

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEM  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE BIOMEDICAL

---

## **POLYCOPIÉ DE TRAVAUX PRATIQUES**

### **Mesures et Capteurs**

---

Année : 2015-2016

Fait par : Dr. TAOULI Sidi Ahmed

## Préface

La matière « mesures et capteurs » conçu sous forme de travaux pratiques (TP), présente une manière d'aborder la mesure d'une grandeur physique facilement appréciable par différents capteurs.

Les capteurs et les transducteurs résistifs, inductifs, capacitifs, optiques, ou photo-électriques font l'objet de ces travaux pratiques.

Ce polycopié est divisé en six manipulations :

- Le TP n°1 porte sur la mesure de température centrée autour de l'étude de fonctionnement du capteur intégré LM35 et la thermistance à coefficient négatif "CTN" ;
- Le TP n°2 porte sur le fonctionnement d'un transducteur tension fréquence afin de mesurer la température ;
- Le TP n°3 sera consacré pour présenter le fonctionnement d'une photodiode et d'un phototransistor dans un optocoupleur, d'un optoisolateur intégré ;
- Le TP n°4 présente une étude théorique et pratique du capteur de température à sonde platine Pt100 et d'un thermocouple ;
- Le TP n°5 porte sur le détecteur de proximité inductif et capacitif. L'objectif est de montrer l'influence du matériau de la pièce sur le comportement des capteurs de déplacements inductifs et capacitifs.
- Enfin, le dernier TP n°6 présente le capteur de proximité photoélectrique comme étant une des moyens de détecter les différents métaux en fonction de la variation de la distance du transducteur optique.

La plaque intégrée DE LORENZO est utilisée comme moyen de base pour la réalisation des trois premiers travaux pratiques (TP n°1,2 et 3). Les TP n°4, 5 et 6 ont été réalisés sur la base de réalisations pratiques.

Le présent polycopié de travaux pratiques est destiné au 5<sup>ème</sup> & 7<sup>ème</sup> semestre des licences L3 Electronique biomédical (EBM) et des masters M1 Instrumentation Biomédical (INB).

# Sommaire

Généralités sur les capteurs .....	Page 1
Annexe N°1 .....	Page 12
Mesure de la température.....	Page 14
Annexe N°2 .....	Page 29
Convertisseur tension fréquence .....	Page 32
Étage d'optoisolation .....	Page 43
Étude de température à sonde PT100 et thermocouple .....	Page 56
Annexe N°3 .....	Page 70
Capteur de proximité inductif et capacitif .....	Page 73
Capteur de proximité photoélectrique.....	Page 86
Bibliographie.....	Page 93

# Généralités sur les capteurs

Dans de nombreux domaines (industrie, recherche scientifique, services, loisirs, etc ...), on a besoin de contrôler de nombreux paramètres physiques (température, force, position, vitesse, luminosité, etc ...). Le capteur est donc l'élément indispensable à la mesure de ces grandeurs physiques.

## 1. Définitions

- Mesurande : C'est la grandeur physique que l'on souhaite connaître.
- Capteur : c'est un transducteur qui va transmettre la mesurande (grandeur physique) vers une grandeur électrique (signal électrique).



**Figure 1** : schéma fonctionnel d'un capteur

La grandeur obtenue à la sortie d'un capteur est de type électrique. Elle peut être soit :

- Une charge
- une tension
- un courant,
- une impédance (R, L, C).

## 2. Rôle du capteur

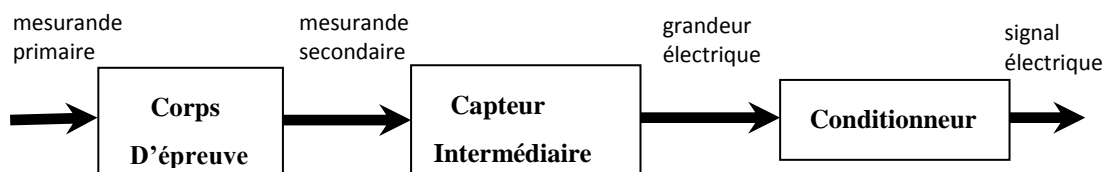
Ils existent plusieurs grandeurs physiques notamment : température- flux optique- position- débit- vitesse- humidité...etc. Le rôle du capteur est de rendre exploitable ces différentes grandeurs physiques en vue de leur traitement ultérieur.

## 3. Chaîne de mesure

La chaîne de mesure est constituée de trois étapes :

- Corps d'épreuve : celui en contact direct avec la mesurande.
- Capteur intermédiaire : ce transducteur est associé à un conditionneur qui fournit une grandeur électrique de sortie exploitable.
- Conditionneur : qui fournit une grandeur électrique de sortie exploitable et d'autre part, il détermine la nature finale du signal électrique.

L'ensemble de ces étapes constitue la chaîne de mesure (figure 2).



**Figure 2** : constitution d'une chaîne de mesure classique

#### 4. Les différentes familles de capteurs

Les capteurs présentent des caractéristiques différentes. Ces différences peuvent se baser sur:

- leur principe de fonctionnement:
  - capteurs actifs
  - capteurs passifs
- leur principe de traduction du mesurande
  - capteur résistif
  - capteur à effet Hall
  - etc...

##### 4.1. Capteurs actifs :

La sortie du capteur est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension, ou charge.

Les principes physiques mis en jeu sont représentés dans l'annexe N°1.

Précisions sur les effets utilisés :

- **Effet thermoélectrique** : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures  $T_1$  et  $T_2$ , est le siège d'une force électromotrice ( $T_1, T_2$ ) (figure 3).
- **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées (figure 4).

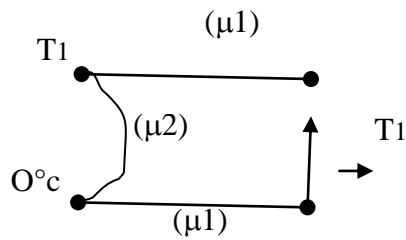


Figure 3 : Effet thermoélectrique

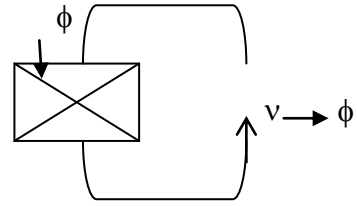


Figure 4 : Effet piézo-électrique

- **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.
- **Effet photo-électrique** : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à un seuil caractéristique du matériau.

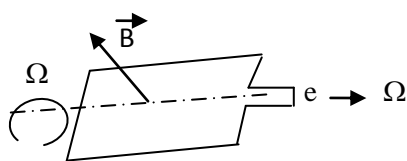


Figure 5 : Effet induction

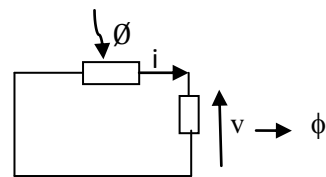


Figure 6 : Effet photoélectrique

- **Effet Hall** : Un champ  $B$  crée dans le matériau un champ électrique  $E$  dans une direction perpendiculaire.
- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

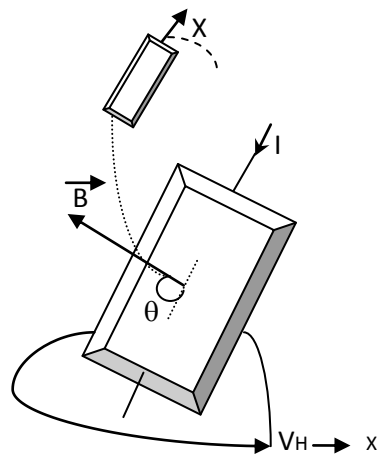


Figure 7 : Effet Hall

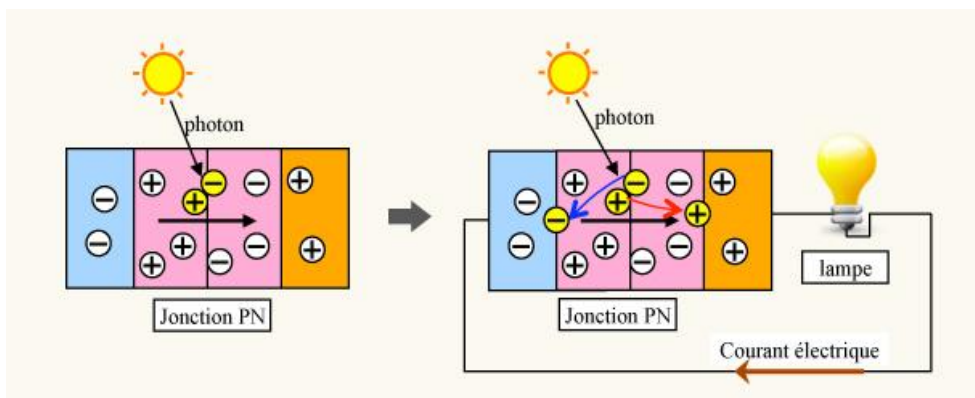


Figure 8 : Effet photovoltaïque



## 4.2. Capteurs passifs

La sortie du capteur est un dipôle passif qui peut être résistif, capacitif ou inductif. Le tableau 2 résume, en fonction de la mesurande, les effets utilisés pour réaliser la mesure (voir l'annexe N°1).

**Remarque :** On peut classer les grandeurs physiques en six familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces six familles :

1. Mécanique : déplacement, force, masse, débit etc.
2. Thermique : température, capacité thermique, flux thermique etc...
3. Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc.
4. Magnétique : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc.
5. Radiatif : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc.
6. Biochimique : humidité, gaz, sucre, hormone etc.

### Performance d'un capteur : définition métrologie

De manière à classer les capteurs en fonction de leur performances, on est amené à définir des paramètres qui permettent de les sélectionner en fonction de l'application désirée.

### Etendue de la mesure

Elle définit la zone dans laquelle les caractéristiques du capteur sont assurées par rapport à des spécifications données. On peut classer cette zone en trois familles (voir la figure 9) :

#### - Zone nominale d'emploi :

Zone dans laquelle la mesurande peut évoluer sans modification des caractéristiques du capteur.

- **Zone de non-détérioration :**

Valeurs limites des grandeurs influençant le capteur (mesurande, température, environnante, etc.) sans que les caractéristiques du capteur ne soient modifiées après annulation de surcharge éventuelles.

- **Zone de non-destruction :**

Elle définit les limites garantissant la non-destruction du capteur mais dans laquelle il peut y avoir des modifications permanentes des caractéristiques du capteur.

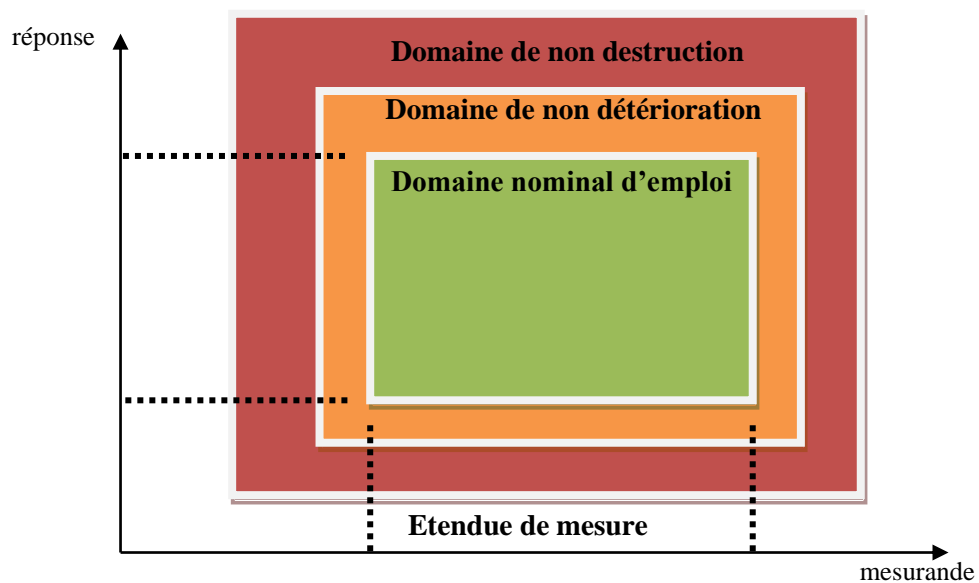


Figure 9 : Domaines d'utilisation du capteur

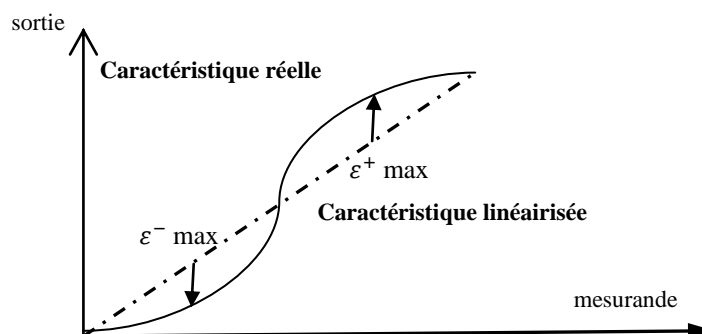
## 5. Principales caractéristiques des capteurs

- **L'étendue de la mesure :** c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.
- **La sensibilité :** C'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur. Dans le cas d'un capteur linéaire, la sensibilité du capteur est constante.

$$\text{Sensibilité } (S) = \left. \frac{d(\text{Grandeur de sortie})}{d(\text{mesurande})} \right|_{\text{point d'étude}}$$

Il faut noter que la sensibilité d'un capteur peut être fonction du conditionneur auquel il est associé.

- La rapidité : C'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.
- La précision : c'est le temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
- Finesse : C'est la qualité d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer du capteur sur la mesure. On la définit non seulement vis-à-vis du capteur mais aussi vis-à-vis de l'environnement d'utilisation du capteur.
- Linéarité : zone dans laquelle la sensibilité du capteur est indépendante de la valeur de la mesurande. Cette zone peut être définie à partir de la définition d'une droite obtenue comme approchant au mieux la caractéristique réelle du capteur, par exemple par la méthode des moindres carrés, on définit à partir de cette droite l'écart de linéarité qui exprime en % l'écart maximal entre la courbe réelle et la droite approchant la courbe (figure 10).



**Figure 10** : Exemple de linéarisation de caractéristiques

## 6. Classification des capteurs

Il existe 3 grandes familles de capteurs :

- les capteurs Tout Ou Rien (TOR),
- les capteurs analogiques,
- les capteurs numériques.

### 6.1. Le capteur Tout Ou Rien (TOR)

Ce type de capteur permet de détecter un événement ou un objet lié au fonctionnement du système technique.

Le signal électrique en sortie de ce capteur est de type logique (signal acceptant 2 niveaux : niveau logique 0 (NL0) ou niveau logique 1 (NL1)).

### 6.2. Le capteur analogique

Une variation de la grandeur physique d'entrée du capteur produit une variation de la caractéristique électrique du capteur (courant, tension, fréquence, valeur moyenne, rapport cyclique,...).

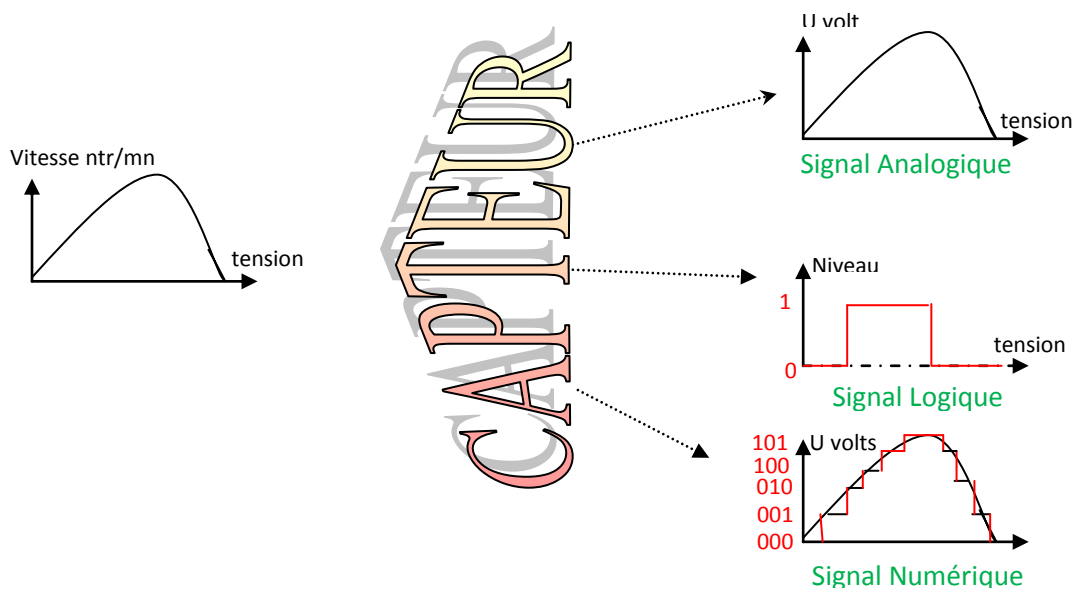


Figure 11 : familles de capteurs

### 6.3. Le capteur numérique

Ce type de capteur produit un nombre binaire  $N$  (combinaison de signaux logiques : voir synthèse code et numération) qui dépend directement de la grandeur physique à capter.

**SL1** : signal logique 1 ;  $N$  : nombre binaire de  $n$  bits ( $n$  signaux logiques).

Son avantage est que l'on peut directement le connecter à un microcontrôleur qui pourra exploiter le nombre  $N$ . Il n'y a pas de mise en forme analogique et/ou logicielle.

Son inconvénient est qu'en sortie plusieurs fils sont disponibles (en fonction du nombre de bits du nombre binaire  $N$ ), donc le nombre d'entrées du microcontrôleur devra être important. Plus  $n$  (nombre de bits de  $N$ ) est grand et plus la précision sera importante.

## 7. Critère de choix d'un capteur de position ou de proximité

Un capteur de position est un élément de mesure ayant un contact avec l'objet dont on doit vérifier s'il occupe une position donnée. Une seule technologie est utilisée, ce sont les interrupteurs de fin de course.

Un capteur de proximité est un élément de mesure détectant si un objet est présent à proximité sans avoir de contact avec l'objet. La détection s'opère par des effets physiques que l'objet peut produire sur le détecteur, sans contact. Il existe 4 technologies :

- ❖ Capteur de proximité inductif : l'objet est de détecter par ses effets sur un champ magnétique émis par le détecteur.
- ❖ Capteur de proximité capacitif : l'objet est de détecter par ses effets sur un champ électrique émis par le détecteur.

- ❖ Capteur de proximité photoélectrique : l'objet est de détecter par ses effets sur un faisceau de radiations optiques.
- ❖ Capteur de proximité ultrasonique : l'objet est de détecter par ses effets sur une onde ultrasonique émise par le détecteur.

L'annexe N° 1 représente le critère de choix d'un capteur de position ou de proximité.

## Annexe N°1

MESURANDE	EFFET UTILISE	GRANDEUR DE SORTIE
Température	Thermoélectricité (thermocouple)	Tension
Flux optique	Photoémission Pyroélectricité	Courant Charge
Force, pression, accélération	Piézoélectricité	Charge
Position	Effet Hall	Tension
Vitesse	Induction	Tension

Tableau 1 : effets physiques des capteurs actifs

MESURANDE	EFFET UTILISE (Grandeur de sortie)	MATERIAUX
Température	Résistivité	Platine, nickel, cuivre, semi-conducteurs
Très basse température	Cst diélectrique	Verre
Flux optique	Résistivité	Semi-conducteurs
Déformation	Résistivité Perméabilité	Alliages nickel Alliages ferromagnétique
Position	Résistivité	Magnétorésistances : Bismuth, antimoine d'indium
Humidité	Résistivité	Chlorure de lithium

Tableau 2 : effets physiques des capteurs passives

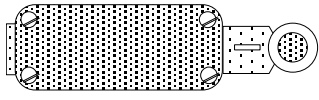
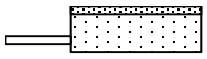


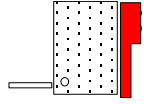
Type de détecteurs	Avantages	Inconvénients	Applications courantes
<p>Interrupteur de position</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précision</li> <li>• Détection positive (sûre)</li> <li>• Type d'alimentation indifférente</li> </ul>	<p>Détection avec contact Durée de vie (usure)</p>	<p>Contacts de fin de courses nécessitant sécurité et précision</p>
<p>Interrupteurs à lames souple magnétiques</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Précision</li> <li>• Détection sans contact</li> <li>• Fiabilité</li> </ul>	<p>Détection des matériaux magnétiques uniquement Portée faible</p>	<p>Contact de fin de courses de vérins pneumatiques Contact de protection antivol sur ouvertures</p>
<p>Détecteurs de proximité inductifs</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enveloppe industrielle</li> <li>• Robustesse</li> <li>• Facilité d'installation</li> </ul>	<p>Portée faible (qq mm) Détection que des métaux conducteurs</p>	<p>Détection de présence de matière d'œuvre ou d'éléments mobiles sur tous type de machines</p>
<p>Détecteurs de proximité capacitifs</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détection à travers les parois</li> <li>• Détection de tous les matériaux</li> </ul>	<p>Sensible aux modifications de l'environnement Prix élevé</p>	<p>Détection de niveaux Détection de matières poudreuses ou liquides</p>
<p>Détecteurs photoélectriques</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grandes portées (plusieurs m)</li> <li>• Fiabilité</li> </ul>	<p>Influence de la lumière ambiante Sensible à la pollution</p>	<p>Détection d'objets de toutes natures Détection d'accès</p>

Tableau 3 : critères de choix d'un capteur de proximité et de position.



## TP N°1

# Mesure de la température

La thermistance à « Coefficient de Température Négatif » (CTN) et le circuit intégré LM35 sont très couramment utilisées comme capteur de température dans l'industrie, en raison de leur propriétés d'interchangeabilité et de reproductibilité des mesures, notions très appréciées pour la maintenance des installations. Cette manipulation a pour objectif:

- L'étude du fonctionnement du capteur de température CTN.
- L'étude du fonctionnement du capteur de température intégré LM35.
- La vérification du bloc de conversion °C et °F.

### 1. Matériel utilisé:

- Oscilloscope.
- Multimètre numérique.
- Milliampèremètre.
- Plaque DELORENZO. (figure 1)

### Remarque :

#### Description DELORENZO

Ce système enseigne les principes de fonctionnement des capteurs/transducteurs qui sont les plus largement utilisés dans l'industrie. Il est subdivisé en deux sections: dans la section supérieure, présente un module avec une alimentation et connexion au PC, tandis que dans la section inférieure sont situés tous les transducteurs d'entrée et de sortie.



Figure 1 : Plaque DELORENZO

## Section supérieure :

Module avec alimentation et connexion au PC

### Alimentations:

- 0/+15 V<sub>cc</sub>, 1 A
- 0/-15 V<sub>cc</sub>, 1 A
- +15 V<sub>cc</sub>, 1 A
- -15 V<sub>cc</sub>, 1 A
- +5 V<sub>cc</sub>, 1 A
- -5 V<sub>cc</sub>, 1 A
- 6 - 0 - 6 V<sub>ca</sub>, 1 A



Figure 2 : Alimentation et le câblage

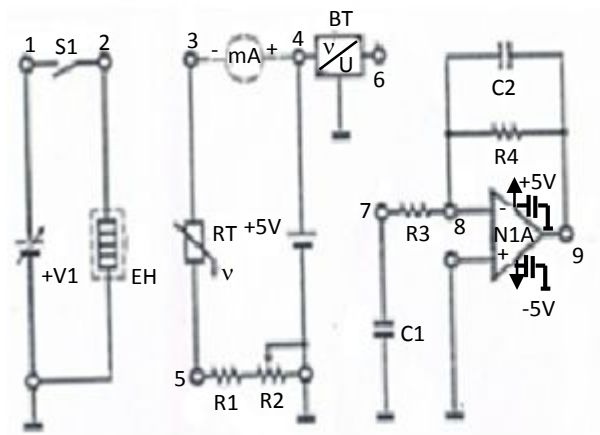
### Caractéristiques:

- Interface pour la connexion au PC.
- Structure solide et design moderne.
- Régulation de tension et protection contre la surtension ou le court circuit.
- Le module est livré avec un ensemble de câbles de raccordement.

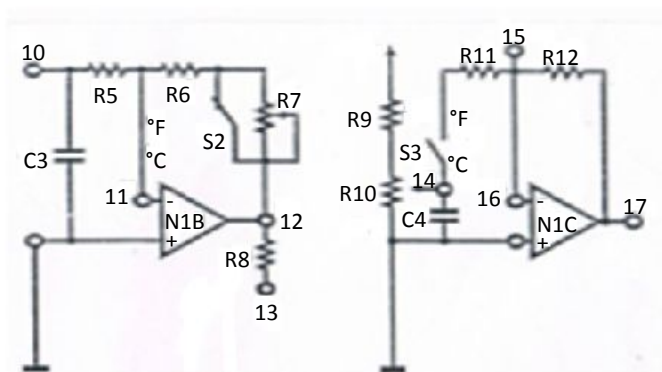
### Section inférieure:

Cette section regroupe trois blocs qui traitent des capteurs et transducteurs pouvant être utilisées en biomédical (voir l'annexe 1). Le critère de classification utilisé dans ce cours pour les capteurs et les transducteurs est basé sur leur principe physique de fonctionnement. Les capteurs et les transducteurs résistifs, inductifs, optiques ou photo-électriques sont étudiés dans ce module.

Les trois blocs correspondent aux trois manipes (ou trois TP), ainsi notre travail de 1<sup>ère</sup> TP situé dans le bloc de circuit N°1 (voir la figure 3 et 4). Cette bloc présente les capteurs de température (LM35- CTN), °C/°F, convertisseur et transducteur U/f. Il doit être possible d'effectuer les expériences suivantes: rapport entre CTN et LM35, fonction de linéarisation, fonction CTN, temps de réponse de la LM35, thermomètre électronique.



**Figure 3 :** Capteur de température et circuit de linéarisation



**Figure 4 :** Thermomètre électronique et réseau de conditionnement

La figure 3 présente le capteur de température et linéarisation qui constituer de : une alimentation variable (+V) qui relié avec une résistance de puissance (EH) entre la bague 1 et la bague 2. Le capteur de température CTN

(RT) situé entre la bague 3 et 4 et le capteur de température intégré LM35 (BT) situé entre les bagues 4 et 6.

La mesure de température est comme suite :

- Fermez l'interrupteur S1 (entre la bague 1 et 2),
- Varier +V ; et attendre quelque minutes afin que la résistance EH se réchauffe,
- La bague 6 (V6) représente la tension de capteur LM35 tel que :

$$T_A = V_6 * 100 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

- Température de NTC est :

$$T^{\circ}\text{C} = 1 / (1/\beta * \ln(RT/RT_A) + 1/RT_A) \quad (2)$$

La figure 4 traduire un thermomètre électronique et un réseau de conditionnement. Pour comprendre le fonctionnement de ce dernier, on va donner les étapes de mesure de chaque circuit :

- Connecter la bague 6 (figure 3) et la bague 10 (figure 4 : thermomètre) ;
- Connecter la bague 13 et la bague 15 (figure 4 : réseau de conditionnement) ;
- Alimenter le circuit et en mettre une tension +V ;
- Mettre les interrupteurs S2 et S3 simultanément sur °C ou °F ;
- Mesurez la température T°F :
- 

$$T^{\circ}\text{F} = 1.8 * T^{\circ}\text{C} + 32 \text{ [}^\circ\text{F]} \quad (3)$$

et le calcul de  $T^{\circ}\text{C}$  à partir de la formule (1)

## 2. Mesure de la température :

La température est un paramètre très important à prendre en compte, lors de l'étude de tout phénomène physique. En effet, les propriétés physico-chimiques de la matière dépendent énormément de la température. Pour cette raison, en recherche comme dans l'industrie, la mesure précise et le contrôle de la température sont très fréquents. Ainsi, il existe plusieurs techniques pour la mesure de la température.

Dans ce TP on s'intéresse aux deux types particuliers de capteurs à savoir la thermistance (CTN) et LM35.

### 2. 1 *Transducteur de la thermistance*

La thermistance (RT) est une résistance qui change de valeur en fonction de la température, voir la figure 3. Les thermistances ont une plage d'utilisation de  $-80^{\circ}\text{C}$  à  $+700^{\circ}\text{C}$ .

Les transducteurs à semi-conducteurs analysés dans ce module sont de deux types : CTN et CTP.

- La thermistance CTN (Coefficient de Température Négatif) a pour caractéristique de diminuer sa propre résistance au fur et à mesure qu'augmente la température.
- La thermistance CTP (Coefficient de Température Positif) a pour caractéristique d'augmenter sa propre résistance au fur et à mesure qu'augmente la température.

Le tableau 1 présente les caractéristiques d'une thermistance (voir l'annexe 2).

## 2. 2 *Transducteur LM35 :*

Le capteur LM35 est un capteur de température où la tension de sortie est linéairement proportionnelle à la température en Celsius centigrade. Ce capteur ne nécessite pas de calibrage externe pour fournir une précision de  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  sur une gamme de température de  $-55^\circ\text{C}$  à  $+150^\circ\text{C}$ . Son coefficient est de  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  et dans notre cas le capteur est alimenté par  $0-5\text{V}$ , on ne peut mesurer par conséquent que des températures positives. Le capteur LM35 est commercialisé dans boîtier 3 broches classiques, comme illustré dans l'annexe 2.



**A. Manipulation :****1** *Mesure d'une température par utilisation d'une thermistance et du capteur LM35*

- 1) Avec le circuit éteint connecter un multimètre entre la bague 5 et la masse (GND) et mesurer la résistance de la thermistance (RT) (figure 3).
- 2) Régler le trimmer R2 en mettant la résistance entière à environ  $500\Omega$ .
- 3) Alimenter le circuit.
- 4) S'assurer que la tension sur la bague +V soit nulle.
- 5) Mesurer la résistance RT entre la bague 3 et la bague 5.
- 6) Reporter cette valeur dans le tableau 1. 2.
- 7) Mesurer la tension entre la bague 6 et la masse et reporter cette valeur dans le tableau 1. 2.
- 8) Reporter les valeurs calculées aux points 8) et 9) dans le tableau 1. 2.
- 9) Introduire un milliampèremètre entre la bague 3 et la bague 4.
- 10) Brancher le multimètre entre la bague 1 et la masse pour mesurer la tension.
- 11) Mettre la tension +V sur 5V.
- 12) Fermer l'interrupteur S1 et attendre quelques minutes afin que la résistance EH se réchauffe.
- 13) Reporter dans le tableau 1. 3 la valeur de courant mesuré correspondante (lorsque le courant atteint la position de steady-state).
- 14) Reporter la valeur calculée au point précédent dans le tableau 1. 3.
- 15) Mesurer la tension entre la bague 6 et GND et reporter sa valeur exprimée en millivolt dans le tableau 1. 3.
- 16) Connecter la bague 6 à la bague 7.
- 17) Connecter le multimètre entre la bague 9 et la masse.



- 18) Mesurer la tension sur la bague 9 et calculer le gain de l'étage amplificateur en utilisant la formule reportée dans la fiche opérationnelle.
- 19) Répéter les points de 13 à 23 pour chaque valeur de tension +V reportée dans le tableau 1. 3.
- 20) Ouvrir l'interrupteur S1.
- 21) Remettre +V à 0V.
- 22) Attendre quelques minutes jusqu'à ce que la résistance EH se soit complètement refroidie.
- 23) Mettre la tension +V à 10V.
- 24) Fermer l'interrupteur S1.
- 25) Mesurer la tension sur la bague V6 à intervalles réguliers de 30 secondes environ jusqu'à ce que la tension V6 se stabilise à une valeur constante.
- 26) Ouvrir l'interrupteur S1.
- 27) Remettre +V à 0V.

## ② *Thermomètre Électronique*

- 28) Alimenter le circuit.
- 29) Régler la tension +V en mettant sur 1 V.
- 30) S'assurer que l'interrupteur S2 soit sur °C (figure 4)
- 31) Connecter la bague +V à la bague 10.
- 32) Mesurer la tension entre la bague 13 et GND.
- 33) Vérifier que la tension sur la bague 13 soit égale à -1 V.
- 34) Commuter l'interrupteur S2 sur °F.
- 35) Régler le trimmer R7 de façon à mettre la tension sur la bague 13 à -1.8 V.

Enlever la connexion entre la bague +V et la bague 10.

- 36) Mesurer la tension entre la bague 14 et GND.
- 37) Régler le trimmer R10 jusqu'à mettre la tension sur la bague 14 à -320 mV.
- 38) Mettre les interrupteurs S2 et S3 sur la position °C.
- 39) Mettre la tension +V à 5V.
- 40) Fermer l'interrupteur S1 et attendre quelques secondes afin que la résistance EH se réchauffe.
- 41) Connecter la bague 6 à labague10.
- 42) Connecter la bague 13 à labague15.
- 43) Mesurer la tension entre la bague 17 et GND.
- 44) Reporter la valeur dans le tableau 1.4.
- 45) Commuter les interrupteurs S2 et S3 sur °F.
- 46) Répéter les points de 45 à 55 pour chaque valeur de +V reportée dans le tableau 1.4.

## B. Questions:

### ❶ *Mesure d'une température par utilisation d'une thermistance et du capteur Lm35*

- 1) Calculer la température ambiante TA mesurée avec CTN en utilisant la formule (2).
- 2) Calculer la température ambiante TA mesurée avec le capteur à semi-conducteur LM35 en utilisant la formule (3).
- 3) Calculer la puissance dissipée par la résistance de puissance (EH) en utilisant la formule 3 reportée dans le support théorique, et la reporter dans le tableau 1.3.

- 4) Calculer la résistance CTN (RT) au moyen de la formule reportée dans le support théorique, formule 4.
- 5) Calculer et reporter la valeur de la température obtenue avec les deux capteurs dans le tableau 1. 3 en utilisant les formules (1 et 6) de conversions relatives.
- 6) Reporter les valeurs mesurées sur le graphique reporté à la figure 1. 2a.
- 7) La tension atteint immédiatement la valeur de régime permanent ? Pour quelle raison.

## ② *Thermomètre Électronique*

- 1) Calculer la température en °C en utilisant la formule (2) reportée dans le support théorique.
- 2) Calculer la température en °F en utilisant la formule (2) reportée dans le support théorique.
- 3) Vérifier la correspondance correcte entre °C et °F en utilisant la formule (6) reportée dans le support théorique.
- 4) Tracez la sensibilité des deux capteurs (CTN et LM35).
- 5) Que pouvez-vous faire comme remarques ?
- 6) Selon les résultats obtenus pouvez-vous dire quel des deux capteurs est le plus sensible à détecter la température ?
- 7) Interprétez les résultats obtenus.

## Listes des composants

EH=47 $\Omega$  5W résistance puissance (Heater)

R1=270 $\Omega$  5% 1/4W

R2, R7=Trimmer 10k $\Omega$

R3=100k $\Omega$  5% 1/4W

R4=470 $\Omega$  5% 1/4W

R5, R6, R8, R11, R12=10k $\Omega$  4% 1/4W

R10=Trimmer 1k $\Omega$

R9=6.8k $\Omega$  1/4W 1%

C1, Cf1, Cf2= 100nF Condensateur céramique multicouche

C2=47nF Condensateur céramique à disque

C3, C4=0.1 $\mu$ F 63V Condensateur avec pellicule en polyester

N1=LF374 AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNELLE QUADRUPLE

PROBE= LM35 SENSEUR INTEGRE DE TEMPERATURE

NTC=100k 5% Température négative coefficient  $\beta$ = 4600

## Support théorique

- 1) Calcul de la température avec NTC

$$T^{\circ}\text{C} = 1 / (1/\beta * \ln(RT/RTA) + 1/RTA) \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (1)$$

Ou  $RTA = 100\text{k}\Omega$  @  $T = 25^{\circ}\text{C}$

- 2) Calcul de la température avec LM35

$$TA = V6 * 100 \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (2)$$

Ou  $V$  représente la tension sur la bague 6 mesurée et exprimé en millivolt.

- 3) Puissance dissipée par EH

$$P = +V^2 / REH \text{ [W]} \quad (3)$$

- 4) Calcul de la résistance d'un NTC

$$R_{NTC} = (5/I - (R1 - R2)) \text{ [}\Omega\text{]} \quad (4)$$

Ou  $I$  est le courant exprimé en Ampère mesuré avec le milliampèremètre

- 5) Gain de l'étage amplificateur NIA

$$GNIA = U_{bague9} / U_{bague6} \quad (5)$$

- 6) Conversion Celsius Fahrenheit tension température :

$$T^{\circ}\text{F} = 1.8 * T^{\circ}\text{C} + 32 \text{ [}^{\circ}\text{F]} \quad (6)$$

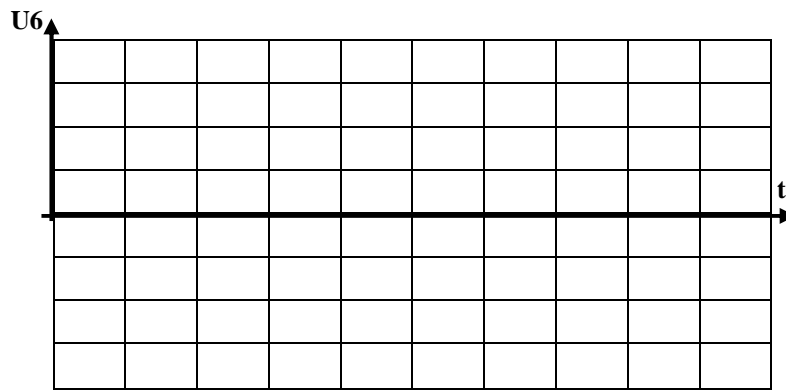
## Résultats obtenus

Résistance RT (@TA)	Tension V6 (@TA)	TA mesurée Avec CTN	TA mesurée Avec LM35

**Tableau 1.2 :** Mesure de la résistance sur une CTN et de LM35

Tension +V [V]	Puissance EH [W]	Courant Milliampèremètre [mA]	Résistance CTN [k $\Omega$ ]	Tension V6 [V]	Température CTN [°C]	Température LM35 [°C]
5						
7						
9						
11						
13						

**Tableau 1.3 :** Différentes mesures sur une CTN et le LM35



**Figure 1.2b** : Tracé du temps de réchauffement.

Tension +V [V]	Tension V17 [V]	Température [°C]	Température [°F]
5			
7			
9			
11			
13			

**Tableau 1.4** : Mesure de la température par différents thermomètres

## Annexe N°2

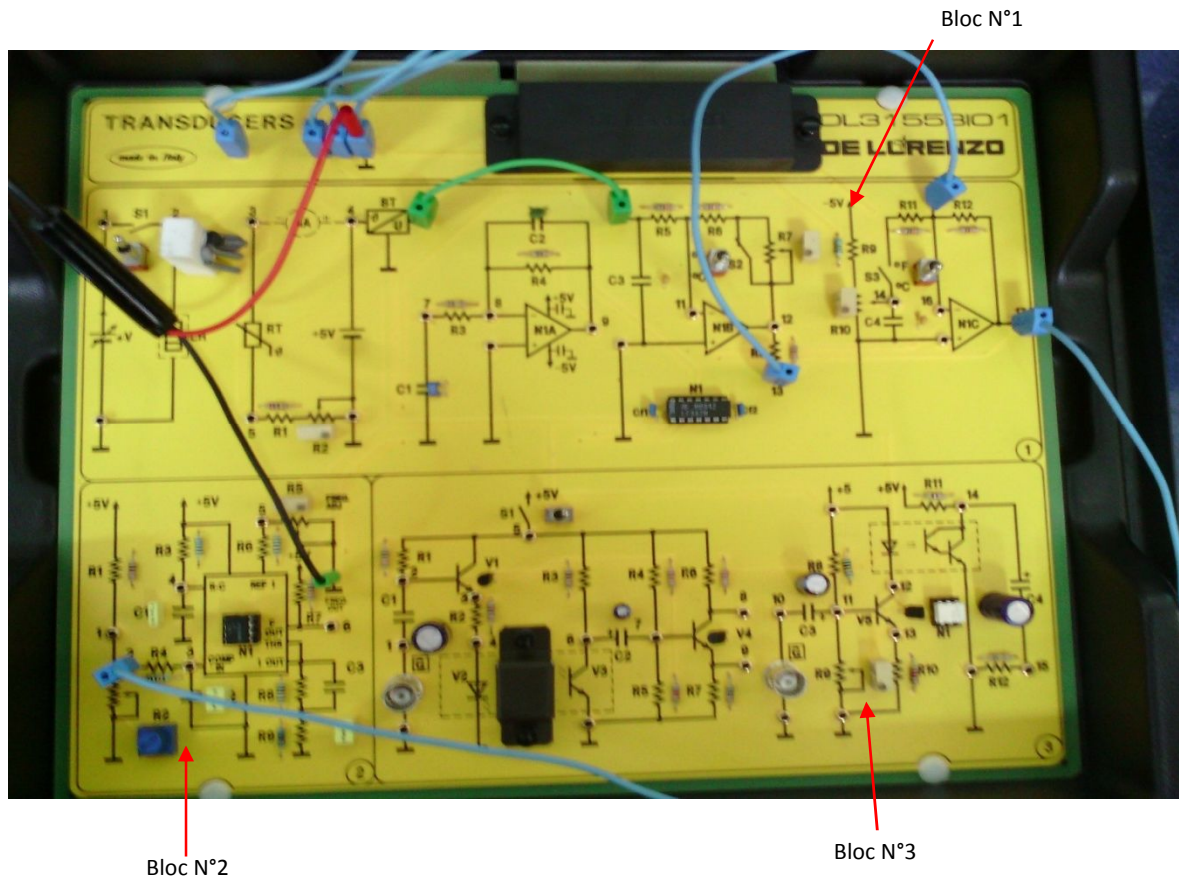


Figure1 : Plaque Delorenzo

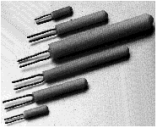
Bloc N°1 : Capteur de température

Bloc N°2 : Convertisseur tension fréquence

Bloc N°3 : Étage d'optoisolation



Tableau. 1 : Caractéristiques d'une thermistance

Désignation :	Caractéristiques :
<b>Encombrement :</b> 	Faible : <ul style="list-style-type: none"> <li>• petits cylindres (d = 1 à 12 mm, L = 5 à 50 mm),</li> <li>• disques (diamètre 5 mm ; épaisseur 3 mm),</li> <li>• bâtonnets (diamètre 3,2 mm de et longueur 11 mm),</li> <li>• perles.</li> </ul>
<b>Plage de température :</b>	Leur domaine d'utilisation va de -80 à +700 C
<b>Précision :</b>	1/10ème à un demi degré
<b>Alimentation électrique :</b>	Peuvent être traversées indifféremment par un courant continu ou alternatif.
<b>Gamme de résistance :</b>	De 5 kΩ à 100 kΩ environ
<b>Inconvénient :</b>	La loi de variation de la résistance en fonction de la température n'est pas linéaire.



## TP N°2

# Convertisseur tension fréquence

### 1. Objectifs :

Les objectifs de ce TP sont les suivants:

- Vérification du fonctionnement d'un transducteur tension fréquence.
- Utilisation de la conversion tension fréquence pour la mesure de la température.

### 2. Inventaire du matériel à utiliser

- Oscilloscope.
- Multimètre.
- Fréquencemètre.
- Plaque DELORENZO (bloc N°2).

### 3. Notions théoriques sur les convertisseurs tension fréquence

La transmission de tension sur une longue distance pose des problèmes (chute de tension, parasites,...). La transmission se fait couramment en convertissant la tension en courant (ligne 4-20mA) ou en valeur numérique.

Dans notre cas nous utilisons une solution qui consiste à convertir la tension continue en un signal impulsionnel dont la fréquence est proportionnelle à cette tension.

### *3.1 Convertisseur tension fréquence*

La famille LMx31 de convertisseurs tension-fréquence sont idéalement adaptés pour une utilisation dans des circuits simples et peu coûteux pour l'analogique-numérique conversion, la précision de conversion fréquence-tension, l'intégration à long terme, modulation linéaire de fréquence ou de démodulation, et beaucoup d'autres fonctions. La sortie lorsqu'il est utilisé comme un convertisseur tension-fréquence est un train d'impulsions à une fréquence précisément proportionnelle à la tension d'entrée appliquée. Ainsi, il offre tous les avantages inhérents aux techniques tension-fréquence, et est facile à appliquer dans toutes les applications standard de tension-convertisseur de fréquence.

En outre, le LMx31A obtient un nouveau niveau de précision élevée fonction de la température qui ne peut être atteint avec des modules coûteux tension-fréquence. En outre, le LMx31 est idéalement adaptés pour une utilisation dans les systèmes numériques à de faibles tensions d'alimentation et peut fournir à faible coût analogique-numérique conversion dans les systèmes commandés par microprocesseur. De plus, la fréquence à partir d'un convertisseur tension-fréquence alimenté par batterie peut être facilement canalisée à travers un isolateur de photo simple pour assurer l'isolation par rapport aux niveaux de mode commun élevée.

Le LMx31 utilise un nouveau circuit de référence de bande interdite compensée en température, pour fournir une excellente précision sur toute la plage de température de fonctionnement, à des fournitures aussi faibles

que 4 V. Le circuit de minuterie de précision a des courants de polarisation faibles sans dégrader la réponse rapide nécessaire à la conversion de 100 k.Hertz

**Caractéristiques :**

- **Entrée:** 0 - 10V, ou 0 - 5V, ou 0 - 20mA, ou 4 - 20mA,
- **Sortie:** 0 - 10KHz, rapport cyclique 50%,

*type:*

*collecteur ouvert (10mA / 50V max.), ou*

*collecteur ouvert (150mA / 300V max.), ou TTL passif,*

- **Isolement galvanique:** > 1000 Vrms pour: E&S
- **Précision:** CTF3: > 0.1% PE,  
CTF4: > 0.2% PE,
- **Dérive en température:** < 100 ppm /°C,
- **Gamme de température:** - 25 à 70°C,
- **Alimentation auxiliaire:** 24VDC (±10%) / 1 VA max
- **Conditionnement:** boîtier en polyamide  
encliquetable sur rail DIN,  
raccordement: sur borniers à vis,  
dimensions: 62 x 18 x 64 mm (H x L x P) ;

## A. Manipulations

- 1) Mise en marche du circuit sur le bouton ON ;

### *CONVERTISSEUR TENSION-FRÉQUENCE*

- 2) Brancher le multimètre entre la bague 1 du bloc 2 et la masse (Figure 2.1).
- 3) Régler le trimmer R2 jusqu'à mettre la bague 1 à la tension constante de 300mV.
- 4) Connecter la bague 1 à la bague 2.
- 5) Connecter un fréquencemètre à la bague 6 (FRÉQ. OUT).
- 6) Régler le trimmer R5 jusqu'à lire une fréquence de 300Hz.
- 7) Brancher l'oscilloscope comme il est reporté à la figure 2.2.
- 8) Régler l'oscilloscope de la façon suivante :  
 CH1 sur 2V/div,  
 Time/div=2ms/div,  
 Couplage=CC ;
- 9) Mesurer le signal présent sur la bague de sortie FRÉQ. OUT.
- 10) Reporter le signal mesuré sur la bague de sortie à la figure 2.3a.
- 11) Brancher l'oscilloscope entre la bague 4 et GND (figure 2.2).
- 12) Régler l'oscilloscope comme au point 8.
- 13) Observer la forme du signal et la reporter à la figure 2.3b.
- 14) Brancher le multimètre entre la bague 1 et le GND.
- 15) Régler le trimmer R2 jusqu'à mettre la bague 1 à la tension constante de 400mV.
- 16) Connecter un fréquencemètre à la bague 6 (FRÉQ. OUT).

- 17) Reporter la valeur de fréquence mesurée au point précédent dans le tableau 2.2.
- 18) Régler le trimmer R2 jusqu'à mettre la bague 1 à la tension constante de 500mV.
- 19) Mesurer la fréquence sur la bague 6 et reporter la valeur dans le tableau 2.2.
- 20) Débrancher toutes les connexions.

**CONVERTISSEUR TENSION-FRÉQUENCE UTILISÉ  
DANS LA MESURE DE LA TEMPÉRATURE**

*Remarque : les points suivants de l'exercice doivent être exécutés seulement après avoir exécuté les points 1-6 ci-dessus*

- 21) Mettre la tension +V sur 5V.
- 22) Fermer l'interrupteur S1 et attendre quelques minutes afin que la résistance EH se chauffe.
- 23) Mettre les interrupteurs S2 et S3 du bloc 1 sur °C.
- 24) Connecter la bague 6 du bloc 1 à la bague 10 du bloc 1.
- 25) Connecter la bague 13 à la bague 15 toutes deux du bloc 1.
- 26) Connecter la bague 17 du bloc 1 à la bague 2 du bloc 2.
- 27) Avec un fréquencemètre lire la fréquence de sortie FRÉQ. OUT.
- 28) Reporter la valeur dans le tableau 2.3.
- 29) Répéter les points de 21 à 27 pour les valeurs restantes de +V reportées dans le tableau 2.3

- 30) Reporter les valeurs de fréquence mesurées aux points 26 et 29 dans le tableau 2.3.
- 31) En utilisant la formule de conversion fréquence température reportés dans le support théorique, calculer les températures relatives et compléter le tableau 2.3.

**B. Questions :**

- 1) Interprétez les résultats obtenus de chaque tableau.
- 2) Tracez la fréquence de sortie en fonction de tension d'entrée. Que pouvez constater ?
- 3) Comparer les valeurs de température mesurées précédemment pour les valeurs relatives de +V avec les valeurs de fréquence mesurées aux points 26 et 29. Quel est votre conclusion ?



## Montage de convertisseur tension-fréquence

### Schéma électrique

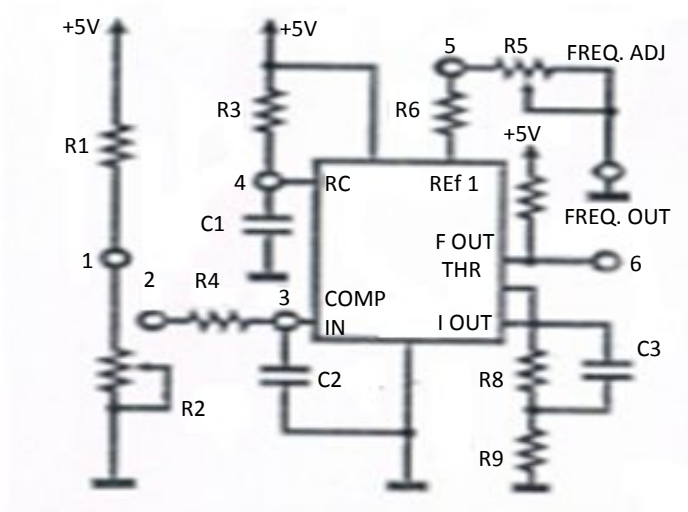


Figure 2.1 : Convertisseur tension-fréquence

### Liste des composants

R1=1k $\Omega$  5% 1/4W

R2=5k $\Omega$  1/2W Trimmer potentiométrique

R3=6.8k $\Omega$  1% 1/4W

R4, R8=100k $\Omega$  1% 1/4W

R5=5k $\Omega$  1/2W Trimmer potentiométrique

R6=12k $\Omega$  1% 1/4W

R7=10 k $\Omega$  5% 1/4W

R9=47kΩ 1% 1/4W

C1=10nF Condensateur en polyester

C2, C4=1μF Condensateur en polyester

N1=LM331N Convertisseur tension fréquence

### Support théorique

- 1) Formule de conversion fréquence [Hz] température [°C]

$$T (^{\circ}\text{c}) = f (\text{Hz}) / 10 \quad (1)$$

### Schéma électrique

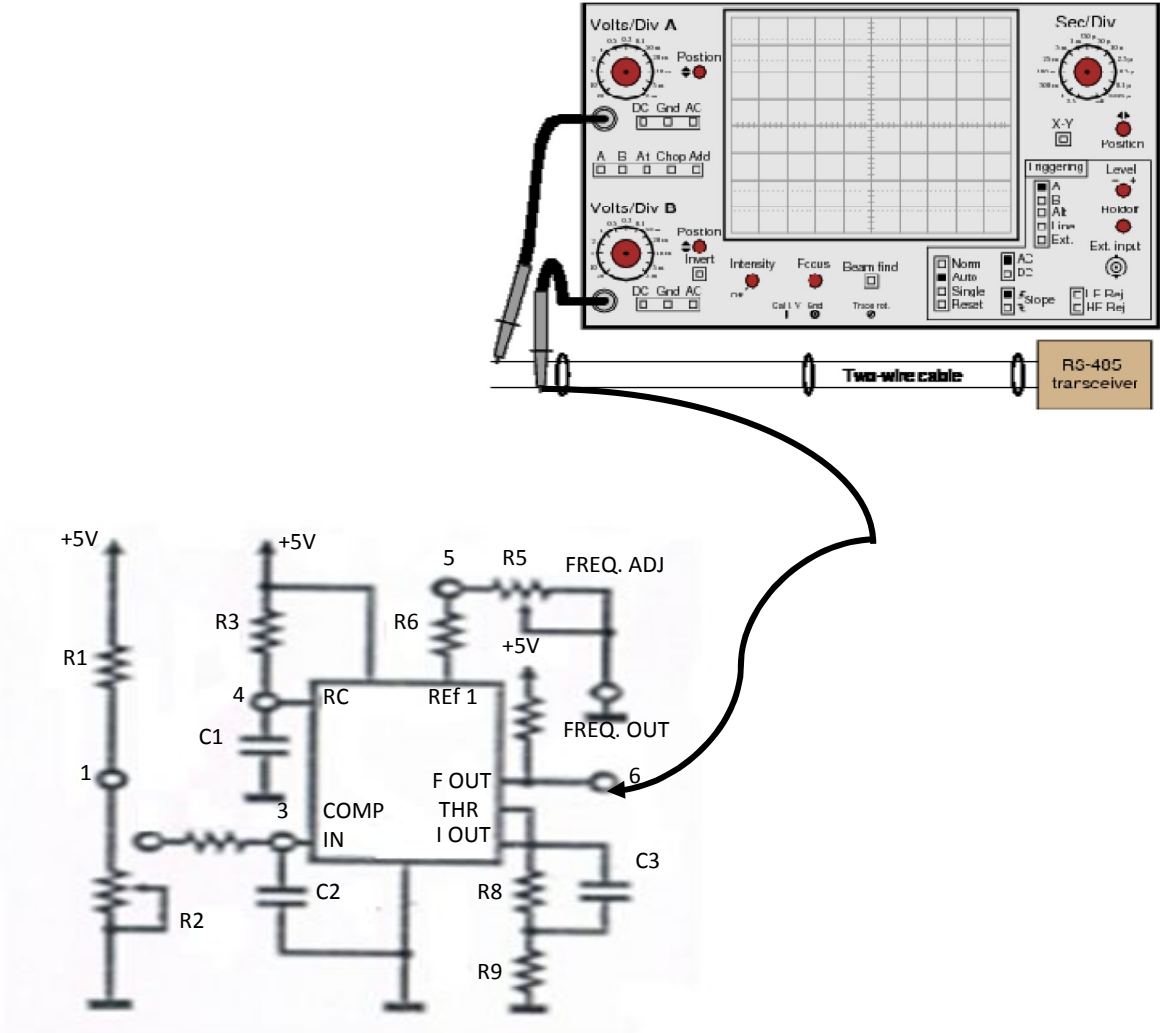


Figure 2. 2 : Schéma des connexions dans le bloc tension fréquence

Résultats obtenus

Tensions IN [mV]	FREQ. OUT [Hz]

Tableau 2. 2 : Mesure de la tension et de la fréquence de convertisseur tension-fréquence

Tension +V [V]	FREQ. OUT [Hz]	Température [°C]
5 V		
7.5 V		
10 V		

Tableau 2. 3 : Mesure de la fréquence et de la température

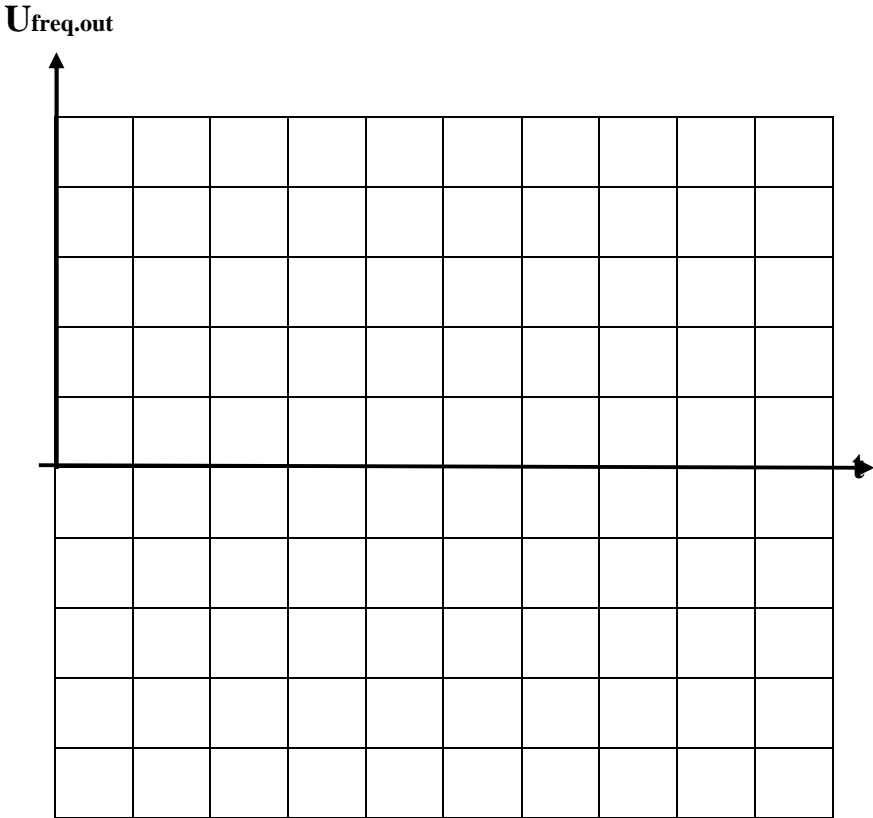


Figure 2. 3a : Forme du signal sur la bague FREQ. Out

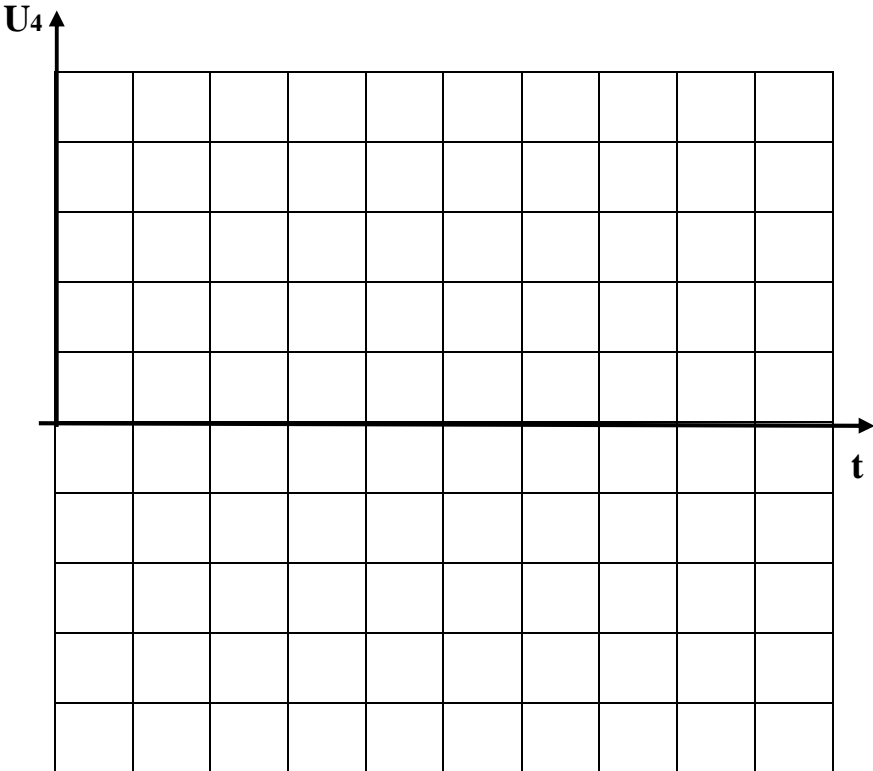


Figure 2. 3b : Forme du signal sur la bague 4

## TP N°3

# Étage d'optoisolation

### 1. Objectifs :

Les objectifs de ce TP sont les suivants:

- Vérification du fonctionnement d'une photodiode et d'un phototransistor.
- Vérification le fonctionnement couplé d'une photodiode et d'un phototransistor dans un optocoupleur.
- Vérification du fonctionnement d'un optoisolateur intégré.

### 2. Instruments opérationnels :

- Oscilloscope.
- Générateur de signaux.
- multimètre
- Plaque DELORENZO (bloc N°3).
- 

### 3. L'optocoupleur : principe de fonctionnement

Un optocoupleur est formé d'une LED infrarouge et d'un phototransistor ou d'une photodiode. Il y a un isolement électrique entre les deux. Les caractéristiques électriques sont :

- Courant maximum dans la LED

- Courant maximum dans le phototransistor
- Taux de transfert (CTR : current transfer ra courant de fuite dans le phototransistor (dark current)
- Puissance que l'ensemble peut dissiper
- Tension d'isolation de l'optocoupleur

### 3. 1 Symbole de l'optocoupleur

Un optocoupleur se représente de la façon suivante :

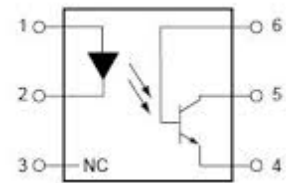
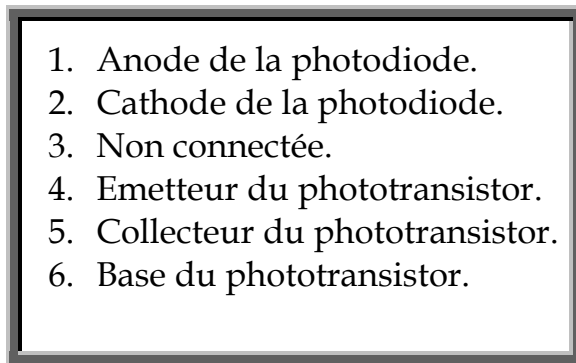
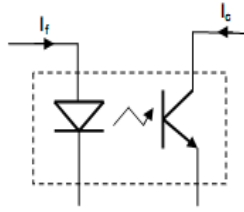


Figure. 1 : Schéma bloc d'un optocoupleur

### 3. 2 Principe de fonctionnement de l'optocoupleur

L'optocoupleur est un circuit intégré. Il est utilisé pour isoler galvaniquement deux parties d'un montage électronique. Il est constitué d'un émetteur de lumière (photodiode) et d'un récepteur de lumière (phototransistor) électriquement indépendants, le transfert d'information se faisant optiquement.

Le couplage est défini par la caractéristique de transfert en courant  $I_c = f(I_f)$  (courant collecteur du transistor de sortie en fonction du courant dans la diode électroluminescente d'entrée).



**Figure 2 :** L'optocoupleur

Pour que l'isolation galvanique soit effective, les potentiels de référence (0 V) des deux montages couplés doivent être séparés.



**A. Manipulations**

- 1) Mise en marche le circuit sur la bouton (ON) ;

***OPTOCOUPLEUR AVEC COMPOSANTS DISCRETS***

- 2) Fermer l'interrupteur S1 du bloc 3.
- 3) Avec un multimètre mesurer la tension entre la bague 4 et GND et vérifier qu'elle est environ de 1.3V, cela signifie que la photoémetteur V2 est allumé.
- 4) Mesurer la tension entre la bague 6 et GND et vérifier qu'elle est environ de 0.7V, cela signifie que le phototransistor V3 est en conduction (allumé).
- 5) En utilisant la couche de séparation, interrompre la liaison optique entre le photo émetteur V2 et le phototransistor V3.
- 6) Vérifier qu'une tension d'environ 5V est présente sur la bague 6.
- 7) Qu'est-ce que cela signifie? Dans quel état se trouve le phototransistor V3 ?
- 8) Brancher le générateur de signaux et l'oscilloscope comme à la figure.1.1 ; Régler l'oscilloscope de la façon suivante :  
CH1 20mV/div,  
CH2 sur 10mV/div,  
Time/div=20ms/div,  
Couplage=CA ;
- 9) Alimenter le générateur de signaux et régler la sortie à une tension sinusoïdale de 100mV crête-à-crête à 10Hz.
- 10) Mesurer le signal présent sur la bague 7 et reportez-la dans le tableau 1.1.

- 11) Branchez le CH2 de l'oscilloscope entre la bague 8 et GND.
- 12) Mesurer l'amplitude du signal en sortie  $V_{pp}$  sur la bague 8.
- 13) En utilisant la formule (1) donnée par le support théorique calculer le gain de l'étage de sortie.
- 14) Reporter ces valeurs dans le tableau 1.1.
- 15) Fixer l'amplitude du signal d'entrée à 200mV crête-à-crête.
- 16) Mesurer l'amplitude crête-à-crête du signal présent sur la bague 4 (V4).
- 17) Mesurer l'amplitude crête-à-crête du signal présent sur la bague 6 (V6).
- 18) Calculer le gain de l'optocoupleur avec des composants discrets.
- 19) Reporter les valeurs dans le tableau 1.2.
- 20) Répéter les phases de 16) à 20) pour tous les valeurs d'amplitude du signal d'entrée reportées dans le tableau 1.2.

### **OPTOISOLATEUR INTÉGRÉ**

- 21) Avec un multimètre mesurer la tension entre la bague 11 et la bague 13.
- 22) Régler le trimmer R9 jusqu'à le mettre sur 0.68V (transistor allumé et polarisé en activation).
- 23) Brancher le générateur de signaux et l'oscilloscope comme à la figure 1.2.
- 24) Régler l'oscilloscope de la façon suivante :  
CH1 20mV/div,  
CH2 sur 5mV/div,  
Time/div=20ms/div,  
Couplage=CA ;

- 25) Alimenter le générateur de signaux et régler la sortie à une tension sinusoïdale de 100mV crête-à-crête à 100Hz.
- 26) Mesurer l'amplitude crête-à-crête du signal de sortie sur la bague 15 (V15).
- 27) Déplacer le canal CH2 pour mesurer le signal présent sur la bague 12 (V12).
- 28) Calculer le gain de l'optoisolateur intégré en utilisant la formule (2) donnée par le support théorique.
- 29) En utilisant la formule (3) donnée par le support théorique calculé l'amplitude du signal de courant piloté dans l'optoisolateur intégré.
- 30) Reporter les valeurs obtenues aux points 29), 30), et 32) dans le tableau 1.3.
- 31) Fixer l'amplitude du signal d'entrée à 150mV.
- 32) Mesurer l'amplitude du signal sur la bague 12.
- 33) Mesurer l'amplitude du signal sur la bague 15.
- 34) Calculer le gain de l'optoisolateur intégré en utilisant la formule (3) donnée par le support théorique.
- 35) Calculer l'amplitude du signal de courant piloté dans l'optoisolateur intégré.
- 36) Répéter les points de 34) à 39) pour toutes les valeurs reportées dans le tableau 1.3.
- 37) Compléter le tableau 1.3 avec les résultats.
- 38) Enlever toutes les connexions.
- 39) Eteindre le circuit.

**B. Questions :**

- 1) Interprétez les résultats obtenus. Que pouvez-vous constater ?

- 2) Le phototransistor V3 est bloqué, si on utilise une couche de séparation. Expliquez pour quoi ?
- 3) Comment varie le gain de l'étage optocoupleur ?
- 4) Comment varie le gain de l'étage optoisolateur ?
- 5) Comment varie la forme du signal sur la bague 6 ? motiver la réponse.

Montage optocoupleur 1 et 2

Schéma électrique

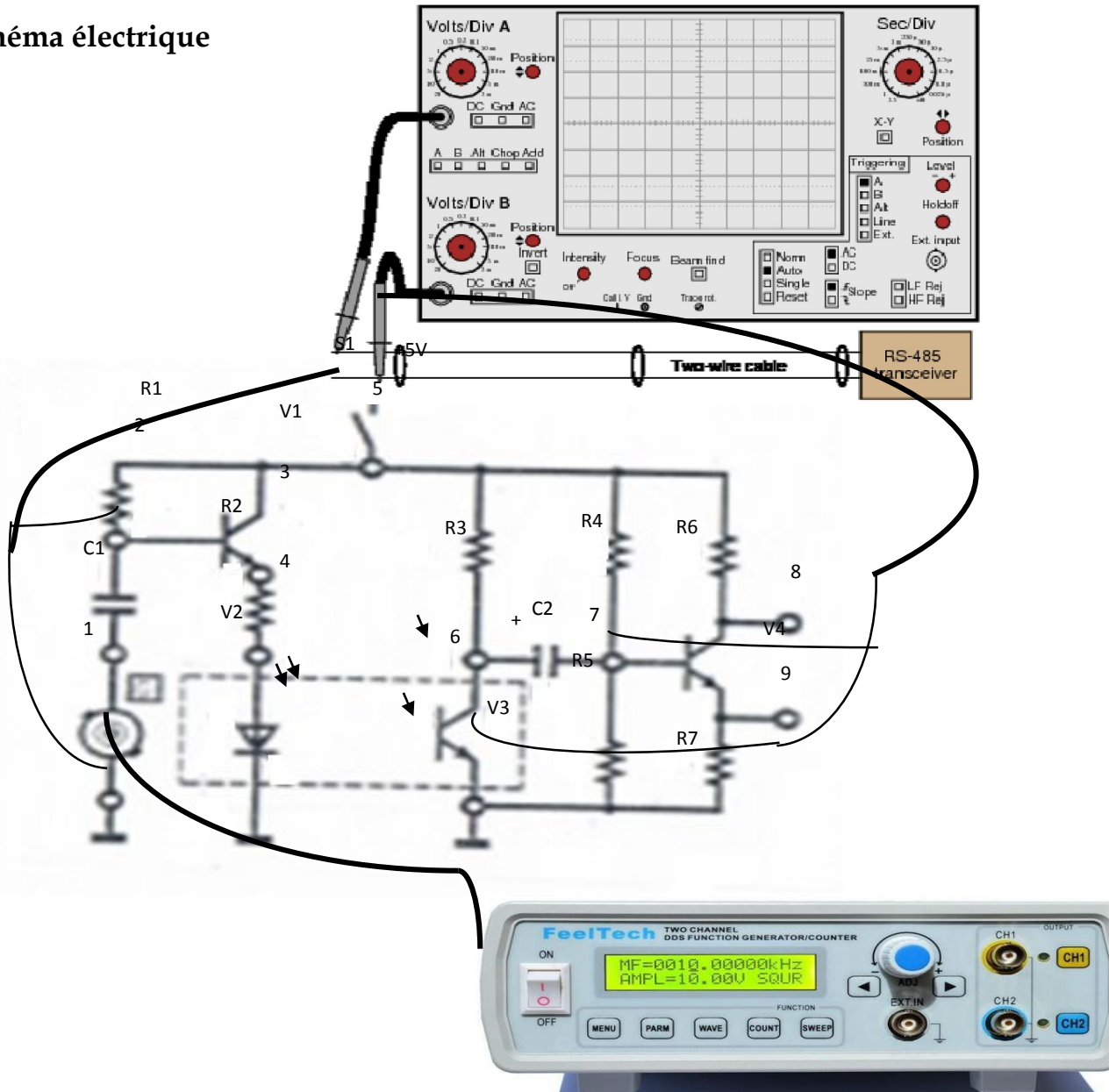


Figure 1.1 : Schémas électrique optocoupleur 1

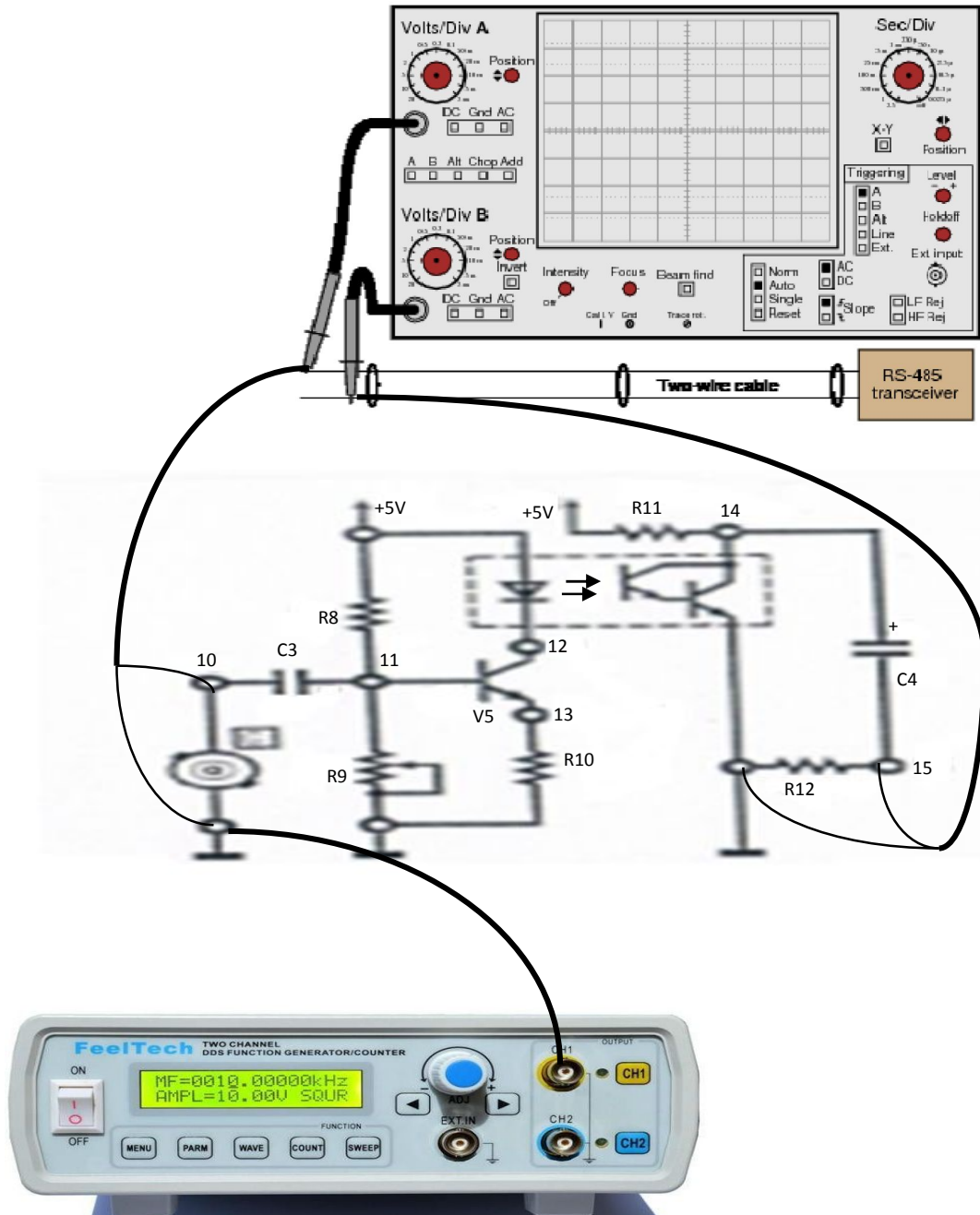


Figure1. 2 : Schémas électrique optocoupleur 2

## Liste des composants

R1=15k $\Omega$  5% 1/4W

R2=82k $\Omega$  5% 1/4W

R3=1k $\Omega$  5% 1/4W

R4=27k $\Omega$  5% 1/4W

R5=8.2k $\Omega$  5% 1/4W

R6=2.7k $\Omega$  5% 1/4W

R7= 560 $\Omega$  5% 1/4W

R8=100 k $\Omega$  5% 1/4W

R9=50k $\Omega$  5% 1/2W Trimmer potentiométrique

R10= 220 $\Omega$  5% 1/4W

R11= 470 $\Omega$  5% 1/4W

R12= 150k $\Omega$  5% 1/4W

C1, C4=470 $\mu$ F 35V Condensateur électrolytique

C2=4.7 $\mu$ F 63V Condensateur électrolytique

C3=100 $\mu$  50V Condensateur électrolytique

N1=4N32 optoisolateur

V1, V4, V5=2N3904 Transistor NPN

V2= photoémetteur (LED EMITTER INFRARED)

V3= phototransistor (DETECTOR INFRARED)

### **Support théorique**

1) Gain de l'étage de sortie de l'optocoupleur 1

$$G=R6/R7 \quad (1)$$

2) Gain de l'étage de sortie de l'optocoupleur 2

$$G=V15/V13 \quad (2)$$

3) Courant piloté dans l'optoisolateur

$$I=V13/R10 \quad (3)$$



Résultats obtenus

Vpp bague 7 [mV]	Vpp bague 8 [mV]	Gain mesuré V8/V7 [V/V]	Gain théorique de L'étage de sortie de L'optocoupleur 1 [V/V]

Tableau 1.1 : mesure du gain et de la tension crête à crête

Amplitude signal Entrée [mV]	Tension bague 4 V4 [mV]	Tension bague 6 V6 [mV]	Gain Optocoupleur 1 [V/V]
200			
400			
600			
800			
1000			

Tableau 1. 2 : Mesure de la tension et du gain de l' optocoupleur 1

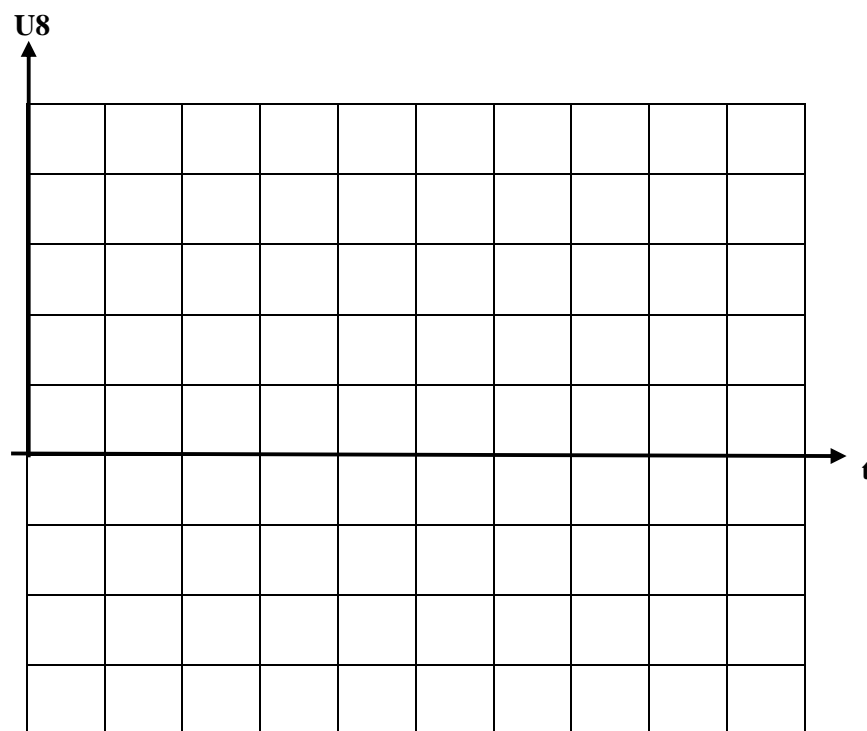


Figure 1. 3 : Forme du signal sur la bague 8

Input Voltage [mV]	Tension bague 13 V13 [mV]	Tension bague 15 V15 [mV]	Gain Optoisolateur [V/V]	Courant Optoisolateur [mA]
100				
200				
300				
400				
500				

**Tableau 1.3 :** Mesure de la tension et du gain de l'optoisolateur

## **TP N°4**

### **Étude du capteur de température :**

#### **Sonde PT100 et thermocouple**

La sonde PT100 (platine100) et le thermocouple sont couramment très utilisés comme capteurs de température dans l'industrie, en raison de leurs propriétés d'interchangeabilité et de reproductibilité des mesures : notions très appréciées pour la maintenance des installations. Cette manipulation a pour objectif d'analyser les performances de ces deux capteurs et de valider les principes de conditionnement usuels.

#### **Instruments opérationnels :**

- Sonde de Pt100 à trois fils
- Sonde de thermocouple
- Une Boite de carton
- La glace
- Générateur de courant
- Pont de Wheatstone
- Source de chaleur
- Thermomètre étalon
- Multimètre

## 1. Mesure de température :

Les mesureurs de température analogiques transforment la température d'un fluide ou d'une enceinte en un signal 0/10V, 4-20mA...

Ils utilisent une sonde à résistance (Pt100) ou un thermocouple (TC) comme élément sensible.

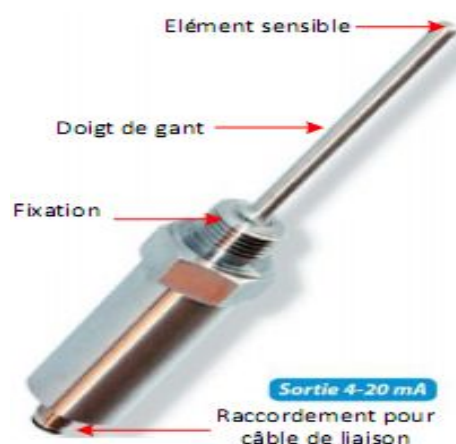


Figure 1 : la sonde Pt100

*Exemple* : Transmetteur de température intégré

dans les sondes (Endress & Hauser)



- Entrée : Pt 100 ou TC
- Plage de fonctionnement : 0 à 600°C
- Type de sortie : 4-20mA

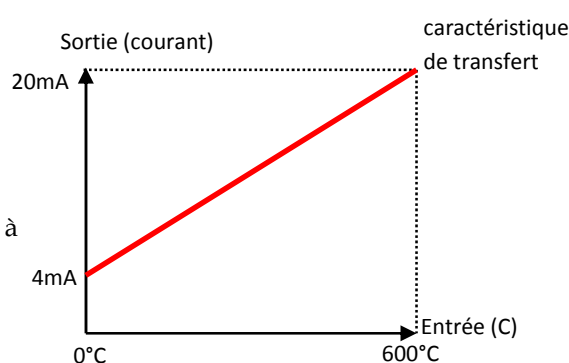


Figure 2 : Caractéristique de la sonde Pt100

### 1.1 Sondes à résistance métallique

Une sonde à résistance métallique utilise la propriété de la variation de la résistivité du métal avec la température. La plus connue est la sonde Pt100, ainsi appelée car sa résistance est réalisée avec du platine (Pt) et vaut 100 ohms à 0°C.

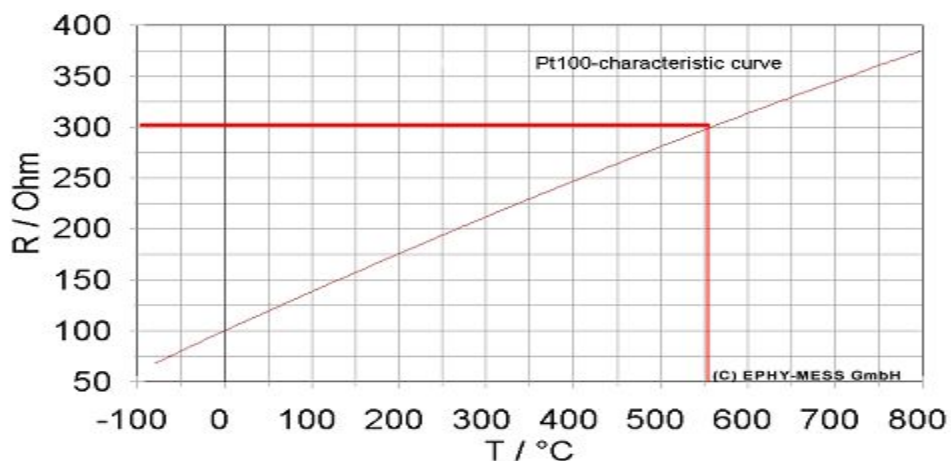
Symbole



La résistance électrique d'une sonde Pt100 varie (pratiquement) linéairement avec la température  $\theta$  selon la relation simplifiée suivante:

$$R_{\theta} = R_0 * (1 + \alpha\theta) \quad (1)$$

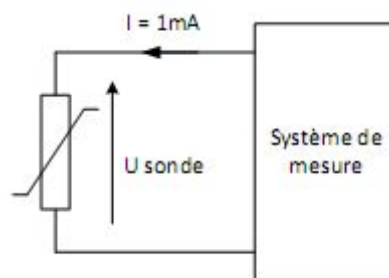
Avec  $\alpha = 0.003385 \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$  et  $R_0 = 100 \text{ }\Omega$ .



**Figure. 3:** Caractéristique de la sonde Pt100 dans la plage de température : -100-800°C.

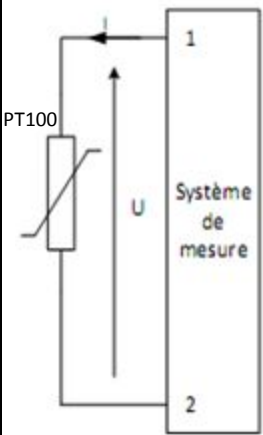
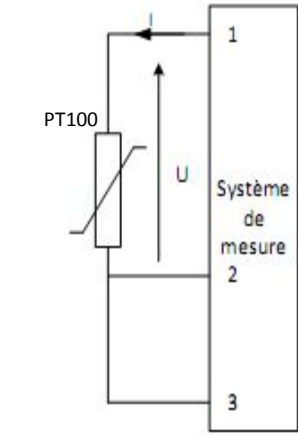
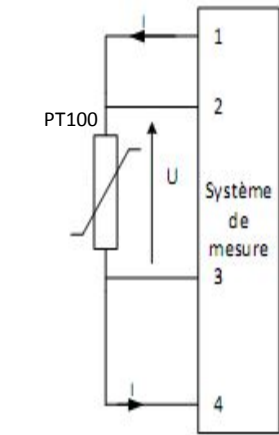
### Principe de la mesure :

Le système de mesure injecte un courant de 1 mA dans la sonde Pt100 et mesure la tension à ses bornes.



**Figure 4 :** Système de mesure par la sonde Pt100

Les conducteurs de la liaison sonde-instrument de mesure, introduisant des erreurs de mesure, trois montages sont utilisés, selon la précision souhaitée.

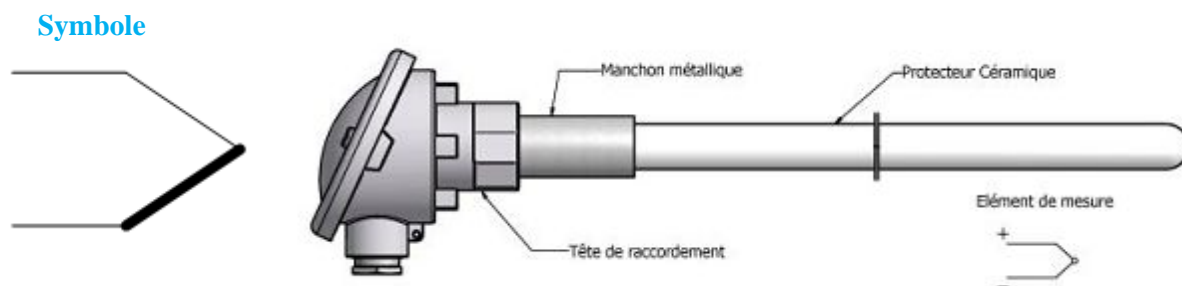
	Plus simple	Le plus utilisé	Le plus précise
Montage	2 fils	3 fils	4 fils
Principe			
Précision	Mauvaise	Bonne	Très bonne
Liaison	Faible longueur	Moyenne longueur	Grande longueur

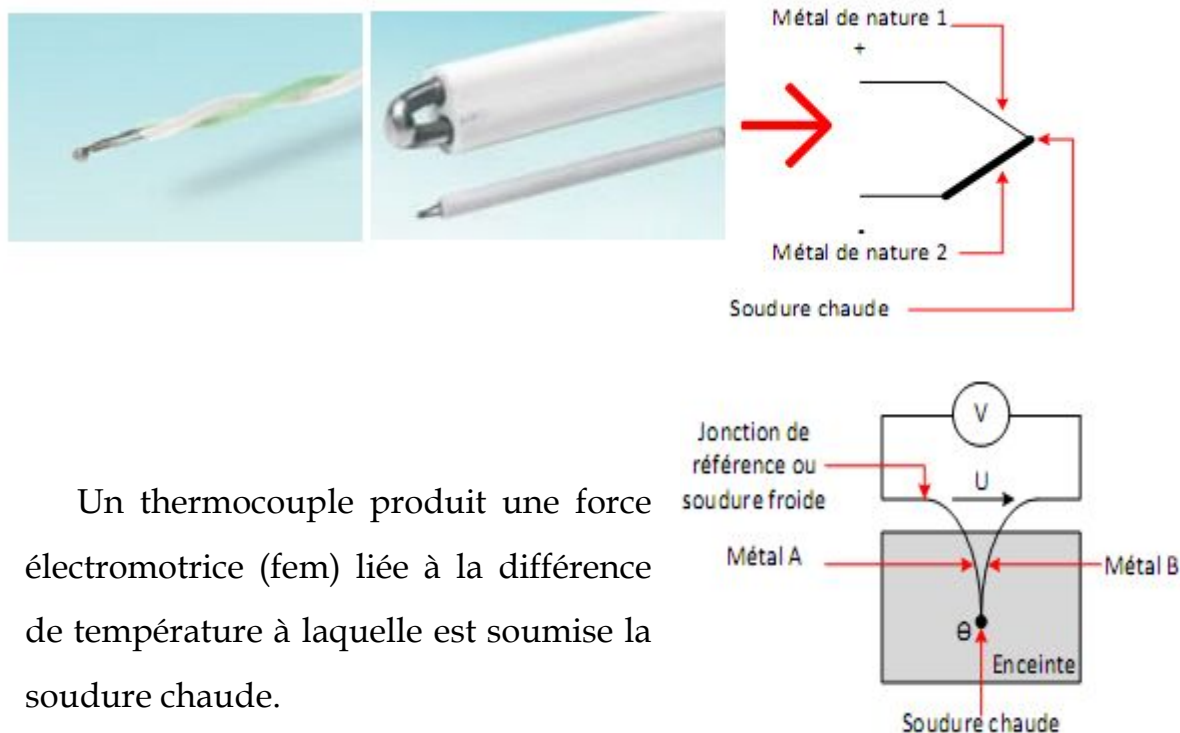
**Tableau1** : Caractéristique de la sonde Pt100

Les Pt100 sont des sondes très utilisées dans l'industrie car elles sont simples à mettre en œuvre précises (montage 3 et 4 fils) et économiques.

## 1.2 Sondes à thermocouple

Un thermocouple est une sonde constitué par la soudure de deux conducteurs de matériaux différents. Cette soudure est mise en contact avec l'élément à mesurer.





Un thermocouple produit une force électromotrice (fem) liée à la différence de température à laquelle est soumise la soudure chaude.

**Caractéristiques des thermocouples les plus utilisés :**

Fe : Fer ; Cu-Ni : Cuivre-Nickel ; Ni-Cr : Nickel-Chrome ; Ni-Al : Nickel-Aluminium ;  
Cu : Cuivre ; Ni-Cr-Si : Nickel-Chrome-Silicium ; Ni-Si : Nickel-Silicium.

METAUX COMMUNS					
Sym-bol e	Combinaison	Polari-té	Couleur gain	Couleur fils	Domaine de T°C de con-ducteurs
K	Fe	+	Noir	Noir	-210/ +1200
	Cu-Ni	-		Blanc	
K	Ni-Cr	+	vert	Vert	-270/ +1370
	Ni-Al	-		Blanc	
T	Cu	+	marron	Marron	-270/ +400
	Cu-Ni	-		Blanc	
E	Ni-Cr	+	Violet	Violet	-270/ +1000
	Cu-Ni	-		Blanc	
N	Ni-Cr-Si	+	mauve	Mauve	-270/ +1300
	Ni-Si	-		Blanc	

**Tableau 2 : Fiche Synthétique**

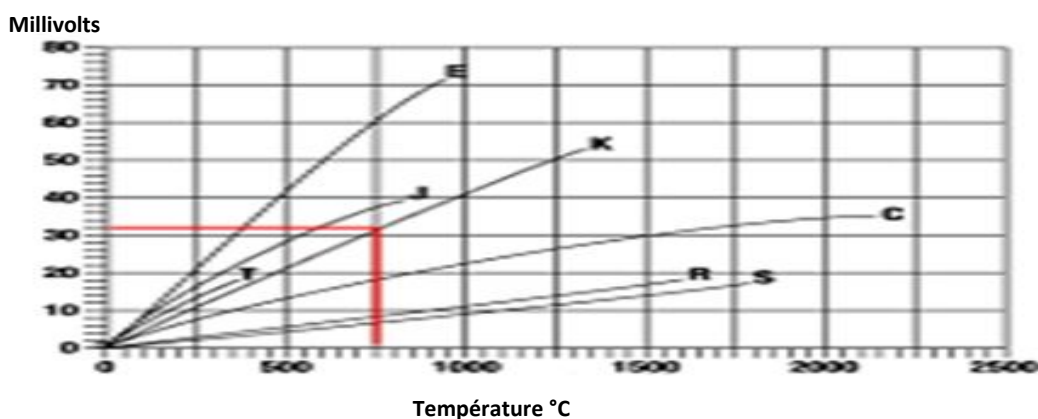
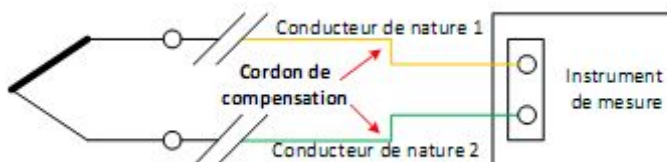


Figure 5 : La variation de la température de capteurs en fonction de la tension

*Force électromotrice produite selon la composition du thermocouple :*

**Compensation :** lorsque le thermocouple est éloigné de l'instrument de mesure, l'utilisation de conducteurs ordinaires (cuivre) pour réaliser les raccordements peut engendrer des erreurs. Pour éviter ces erreurs, on réalise la liaison avec un cordon de compensation utilisant des conducteurs spécifiques selon le type de sonde.



**Protection :** les thermocouples peuvent être protégé ou non par un doigt de gant. Le thermocouple peut dans certains cas être connecté à la masse par l'intermédiaire de la protection.

Désignation	SCA (Apparente)	SCI(Isolé)	SCM(Masse)
Montage			
Caractéristique de la sonde	Thermocouple sans protection	Thermocouple protégé	Thermocouple protégé et en contact avec la masse

Tableau 3 : les caractéristiques de la sonde thermocouple

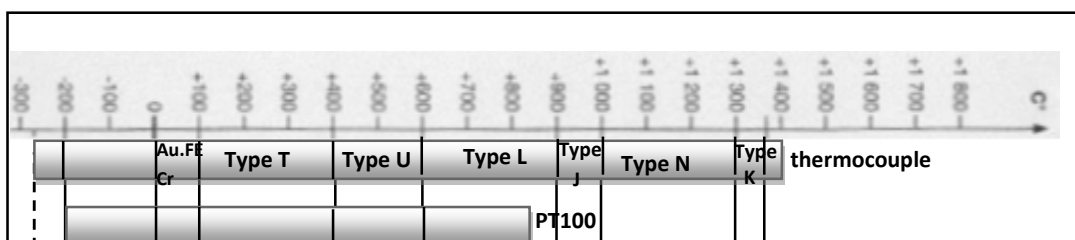


Le choix d'un thermocouple s'effectue selon :

- la plage de température à mesurer;
- le milieu de mesure et la précision souhaitée.

Les thermocouples sont des sondes très utilisées dans l'industrie car ils sont robustes, précis, économiques et fonctionnent sur de larges gammes de température

La figure suivant présente le domaine d'utilisation des capteurs de la température notamment le thermocouple et la sonde de PT100:



Type de sonde	Avantage	Inconvénients
Résistance métallique	Durée de vie (6000 h) Précision Pratiquement linéaire	Plage de mesure moins grande que les thermocouples
Thermocouple	Grande plage de mesure Réaction rapide	Durée de vie (1000h) Non linéaire gestion de la soudure froide

## 2. Analyse des caractéristiques théoriques

### Travail de préparation à faire

- A l'aide d'un tableur reportée dans la fiche opérationnelle 3, tracer la courbe théorique du capteur PT100 de 0 à 100 °C, par pas de 10 °C.
- Evaluer la sensibilité moyenne pour chaque intervalle. La caractéristique théorique est-elle linéaire ?
- Evaluer l'erreur totale de linéarité (ou écart de linéarité) en traçant la droite liant le premier et de dernier point.
- Calculer les coefficients du modèle de régression linéaire appliqué aux valeurs théoriques (voir l'annexe 3).
- Tracer la droite de régression et évaluer l'erreur de non-linéarité en calculant l'écart maximum entre des valeurs théoriques et la droite de régression.
- Laquelle des deux méthodes est-elle plus représentative de l'usage courant du capteur?

## 3. Mesure à température ambiante ( $T_{amb}$ )

La sonde PT100 3 fils est câblée selon le schéma suivant:

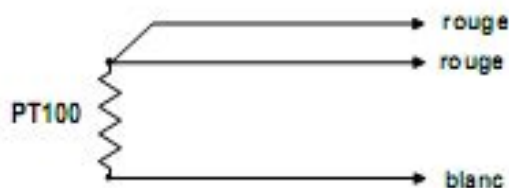


Figure. 6 : Sonde Pt100 à 3 fils

Les fils sont de même nature, de même longueur et portés à la même température. Ces fils présentent une résistance parasite dont il faudra tenir compte dans les mesures.

### **3. 1 Mesure de la résistance des fils à Tamb :**

Les mesures se font à l'ohmmètre 20000 points, sans changer de calibre pour ne pas introduire d'erreurs liées à la précision de chaque calibre (adapter le calibre aux besoins de la manipulation).

#### **Travail à faire**

- Vérifier le zéro de l'ohmmètre en court-circuitant les fils. Noter la valeur de la résistance des fils de mesure qui sera à soustraire des mesures sur la sonde.
- Mesurer la résistance de la boucle Rouge-Rouge.
- En déduire la résistance des fils de la sonde.

### **3. 2 Mesure de la sonde à Tamb :**

Les mesures se font à l'ohmmètre de table 20000 points, avec le calibre choisi. Le capteur de référence est un thermomètre à alcool (attention, objet fragile!)

### Travail à faire

- Placer la sonde et le thermomètre dans une boîte isotherme (boîte de carton ondulé). Attendre l'équilibre thermique (le thermomètre à alcool ne doit plus varier)
- Mesurer la résistance PT100 à l'ohmmètre et relever la température ambiante de l'enceinte à l'aide du thermomètre à alcool.
- Comparer la valeur de la température obtenue à la valeur théorique déduite du tableau DIN par interpolation linéaire.
- En déduire l'erreur absolue du capteur à  $T_{amb}$  en supposant les autres sources d'erreur de mesure négligeables. La mesure est-elle conforme aux données constructeur?
- Commentez les sources d'erreur possibles dans cette manipulation

### 3. 3 Mesure de la résistance PT100 avec le générateur de courant 1mA

Les mesures se font au multimètre de table 20000 points.

Le schéma de montage sur la plaquette est le suivant :

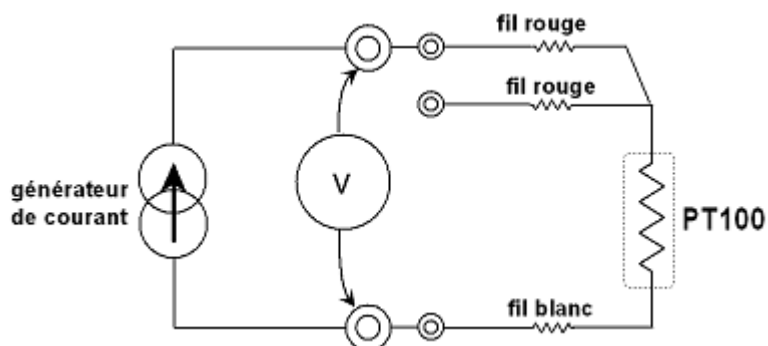


Figure. 7 : Mesure de la résistance par générateur de courant

Le voltmètre de mesure ayant une impédance d'entrée de l'ordre de 100 M $\Omega$ , le courant dérivé par ses bornes est supposé négligeable.

#### **Travail à faire**

- Mesurer le courant débité par le générateur 1mA en branchant le multimètre en mode ampèremètre sur le calibre 20mA. La valeur lue sera la valeur utilisée pour la détermination de la résistance.
- Placer la sonde sur la plaquette (bornes "générateur de courant 1 mA") en respectant les couleurs de fils.
- Brancher le multimètre en mode voltmètre aux bornes du générateur et relever la tension en utilisant le calibre 2V.
- Déterminer la tension aux bornes du capteur en soustrayant la chute de tension due aux fils de câblage rouge et blanc.
- En déduire la valeur de la résistance PT100 et comparer au tableau DIN.

#### **4. Mesure dans la gamme [0,100°C]**

L'objectif de cette partie est d'évaluer la qualité des mesures par la technique du pont de Wheatstone.

Le pont de Wheatstone présente plusieurs avantages:

- La sonde utilisée est du type 3 fils, qui est le modèle le plus courant; ce type de câblage offre des possibilités d'élimination de la résistance de câblage dans le montage en pont de mesure.
- Compensation des erreurs de mesure liées à la résistance des fils
- Erreur de mesure très faible ( $\sim 10$

Le montage en pont 3 fils est le suivant:

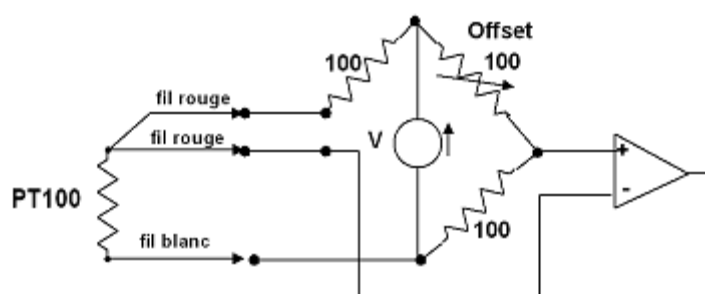


Figure. 8 : Montage en pont de Wheatstone

La tension d'alimentation  $V$  est d'environ  $0,6V$  (choix fixé pour limiter l'auto échauffement de la sonde). Le gain de l'amplificateur d'instrumentation est fixé pour obtenir un signal dans la gamme  $[0,10V]$ .

#### Travail à faire

- Quelle est la valeur théorique de la mesure pour  $\theta = 0^{\circ}C$  ? La résistance des fils est-elle encore une source d'erreur dans le montage 3 fils en pont ?
- Placer la sonde dans un b cher rempli de glace en cours de fusion [si disponible!].
- La valeur mesurée correspond-elle à la valeur théorique?
- Remplir ensuite le b cher de 400 ml d'eau froide déminéralisée et le placer sur la plaque chauffante. Plonger la sonde et le thermomètre à alcool.
- Faire le relevé du thermomètre et de la tension de pont par palier jusque  $\theta = 80^{\circ}C$  environ (au minimum 6 paliers)
- Tracer la courbe de réponse statique  $V_{\text{pont}} = f(\theta)$  à l'aide d'un tableur.
- Evaluer la sensibilité moyenne du capteur.
- Par les mêmes méthodes que dans l'étude faite sur la réponse théo-

rique, évaluer la non-linéarité du capteur associé à une mesure en pont.

- La méthode de mesure par pont de Wheatstone est-elle plutôt avantageuse pour utiliser une sonde PT100 ou plutôt un inconvénient ?

### 5. Mesure de la température avec le thermocouple

1. Réalisez le montage suivant :

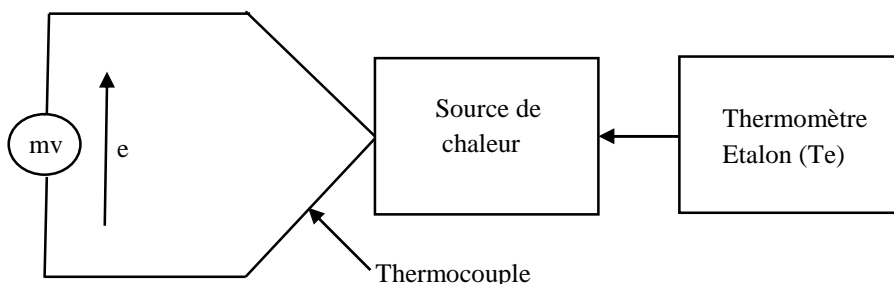


Figure 9 : Montage du thermocouple

2. Remplir le tableau suivant :

Te (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E (mV)									

3. Réaliser le montage suivant :

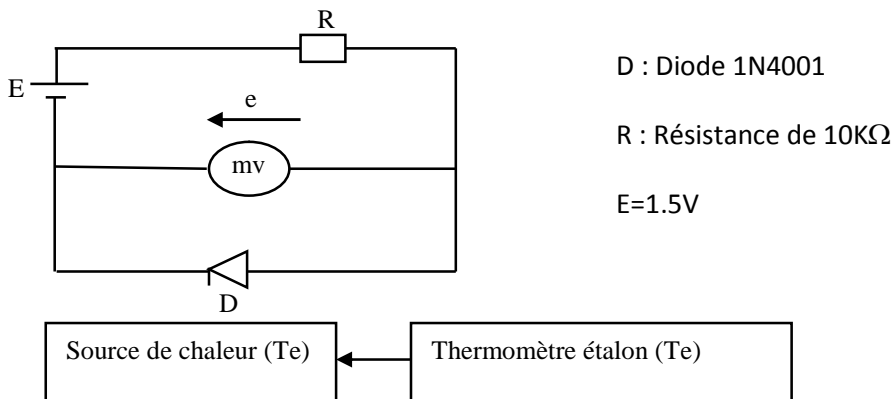


Figure 10 : Mesure de la tension du thermocouple

4. Remplir le tableau suivant :

Te (°C)	20	30	40	50	60	70	80	90	100
E (mV)									

**Questions :**

1. Tracer sur un même graphe les courbes  $T_e=f(e)$  correspondant au thermocouple et à la diode. Commenter les résultats.
2. Tracer, en fonction de la température, sur un même graphe les courbes de sensibilité des deux éléments (thermocouple et diode).  $S=\Delta e/\Delta T=f(T)$
3. Que pouvez-vous faire comme remarques ?

**6. Conclusion sur la mesure de température**

- Quels sont les principaux critères de choix d'une PT100 ?
- Quels sont les principaux critères de choix d'un thermocouple ?
- Comparaison Pt100 / Thermocouple : quand utiliser l'un plutôt que l'autre ?



### Annexe N°3

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.28
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	113.99	114.38	114.77	115.15
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.82	118.24	118.62	119.01
50	119.40	119.78	120.16	120.55	120.93	121.32	121.70	122.09	122.47	122.66
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.77	125.16	125.54	125.92	126.31	126.69
70	127.07	127.45	127.84	128.22	128.60	128.98	129.37	129.75	130.13	130.51
80	130.89	131.27	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.56	133.94	134.32
90	134.70	135.09	135.46	135.84	136.22	136.60	136.98	137.36	137.74	138.12
100	138.50	138.88	139.25	139.64	140.02	140.39	140.77	141.15	141.53	141.91
110	142.29	142.66	143.04	143.42	143.80	144.17	144.55	144.93	145.31	145.69

**Tableau :** Table des valeurs de la sonde PT100 (norme DIN43760)

#### Détermination des coefficients d'une régression polynomiale

La régression polynomiale permet de déterminer les coefficients d'un modèle de la forme  $f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots$  représentant au mieux un ensemble de mesures  $y_i$ . Le cas exposé ici correspond à la régression linéaire, la plus couramment employée. L'ensemble de la démarche est facilement extensible aux polynômes d'ordre plus élevés, voire à d'autres représentations que la forme polynomiale.

#### Régression linéaire :

On suppose que la réponse théorique  $f$  du capteur suit le profil d'une fonction affine (droite) d'équation  $f(\theta) = a.\theta + b$  avec  $\theta$  température. Pour dé-

terminer avec précision les paramètres  $a$  et  $b$  à partir des  $n$  mesures  $y_i(\theta)$  faites aux températures  $\theta_i$ , on applique le principe des moindres carrés appelé aussi régression linéaire.

Les logiciels "Tableurs" possèdent une fonction de calcul automatique de la droite de régression.

- se placer sur une zone de cellule vide, introduire à l'aide de l'assistant la fonction "DROITEREG" et remplir les 4 champs de la fonction.
- la fonction affiche dans la première ligne la pente et l'ordonnée à l'origine de la droite de régression (les autres paramètres ne sont explicités que si le paramètre 4 est mis à "1" ; ces paramètres décrits dans l'aide de la fonction)

La méthode employée par le logiciel est la suivante:

Les coefficients optimaux de la régression linéaire satisfont la minimisation de l'écart quadratique moyen  $J$  entre les mesures et la droite de régression.

$$J(a,b) = \sum_1^n (y(\theta_i) - a \cdot \theta_i - b)^2 \quad (1)$$

Par dérivation de  $J$  par rapport à  $a$  et  $b$ , on détermine les coefficients  $\hat{a}$  et  $\hat{b}$ :

$$\hat{a} \sum_1^n \theta_i + \hat{b} \sum_1^n \theta_i = \sum_1^n \theta_i y(\theta_i) \quad (2)$$

$$\hat{a} \sum_1^n \theta_i + \hat{b} \sum_1^n 1 = \sum_1^n y(\theta_i) \quad (3)$$

La résolution de ce système à deux équations donne:

$$\hat{a} = \frac{n \sum \theta_i y_i - \sum \theta_i \sum y_i}{n \sum \theta_i^2 - (\sum \theta_i)^2}$$

$$\hat{b} = \frac{n \sum y_i \sum \theta_i - \sum \theta_i y_i \sum \theta_i}{n \sum \theta_i^2 - (\sum \theta_i)^2}$$

## TP N°5

# Capteur de proximité : inductif-capacitif

### 1. Introduction :

Un détecteur de proximité est un élément de mesure détectant si un objet est présent à proximité sans avoir de contact avec l'objet. La détection s'opère par des effets physiques que l'objet peut produire sur le détecteur, sans contact. Il existe 4 technologies:

- Détecteur de proximité inductif: l'objet est détecté par ses effets sur un champ magnétique émis par le détecteur.
- Détecteur de proximité capacitif: l'objet est détecté par ses effets sur un champ électrique émis par le détecteur.
- Détecteur de proximité photoélectrique: l'objet est détecté par ses effets sur un faisceau de rayonnement optique.
- Détecteur de proximité ultrasonique: l'objet est détecté par ses effets sur une onde ultrasonique émise par le détecteur.

Les détecteurs de proximité possèdent des portées qui varient de l'ordre de 25 micromètres à un bout de l'échelle jusqu'à 200 mètres pour l'autre bout. Les signaux générés sont des signaux logiques tout-ou-rien (TOR).

Ces détecteurs n'ont aucune pièce mécanique mobile contrairement aux interrupteurs de fin de course. Ils sont utilisés dans une foule d'applications industrielles: contrôle de présence ou d'absence de pièces, con-

trôle de fin de course, détection de passage de pièces, positionnement de pièces, comptage de pièces, barrages de protection, etc...

## **2. Objectifs**

Les objectifs de ce TP sont les suivants:

- Etude du fonctionnement du capteur de proximité inductif
- Etude du fonctionnement du capteur de proximité capacitif
- Déterminer l'influence des différentes formes et des différents matériaux des pièces sur le comportement à la commutation des capteurs de déplacement inductifs et capacitifs.
- Etude de la variation de la distance de détection de capteurs de proximité inductifs et capacitifs en fonction du matériau à détecter dans le cas de différents métaux.

### *Inventaire du matériel à utiliser*

- ✓ Capteur de proximité inductif M12 (DER- SCE-M12-ST)
- ✓ Capteur de proximité inductif M18 (DER- SIE M18-PP)
- ✓ Capteur de proximité capacitif M18 (DER- SCE-M18-ST)
- ✓ Chariot de déplacement (plaque coulissante)
- ✓ Règle de mesure
- ✓ Multimètre numérique
- ✓ Bloc d'alimentation secteur 24 V DC

## **3. Détecteur de proximité inductif**

Un détecteur de proximité inductif (Figure. 1) détecte tout objet qui a un effet sur un champ magnétique. Donc, le détecteur de proximité inductif détectera uniquement des objets métalliques. Tout objet non-

métallique ne sera pas détecté. Ce détecteur comporte un circuit oscillateur qui envoie une tension alternative dans une bobine localisée au bout du capteur (Figure. 2).

Un champ magnétique alternatif est émis au bout du capteur. Si un objet métallique se présente dans ce champ magnétique, il y aura apparition d'un courant induit, dit courant de Foucault (les anglophones le désignent sous le nom de courant d'Eddy). Le courant de Foucault qui apparaît dans l'objet métallique prélève de l'énergie au circuit oscillateur. L'amplitude et la fréquence de l'oscillateur change lorsqu'un objet est présent. Plus l'objet est près, plus l'amplitude diminue (Figure. 3).



Figure. 1 : Détecteur de proximité inductif

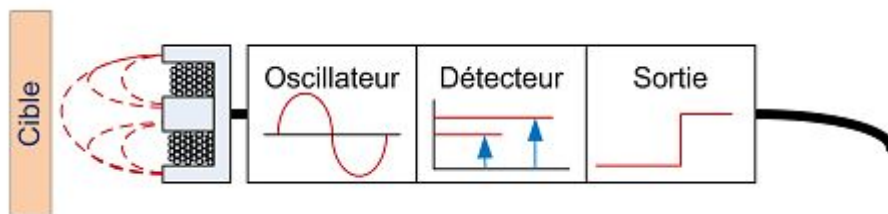


Figure. 2 : Schéma de principe du détecteur de proximité inductif

- Un circuit oscillant produit un champ électromagnétique à haute fréquence qui induit dans l'actionneur métallique voisin des courants parasites.
- Ces courants parasites de Foucault qui se produisent dans l'actionneur métallique provoquent une perte d'énergie de l'oscillateur, en réduisant l'amplitude du signal.

- La réduction de l'amplitude du signal est détectée par un amplificateur de seuil à hystérésis garantissant un déclenchement net. Une amplification finale permet l'actionnement d'une charge externe.

À partir de la réponse de l'oscillateur, une tension de sortie est obtenue via l'électronique de détection (Figure. 3). Ces détecteurs sont robustes et fiables. Ils ne détectent que les métaux.

Les portées disponibles sur le marché vont de 25micromètres à 6 centimètres.

Enfin, puisque ces détecteurs utilisent des principes basés sur le magnétisme, ils sont sensibles aux champs magnétiques. Il faut donc éviter de les utiliser dans un environnement où des champs magnétiques sont présents.

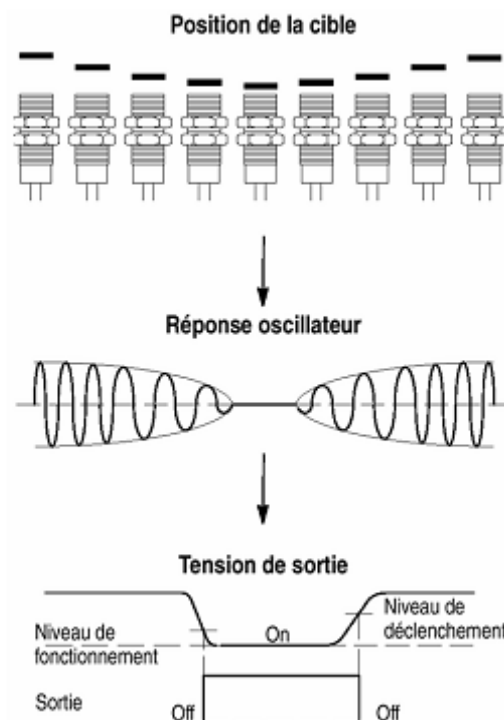


Figure. 3 : Fonctionnement d'un capteur de proximité inductif

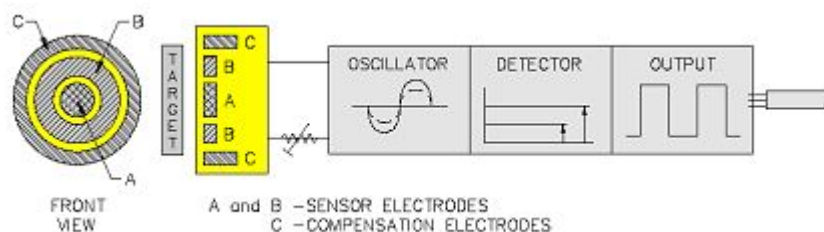
#### 4. Détecteur de proximité capacitif

Un détecteur de proximité capacitif (Figure. 4) détecte tout objet qui a un effet sur un champ électrique. Donc, le détecteur de proximité capacitif détectera les objets dont la constante diélectrique relative est suffisamment différente de celle de l'air et les objets métalliques qui viennent modifier la géométrie du champ électrique.



**Figure. 4 :** Détecteurs de proximité capacitifs

Tout comme les détecteurs de proximité inductifs, les détecteurs de proximité capacitif sont aussi un circuit oscillateur. Mais, cette fois-ci, c'est un champ électrique qui est émis par la face sensible du capteur. Lorsqu'une cible s'approche de la face sensible, sa présence affecte l'intensité du champ électrique et la capacitance du condensateur formé par les plaques du détecteur (Figure. 5).



**Figure. 5 :** Schéma de principe d'un détecteur de proximité capacitif

L'oscillation générée par l'oscillateur s'atténue lorsque la cible est présente, et l'amplitude de l'oscillation est utilisée pour générer un signal



logique en sortie, selon quelle soit inférieure ou supérieure à certains seuils, ce qui indique qu'il y a détection ou non-détection d'un objet. Dans le cas d'un objet non-métallique, la principale voie de détection est via le changement de la constante diélectrique du milieu présent dans le champ électrique du condensateur.

Le détecteur de proximité capacitif détecte tous les matériaux. Ces capteurs peuvent être très sensibles pour détecter une cible. Toutefois, ils sont aussi sensibles aux variations de l'environnement, i.e., les variations de température et d'humidité. Ces deux paramètres changent sensiblement la constante diélectrique. La portée de ces capteurs est de l'ordre de quelques centimètres.

## **A. Manipulation**

1. Réaliser le montage du détecteur inductif(ou capacitif) suivant l'assemblage proposé par la figure 1. (Voir la fiche opérationnel 6)
  - a) Posez le porte-pièce faisant partie de l'assortiment d'objets dans le réceptacle du chariot.
  - b) Prenez matériau acier fin dans l'assortiment d'objets et placez-le dans le porte-pièce.
  - c) Amenez le réceptacle du chariot en butée (graduation « 0 mm »). Positionnez le capteur inductif (DER- SIE- M18- ST) et le chariot de telle manière que la distance entre le matériau et capteur soit la plus faible possible.
  - d) Connecter le capteur inductif (DER- SIE- M18- ST) à la plaque de distribution et un multimètre.
  - e) Alimenter le circuit.
2. Déplacez le chariot de long de l'axe longitudinal du capteur. Reportez dans le tableau 1. les points auxquels le capteur répond à l'approche du matériau. Cette réponse se reconnaît à l'allumage de la diode électroluminescente intégrée au capteur. La diode électroluminescente intégrée au module de voyants s'allume également.
3. Déplacez le chariot de long de l'axe angulaire du capteur et reporté dans le tableau 2.
4. Répéter les points de (1) à (3) pour le 2<sup>ème</sup> capteur de proximité inductive (DER- SIE M18-PP) reportée dans le tableau 3 et le tableau
5. Répéter les points de (1) à (3) pour le capteur de proximité capacitifs : (DER- SCE-M18-ST) reportée dans le tableau 5 et le tableau 6.
6. Afin de constater la possibilité de détection des surfaces par les trois capteurs remplir le tableau 7.

7. Tracer la courbe représentant les surfaces (via la longueur du carré) en fonction de la distance de détection. Remarques ?

**A. Questions :**

1. Tracez la courbe  $I=f(d)$  concernant la détection du matériau n°3 par les trois capteurs.
2. Tracer la courbe  $I= f(\theta)$  concernant la détection du matériau n°3 par les trois capteurs.
3. Interpréter les résultats obtenus.
4. A partir de quelle distance  $d$  le capteur commence à mesurer ?  
En déduire la pente  $\Delta I/\Delta d$ .
5. Tracer sur un même graphe les courbes  $I=f(d)$  des matériaux n°4, 5, 6, 7. Donnez les remarques avec une interprétation.
6. Interpréter les résultats du tableau 7.
7. Quelle est la plage d'alimentation du capteur de proximité inductif et capacitif ?
8. Quelle est l'emploi principal des capteurs de proximité ?
9. Comment pouvez-vous choisir un capteur de proximité pour détecter un matériau ?

## Dispositifs utilisés dans le TP

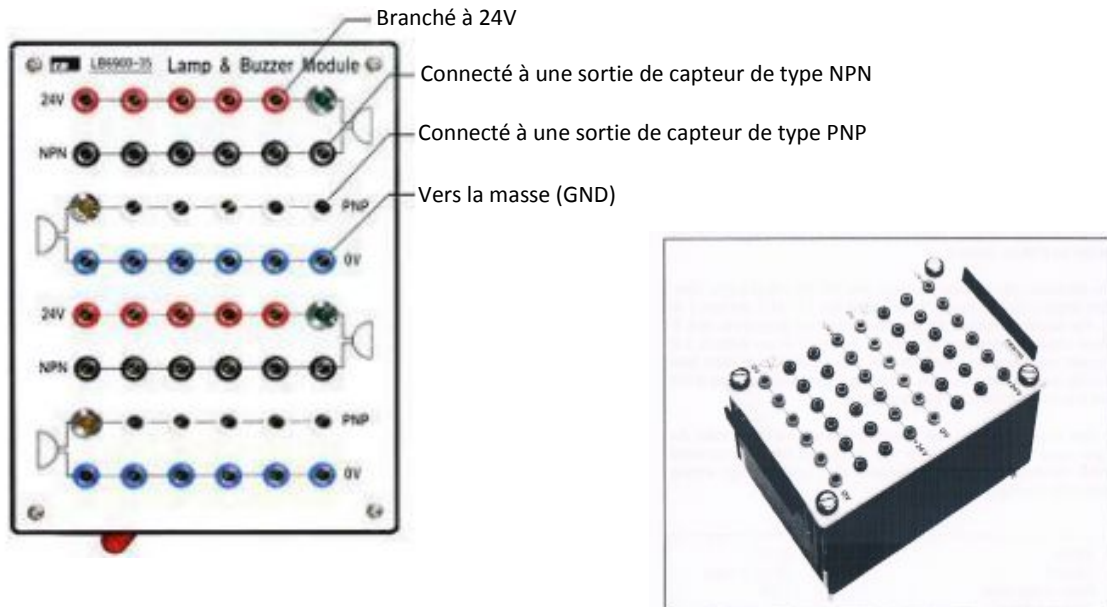


Figure. 1 : la plaque de distribution

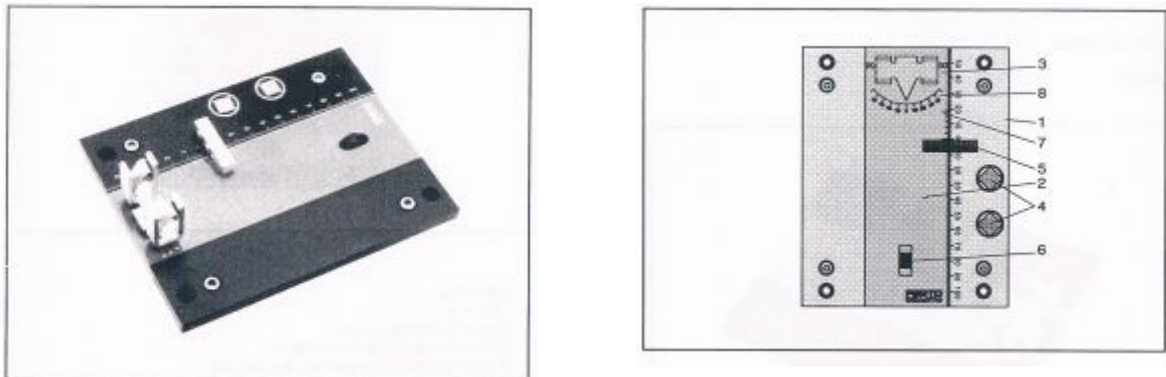


Figure. 2 : plaque coulissante

1. Règle de mesure
2. Unité de glissement
3. arrêtoir matériel rotatif
4. aimants de retenue pour étrier le vernier

5. arrêter pour l'étrier de vernier avec les aimants de retenue
6. un rouleau de caoutchouc
7. vernier
8. balance de position angulaire

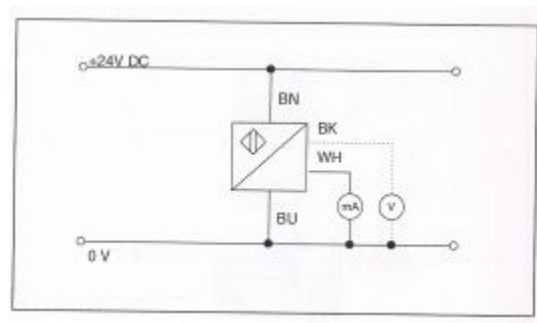
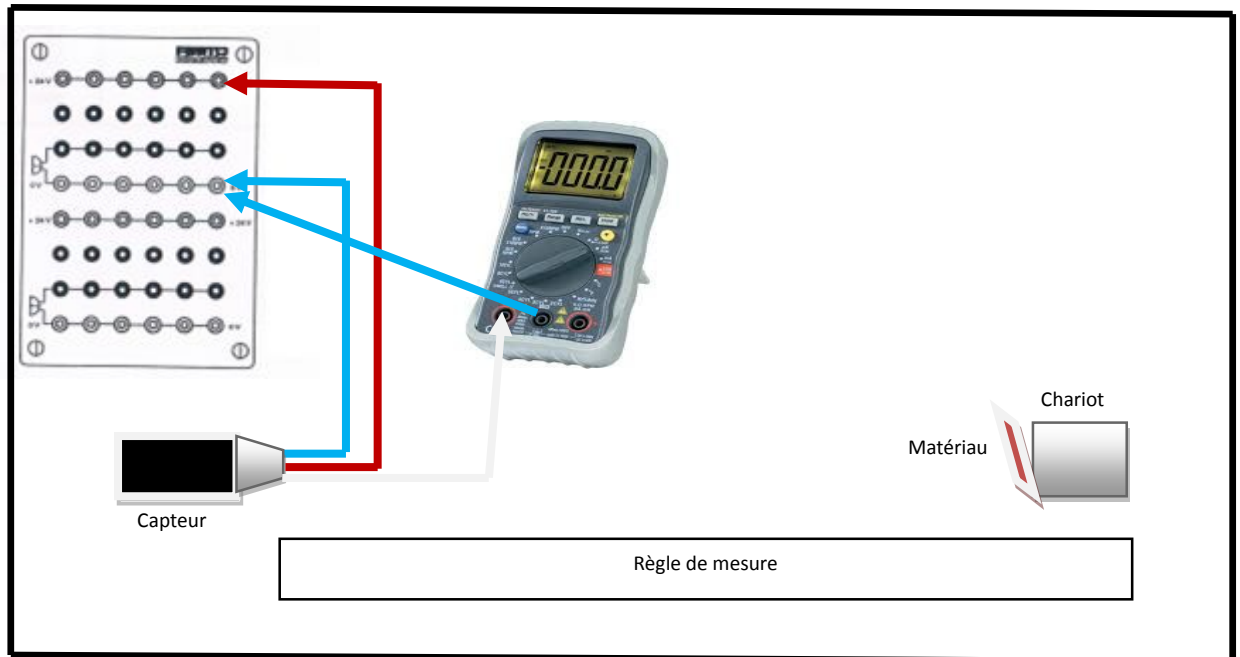


Figure 3 : Schéma topographique

Résultats obtenus

		Capteur inductif M12															
Distance	Matériaux	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Acier fin(n°3) I(mA)																
	Acier fin(n°4) I(mA)																
	Aluminium(n°5) I(mA)																
	laiton(n°6) I(mA)																
	Cuivre(n°7) I(mA)																

Tableau 1 : Mesure de distance par utilisation du capteur M12

		Capteur inductif M12															
Angle	Matériaux	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
	Acier fin(n°3) I(mA)																
	Acier fin(n°4) I(mA)																
	Aluminium(n°5) I(mA)																
	laiton(n°6) I(mA)																
	Cuivre(n°7) I(mA)																

Tableau 2 : Mesure d'angle par utilisation du capteur M12

		Capteur inductif M18															
Distance		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Matériaux																	
Acier fin(n°3)	I(mA)																
Acier fin(n°4)	I(mA)																
Aluminium(n°5)	I(mA)																
laiton(n°6)	I(mA)																
Cuivre(n°7)	I(mA)																

Tableau 3 : Mesure de distance par utilisation du capteur M18

		Capteur inductif M18															
Angle		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
Matériaux																	
Acier fin(n°3)	I(mA)																
Acier fin(n°4)	I(mA)																
Aluminium(n°5)	I(mA)																
laiton(n°6)	I(mA)																
Cuivre(n°7)	I(mA)																

Tableau 4 : Mesure d'angle par utilisation du capteur M18

		Capteur capacitif M18															
Distance		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Matériaux																	
Acier fin(n°3)	I(mA)																
Acier fin(n°4)	I(mA)																
Aluminium(n°5)	I(mA)																
laiton(n°6)	I(mA)																
Cuivre(n°7)	I(mA)																

Tableau 5 : Mesure de distance par utilisation du capteur M18

		Capteur capacitif M18															
Angle		0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
Matériaux																	
Acier fin(n°3)	I(mA)																
Acier fin(n°4)	I(mA)																
aluminium(n°5)	I(mA)																
laiton(n°6)	I(mA)																
Cuivre(n°7)	I(mA)																

**Tableau 6 :** Mesure d'angle par utilisation du capteur M18

Remarque :

I (ma) : le courant en milli-amère

D(mm) : distance en millimètre

Longueur du carré (mm)	Distance de détection (mm)		
	Capteur Inductif M12	Capteur Inductif M18	Capteur Capacitif M18
30 (n°11)			
25 (n°12)			
20 (n°13)			
15 (n°14)			
10(n°15)			
5 (n°16)			

**Tableau 7 :** Détection la longueur du carré par différents capteurs (M12, M18)

Remarque :

Capteur de proximité inductif M12 (DER- SCE-M12-ST)

Capteur de proximité inductif M18 (DER- SIE M18-PP)

Capteur de proximité capacitif M18 (DER- SCE-M18-ST)



## **TP N°6**

# **Capteur de proximité photoélectrique**

### **1. Objectifs :**

- Etude du fonctionnement du capteur de proximité photoélectrique (optique).
- Détermination de l'influence des différentes formes et des différents matériaux des pièces sur le comportement à la commutatif des capteurs optiques.
- Etude de la variation de la distance de détection de capteurs de proximité inductifs et capacitifs en fonction du matériau à détecter dans le cas de différents métaux.

### **2. Inventaire du matériel à utiliser**

- Capteur de proximité optique inductif (DER- SOE- RT- Q- PP)
- Capteur de proximité optique capacitif M12
- Chariot de déplacement
- Règle de mesure
- Multimètre numérique
- Bloc d'alimentation secteur 24 V DC

### 3. Détecteur de proximité photoélectrique

Les détecteurs de proximité photoélectriques (Figure. 1) permettent la détection d'une cible qui affecte la trajectoire d'un faisceau lumineux.

Un détecteur de proximité photoélectrique exige un émetteur et un récepteur rayonnement lumineux. L'émetteur produit un signal lumineux que le récepteur pourra distinguer de l'ensemble des signaux lumineux (éclairage, soleil,...) qu'il reçoit.

L'émetteur (Figure. 2) comprend un oscillateur dont le but est d'envoyer un train d'onde carrée à la diode électroluminescente (DEL). La DEL émet un signal lumineux oscillant dont la fréquence est de quelques kilohertz.

C'est grâce à cette fréquence particulière que le récepteur (Figure. 3) sera en mesure de distinguer ce signal lumineux parmi l'ensemble de rayonnement lumineux reçu par le récepteur.



Figure. 1 : Détecteur de proximité photoélectrique

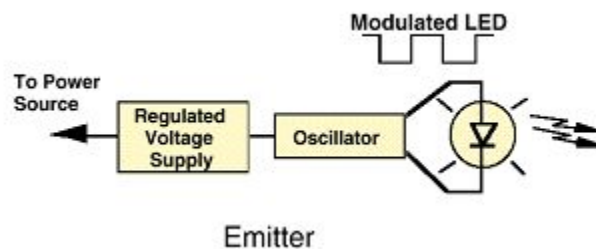


Figure. 2 : Circuit de l'émetteur du faisceau lumineux

Le phototransistor du récepteur capte la lumière qui est amplifiée pour pouvoir détecter plus facilement le signal lumineux en provenance de

L'émetteur. Le démodulateur extrait le signal de l'émetteur, si celui-ci est détecté. Il peut ne pas être détecté, soit parce qu'un obstacle bloque le passage du signal lumineux, soit parce que le signal lumineux est noyé dans l'ensemble des signaux lumineux reçus par le récepteur. Les diodes électroluminescentes (DEL) utilisées dans l'émetteur émettent dans la bande de 600 à 700 nanomètres pour les DEL rouges et dans la bande de 850 à 950 nanomètres pour les DEL infrarouges (Figure. 4).

La Figure.5 montre la réponse spectrale d'un phototransistor comparée aux spectres d'émission des DEL rouges et infrarouges et le spectre d'émission du soleil.

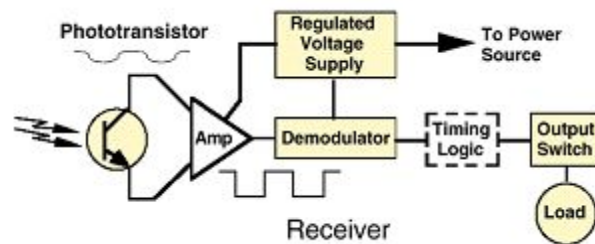


Figure. 3 : Circuit du récepteur détectant le faisceau lumineux

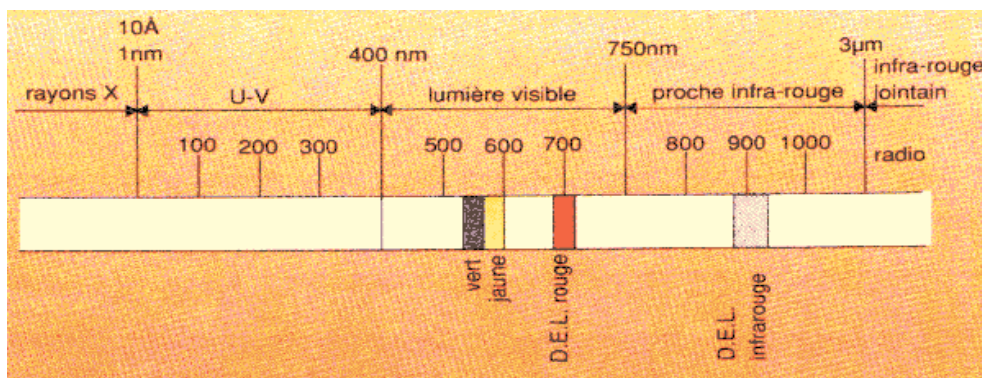
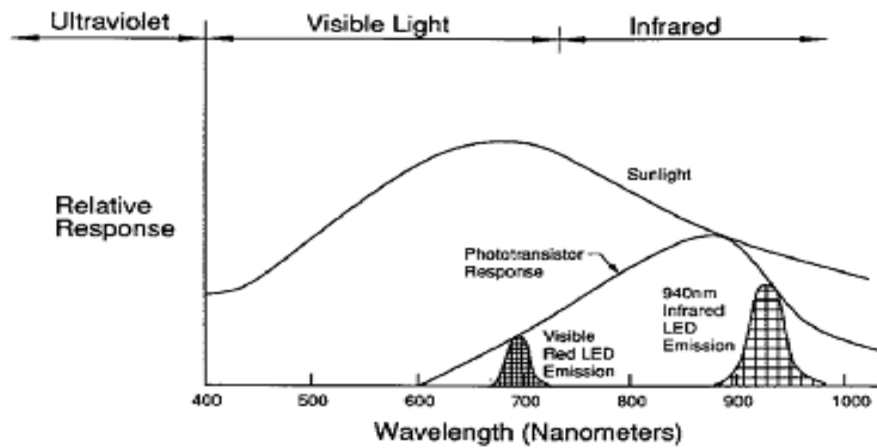


Figure. 4 : Spectre électromagnétique

Cette Figure montre bien que les DEL infrarouges sont les mieux adaptées pour un détecteur de proximité optique, car le spectre d'émission possède une plus grande amplitude que les DEL infrarouges. De plus, la réponse du phototransistor est meilleure dans la plage de fréquence de la DEL infrarouge.



**Figure. 5 :** Réponse spectrale d'un phototransistor et spectres d'émission Des DEL

**A. Manipulation :**

1. Réaliser le montage du détecteur de proximité optique (type inductif) suivant l'assemblage proposé par la figure 1. (Voir la fiche opérationnel 6)
2. Déplacez le chariot de long de l'axe longitudinal du capteur. Remplir pour chacun des deux capteurs optiques (inductif-capacitif) le tableau 1 et le tableau 2.
3. Déplacez le chariot de long de l'axe angulaire du capteur. Remplir pour chacun des deux capteurs optiques (inductif-capacitif) le tableau 3 et le tableau 4.
4. Selon les résultats obtenus pouvez-vous dire lequel des deux capteurs est le plus sensible à détecter les matériaux utilisées ?
5. Selon les matériaux utilisés quel est celui qui est le mieux détecté et celui le moins détecté ?

**B. Questions :**

1. Quel paramètre doit sans doute être sensible à l'intensité lumineuse?
2. Les capteurs optiques sont-ils sensibles de la même façon à toutes les radiations lumineuses?
3. Comment pouvez-vous sélectionner un capteur de proximité optique inductif ou capacitif pour détecter un objet.

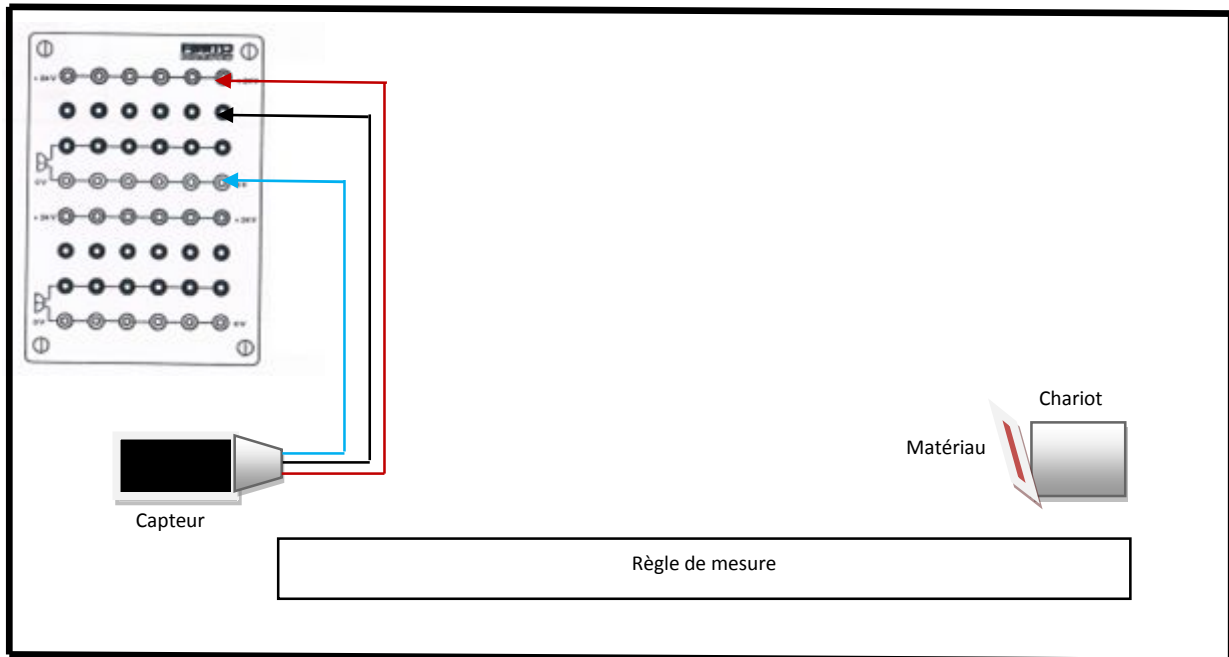


Figure 1 : Schéma topographique

### Résultats obtenus

Type de matériau	Capteur de proximité optique			
	Switch-on (mm)	Switch-off (mm)	Détection oui/non	hystérésis
Acier fin (n°3)				
Acier fin (n°4)				
Aluminium (n°5)				
Laiton (n°6)				
Cuivre (n°7)				
Matière artificielle (n°18)				

Tableau 1 : Détection de matériaux

Type de matériau	Capteur de proximité optique			
	Switch-on (mm)	Switch-off (mm)	Détection oui/non	hystérésis
Acier fin (n°3)				
Acier fin (n°4)				
Aluminium (n°5)				
Laiton (n°6)				
Cuivre (n°7)				
Matière artificielle (n°18)				

Tableau 2 : Détection de matériaux

Type de matériau	Capteur de proximité optique			
	Switch-on (angle°)	Switch-off (angle°)	Détection oui/non	hystérésis
Acier fin (n°3)				
Acier fin (n°4)				
Aluminium (n°5)				
Laiton (n°6)				
Cuivre (n07)				
Matière artificielle (n°18)				

**Tableau 3 :** Détection angulaire de matériaux

Type de matériau	Capteur de proximité optique			
	Switch-on (angle°)	Switch-off (angle°)	Détection oui/non	hystérésis
Acier fin (n°3)				
Acier fin (n°4)				
Aluminium (n°5)				
Laiton (n°6)				
Cuivre (n07)				
Matière artificielle (n°18)				

**Tableau 4 :** Détection angulaire de matériaux

**Remarque :**

Switch-on : LED du capteur allume en vert

Switch-off : LED du capteur allume en rouge

(mm) indique le millimètre

Hystérésis= (Switch-on) - (Switch-off)

## Bibliographie

---

1. G. Asch, et al. les capteurs en instrumentation industrielle, Dunod 1998.
2. G. Asch, et al. les capteurs en instrumentation industrielle, 6<sup>ème</sup> édition Dunod 2003.
3. Ian R. Sintclair, Sensors and transducers, NEWNES 2001.
4. J. G. Webster, Measurement, Instrumentation and sensors Handbook, Taylor& Francis Ltd
5. G. W. Burns, M. G. Scroger, G. F. Strouse, et al. Temperature-Electromotive Force Reference Functions and Tables for the Letter-Designated Thermocouple Types Based on the IPTS-90 NIST Monograph 175. Washington, D.C.: U.S. Department of Commerce, 1993.
6. P. Poulichet, cours sur l'électronique de conditionnement du capteur, groupe ESIEF Paris, Novembre 2006.
7. M. Correvon, «Capteurs inductifs de position, Conditionnement et traitement du signal », CD\SEM\Cours\Chap09, 2012.
8. T. Ferguson, Mesurer des températures par thermocouples, COPYRIGHT 2001 National Instruments Corporation.
9. Capteurs et instrumentation, <http://www.icampus.ucl.ac.be>.
10. Capteur de mesure de distance, [www.sensopart.com](http://www.sensopart.com).
11. B. Etienne, Travaux pratiques Instrumentation, mai 2015.