

# De la difficulté de mesurer un temps de réponse

par Claude ROULEAU  
Lycée E. Littré - 50300 Avranches

---

L'utilisation de capteurs est de plus en plus répandue dans notre enseignement expérimental, leur étude figure au programme de l'option IESP. Le texte qui suit rend compte de quelques difficultés rencontrées lors de la mise au point de deux T.P. destinés à illustrer la notion de temps de réponse d'un capteur.

## 1. TEMPS DE RÉPONSE D'UN CAPTEUR

Un capteur est un dispositif (transducteur) qui fait correspondre à une grandeur physique d'entrée un signal de sortie mesurable. Dans les exemples qui suivent le signal de sortie est une tension, le signal d'entrée une température ou un éclaircissement.

Si le capteur est soumis à une variation brusque de sa grandeur d'entrée, on peut définir, sans formalisme mathématique, le temps de réponse à 5 % comme le temps au bout duquel la tension de sortie passe de sa valeur initiale à une valeur qui ne diffère que de 5 % au maximum de la valeur obtenue au bout d'un temps très long.

## 2. TEMPS DE RÉPONSE D'UN CAPTEUR DE TEMPÉRATURE

### Matériel nécessaire et montage

Ordinateur, interface Orphy (ou autre), logiciel Regressi. Le capteur utilisé est un LM35Z. Il donne une réponse en température de la forme  $U = a\theta$  avec  $U$  en Volt,  $\theta$  en °C et  $a = 0,1 \text{ V}/^\circ\text{C}$ . Cette sonde de température est fournie avec l'ensemble Sciences Physiques utilisable avec Orphy.

On peut étudier la réponse de ce capteur lorsqu'il est soumis à un échelon de température. Les expériences proposées peuvent être menées à bien à l'aide d'un chauffe-biberon contenant de l'eau dans

laquelle plonge un thermomètre (eau à 50°C environ) et d'un béccher contenant de l'eau à la température de la pièce (20°C).

### Première manipulation

**a** - La sonde est placée dans l'air aux environs de 20°C puis dans l'eau au voisinage de 50°C. L'état d'équilibre thermique est atteint au bout d'une minute environ.

**b** - La sonde initialement dans l'eau à 50°C est sortie, essuyée rapidement et placée de nouveau dans l'air à 20°C. L'état d'équilibre n'est atteint qu'au bout de cinq à six minutes (figure 1, enregistrements TH1 et TH2).

Une conclusion hâtive et erronée serait d'affirmer que le capteur ne réagit pas de la même manière lors d'une élévation et d'un abaissement de température (cette erreur est d'autant plus facile à commettre que l'expérience est reproductible avec tout type de capteur de température).

### Deuxième manipulation

**a** - La sonde est placée dans l'eau à 20°C puis dans l'eau au voisinage de 50°C.

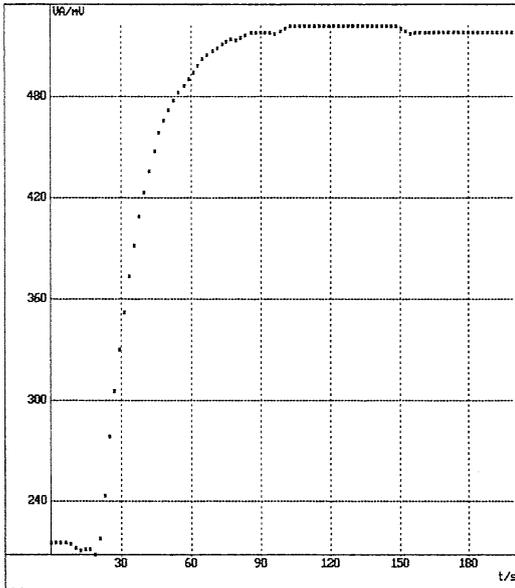
**b** - La sonde initialement dans l'eau à 50°C est placée dans l'eau à 20°C .

Cette fois les temps de réponse du capteur déterminés à partir des enregistrements sont quasiment identiques dans les deux cas (figure 2, enregistrements TH3 et TH4).

À ce niveau et pour des élèves de seconde, deux conclusions s'imposent :

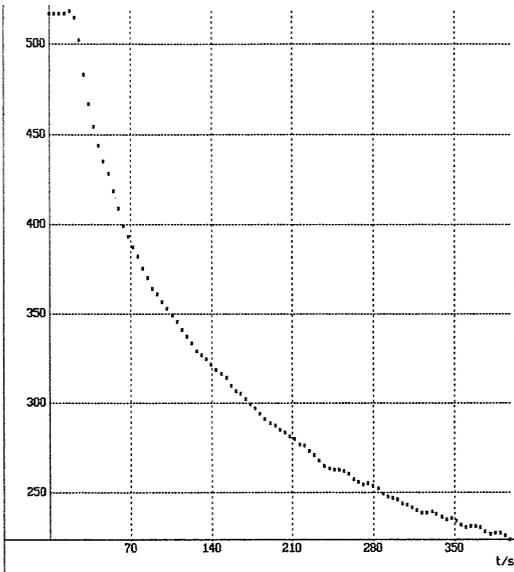
– les temps de réponse d'un capteur n'est pas une propriété intrinsèque du capteur, il dépend de son environnement ;

– il est évident (après-coup) que l'échange thermique, entre la sonde et le fluide qui l'entoure, ne s'effectue pas de la même manière dans l'air et dans l'eau. Cet échange est beaucoup plus rapide avec l'eau. Ce phénomène est à rapprocher du fait qu'un individu peut vivre un certain temps dans de l'air à 5 ou 6°C mais que son temps de survie est très bref s'il tombe dans de l'eau à cette température (sans tenir compte d'un éventuel phénomène d'hydrocution).

**Enregistrement TH1**

état initial : sonde dans  
l'air à 20°C

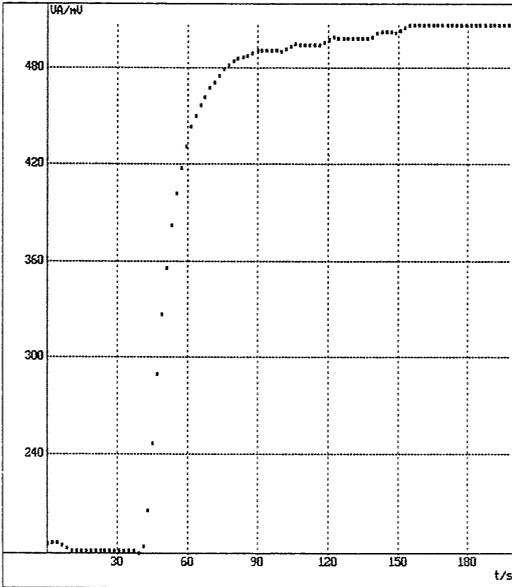
état final : sonde dans  
l'eau à 51°C

**Enregistrement TH2**

état initial : sonde dans  
l'eau à 54°C

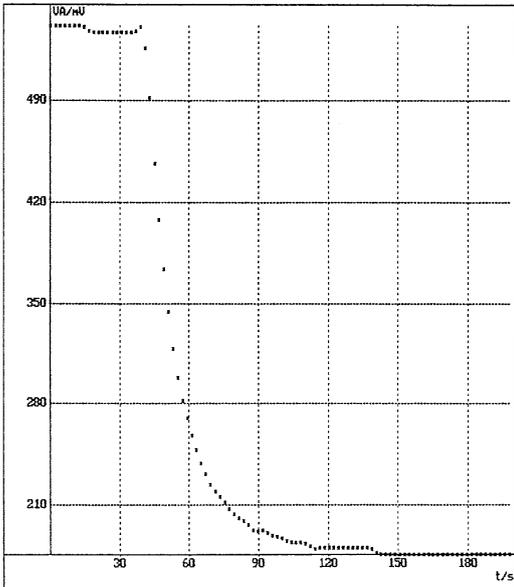
état final : sonde dans  
l'air à 20°C

**Figure 1**



**Enregistrement TH3**

état initial : sonde dans l'eau à 18°C  
 état final : sonde dans l'eau à 51°C



**Enregistrement TH4**

état initial : sonde dans l'eau à 54°C  
 état final : sonde dans l'eau à 18°C

**Figure 2**

### 3. TEMPS DE RÉPONSE D'UN CAPTEUR OPTOÉLECTRONIQUE

Le T.P. est d'abord présenté tel qu'il est proposé aux élèves. Il est suivi d'un exposé de quelques problèmes rencontrés lors de sa mise au point.

#### 3.1. La manipulation

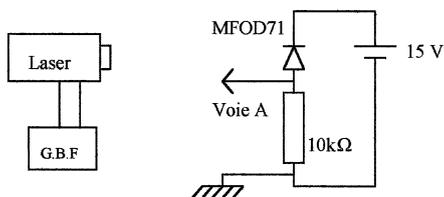
Le but est de comparer les temps de réponse d'une photodiode et d'un phototransistor.

#### Matériel nécessaire et montage

GBF, laser modulable à semi-conducteur, alimentation pour le laser, résistance  $10\text{ k}\Omega$ , alimentation  $15\text{ V}$ , oscilloscope, des fils, photodiode MFOD71, phototransistor MFOD72 (type npn).

Le laser est modulé par un GBF en signaux carrés. Il éclaire un des capteurs cités. Le capteur est en série avec une alimentation de  $15\text{ V}$  et une résistance de  $10\text{ k}\Omega$  aux bornes de laquelle on peut brancher un oscilloscope.

Exemple de montage avec une photodiode MFOD71 :



Le laser utilisé émet dans le rouge avec une longueur d'onde de  $670\text{ nm}$  la photodiode et le phototransistor ont tous deux leur maximum de sensibilité vers  $825\text{ nm}$ . Cela ne gêne pas la manipulation. La distance laser- photorécepteur est maintenue constante.

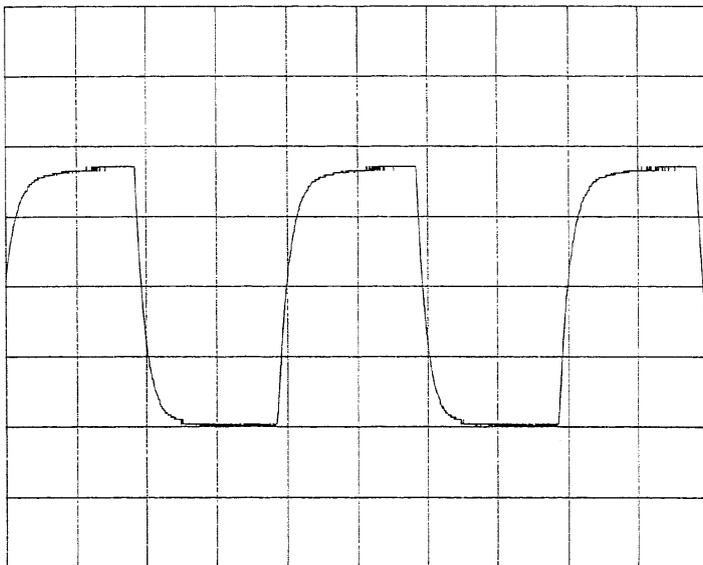
Pour éviter les problèmes liés à la présence d'une masse commune entre émetteur et récepteur, il paraît préférable de n'utiliser qu'une seule voie de l'oscilloscope et d'observer l'un après l'autre le signal de modulation et le signal reçu.

### *Observations et mesures*

**a** - Visualiser à l'oscilloscope le signal fourni par le GBF en variant sa fréquence jusqu'à environ 30 kHz. Vérifier qu'aucune déformation visible des angles du signal carré n'apparaît.

**b** - Visualiser le signal aux bornes de la résistance de 10 k $\Omega$  et varier la fréquence, une déformation du signal apparaît. La courbe de la figure 3 est obtenue avec une photodiode MFOD71 pour une fréquence du signal carré de modulation de 25 kHz et une durée de balayage de l'oscilloscope 10  $\mu$ s/div.

Une légère dissymétrie des courbes par rapport à un axe horizontal peut apparaître, elle est due, en général, à un défaut d'alignement du laser et de la photodiode.



**Figure 3**

**c** - Même manipulation en remplaçant la photodiode par le phototransistor (Attention ! le transistor étant du type npn, il faut inverser les bornes de l'alimentation). La déformation du signal a lieu dès 500 Hz. On peut également remarquer que le signal observé est beaucoup plus important qu'avec la photodiode et qu'en l'absence de générateur, le phototransistor ne fournit aucun courant, il est bloqué.

*d* - Mesurer les temps de réponse à l'oscilloscope de ces deux capteurs dans ce montage.

### 3.2. Difficultés liées à la manipulation

La mesure du temps de réponse de cette manière est critiquable.

D'une part on ne mesure pas le temps de réponse du capteur mais le temps de réponse de l'ensemble du montage diode laser et photodiode ou diode laser et phototransistor. La déformation du signal pourrait être, a priori, aussi bien attribuée à la diode laser qu'au capteur. On verra plus loin qu'il n'en est rien.

D'autre part la photodiode est un capteur à réponse rapide, il est anormal de trouver une déformation du signal aussi importante dès 25 kHz. D'où cela peut-il provenir ? La réponse à cette question n'est pas simple, plusieurs facteurs peuvent intervenir.

#### *a - Influence de la résistance en série avec le capteur*

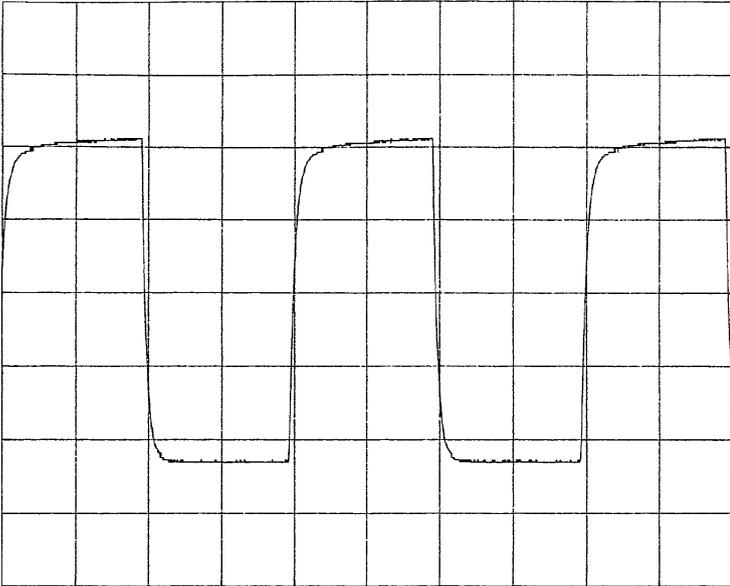
Avec la photodiode, des signaux carrés à une fréquence de 25 kHz pour moduler le laser, une durée de balayage de 10  $\mu\text{s}/\text{div}$  on obtient pour des résistances de 4,7 k $\Omega$  et 47 k $\Omega$  les courbes de la figure 4.

#### *b - Influence du câble de liaison avec l'oscilloscope*

Toujours avec la photodiode et les mêmes réglages que ci-dessus, on obtient pour une résistance de 22 k $\Omega$ , les courbes de la figure 5. Courbe (a) si on utilise un câble coaxial banane/BNC type KX15, courbe (b) dans le cas d'une liaison bifilaire de même longueur.

Tout se passe comme si le montage se comportait comme un circuit RC dont on ferait varier la constante de temps en agissant soit sur R soit sur C. Dans cette hypothèse la détermination graphique de la constante de temps conduit, pour C, à des valeurs de l'ordre de la centaine de pF. Cette capacité est due pour une faible part à la photodiode elle-même (de l'ordre de quelques pF) et pour le reste aux capacités parasites du circuit. Dans le cas des courbes (a) et (b), les capacités valent respectivement 180 pF et 60 pF. La différence de 120 pF est bien du même ordre que la capacité d'un câble KX15 (100 pF d'après le constructeur) [1].

R = 4,7k $\Omega$



R = 47k $\Omega$

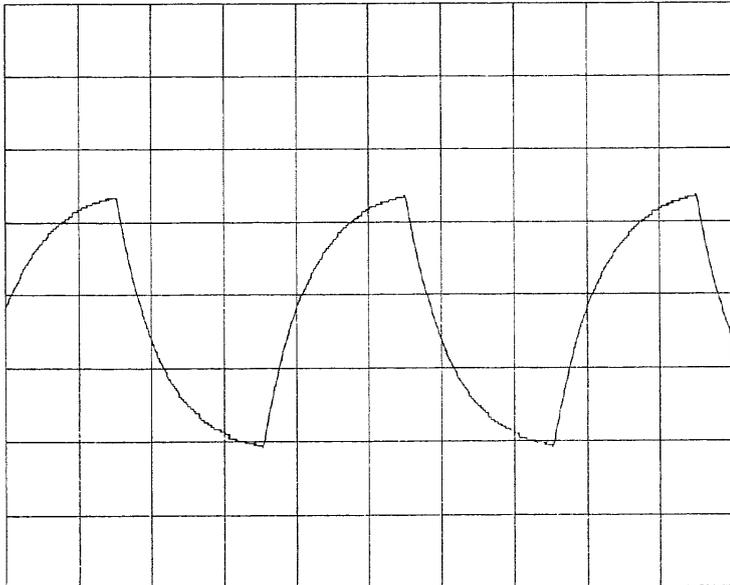
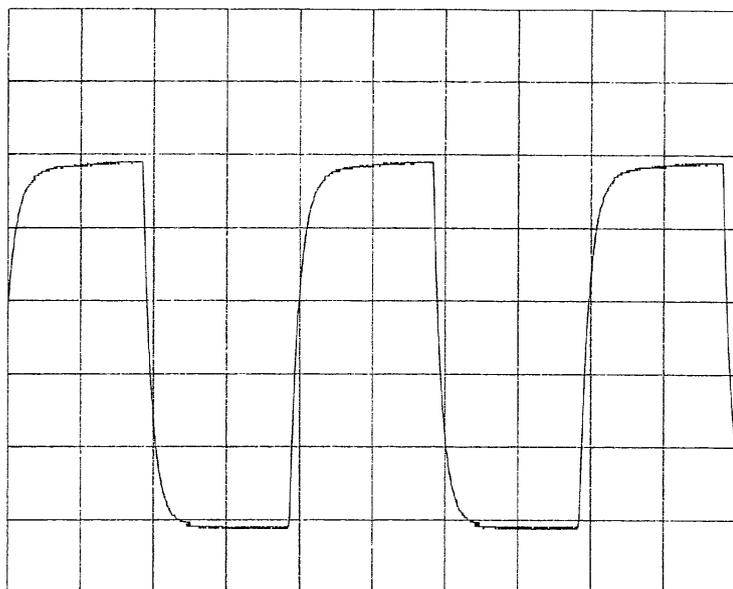


Figure 4



Courbe (a)  
Câble coaxial  
KX15



Courbe (b)  
Liaison bifilaire

Figure 5

### c - Influence du montage dans son ensemble

Dans le montage précédent la photodiode n'est pas polarisée sous tension constante, le courant qu'elle débite n'est donc pas proportionnel à son éclairage [2]. Le montage convertisseur courant-tension [montage 1, (figure 6)] permet de palier à cet inconvénient [3]. La tension observée à la sortie de l'ampli-op est proportionnelle au courant traversant la photodiode.

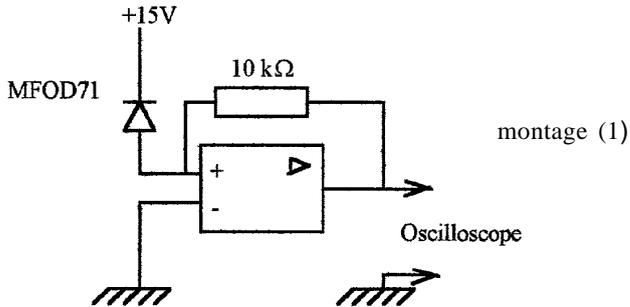


Figure 6

Si l'ampli-op est un TL081 on obtient inmanquablement des oscillations avec le montage (1). L'utilisation d'un 741 évite partiellement cet inconvénient (figure 7).

En plaçant une résistance de  $47 \Omega$  entre la sortie de l'ampli-op et la masse du montage (montage (2), figure 8), les résultats obtenus sont nettement améliorés. Avec un TL081 les oscillations disparaissent dans leur quasi-totalité, avec un 741 le signal observé est le même que celui existant aux bornes du GBF (figure 9).

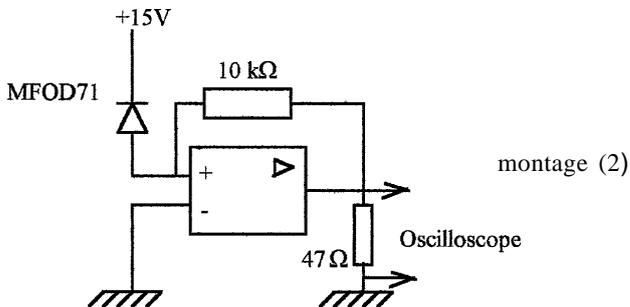
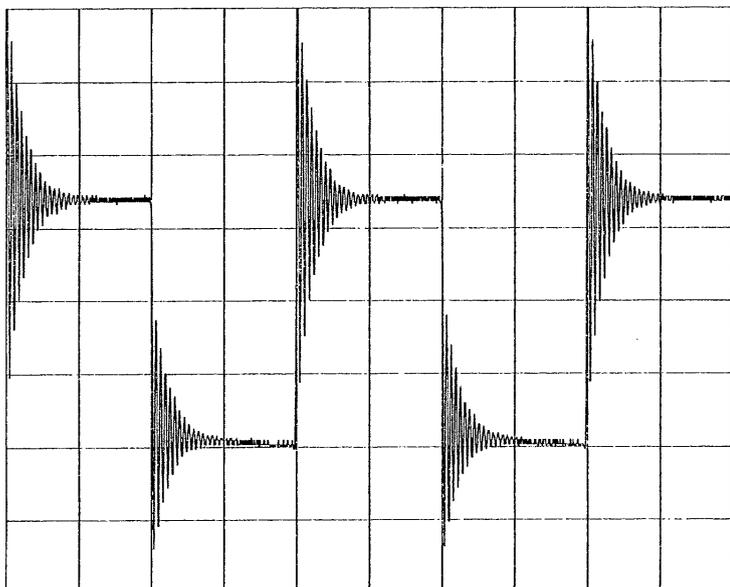


Figure 8

Utilisation d'un  
TL081 avec le  
montage (1)



Utilisation d'un  
741 avec le  
montage (1)

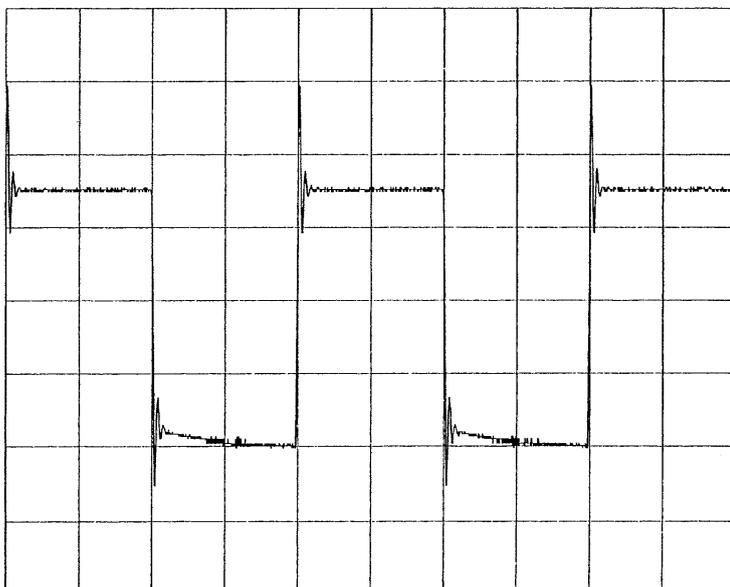
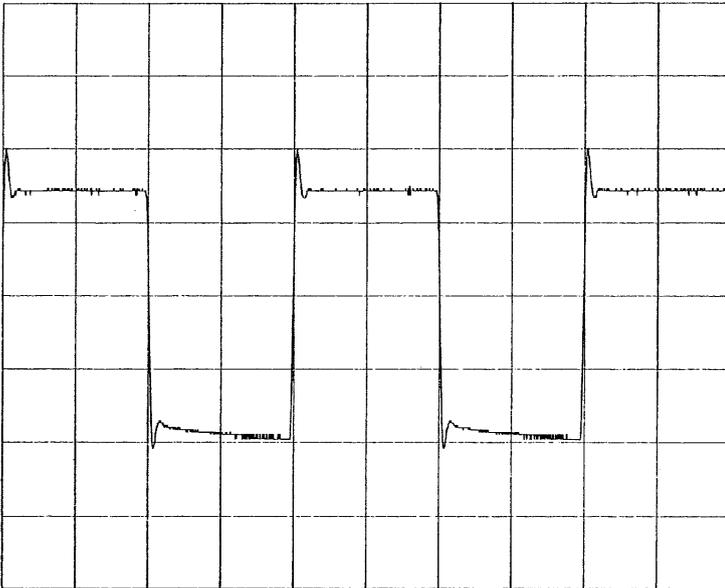
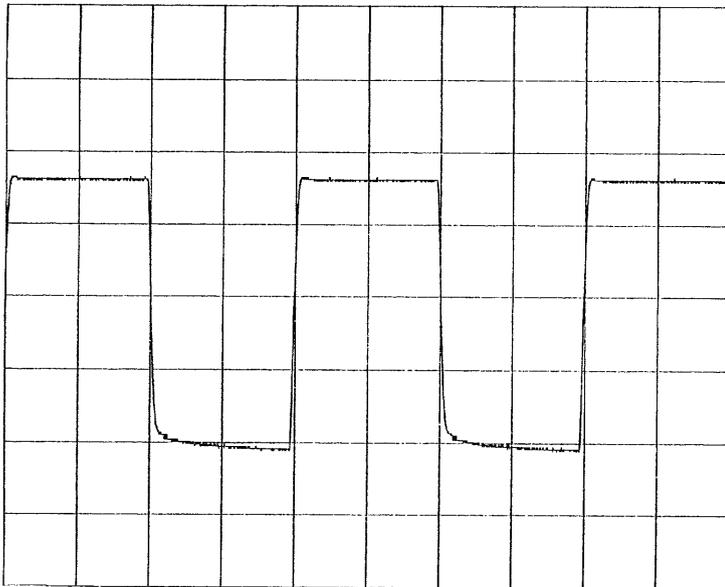


Figure 7



Utilisation d'un TL081 avec le montage (2)



Utilisation d'un 741 avec le montage (2)

Figure 9

Ces derniers montages montrent que la photodiode, correctement utilisée, reproduit fidèlement le signal carré fourni par le GBF à 25 kHz. On vérifie de ce fait que la diode laser n'apporte aucune déformation au signal.

#### 4. CONCLUSION

Il ressort de ces deux séries de manipulations que le temps de réponse d'un capteur n'est pas une grandeur caractéristique du capteur lui-même mais qu'il dépend :

- de l'environnement du capteur (exemple du capteur de température),
- du montage dans lequel est connecté le capteur (exemple de la photodiode).

Sans développer tout ce qui précède, il semble que ces notions peuvent être suggérées, de manière qualitative, à des élèves de seconde dans le cadre de l'option IESP.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.-M. DUSSEAU : «*Circuits électriques utilisant certains éléments constitués par des câbles coaxiaux*» - B.U.P. n° 768.
- [2] V. ORSINI et M. CARON : «*Utilisation des photodiodes en photométrie*» - B.U.P. n° 565.
- [3] J.-M. DONNINI, R. PAYAN et P. RENUCCI : «*Utilisation d'un convertisseur courant-tension : étude des intensités et tracé de caractéristiques*» - B.U.P. n° 764.