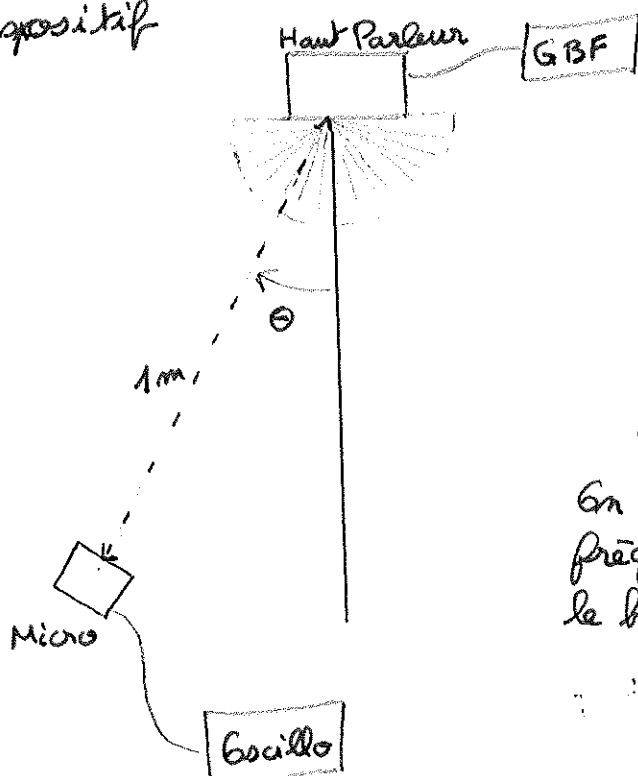
$$\begin{cases} \text{électrique} & e(t) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} + Bl \frac{dx}{dt} \\ \text{mécanique} & m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - a \frac{dx}{dt} + Bl i(t) \end{cases}$$

en complexe : $\underline{e} = (R + jL\omega) \underline{i} + \underbrace{\frac{(Bl)^2 j\omega}{k + ja\omega - m\omega^2}}_{Z_m} \underline{i}$

On peut modéliser Z_m comme étant $R_m // C_m // L_m$

1) Diagramme de rayonnement

Dispositif

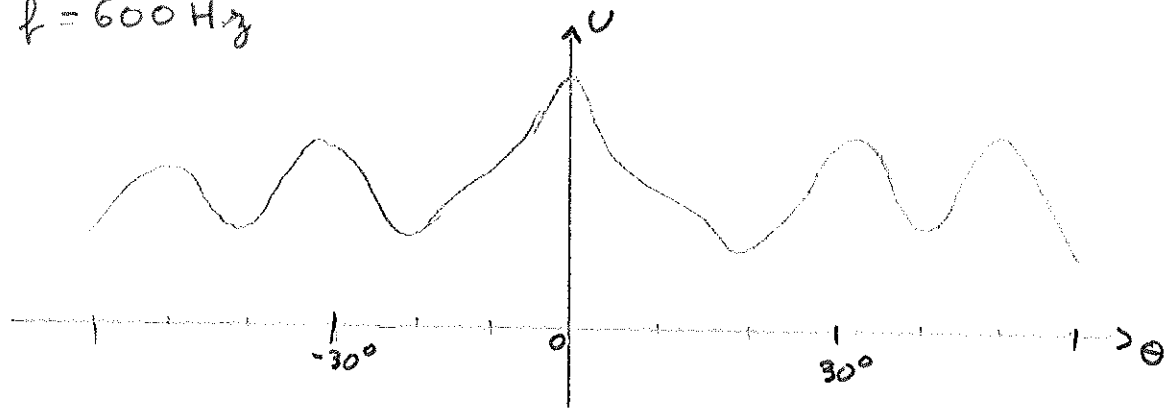


Mesure de l'amplitude du signal reçu U en fonction de θ

La diffraction peut s'appliquer à ce système, elle est observable pour $\lambda \approx a$ où a est la taille de la membrane ($\theta = 0,61 \frac{\lambda}{a}$)

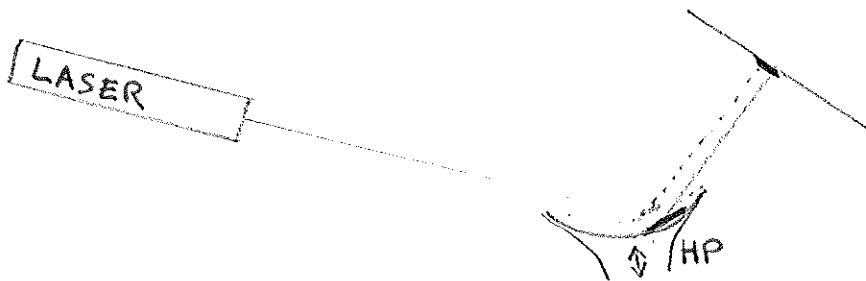
On peut s'intéresser aussi à des fréquences plus basses pour vérifier le bon fonctionnement du haut parleur

Pour $f = 600 \text{ Hz}$



2) Résonance mécanique

Le haut-parleur possède deux fréquences de résonance, une à basse fréquence : $f_0 = 2\pi\sqrt{\frac{K}{m}}$ et l'autre à haute fréquence $f_c = \frac{c}{2\pi a}$, entre ces deux fréquences se situe la bande passante du haut-parleur.



Plus l'amplitude de la tâche du laser, plus la fréquence est proche de f_0 ou f_c

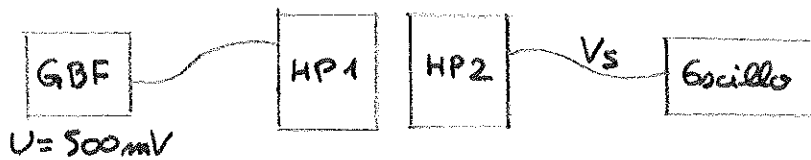
$$f_0 = \pm$$

$$f_c = \pm$$

3) Réversibilité et Rendement

Etant donné les équations électriques et mécanique, un déplacement x est équivalent à une intensité i (réversibilité)

⇒ en tapotant la membrane, on observe un courant



Fonctionnement du second Haut parleur comme un micro

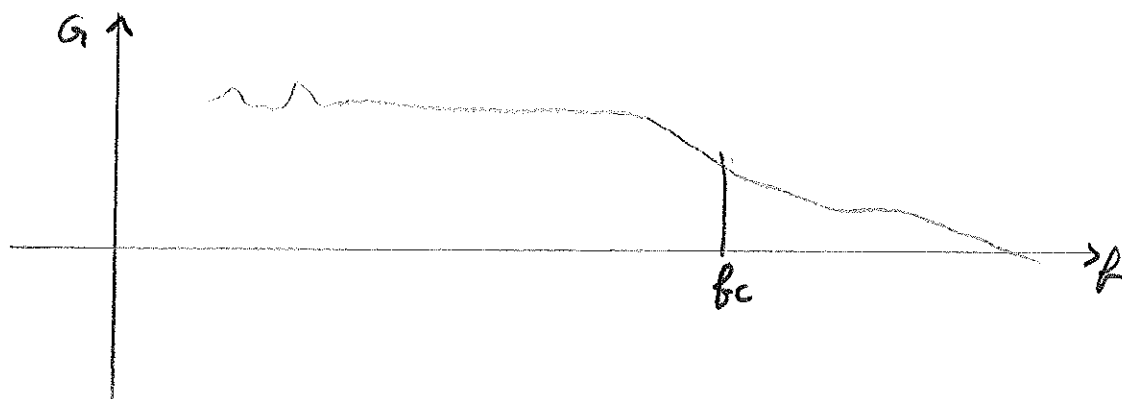
On mesure le rendement $\eta = \frac{V_s}{U}$ pour connaître la bande passante des hauts parleurs, en considérant la puissance acoustique proportionnelle à U : $G = 10 \log \frac{V_s}{U}$

$$f = \pm$$

$$V_s = \pm$$

Les hauts parleurs dans leurs gammes de fréquence de fonctionnement se comportent comme un passe-bas de fréquence de coupure à -3 dB : f_c

$$f_c = \pm$$



Conclusion : Nous avons pu caractériser certaines propriétés des capteurs et transducteurs comme la sensibilité, la linéarité, la réversibilité même si ces deux dernières propriétés ne sont pas communes à tous les transducteurs