



Université Abou Bekr Belkaid  
Tlemcen, Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد  
تلمسان الجزائر



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID – TLEMSEN –**

**Faculté de Technologie**

**Département Génie Electrique et Electronique**

## **PROJET DE FIN D'ETUDE**

**Pour l'obtention du diplôme de : Master en Electronique**

**Option : Instrumentation Electronique**

*Thème*

**Réalisation d'un interrupteur tactile  
Thermosensible**

**Présenté par :**

AMMOUR Ahmed

BARED Zakaria

**Membres de jury :**

*Président de jury : Mr GHAF FOUR Kheireddine Pr*

*Examineur : Mr MASSOUM Noradine MCB*

*Encadreur : Mr ZOUGAGH Nabil MCB*

*Année universitaire : 2016-2017*

# DEDICACE

*Avec l'aide de Dieu tout puissant, on a pu achever ce modeste travail que je dédie,*

*A mes chers parents, en témoignage de l'amour, du respect, et de la gratitude que Je leur porte.*

*A mes adorables sœurs pour leur encouragement, amour et aide.*

*A mes frères, et à toute la famille AMMOUR.*

*A tous mes cousins et à tous mes amis (es), de notre promotion.*

*Ammour Ahmed*

# DEDICACE

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut, tous ces mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, et la reconnaissance à mes très chers parents qui m'ont offert sans condition leur soutien morale et financier .et à qui je dois ce travail.

A tous ma famille frères et sœurs.

A tous cousins et tous mes amis(es) surtout mon binôme AMMOUR AHMED

**Bared Zakaria**

# REMERCIEMENTS

*En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'études.*

*Nous tenons à remercier sincèrement "Mr ZOUGAGH Nabil" qui, en tant que encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide, et leurs précieux conseil.*

*Nous remercions également "Mr GHAFFOUR Kheireddine" ainsi que "Mr MASSOUM Nordine" qui nous a fait l'honneur d'accepter d'examiner ce modeste travail. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde considération.*

*Et nous en venons à nos famille, à nos parents, a ceux qui ont étais toujours présents pour participé à notre bonheur.*

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b> .....	2
<b><u>Chapitre I</u></b>	
I.1 Introduction .....	4
I.2 Rôle d'un capteur .....	4
I.3 Les différents types de capteurs .....	5
I.3.1 Les Capteurs de Lumière .....	5
I.3.1.1 La Photorésistance ( LDR) .....	5
I.3.1.2 Le phototransistor .....	5
I.3.1.4 La cellule photoconductrice .....	6
I.3.2 Les capteurs de températures .....	7
1.3.2.1 Thermométrie par résistance .....	7
1.3.2.1.1 Résistance Métallique.....	7
1.3.2.2 Thermistances .....	8
1.3.2.3 Thermométrie par thermocouple .....	9
1.3.2.4 Thermométrie par diodes .....	10
I.3.3 Capteur de proximité à effet Hall .....	11
I.3.3.1 Description.....	11
I.3.3.2 Utilisations .....	12
Avantages .....	12
Inconvénients.....	12
I.3.3.3 Unités et formules .....	12
<b><u>Chapitre II</u></b>	
II-1 La diode .....	15
II-1-1 Présentation.....	15
II-1-2 Principales caractéristiques d'une diode.....	15
II.1.3 Les différentes diodes et leurs utilisations .....	16
II.1.3.1 Diode de commutation.....	16
II.1.3.2 Diode de redressement.....	16
II.1.3.3 La diode Zener .....	17
II.1.3.3.1 Principe électrique .....	17
II.1.3.3.2 Les paramètres importants de la diode Zener .....	18
II.2 Le Potentiomètre .....	19
II.3 Le transistor .....	20

II.3.1	Présentation.....	20
II.3.2	Les Types de transistor .....	21
II.6	Le relais .....	22
II.6.1	Rôle du relais .....	22
II.6.2	Constitution .....	22
II.6.3	Fonctionnement .....	23
II.6	Les Amplificateurs Opérationnelles .....	23
II.6.1	Définition d'un AOP.....	23
II.6.2	Principe de fonctionnement d'un AOP .....	23
II.6.3	L'AOP parfait et l'AOP réel .....	25
<b><u>Chapitre III</u></b>		
III.1	Introduction .....	26
III-2	Le circuit électronique complet du montage.....	26
III.3	Le fonctionnement (ISIS simulation) .....	27
III.4	Les étapes de réalisation de capteur thermosensible sous circuit imprimé .....	30
III.5	Nomenclature .....	33
<b>Conclusion Générale.....</b>		<b>35</b>
Références bibliographiques.....		36
Annexe.....		37



# **Introduction générale**

### **Introduction générale**

Un capteur est un dispositif transformant une grandeur physique (température, pression, humidité, vitesse, accélération.....etc.) en un signal électrique (courant, tension ou charge.).Il se distingue de l'instrument de mesure par le fait qu'il ne s'agit que d'une simple interface entre un processus physique et une information manipulable.

Dans ce contexte, notre travail consiste à réaliser un interrupteur tactile thermosensible qui réagit à la chaleur par la particularité des diodes au silicium.

Cependant. Notre travail est organisé de la manière suivante:

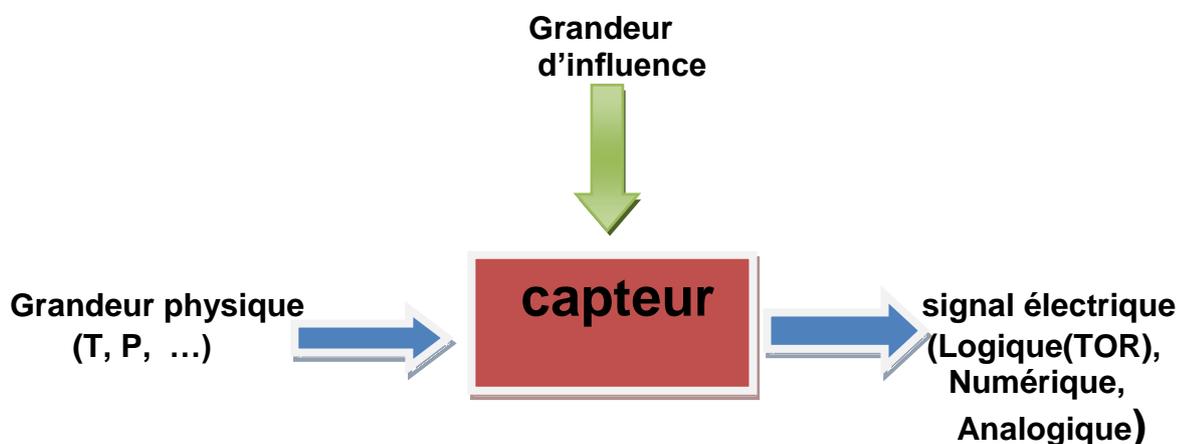
- Le premier chapitre représente quelques types de capteurs.
- Le second chapitre concerne les composants électroniques utilisé dans ce projet.
- En fin le dernier chapitre contient les étapes de réalisation de notre projet.

# **Chapitre I : Les capteurs**

## I.1 Introduction

Les capteurs jouent un rôle important car ce sont eux qui permettent de mesurer les effets des phénomènes physiques qui agissent sur l'environnement de l'homme. Ainsi, avec l'évolution de la technologie, l'électronique en particulier, l'importance des capteurs s'accroît car ils permettent d'assurer la liaison homme -machine. Cependant, on peut définir un capteur comme un dispositif qui permet de transformer une grandeur physique ((température, pression, position, concentration,...etc.)) en une grandeur électrique (courant, tension, charge).

## I.2 Rôle d'un capteur [1]



Le rôle du capteur est de rendre exploitable ces différentes grandeurs physiques en vue de leur traitement ultérieur.

- Mesure de présence,
- Mesure de position, de déplacement ou de niveau ;
- Mesure de vitesse ;
- Mesure d'accélération, de vibrations ou de chocs;
- Mesure de débit, de force ou de pressions;
- Mesure de température ou d'humidité.

### I-3 Les différents types de capteurs

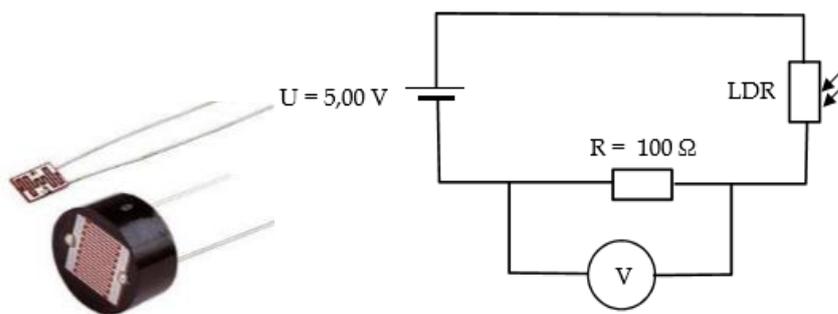
#### I.3.1 Les Capteurs de Lumière [2]

##### I.3.1.1 La Photorésistance ( LDR) [2]

C'est une résistance dont la valeur varie (diminue en générale) en fonction de l'intensité lumineuse. La conductance change avec la variation de luminosité.

La photorésistance est largement utilisée dans beaucoup de domaines tels que l'éclairage public, les systèmes de sécurités, etc....

Dans l'obscurité quasi-parfaite la résistance est grande. Cette résistance est pratiquement infinie. La photorésistance se comporte comme un isolant de courant.



**Figure I-1 :** Image réelle et Montage électrique d'une photorésistance LDR

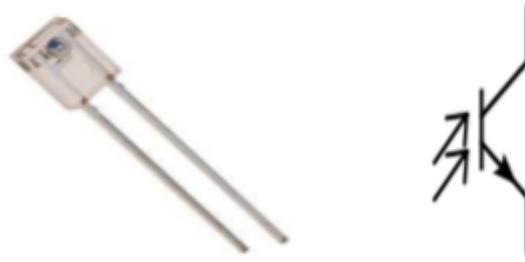
##### I.3.1.2 Le phototransistor [2]

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux , la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion. Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite  $I_{CE0}$ . L'éclairage de la base conduit à un photo courant  $I_{ph}$  que l'on peut appeler courant de commande du transistor.

Celui-ci apparaît dans la jonction collecteur-base sous la forme :

$$I_C = \beta I_{ph} + I_{CE0}$$

→ Utilisé dans les optocoupleurs.



**Figure I-2:** Image et symbole d'un Phototransistor

### I.3.1.3 La Photodiode[2]

Une photodiode est un composant semi-conducteur, ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique qui augmente proportionnellement par l'intensité lumineuse

L'expression du courant  $I_d$  traversant la jonction est alors :

$$I_d = I_s (e^{(Eg)ut+n} - 1) - I_{ph}$$

→ Utilisé dans la fibre optique.



**Figure I-3:** Image et symbole d'une Photodiode

### I.3.1.4 La cellule photoconductrice [2]

C'est un capteur résistif qui est caractérisé par l'influence du flux de rayonnement reçu sur la valeur de sa résistance. Associée à un conditionneur approprié, la cellule photoconductrice compte parmi les capteurs optiques les plus sensibles. Le phénomène physique qui est à la base de son emploi – la photoconduction – résulte d'un effet photoélectrique interne : libération dans le matériau des charges électriques sous l'influence de la lumière et donc augmentation de la conductance.



**Figure I-4 :** Image représentative d'une cellule photoconductrice

## **I.3.2 Les capteurs de températures [3]**

### **1.3.2.1 Thermométrie par résistance**

La thermométrie par résistance utilise, comme son nom l'indique, la variation de la résistance d'un matériau en fonction de la température. Cette variation de résistance peut être faite aussi bien avec un métal (dans ce cas-là nous parlerons de résistance métallique) mais aussi avec des oxydes (dans ce cas-là nous parlerons de thermistances).

#### **1.3.2.1.1 Résistance Métallique**

Dans le cas des métaux, la résistance varie avec la température suivant la loi suivante :

$$R = R_0 (1 + aT + bT^2 + cT^3)$$

Tous les métaux voient leur résistance varier avec la température mais seulement quelques-uns sont utilisés comme capteur. En effet un bon capteur doit avoir une bonne sensibilité, être le plus fidèle possible, être le moins encombrant possible, linéaire même si ce n'est pas obligatoire, avoir un temps de réponse convenable et une étendue de mesure suffisante. Les quatre métaux les plus utilisés sont le platine, le tungstène, le nickel et le cuivre. Le tableau suivant énumère pour chaque métal ces caractéristiques ainsi que son étendue de mesure :

Métal	Caractéristiques	Étendue de mesure
Platine	Précis, stable, durable Coût important : 30 €	-200 °C, 600 °C
Tungstène	S tungstène > S platine Moins Stable que platine Meilleure linéarité en haute température	-100 °C, 1 400 °C
Nickel	Sensibilité la plus élevée Résistivité élevé Faible linéarité Peu stable	-60 °C, 180 °C
Cuivre	Linéaire Résistivité faible donc encombrement Peu stable	-190 °C, 150 °C

**Tableau 1-1 :** Les caractéristiques et l'étendue de mesure de quelques métaux.

Le nickel serait le meilleur capteur s'il était linéaire sur une plus grande étendue. Le plus utilisé reste tout de même le platine et plus précisément la Pt 100 qui a comme particularité de valoir 100 Ohm à 0 °C. La Pt 100 peut se trouver sur plusieurs formes, l'une d'elle étant la Pt 100 surmoulée qui permet d'accroître son étendue de mesure mais qui augmente son temps de réponse. Si l'étendue de mesure est satisfaisante, il est possible d'utiliser la Pt 100 sur couche mince permettant d'avoir un bon contact entre l'objet dont on souhaite connaître la température et le capteur et aussi d'avoir un bon temps de réponse.

### 1.3.2.2 Thermistances [3]

Pour les thermistances, le matériau dont on observe la résistance est un agglomérat d'oxydes métalliques rendus compacts par haute pression exercée à température élevée. Il existe trois grandes sortes de thermistance : les Coefficient de Température Négatif (CTN), les Coefficient de Température Positif (CTP) et les Critical Variation Resistor qui sont des CTN à variation brusque de résistance. Les CTN ont la particularité de voir sa résistance diminuer avec la température ce qui en fait une des thermistances les plus utilisés. Les CTN peuvent se trouver sous diverses formes : perles de verre, disques, barreaux, pastilles, rondelles, puces etc....

### 1.3.2.3 Thermométrie par thermocouple [3]

Les thermocouples sont des capteurs actifs qui délivrent une f.e.m lorsque ceux-ci sont soumis à une modification de la température. Une fois que l'on a la f.e.m pour pouvoir remonter à la valeur de la température, il faut connaître l'une des deux jonctions et surtout sa température. Celle-ci se nommera jonction de référence. La nature des matériaux conducteurs utilisés définit le type du thermocouple. Il existe beaucoup de type de thermocouple qui sont pour la plupart repérée par une lettre ainsi un thermocouple de type J est constitué d'une jonction en fer et d'une jonction en constantan. Le tableau suivant indique les thermocouples les plus utilisés

Lettre	Conducteur positif	Conducteur négatif
T	Cuivre	Nickel-Cuivre (Constantan)
J	Fer	Constantan
E	Nickel-Chrome (Chromel)	Constantan
K	Chromel	Nickel-Aluminium (Alumel)
S	Platine-10 % Rhodium	Platine-6 % Rhodium
R	Platine-13 % Rhodium	Platine
B	Platine-30 % Rhodium	Platine-6 % Rhodium
N	Nickel-Chrome-Silicium (Nicrosil)	Nickel-Chrome-Magnésium (Nisil)
U	Cuivre	Constantan
G	Tungstène	Tungstène-26 % Rhénium
C	Tungstène-5 % Rhénium	Tungstène-26 % Rhénium
D	Tungstène-3 % Rhénium	Tungstène-25 % Rhénium

**Tableau 1-2 :** Les lettres de références des thermocouples les plus utilisés

L'un des premiers éléments pour choisir un capteur est souvent le domaine d'utilisation mais aussi sa sensibilité. Le tableau suivant donnera les valeurs de ces deux paramètres pour quelques capteurs.

Lettre	Domaine d'utilisation (°C)	Sensibilité moyenne (µV/°C)
T	-200 à 370	51
J	-40 à 800	55
E	-270 à 870	78,5
K	-270 à 1270	41
S	-50 à 1600	11,4
R	-50 à 1600	12,9
B	0 à 1700	10,6
N	-270 à 1300	38
G C et D	0 à 2600	20
Pt/Au	0 à 1000	25

**Tableau 1-3 :** L'intervalle de température et la sensibilité moyenne de quelques capteurs

Ces thermocouples ont des caractéristiques différentes et par la même occasion ont une utilisation qui leur sont plus favorable. Par exemple, un thermocouple de type E possède la plus grande sensibilité mais il est possible qu'il y ait une dérive. Le type J ne doit pas être utilisé pour de basses températures sinon la jonction risque de casser et le fer sera oxyder. Le thermocouple de type K est le plus utilisé et aussi le meilleur dans le marché avec un prix aux alentours de 2000 DA Les types R et S sont adaptés aux températures élevées et fournissent une réponse très rapide.

Par-contre le thermocouple de type K est adapté aux basses températures, donc c'est un parfait thermocouple pour toutes les applications cryogéniques. Les points forts de ce type de capteur comparés aux capteurs à résistances métalliques est que ceux-ci peuvent supporter les environnements corrosif, un temps de réponse rapide, une bonne précision et une large étendue de mesure. Rajoutons à tous ceci le fait qu'il n'ait pas besoin d'alimentation et les thermocouples deviennent un très bon choix de capteur. Mais les signaux obtenus étant de faible amplitude, il est nécessaire de l'amplifier et donc d'ajouter une incertitude sur ce dispositif.

#### 1.3.2.4 Thermométrie par diodes [3]

La tension aux bornes d'un semi-conducteur ainsi que le courant qui le traverse dépendent de la température.

$$I=I_0.\exp(qV /kT)$$

Ce type de capteur est dit intégré, ils ont l'avantage d'un courant constant  $I$ , la mesure de  $V$  est linéaire en fonction de la température et se présente sous la forme :

$V = aT + b$  avec  $a$  qui dépend de l'élément sensible.

Un exemple de capteur de température le LM 35 (voir figure 1-5)



Figure 1-5 : Thermomètre à diode

Ce type de capteur qui utilisant des diodes ont l'avantage d'être simple à fabriquer et à mettre en œuvre, peu coûteux et très linéaire. Mais du fait de leur conception, ils ont une étendue de mesure limitée (-50 °C à 150 °C) et sont affectés par un champs magnétique

### I.3.3 Capteur de proximité à effet Hall [4]

#### I.3.3.1 Description

Un champ magnétique  $B$  appliqué perpendiculairement à la surface du capteur, parcouru par un courant  $I$  le long de la direction  $x$ , va générer une tension le long de la direction  $y$ .  $U_x$  est le champ électrique appliqué le long de l'axe  $x$ , et  $U_y$  est le champ de Hall le long de l'axe  $y$ .

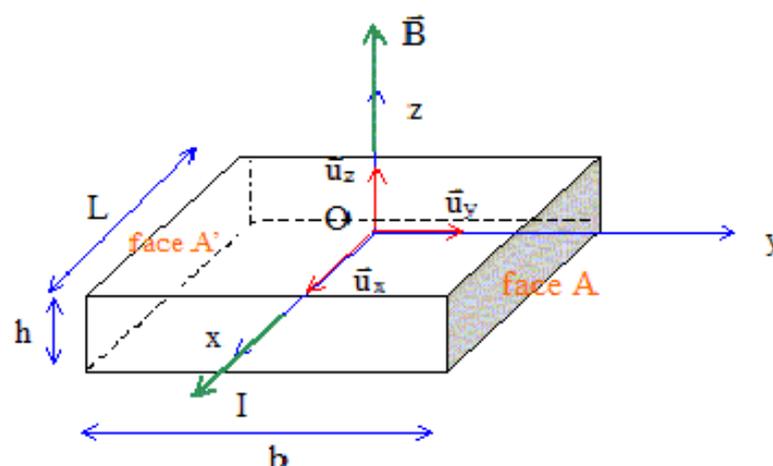


Figure I-6 : Schéma représentatif de l'effet Hall

Ce type de capteur de courant exploite l'effet Hall pour produire une tension qui est l'image exacte (avec un facteur de proportionnalité connu) du courant à mesurer ou à visualiser.

### I.3.3.2 Utilisations

Ils sont utilisés comme détecteur de position sans contacts : dans les moteurs sans balais, par exemple, en détectant la variation de champ magnétique lors du passage des pôles du rotor ou d'une pièce magnétique disposée de telle sorte qu'elle représente l'image des pôles de la machine.

Ils sont également utilisés en mécanique pour la détection de la position ou de la vitesse d'une pièce, par exemple un arbre tournant.

Les touches des claviers d'instruments de musique électronique peuvent être pourvues de capteurs à effet Hall, en remplacement des contacteurs classiques, ce qui élimine l'usure des contacts électriques.

### Avantages

- Un intérêt de ce type de capteur est de permettre des mesures de position ou de déplacement à travers une paroi non ferromagnétique séparant de la sonde l'objet support de l'aimant.
- La chute de tension introduite dans le montage est très faible :  $V_S$  étant limitée à quelques Volt la tension  $V_E$  est inférieure à quelques mV.
- L'isolation galvanique entre la mesure et le circuit est un élément appréciable de sécurité et permet d'éliminer l'influence du mode commun sur la mesure.

### Inconvénients

Ce type de capteur est plus coûteux que le shunt et sa sensibilité aux champs magnétiques extérieurs peut nécessiter quelques précautions.

De nombreux modèles d'ordinateurs portables, certains Smartphones et certaines tablettes numériques possèdent un capteur à effet Hall pour détecter la fermeture du couvercle ou d'une housse à clapet.

### I.3.3.3 Unités et formules

Si un courant  $I_0$  traverse un barreau en matériau conducteur ou semi-conducteur, et si un champ magnétique d'induction  $B$  est appliqué perpendiculairement au sens de passage du courant, une tension  $V_h$ , proportionnelle au champ magnétique et au courant  $I_0$ , apparaît sur les faces latérales du barreau.

Les électrons sont déviés par le champ magnétique, créant une différence de potentiel appelée

tension de Hall .Le champ magnétique déforme la trajectoire des électrons car il engendre une force de Lorentz.

$$V_h = K_h \cdot B \cdot I_0$$

Avec  $K_h$ : constante de Hall, qui dépend du matériau utilisé.

La Constante de Hall étant inversement proportionnelle à la densité des porteurs, la tension de Hall est beaucoup plus importante dans les semi-conducteurs que dans les métaux.

## **Chapitre II : Les composants utiles**

## II-1 La diode [1]

### II-1-1 Présentation

Une diode est un composant dit actif, qui fait partie de la famille des semi-conducteurs. Par définition, une diode fait référence à tout composant électronique doté de deux électrodes. Il s'agit d'un composant polarisé qui possède donc deux électrodes, une anode et une cathode. La cathode (parfois appelée K, pour Cathode) est localisée par un anneau de repérage (il peut y avoir plusieurs anneaux, dans ce cas l'anneau de repérage est celui qui est le plus près du bord de la diode).

Une diode laisse passer le courant dans le sens de l'anode vers la cathode et pas dans l'autre.

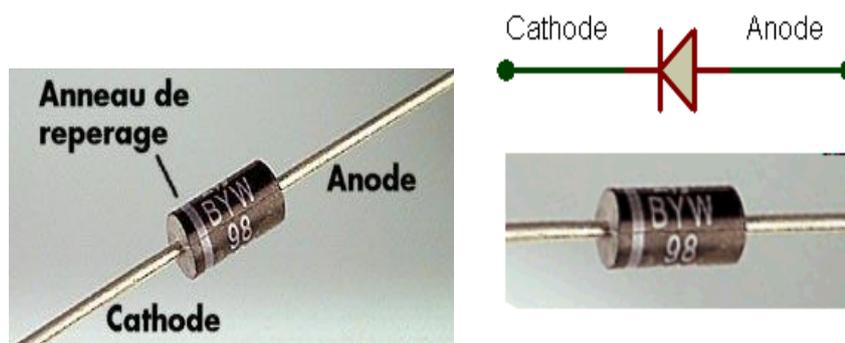


Figure II-1: Image et symbole d'une diode

### II-1-2 Principales caractéristiques d'une diode

Il existe une multitude de diodes. Le type de diode à utiliser dépend de l'application : détection de signaux RF dans un récepteur radio, redressement dans une alimentation linéaire, amélioration de la vitesse de commutation de transistors de puissance dans une alimentation à découpage, protection contre les surtensions, par exemple.

La diode est caractérisée par la tension de seuil, l'intensité de courant maximale et le courant inverse.

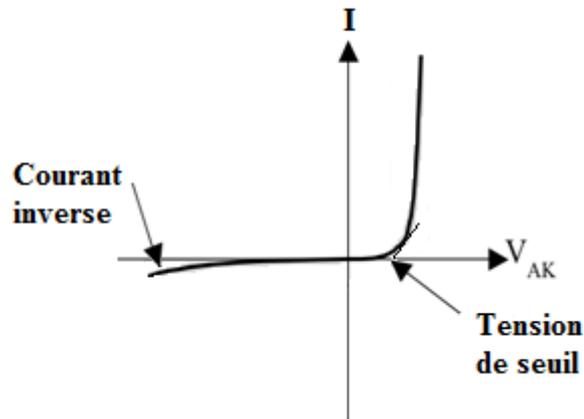


Figure II-2 : Caractéristique I(V) de la diode

## II.1.3 Les différentes diodes et leurs utilisations [1]

### II.1.3.1 Diode de commutation

Une diode souvent rencontrée, la diode de commutation au Silicium

**Exemple:** 1N4148

Ce type de diode est utilisé surtout en logique, où dans des montages où peu de puissance est mise en jeu. On les appelle souvent Diode d'usage général, même si paradoxalement on trouve aussi d'autres diodes appelées également Diode d'usage général.

### II.1.3.2 Diode de redressement

**Exemple:** 1N400x (1N4003, 1N4007, ...)

Utilisée pour le redressement mono-alternance (une diode) ou bi-alternance (deux ou quatre diodes) dans les alimentations secteur.

A noter qu'il existe des diodes de puissance montées par paire dans un même boîtier, avec une patte en commun, qui leur donnent l'aspect d'un composant tripolaire.

Les diodes de redressement de puissance présentent souvent une chute de tension importante quand le courant qui les traverse est important. Par exemple, la diode 1N4007, bien connue des électroniciens, présente une chute de tension de l'ordre de 0,7V pour un courant de 50 mA, et une chute de tension de 1,1V pour un courant de 1A. La diode 1N5818 est une diode de type Schottky qui peut être utilisée pour du redressement, et qui présente une chute de tension moitié

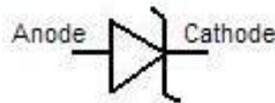
de la 1N4007, soit 0,55V pour un courant de 1A. Par contre, elle ne supporte qu'une tension inverse de 30V, contre 1000V pour la 1N4007.

### II.1.3.3 La diode Zener [5]

Une diode Zener est un assemblage de deux semi-conducteurs dont les propriétés électriques ont été découvertes par le physicien américain Zener

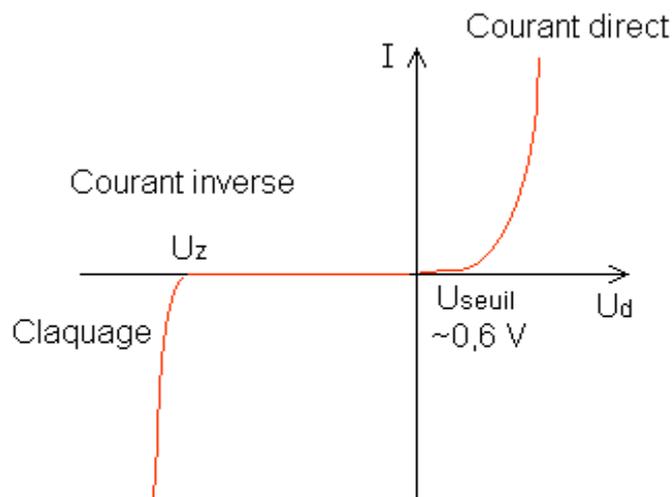
Contrairement à une diode conventionnelle qui ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens, le sens direct, les diodes Zener sont conçues de façon à laisser également passer le courant inverse, mais ceci uniquement si la tension à ses bornes est plus élevée que le seuil de l'effet d'avalanche. Ce seuil en tension inverse (tension Zener) est de valeur déterminée pouvant aller de 1,2 V à plusieurs centaines de volts.

Certaines diodes Zener comportent une troisième broche qui permet de régler cet effet d'avalanche.

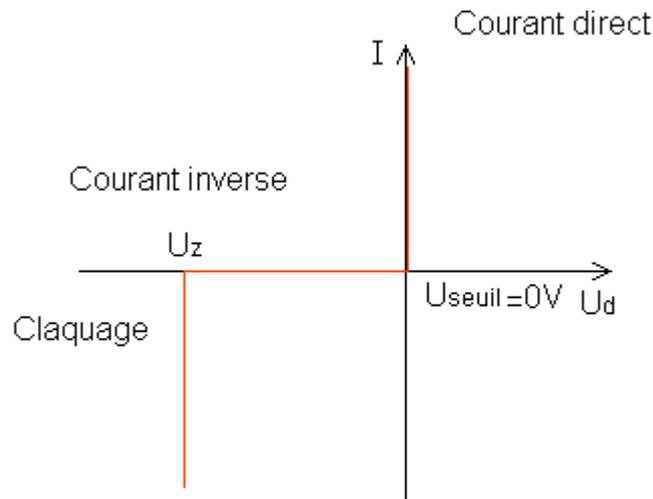


**Figure II-3** : Symbole électronique de la diode Zener

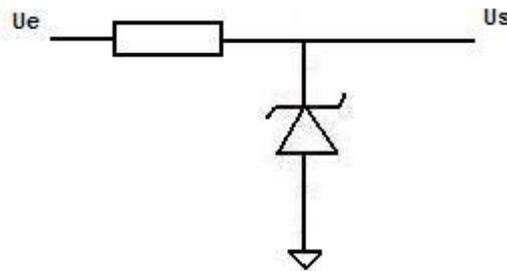
#### II.1.3.3.1 Principe électrique



**Figure II-4** : Caractéristique réelle de la diode Zener : courbe de  $I(U_d)$ .



**Figure II-5** : Caractéristique idéale de la diode Zener : courbe de  $I(U_d)$ .



**Figure II-6** : Rôle de la diode Zener dans un circuit électrique

Si  $U_e$  est inférieure à la tension inverse Zener, alors  $U_s = U_e$ . Si  $U_e$  dépasse la tension Zener, cette dernière conduit fortement, et on a  $U_s = U_z$  (tension Zener). La chute de tension entre  $U_e$  et  $U_z$  est effectuée aux bornes de la résistance.

Ces diodes, de par cette caractéristique sont très utilisées pour protéger des entrées de circuits sensibles, en limitant la tension d'entrée à leur tension Zener: on dit en anglais qu'elles "clament" la tension. Certains boîtiers contiennent même 2 Zener afin que cette dernière soit bidirectionnelle.

### II.1.3.3.2 Les paramètres importants de la diode Zener [5]

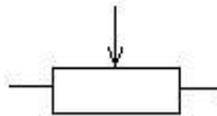
De fait de sa structure, certains paramètres de la tension Zener peuvent varier. Ainsi cette tension pourra varier en fonction de la température avec un coefficient de température positif ou négatif suivant la gamme, la fabrication et la tension.

Certaines diodes Zener possèdent même dans le même boîtier, un circuit (très simple par le nombre de composants) de **stabilisation** de la tension Zener: on tente d'annuler le coefficient de température. Pour cela on ajoute en série avec la diode, une autre diode dont le coefficient de température varie de manière inverse: le but est que la somme des 2 fasse zéro. On utilisera ce type de diode pour des références de tensions par exemple

Malheureusement, pour des tensions importantes, le coefficient augmente, et il devient très difficile de les décompensés.

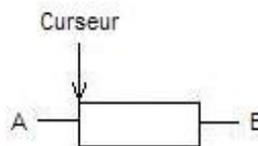
## II.2 Le Potentiomètre [5]

Un potentiomètre n'est autre qu'une résistance ajustable. Son symbole électronique est le suivant:



**Figure II-7** : Symbole d'un potentiomètre

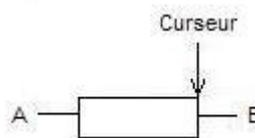
Il possède 3 pattes ainsi qu'un système mécanique permettant la variation de la résistance.



**Figure II-8** : l'état du potentiomètre à  $R(A\text{-curseur}) = 0 \Omega$

Si vous placez le curseur du potentiomètre plus proche de A (voir figure II-8 ), la valeur de la résistance entre A et le curseur est nulle:  $0 \Omega$ .

Par contre, en modifiant la position du curseur, pour arriver à l'état de la figure II-9, la valeur de la résistance entre A et le curseur est maximale:



**Figure II-9** : l'état du potentiomètre à  $R(A\text{-curseur}) = R_{\max}$

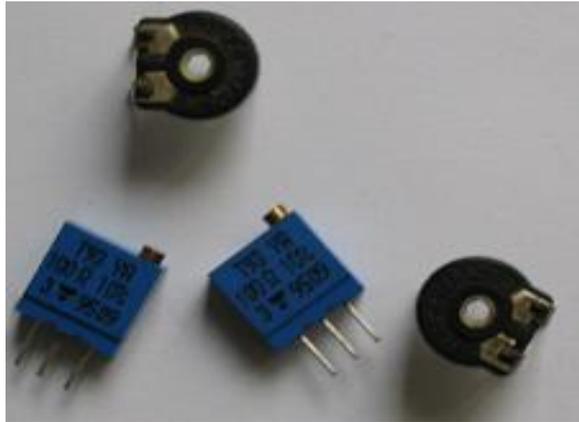


Figure II-10 : Image représentative des potentiomètres

## II.3 Le transistor [1]

### II.3.1 Présentation

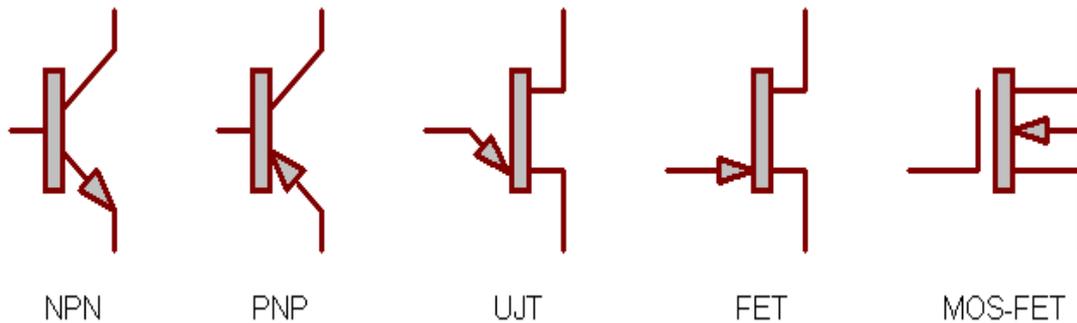
Le transistor est un composant qui fait partie de la famille des semi-conducteurs. Le terme Transistor est le mot-valise de Transfert Résistor. Les premiers transistors ont vu le jour dans les années 1948-1950. Les anciens transistors étaient au germanium, les transistors actuels sont au silicium.

Il existe plusieurs types de transistors, chacun voué à une tâche qui se résume souvent à deux fonctions : la commutation (fonctionnement dit en tout ou rien) ou l'amplification (fonctionnement dit linéaire). Par exemple, on peut utiliser un transistor pour commander une ampoule de puissance à partir d'un circuit intégré, qui lui-même n'aurait pas été capable de commander directement l'ampoule (à cause des valeurs de courant ou de tension non compatibles). On peut dire dans ce cas que le transistor joue le rôle d'interface. L'autre fonction très répandue du transistor est l'amplification en tension, en courant ou en puissance.

En amplifiant une tension, le transistor peut être utilisé pour amplifier des signaux de faibles niveaux, dans des préamplificateurs pour microphone ou pour des amplificateurs d'antenne (radio, TV, etc) . En amplifiant simultanément la tension et le courant, on arrive au principe de base de l'étage final des amplificateurs audio (exception faite des amplis en classe D qui fonctionnent en numérique).

### II.3.2 Les Types de transistor [6]

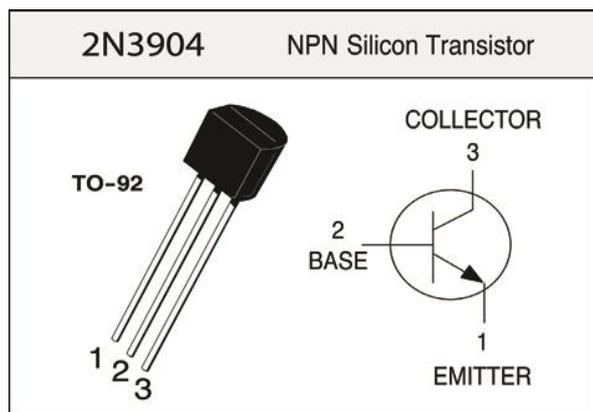
Il existe différents types de transistors : bipolaires, unipolaires (FET, JFET, JUGFET, IGFET). Tous ont des caractéristiques qui leur sont propres, et sont capables de travailler sur des plages de puissances très variées (de quelques milliwatts à plusieurs centaines de watts), et sur des plages de fréquences très variées (de quelques hertz à plusieurs gigahertz), selon le modèle.



**Figure II-11 :** Symboles des différents types de transistors

#### Exemple :

Le 2N3904 est un transistor bipolaire type NPN. Il est apprécié pour ses fonctions d'amplificateur, et de commutateur, et principalement utilisé dans les petites applications électroniques de traitement du signal. Ce transistor à une commutation rapide, un gain élevé et une basse tension de saturation.

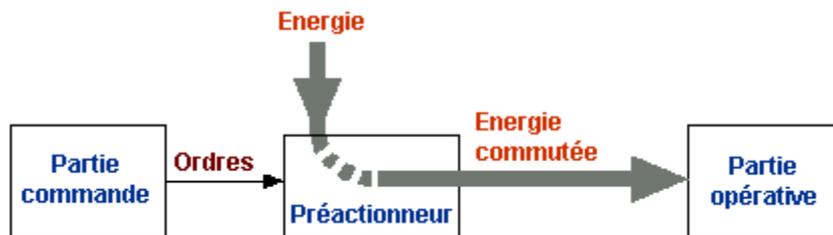


**Figure II-12 :** Brochage et symbole du transistor 2N3904

## II.4 Le relais [7]

### II.4.1 Rôle du relais

Le relais permet la commande d'un circuit de puissance (partie opérative) grâce à un circuit de plus faible intensité appelé circuit de commande.

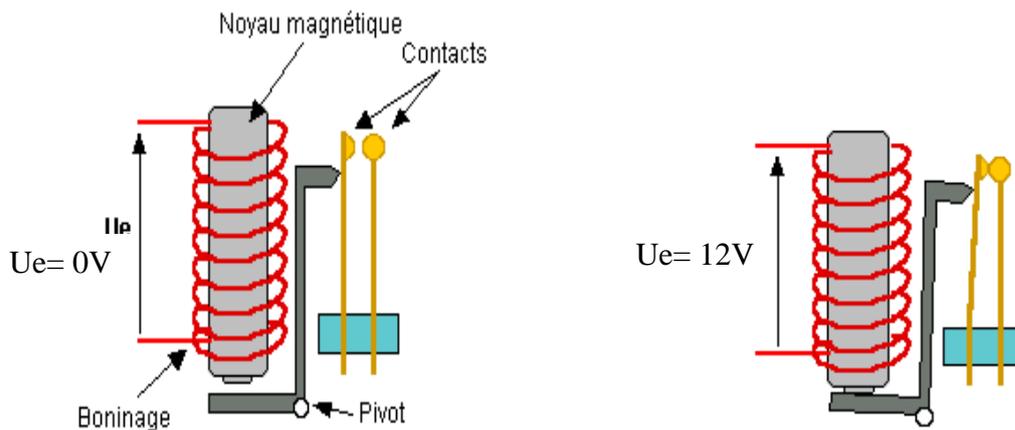


Les ordres de la partie commande sont transmis à un élément intermédiaire, le pré actionneur, qui transmet l'énergie à la partie opérative

Le relais électromagnétique est un élément qui assure cette fonction de commutation. Il distribue de l'énergie électrique à un élément de puissance (moteur, résistance chauffante, lampe...)

### II.4.2 Constitution [7]

Le relais est constitué d'un noyau en matériau magnétique autour duquel est enroulé un bobinage de cuivre (électro-aimant), d'un levier et d'un jeu de contacts. Quand le bobinage est mis sous tension, le levier en métal pivote et le contact est fermé.



**Figure II-13** : Fonctionnement au repos ( $U_e = 0V$ ) et Fonctionnement travail ( $U_e = 12V$ )

### II.4.3 Fonctionnement [7]

Le relais exploite un des principes de base de l'électricité, lorsqu'on fait passer un courant dans un bobinage autour d'un noyau en fer on crée un champ magnétique et le noyau devient aimanté. C'est l'électro-aimant.

La palette du circuit de puissance est aimantée juste au-dessus du noyau, au repos elle n'est pas attirée et elle reste levée au moyen d'un ressort de rappel.

Lorsqu'on met le circuit de commande sous tension on crée un électro-aimant qui attire la palette et met en contact les lames souples

## II.5 Les Amplificateurs Opérationnelles [8]

### II.5.1 Définition d'un AOP

Un amplificateur opérationnel (AOP, ou OpAmp en anglais) est un circuit intégré dont la fonction de base est, comme son nom le suggère, l'amplification. Il est en outre "opérationnel" car il permet de réaliser des fonctions de type "arithmétique" (inversion, addition, soustraction...).

L'AOP est symbolisé par un triangle pointant à droite. Il comporte deux entrées et une sortie, l'entrée notée  $e+$  est dite non inverseuse et l'entrée notée  $e-$  est dite inverseuse (présenté dans la Figure II-14), l'AOP amplifie la différence entre  $V_1$  et  $V_2$  par un facteur d'amplification, le gain, qui est constant (et gigantesque). L'alimentation de l'AOP est ici symétrique ( $+V_{cc}$  et  $-V_{cc}$ ); une alimentation non symétrique reste souvent possible.

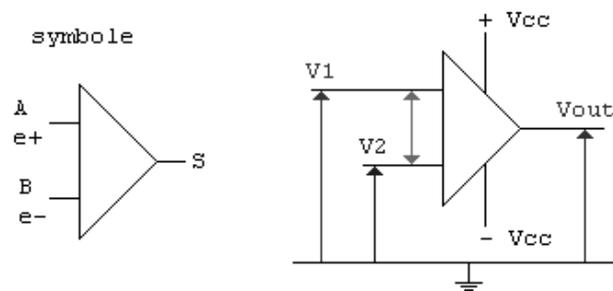
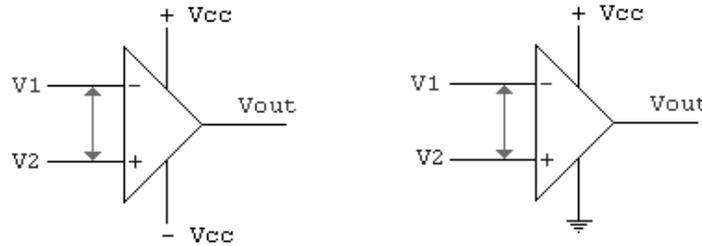


Figure II-14 : Représentation d'un AOP

### II.5.2 Principe de fonctionnement d'un AOP [8]

Si on applique des tensions continues  $V_1$  et  $V_2$  aux deux entrées d'un AOP, ce dernier compare les deux tensions  $V_1$  et  $V_2$  et de cette comparaison dépendra l'état, haut ou bas, de sa sortie ( $V_{out}$ )

La figure II-15 reprend les deux cas possibles d'alimentation de l'AOP.



**Figure II-15 :** Alimentation d'un AOP, symétrique à gauche  
Ou positive [non symétrique] à droite.

Le tableau suivant résume les différentes alimentations symétriques et non symétriques d'un AOP :

	Alimentation symétrique	Alimentation non symétrique
$V2 > V1$	$V_{out} = \text{presque } +V_{cc}$	$V_{out} = \text{presque } +V_{cc}$
$V1 > V2$	$V_{out} = \text{presque } -V_{cc}$	$V_{out} = \text{presque } 0$

On aura une sortie haute (proche de  $+V_{cc}$ ) ou basse (proche de 0 ou de  $-V_{cc}$ ).

On notera qu'il existe toujours une petite différence entre la tension disponible en sortie (output voltage swing, en anglais) et la tension d'alimentation, cette différence fait partie des caractéristiques propres à chaque modèle d'AOP, mais elle reste en général très faible.

### II.5.3 L'AOP parfait et l'AOP réel [8]

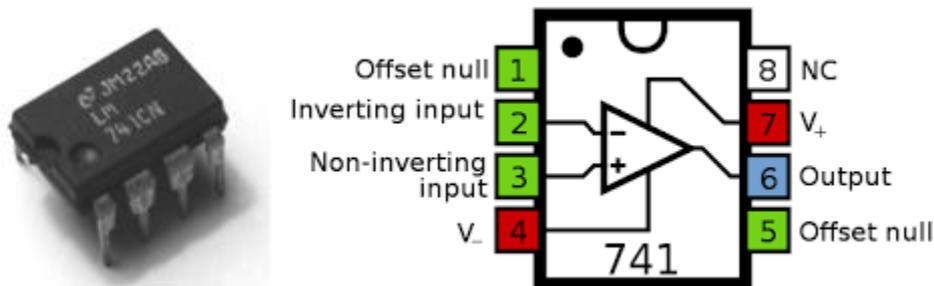
On pourrait définir l'AOP "parfait" ou "idéal" (celui de la théorie) comme un amplificateur de différence pur à gain différentiel infini, dont l'impédance d'entrée est infinie (pour ne consommer aucun courant de la source) et l'impédance de sortie est nulle (pour fournir un courant infini à la charge), de plus, cet AOP parfait présenterait une largeur de bande infinie et un décalage en tension nul, rejetterait parfaitement le mode commun, et serait en plus insensible aux variations de température et de tension d'alimentation.

Dans la réalité, on constate, par rapport à ce modèle théorique idéal, quelques "défauts" (souvent minimes). Voyons quelles sont les caractéristiques générales communes à la plupart des AOP disponibles:

- Technologie bipolaire ( $\mu A741...$ ), BI-FET (LF353...), CMOS...
- Gain en boucle ouverte de l'ordre de 100.000 (souvent exprimé en décibels)

- Impédance d'entrée très grande (de l'ordre de  $2\text{ M}\Omega$  pour un  $\mu\text{A}741$ , de  $106\text{ M}\Omega$  pour un LF353...)
- Impédance de sortie très faible (de l'ordre de  $75\ \Omega$  pour un  $\mu\text{A}741$ )
- Courant disponible de l'ordre de  $25\text{ mA}$
- Bande passante du continu à  $1\text{ MHz}$  (LM324),  $2\text{ MHz}$  ( $\mu\text{A}741$ ),  $4\text{ MHz}$  (LF353)...

**Exemple :** LM 741 ou  $\mu\text{A} 741$



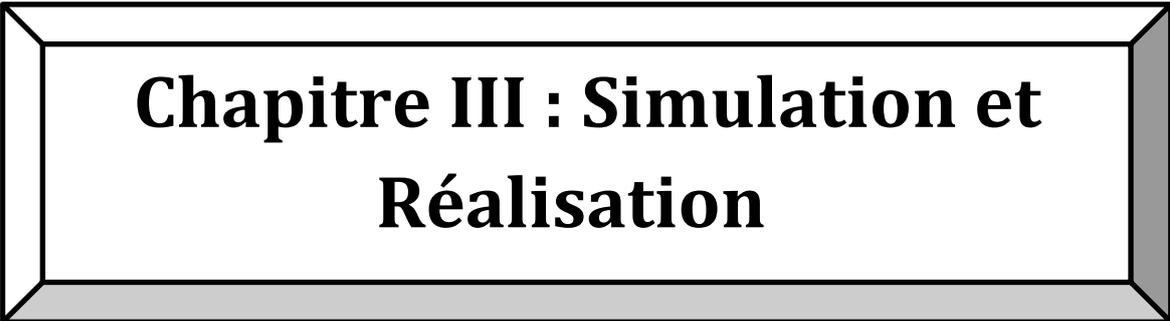
**Figure II-16 :** Brochage et symbole du LM 741CN

- 1 : Réglage Offset**
- 2 : Entrée inverseuse**
- 3:Entrée non inverseuse**
- 4 : Alimentation (-)**
- 5 : Réglage Offset**
- 6 : Sortie**
- 7 : Alimentation (+)**
- 8 : Non Connecté**

LM741 (ou UA741) est un modèle d'AOP de base très répandu et qui existe depuis plusieurs années, mais à peu près n'importe quel autre modèle d'amplificateur opérationnel d'usage général devrait faire l'affaire.

Le 741 incorpore un condensateur de compensation interne contre les oscillations sur le signal, mais en même temps il réduit et établit à quelle vitesse peut varier la réponse de tension

Les 741 sont vendus sous la forme d'un circuit intégré à 8 pins. Mais vous pouvez également vous procurer des circuits intégrés qui comportent 2 ou 4 amplificateurs opérationnels, ce qui est parfois bien pratique lorsqu'on veut utiliser plusieurs amplificateurs opérationnels dans le même circuit.



## **Chapitre III : Simulation et Réalisation**



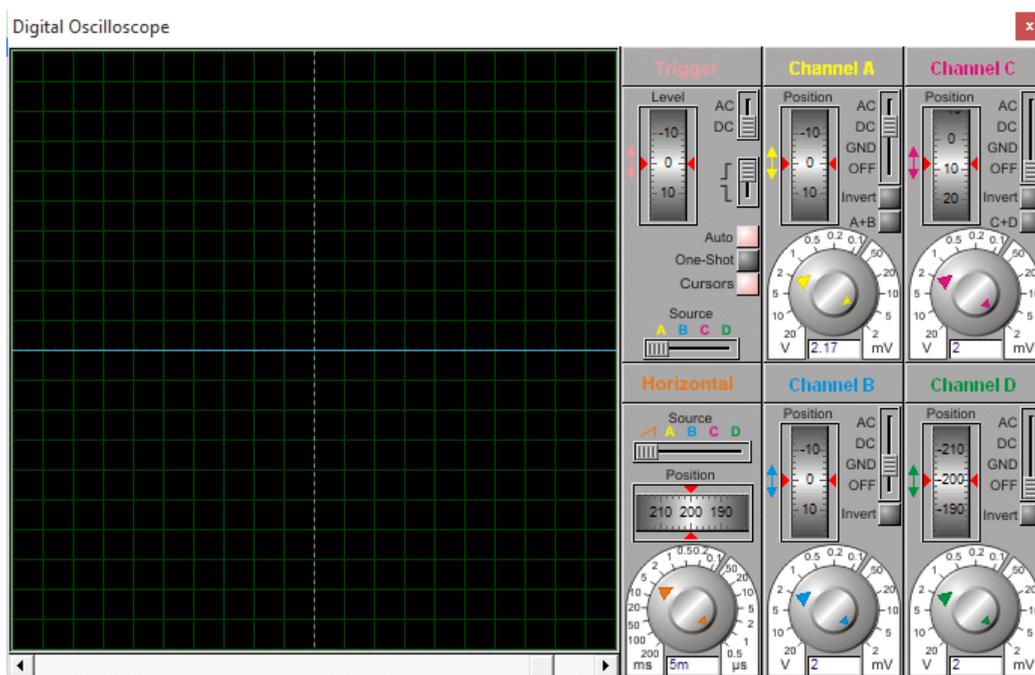
### III.3 Le fonctionnement (ISIS simulation)

Il y a dans le schéma deux diodes 1N4148: **D1** et **D2**, chacune parcourue par un courant de 0,4 mA issu de **R1** et **R2**. Leurs cathodes sont ramenées à la résistance commune **R5**. Quant à leurs anodes, elles influencent les entrées positive et négative d'un amplificateur opérationnel  $\mu$ A741 qui leur sert de comparateur.

A priori, les chutes de tension sur ces deux diodes sont exactement pareilles. Mais lors de la mise sous tension, le potentiel sur l'entrée inverseuse de l'ampli op IC1 reste inférieur à celui de l'autre entrée, à cause de **la capacité C2**. La sortie de l'ampli-op passe donc au niveau haut, situation qui se maintiendra sous l'effet de la résistance de réaction **R8**, et le transistor **T1** active donc et maintient le relais **RL1** dans cet état.

**Si on Touche alors la diode D2** : elle s'échauffe, la chute de tension à ses bornes diminuera quelque peu, ce qui renversera la situation par rapport à l'autre diode sur les entrées de l'ampli-op (voir figures III-2 et III-3). Le niveau à la sortie de l'ampli-op bascule à 1.86 V (voir figure III.4) et **T1** ne peut plus maintenir le relais enclenché. Il faut préciser que la diode zener **D3** assure un blocage total du transistor même si la sortie du 741 ne descend pas tout à fait à 0V

En touchant D<sub>2</sub> on a eu les signaux suivants :



**Figure III-2** : Le signal à l'entrée inverseuse de l'ampli-op (pate 2) (Tension = 0 V)

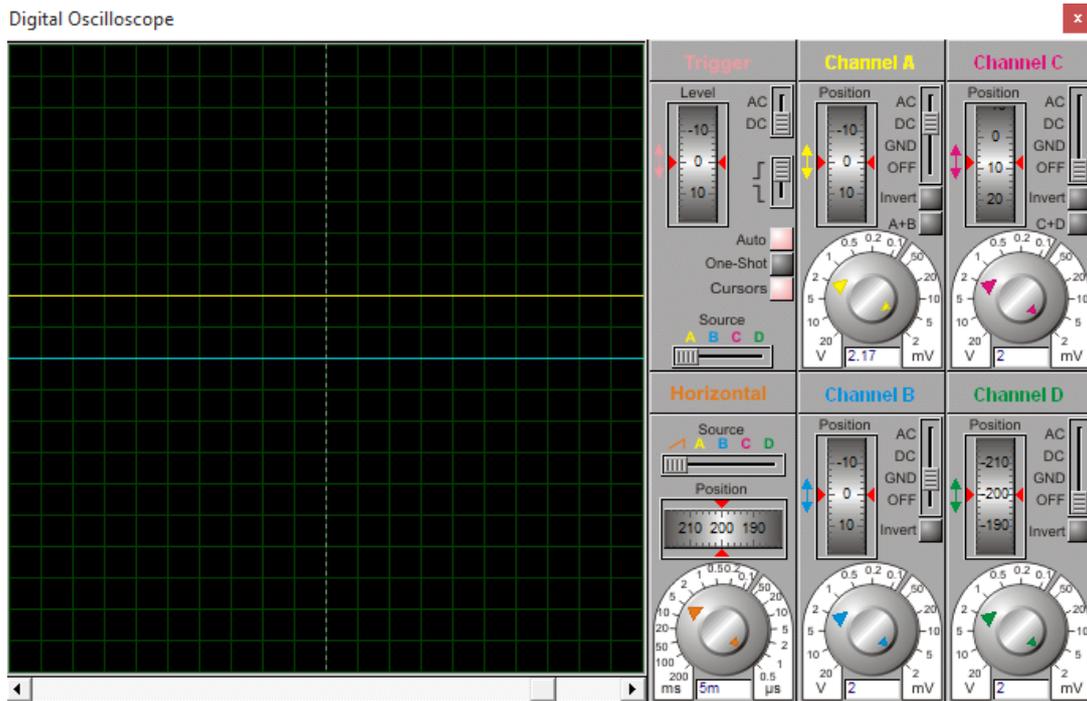


Figure III-3 : Le signal à l'entrée non-inverseuse de l'ampli-op (pate 3) (Tension = 4.2V)

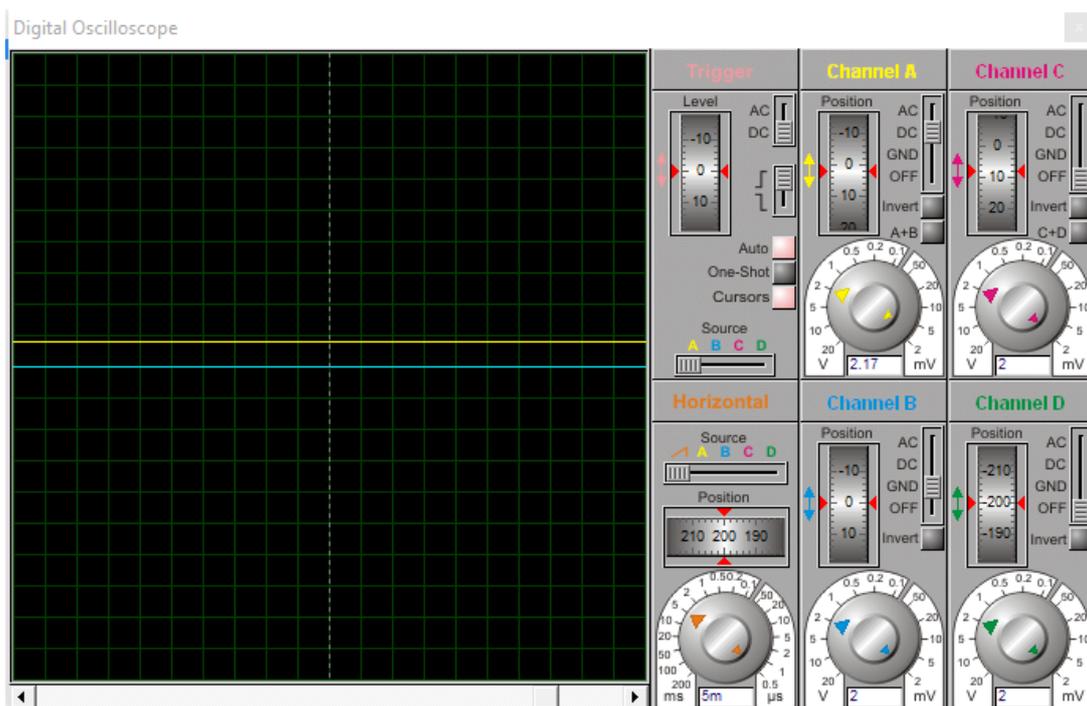
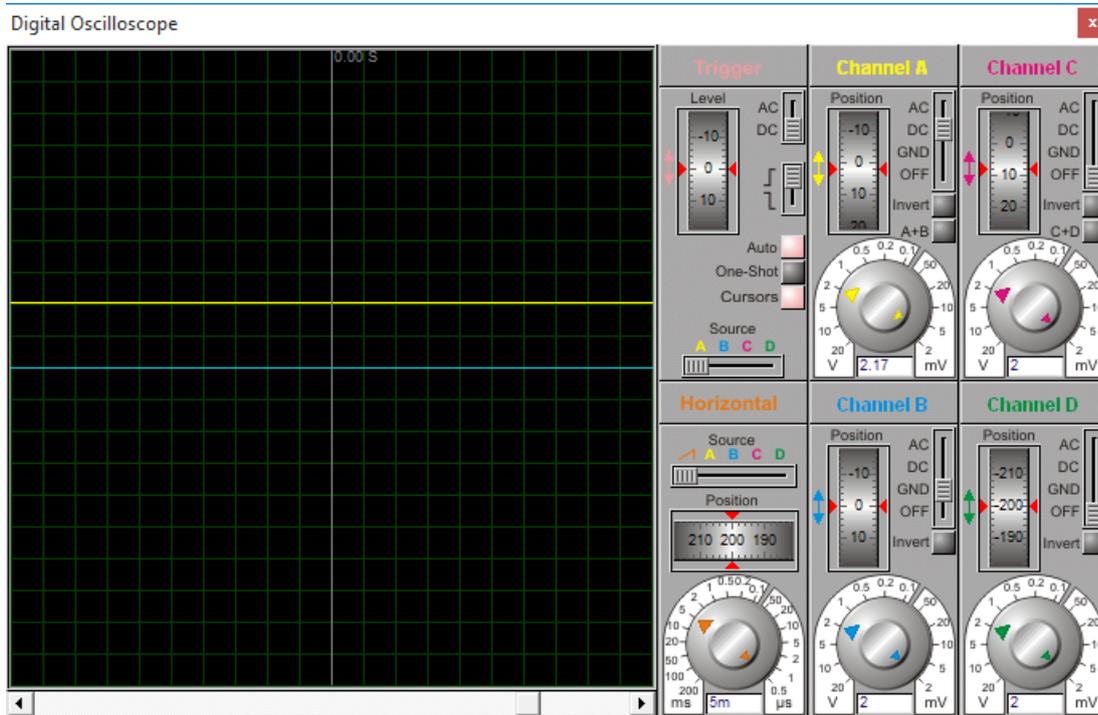
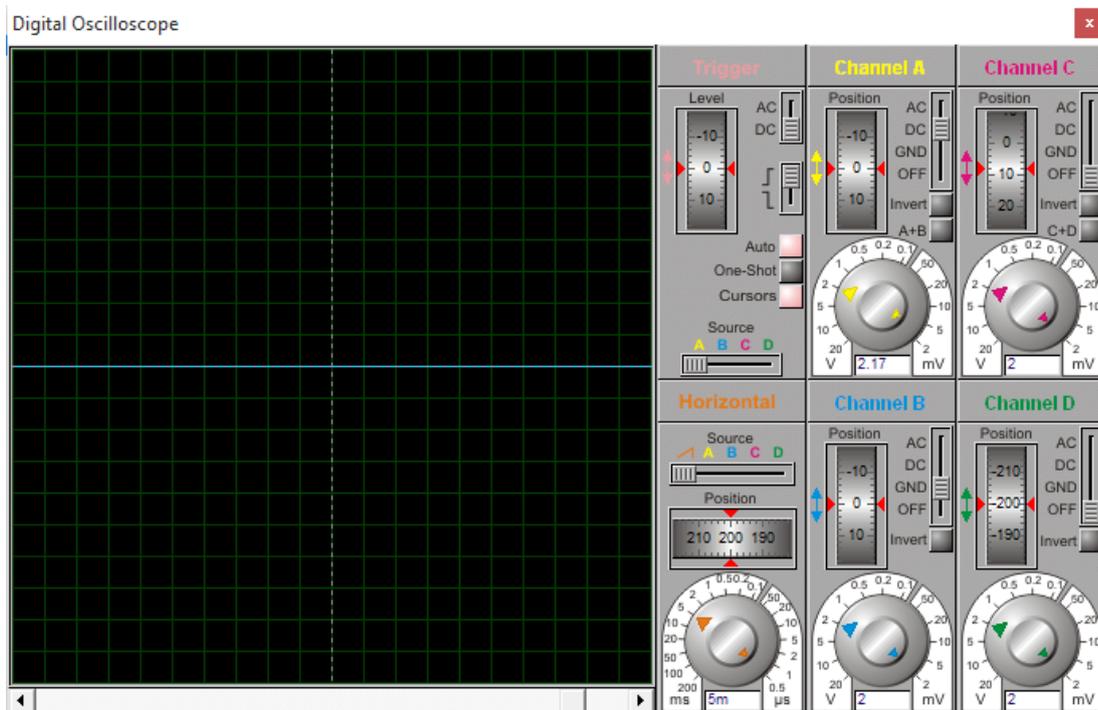


Figure III-4 : Le signal de sortie de l'ampli-op (pate 6) (Tension = 1.86 V)

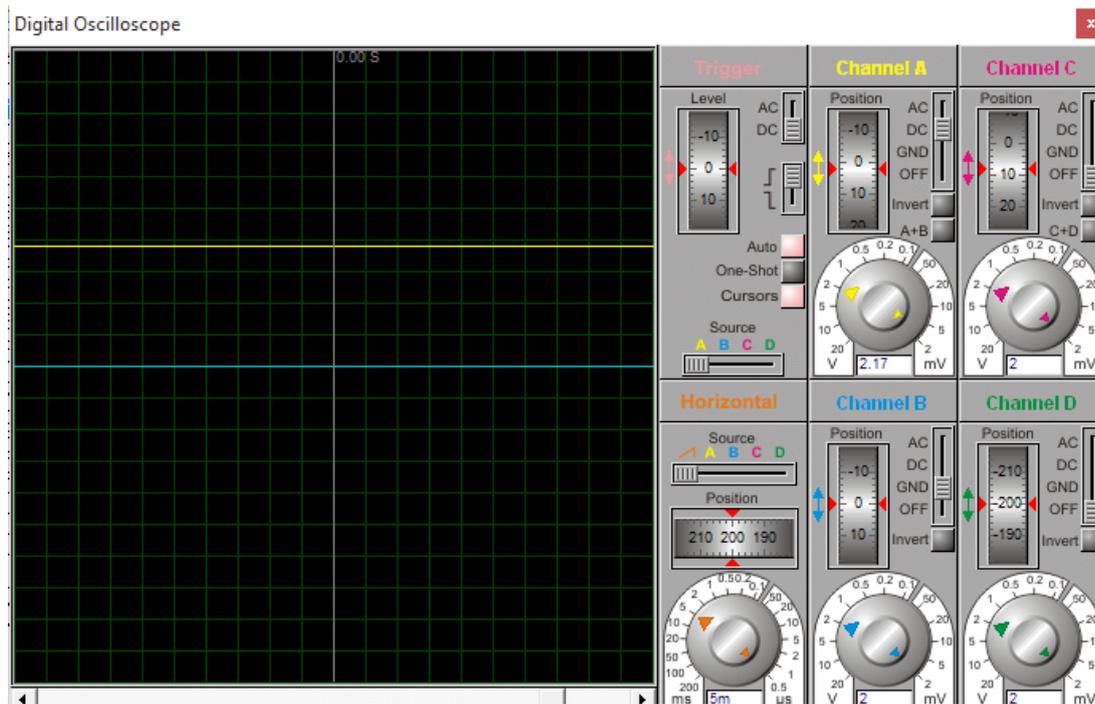
*Si on Touche maintenant la diode DI:* le potentiel sur l'entrée inverseuse d'IC1 va devenir inférieur à celui de l'autre entrée, alors la sortie du  $\mu A741$  retournera au niveau haut (voir figure III-7) et le relais sera de nouveau enclenché.



**Figure III-5 :** Le signal à l'entrée inverseuse de l'ampli-op (pate 2) (Tension = 4.2 V)



**Figure III-6 :** Le signal à l'entrée non-inverseuse de l'ampli-op (pate 3) (Tension = 0V)



**Figure III-7 :** Le signal de sortie de l'ampli-op (pate 6) (Tension = 8.2 V)

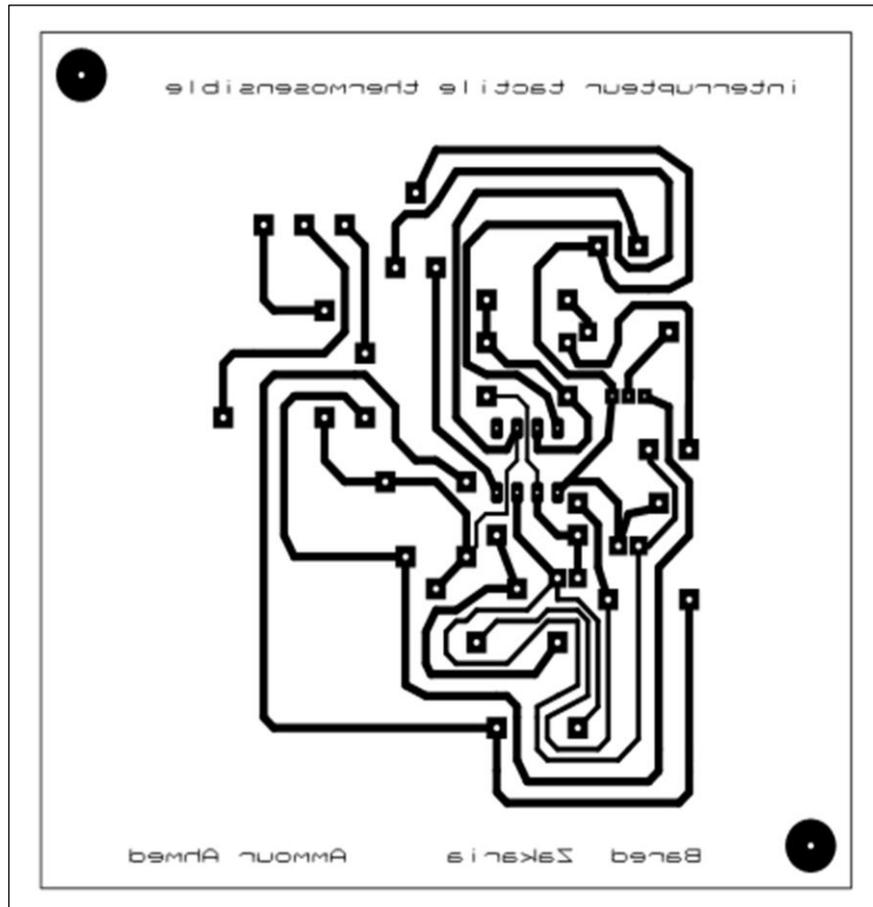
Le raisonnement qui précède ne tient la route que si la chute de tension sur les deux diodes est exactement la même. En pratique, c'est rarement le cas. Il faut donc prévoir un réglage de compensation à l'aide de potentiel **P1**. Il permet d'annuler la disparité de tension des diodes, mais du même coup, la tension de décalage (offset) d'entrée de l'amplificateur opérationnel, elle aussi trop souvent oubliée.

Comment s'y prendre ? D'abord, on mettra provisoirement un cavalier sur **S1** pour éliminer le couplage de réaction sur l'ampli op. Ensuite on réglera **P1** pour atteindre en sortie de l'ampli la moitié de la tension d'alimentation, soit 4,5 V. Il est parfois nécessaire de reprendre ce réglage après quelques essais.

### III.4 Les étapes de réalisation de capteur thermosensible sous circuit imprimé

Un circuit imprimé mono-face est obligatoire pour une réalisation pratique d'un circuit électronique, ce circuit supportera tous les composants utilisés

La figure III-8 illustre le dessin du circuit imprimé avant l'insertion des composants.



**Figure III.8:** Schéma du Circuit imprimé avant insertion du détecteur thermosensible

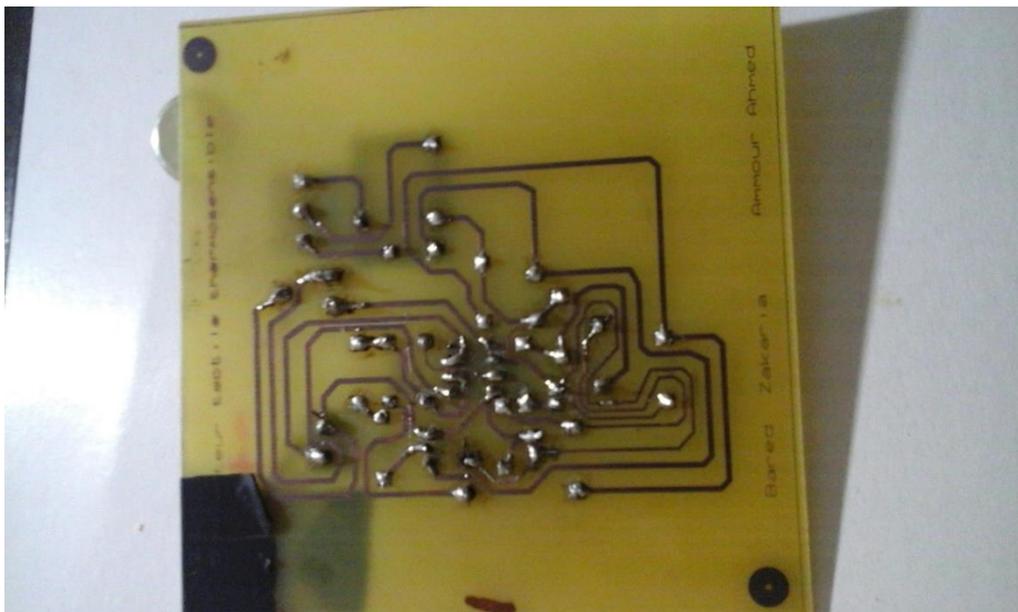
Après, on a dessiné, gravé le circuit imprimé et percé les pastilles cuivrées. Ensuite, en respectant le plan d'insertion pour soudé les composants. On a commencé par la soudure des résistances et poursuivre le travail dans cet ordre :

Les diodes, les condensateurs, le transistor, les bornes, le relais et enfin, le potentiomètre.

Dès le montage est terminé, on a effectué le contrôle habituel avant la première utilisation. En vérifiant l'état des soudures, des pistes cuivrées, ainsi que la valeur et le sens des composants.



**Figure III.9:** Photo de la face avant de circuit imprimé après insertion



**Figure III.10:** Photo de la face arrière de circuit imprimé après insertion

### III.5 Nomenclature

#### Résistances :

R1 à R4 = 10 k $\Omega$

R5 = 4,7 k $\Omega$

R6 = 1 M $\Omega$

R7 = 1 k $\Omega$

R8 = 10 M $\Omega$

P1 = 10 k $\Omega$  ajust. multitours vert

#### Condensateurs :

C1, C2 = 100 nF

#### Semi-conducteurs :

D1, D2 = 1N4148

D3 = zener 3,9 V / ½ W (p.ex. BZX55C3V9)

D4 = 1N4007 T1 = 2N3904

#### Circuit intégré

IC1 =  $\mu$ A741

#### Divers :

RE1 = relais 9 V à inverseur

K1 = domino à 2 vis au pas de 5,08 mm

K2 = embase à 3 picots au pas de 2,54 mm

S1 = embase à 2 picots au pas de 2,54 mm

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale :

Il en est des interrupteurs comme de nombreux objets ou appareils de notre quotidien. Nous les avons connus simples. Dans le cas de l'interrupteur : J'appuie d'un côté et s'allume, j'appuie de l'autre et la lumière s'éteint. Puis, la technique évoluant, grâce à l'interrupteur tactile thermosensible, il vous suffit maintenant de l'effleurer du bout des doigts pour que le circuit allume ou éteint la lumière.

L'interrupteur tactile peut être sensible à la chaleur produite par le corps. De nombreux boutons dans les ascenseurs fonctionnent ainsi.

Il peut également être sensible à la résistance du corps. Celui-ci étant conducteur d'électricité, en approchant un doigt, le circuit s'établit et commande l'interrupteur.

Le corps lui-même peut servir d'antenne radio. L'interrupteur détecte le changement dans la réception des ondes lorsque le doigt s'approche.

Il interagit en détectant la variation de capacité que provoque le fait de poser le doigt sur sa surface.

Cependant, Le travail qui nous a été confié consiste à réaliser un interrupteur tactile à l'aide des deux diodes de silicium qui sont suffisantes pour constituer le capteur thermosensible.

## Références Bibliographiques

[1] : <http://www.sonelec-musique.com/electronique>

[2] : D'après MIH Valentin LEROI Thomas et MERTZ Steve <http://www.sonelec-musique.com/electronique>

[3] : <http://etronics.free.fr/dossiers/analog/analogo4>

[4] : [http://www.iknobile.com/a457-les différents types de capteurs](http://www.iknobile.com/a457-les%20diff%C3%A9rents%20types%20de%20capteurs)

[5] : <http://www.electronique-radioamateur.fr>

[6] : <http://www.ecs.umass.edu.com/electronique>

[7] : [TP maint.com/dos électrique/relais](http://TP.maint.com/dos%20%C3%A9lectrique/relais)

[8] : [http:// www.selectronic.fr](http://www.selectronic.fr)

## Annexe

### Thermomètre à diode

Une diode est un élément semi-conducteur qui a la propriété de ne conduire le courant que dans une direction. La relation tension courant est donc fortement non linéaire et est donnée par l'équation (1)

$$I = I_0 \left\{ \text{Exp} \left[ \frac{eV}{k_B T} \right] - 1 \right\} \quad (1)$$

Où  $I_0$  est le courant inverse de la diode et est généralement très faible de quelques pA (pico= $10^{-12}$ ) jusqu'à quelques nA (nano= $10^{-9}$ ). Ce courant dépend également de la température suivant

$$I_0 = A \text{Exp} \left[ -\frac{E_g}{k_B T} \right] \quad (2)$$

$E_g$  est la largeur en énergie de la bande interdite (1.18 eV pour le silicium à 0 kelvin),  $T$  la température exprimée en kelvin,  $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$  la constante de Boltzmann et  $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$

A la charge élémentaire.

Aux alentours de la température ambiante (150 K à 300 K), on peut considérer  $A$  comme indépendant de la température, et l'équation (1) devient en tenant compte de (2) et du fait que  $eV \gg k_B T$  :

$$V = - \left( \frac{k_B \text{Ln} \left( \frac{A}{I} \right)}{e} \right) T + \frac{E_g}{e} \Rightarrow V = aT + b : \text{relation linéaire}$$

Sur un graphique  $V$  en fonction de  $T$ , on a une droite de pente négative (-2 à -3 mV/K) et dont la tension à  $T=0$  donne le gap ( $E_g/e$ ).

## Résumé

Notre projet consiste à réaliser un interrupteur tactile thermosensible qui fonctionne sous l'effet de résistance superficielle de variation de capacité par la particularité des diodes au silicium d'avoir un coefficient de température négatif.

## Summary

Our project consists of realizing a thermo sensitive touch switch that works under the effect of surface resistance of capacitance variation by the particularity of the silicon diodes to have a negative temperature coefficient.

## ملخص

مشروعنا هو إنشاء المبدلة اللمسية الحساسة للحرارة التي تعمل تحت تأثير مقاومة سطح التغييرات قدرة من خصوصية الثنائيات السيلكون التي لديها معامل درجة الحرارة السلبية.