



**Université Abou Baker Belkaid de Tlemcen**

**Faculté de technologie**

**Département de génie biomédical**

**MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES**

**Pour obtenir le diplôme de**

**MASTER EN GENIE BIOMEDICALE**

**Spécialité : Instrumentation Biomédicale**

**Présenté par : Hakkoum Khaoula Nour El Houda Et Hattab Kheira**

---

**Dispositif de détection et de contrôle du pouls**

---

**Soutenu le 14 Juillet 2019 devant le jury**

M. Hamza Cherif. Lotfi	MCA	université de Tlemcen	Président
Mr DEBBAL SIDI MOHEMED	professeur	université de Tlemcen	Encadreur
Mme.Baakek Yettou Nour El houda	MCB	université de Tlemcen	Examineur

**Année Universitaire : 2018/2019**

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde : mes parents Yamani Meriem et Hakkoum Bachir qui m'ont toujours aidé et encouragé dans mon parcours universitaire, sans oublié leurs sacrifice et amour.*

### *Ma mère*

*La plus merveilleuse des mères, l'école de la vie qui m'a enseigné mes premiers pas. Maman, je ne connais pas une personne aussi adorable, tendre que toi, tu as été toujours à mes côtés comme un ange, me couvrant de ta tendresse et de ton amour éternel. Tes prières m'ont été d'une aide précieuse et m'ont permis d'atteindre le but désiré. Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je te porte Puisse Dieu le tout puissant te donner santé et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour*

### *Mon père*

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, ma considération et l'amour que je te porte, ni la profonde gratitude que je te témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments, que Dieu te préserve et te procure Santé, bonheur et longue vie*

### *A mes sœurs :*

*Assia,Aïcha, Amina, Daouia, Fatima, Halima,*

### *A mes frères:*

*Abdelkader, Miloud , Benameur, Badro, Amine, Aziz, Hakim*

*A mes chères amies : Ibtissem , Aïcha , Bochra, Fatima , Amina*

*A mon binôme : Kheira.*

***khaoula***

## ***Dédicaces***

*Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde : mes parents Malek Nacira et Hattab Amine qui m'ont toujours aidé et encouragé dans mon parcours universitaire, sans oublié leurs sacrifice et amour.*

*Ma mère*

*La plus merveilleuse des mères, l'école de la vie qui m'a enseigné mes premiers pas. Maman, je ne connais pas une personne aussi adorable, tendre que toi, tu as été toujours à mes côtés comme un ange, me couvrant de ta tendresse et de ton amour éternel. Tes prières m'ont été d'une aide précieuse et m'ont permis d'atteindre le but désiré. Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je te porte Puisse Dieu le tout puissant te donner santé et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour*

*Mon père*

*L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, ma considération et l'amour que je te porte, ni la profonde gratitude que je te témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments, que Dieu te préserve et te procure Santé, bonheur et longue vie*

*A mes chères amies : Ibtissem, Aicha, Bochra, Fatima, Amina*

*A mon binôme : khaoula.*

***kheira***

## Remerciements

Nous tenons à remercier notre Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté pour compléter ce modeste travail.

Ce travail a été entrepris au Laboratoire du Génie Biomédicale de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bakr Belkaid sous la direction de Monsieur Debbal Sidi Mohamed, que nous remercions d'avoir pris en charge la direction de notre mémoire de fin d'étude. Malgré son emploi du temps chargé, nous a fait profiter de ses conciles et ses suggestions pertinentes. Grâce à sa rigueur scientifique, il a su nous aider au travers de nos interrogations.

Nos remerciements s'adressent également au président de jury Mr. Hamza Chrif Lotfi d'avoir accepté de lire et d'évaluer notre mémoire.

Nôtre gratitude et remerciements vont aussi à Mme. Baakek Yettou Nour El houda qui a aimablement accepté de juger ce modeste travail.

Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de notre démarche. Un grand merci à Mr. NACER pour les conseils et les aides tous le long de notre travail, il a grandement facilité notre travail. Enfin, nos remerciements à tous les enseignants qui nous ont encadrés pendant notre cursus universitaire sans oublier les membres du Laboratoire d'électronique. Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.



## La liste des figures

Figure 1.1 : système de mesure .....	3
Figure 1.2 : schéma synoptique d'une chaîne de mesure .....	3
Figure 1.3 : Effet thermoélectrique.....	6
Figure 1.4: Effet piézo-électrique .....	6
Figure 1.5 : Effet d'induction électromagnétique .....	6
Figure 1.6 : Effet photo-électrique .....	7
Figure 1.7 : Effet pyroélectrique .....	7
Figure 1.8 : Effet photovoltaïque.....	7
Figure 1.9 : capteur à résistance (variation du liquide).....	8
Figure 1.10 : Capteur à résistance (variation de pression).....	9
Figure 1.11 : Capteur capacitif .....	10
Figure 1.12 : Capteur inductif.....	10
Figure 1.13 : Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif.....	11
Figure 1.14 : Exemple d'étendue de mesure d'un capteur .....	11
Figure 1.15 : Exemple de la sensibilité d'un capteur.....	12
Figure 1.16 : Exemple de temps de réponse d'un capteur .....	12
Figure 1.17 : Exemple de l'hystérésis d'un capteur.....	13
Figure 1-18 : Domaines de fonctionnement d'un capteur.....	14
Figure 1.19: caractéristiques statistiques d'un capteur .....	15
Figure 1.20 : Exemple L'erreur sur le zéro d'un capteur .....	17
Figure 1.21 : Exemple L'erreur sur l'échelle d'un capteur .....	17
Figure 1.22 : Exemple L'erreur de linéarité d'un capteur .....	18
Figure 1.23 : Exemple L'erreur d'hystérésis d'un capteur.....	18
Figure 1.24 : Exemple L'erreur de mobilité d'un capteur.....	19
Figure 2.1: capteur à jauge de contrainte.....	20
Figure 2.2: un capteur de force sans conditionneur.....	20
Figure 2.3: un capteur de force avec conditionneur.....	21
Figure 2.4: circuit de mesure de résistance.....	22
Figure 2.5: un capteur de pression MPX2100A et MPX2053.....	23
Figure 2.6: Amplificateur de conditionnement de signal pour capteur de pression.....	23
Figure 2.7: L'effet piézoélectrique.....	24
Figure 2.8: Symbole schématique du capteur piézoélectrique.....	24
Figure 2.9: l'effet transversal.....	25
Figure 2.10: microphone à électret.....	26
Figure 2.11: Un circuit de préampli de microphone à électret typique.....	27
Figure 2.12: alimentation d'un microphone à électret.....	28
Figure 2.13: Principe de fonctionnement d'une capsule à électret.....	28
Figure 3.1 : Schéma synoptique de détection du pouls.....	30
Figure 3.2: Puissance de sons en dB.....	31
Figure 3.3: Générateur de sons.....	31

Figure 3.4: montage de test de microphone.....	31
Figure 3.5: alimentation d'un microphone.....	31
Figure 3.6: schéma bloc de test de microphone.....	32
Figure 3.7: schéma électrique de test de microphone.....	32
Figure 3.8 : microphone d'un kit man.....	32
Figure 3.9 : montage de test de microphone d'un kit man.....	32
Figure 3.10 : un microphone de portable Nokia- montage de test de microphone de portable Nokia.....	33
Figure 3.11 : La figure illustre la sortie (tension) de trois microphones en fonction de la fréquence.....	34
Figure 3.12: schéma bloc de test de capteur de pression.....	34
Figure 3.13: capteur piézoélectrique.....	35
Figure 3.14: circuit électrique de détection.....	36
Figure 3.15: signal de sortie d'un microphone est haut à la ligne de base.....	36
Figure 3.16: circuit d'amplification avec une capacité.....	37
Figure 3.17: signal de sortie d'un amplificateur.....	37
Figure 3.18: détecteur d'enveloppe sans seuil.....	38
Figure 3.19: filtre passe bas.....	39
Figure 3.20: amplificateur non-inverseur.....	39
Figure 3.21: le signal de sortie d'un convertisseur fréquence/tension.....	40
Figure 3.22: circuit d'émission/réception par IR.....	40
Figure 3.23: montage émission/réception par IR au laboratoire.....	41
Figure 3.24: le signal de sortie de photodiode après l'impulsion de l'IR avec distance 64cm en présence de lumière ambiante.....	42
Figure 3.25: le signal après l'impulsion de l'IR en présence de lumière ambiante.....	42
Figure 3.26: Isoler le montage de la lumière ambiante.....	43
Figure 3.27 : Amplificateur soustracteur.....	43
Figure 3.28: Isoler le montage de la lumière ambiante avec l'utilisation d'un soustracteur.....	44
Figure 3.29: le signal après l'impulsion de l'IR avec distance 3 cm en absence de lumière ambiante.....	44
Figure 3.30 : circuit électrique d'une suite de circuit d'émission/ réception par IR.....	45
Figure 3.31: schéma bloc de 1circuit IR (80cm).....	45
Figure 3.32: schéma bloc de 2circuit IR (125cm).....	46
Figure 3.33: schéma bloc de 3 circuits IR (170 cm).....	46
Figure 3.34: circuit électrique d'une suite de circuit d'émission/ réception par IR au laboratoire.....	46
Figure 3.35: notre signal de sortie d'une suite de circuit d'émission/réception de l'IR.....	46
Figure 3.36: schéma bloc de la conversion de fréquence en fonction de tension.....	47
Figure 3.37: Générateur de fréquence affiche 0.66Hz(40bpm).....	48
Figure 3.38 : affichage du signal de sortie de CFT et au niveau de récepteur IR (0.66Hz→40bpm).....	48
Figure 3.39: générateur de fréquence affiche 1.66Hz (100bpm).....	49
Figure 3.40: affichage du signal de sortie de CFT et au niveau de récepteur IR (1.66Hz →100bpm).....	49
Figure 3.41: générateur de fréquence affiche 2.5Hz (150bpm).....	50
Figure 3.42 : affichage du signal de sortie de CFT et au niveau de récepteur IR (2.5Hz→ 150bpm).....	50
Figure 3.43: circuit complet de système d'alarme dans le cas normale et pathologie.....	51
Figure 3.44: circuit complet de l'émission/réception par IR.....	51

## La liste des tableaux

Tableau 1.1 : Grandeurs d'entrée et de sortie et effets utilisés par les capteurs actifs.....	8
Tableau 3.1 : la sortie tension en fonction de la fréquence et de la puissance.....	32
Tableau 3.2 : la sortie tension en fonction de la fréquence et puissance.....	33
Tableau 3.3 : la sortie tension en fonction de la fréquence et puissance.....	34
Tableau 3.4: la sortie tension en fonction de la fréquence et puissance.....	35
Tableau 3. 5: la distance max entre LED émettrice et la photodiode en fonction de tension d'alimentation de LED émettrice.....	41
Tableau 3.6 : la sortie en fonction de la distance avec tension d'alimentation 12V.....	41
Tableau 3.7: la tension de sortie en fonction de la fréquence.....	45
Tableau 3.8: la tension de sortie en fonction de la fréquence.....	45
Tableau 3.9: la tension de sortie en fonction de la fréquence.....	46
Tableau 3.10: la tension de sortie en fonction de la fréquence.....	46
Tableau 3.11: résultat de conversion fréquence/tension.....	47

## Table des matières

### Chapitre01 :

Introduction générale.....	1
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition.....	3
1.3 La chaine de mesure.....	3
1.4 Types de grandeur physique.....	4
1.5 Classification des signaux.....	4
1.6 Classification des capteurs.....	5
1.6.1 Capteurs actifs.....	5
1.6.2 Capteurs passifs.....	8
1.7 Caractéristiques métrologiques d'un capteur.....	10
1.7.1 Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur.....	10
1.7.2 L'étendue de mesure.....	11
1.7.3 Sensibilité.....	11
1.7.4 Finesse.....	12
1.7.5 Linéarité.....	12
1.7.6 Rapidité – Temps de réponse.....	12
1.7.7 L'hystérésis.....	13
1.7.8 Condition de fonctionnement d'un capteur.....	14
1.8 Caractéristiques statistiques d'un capteur.....	15
1.8.1 Fidélité.....	15
1.8.2 Justesse.....	15
1.8.3 La précision.....	15
1.8.4 Résolution.....	16
1.9 Grandeurs d'influence.....	16
1.9.1 Grandeur d'ambiance.....	16
1.9.2 Grandeur d'alimentation.....	16
1.10 Reproductibilité ou répétabilité.....	16
1.11 Les erreurs de mesure dans les capteurs.....	16
1.11.1 L'erreur sur le zéro (l'offset).....	17
1.11.2 L'erreur d'échelle (gain).....	17
1.11.3 L'erreur de linéarité.....	18
1.11.4 L'erreur due au phénomène d'hystérésis.....	18
1.11.5 L'erreur de mobilité.....	19

### Chapitre02:

2.1-Introduction.....	20
2.2 Les capteurs de détection	
2.2.1-Capteur de pression.....	20
2.2.2- Un capteur piézoélectrique.....	24
2.2.3-Microphone.....	26

2.4 Conclusion.....	29
---------------------	----

**Chapitre03:**

3.1-dispositif de détection et du contrôle du pouls avec l'utilisation d'infrarouge .....	30
3.1. A-Emission-Réception par l'infrarouge .....	31
A.1-Partie1 de l'émission/réception par l'infrarouge.....	36
A.1.1- capteur de détection.....	36
A.1.2-Circuit d'amplification .....	37
A.1.3-Convertisseur fréquence/tension .....	38
A.1.3.1-détecteur d'enveloppe sans seuil .....	38
A.1.3.2-Filtre passe bas.....	39
A.1.3.3-Amplificateur non-inverseur.....	39
A.1.4- transmission du signal par IR.....	40
A.1.4.1-Teste de la distance maximale de l'émission/réception d'IR sans obstacle.....	40
A.1.4.2-L'utilisation d'une suite de circuits d'émission/ réception IR pour suivre la variation des battements à distance .....	45
A.2-Partie2 de l'émission/réception par l'infrarouge .....	47
A.2.1- Générateur d'impulsion .....	47
A.2.2-Convertisseur fréquence/tension .....	47
A.2.3-- Système d'alarme sonore et visuel .....	51
A.2.3.1-Comparateur à fenêtres.....	51
Annexes.....	54

## Introduction générale

Les capteurs pour détecter le pouls sont nombreux ; notre travail entrepris est basé sur l'utilisation d'un capteur capable de détecter les vibrations du pouls (capteur de pression, capteur piézo-électrique, microphone sensible etc.) et d'une chaîne de mesure du suivi et de contrôle de ce pouls.

Les capteurs piézoélectriques (les plus utilisés) sont des dispositifs acoustiques purement passifs qui permettent de détecter les bruits générés par le cœur (donc indirectement le pouls).

Le dispositif escompté par le biais de la chaîne de mesure prévue à cet effet va essayer de détecter les battements au niveau du pouls, de procéder à leur acquisition et finalement à estimer la qualité de cette mesure pouvant rentrer dans le cas normal ou pathologique.

Le but du projet c'est de suivre la variation de ces battements à distance par un dispositif « Emission/Réception » à infrarouges ou à radio fréquence et de contrôler une alarme visuel et sonore à la sortie de dispositif.

Notre travail est subdivisé en trois parties distinctes :

- Le premier chapitre présente succinctement les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs.
- Le deuxième chapitre est consacré sur la théorie des capteurs de détection et capteur de mesure et contrôle à distance.
- Le troisième et dernier chapitre est composé de deux parties :
  - La première partie dans laquelle nous nous sommes principalement intéressés à détecter le pouls par différents capteurs pour choisir le plus sensible.
  - La deuxième partie concernera essentiellement la réalisation du dispositif qui transforme l'information à distance par infrarouge ou radio fréquence.

# Chapitre 01

# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

## 1.1 Introduction

Il est reconnu que l'acquisition de la vibration d'un événement acoustique se fait à l'aide d'un capteur. Cependant, le choix du capteur utilisé est crucial, car c'est lui qui détermine la fidélité de la conversion des informations acoustiques en information électriques.

Le capteur est l'élément indispensable pour détecter cette grandeur physique.

## 1.2 Définition

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée et mesurée par un dispositif de contrôle de commande.

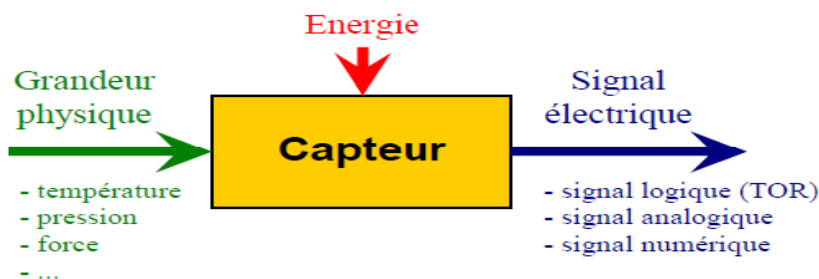


Figure 1-1: système de mesure

## 1.3 La chaîne de mesure

Généralement le signal de sortie n'est pas directement utilisable. On appelle chaîne de mesure l'ensemble des circuits qui amplifient, adaptent, convertissent, linéarisent, digitalisent le signal avant sa lecture sur le support de sortie. [1]

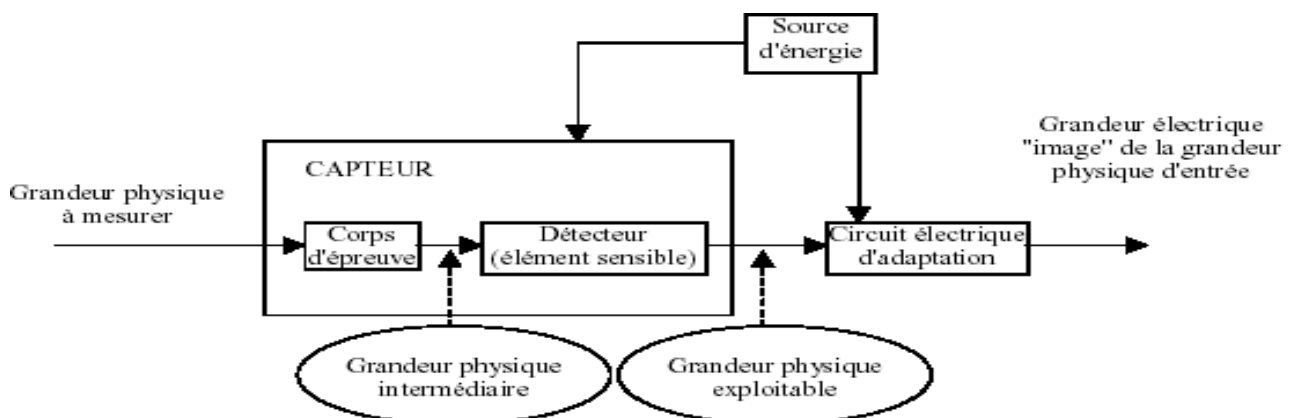


Figure 1-2 : schéma synoptique d'une chaîne de mesure



# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

## 1.4 Types de grandeurs physiques

On peut classer les grandeurs physiques en 6 familles, chaque capteur s'associant à l'une de ces 6 familles:

- Mécanique : déplacement, force, masse, débit etc.
- Thermique : température, capacité thermique, flux thermique etc.
- Electrique : courant, tension, charge, impédance, diélectrique etc.
- Magnétique : champ magnétique, perméabilité, moment magnétique etc.
- Radiatif : lumière visible, rayons X, micro-ondes etc.
- (Bio) Chimique : humidité, gaz, sucre, hormone etc. [1]

## 1.5 Classification des signaux

La grandeur de sortie du capteur peut varier :

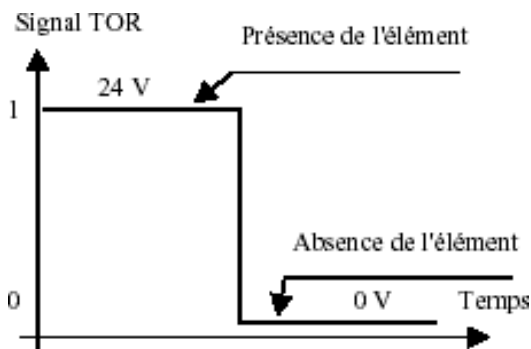
☞ De manière binaire (information vraie ou fausse), c'est le **capteur Tout Ou Rien (TOR)**;

☞ De façon progressive (variation continues), c'est le **capteur analogique**;

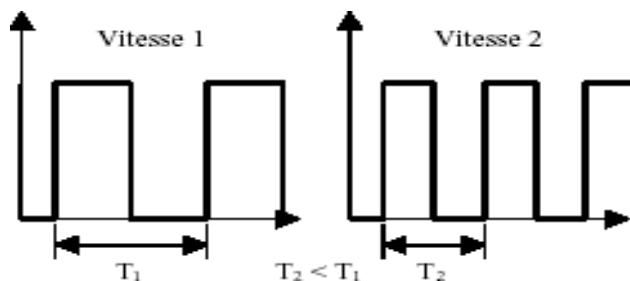
☞ D'échelon de tension ou de courant, c'est le **capteur numérique**. [2]

Exemples

- Capteur(TOR)

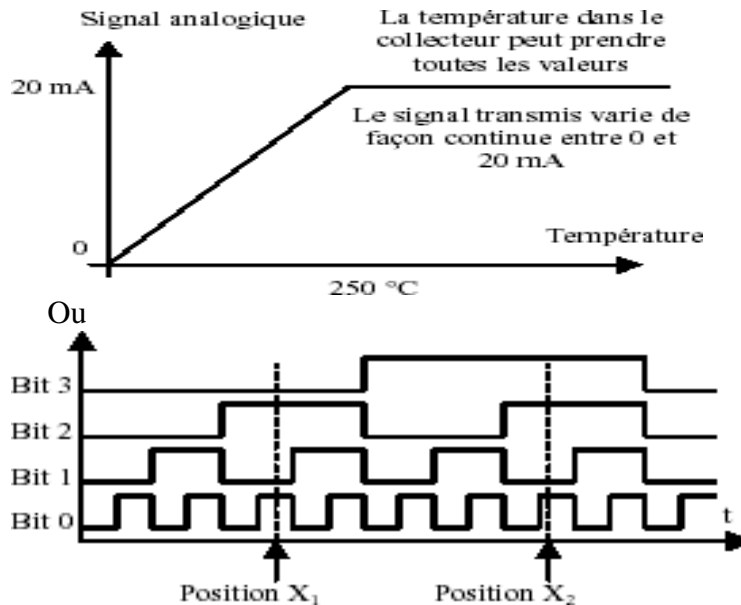


- Capteur Numérique



# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

## - Capteur Analogique



## 1.6 Classification des Capteurs

Les capteurs présentent des caractéristiques différentes ; leurs différences peuvent se faire aussi grâce à :

- Leur principe de fonctionnement
  - Capteurs actifs
  - Capteurs passives
- Leur principe de traduction du mesurande
  - Capteur résistif
  - Capteur à effet Hall
  - etc.... [3]

### 1.6.1 Capteurs actifs

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie à la grandeur physique à prélever (énergie thermique, mécanique ou de rayonnement). [1]

A titre d'exemple, on cite certains effets qui sont à l'origine de la conception de plusieurs capteurs actifs.

# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

- **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 d'origine thermique ( $T_1$ ,  $T_2$ ).

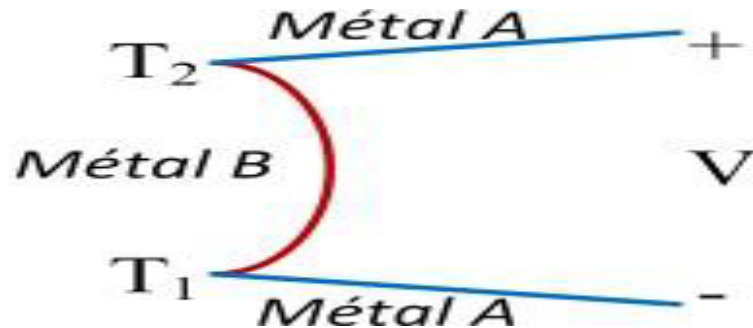


Figure 1-3: Effete thermoélectrique

- **Effet piézo-électrique** : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo- électriques (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.

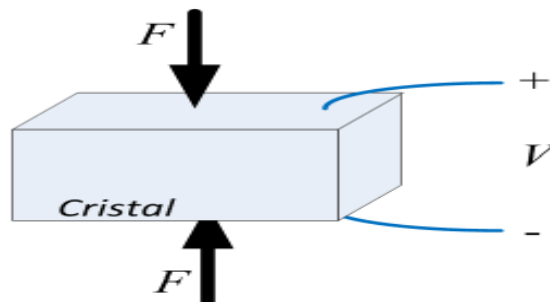


Figure 1-4: Effet piézo-électrique

- **Effet d'induction électromagnétique** : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique (détection de passage d'un objet métallique).



Figure 1-5: Effet d'induction électromagnétique

# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

- **Effet photo-électrique** : Sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique, la matière libère des charges électriques.

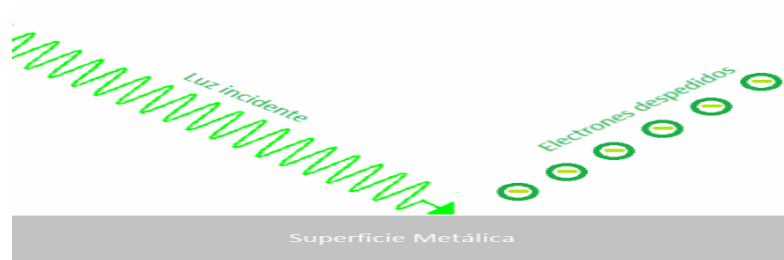


Figure 1-6: Effet photo-électrique.

- **Effet pyroélectrique** : Sous l'application d'un flux de rayonnement, le cristal pyroélectrique va s'échauffer et ainsi sa polarisation va se modifier entraînant une variation de tension détectable.

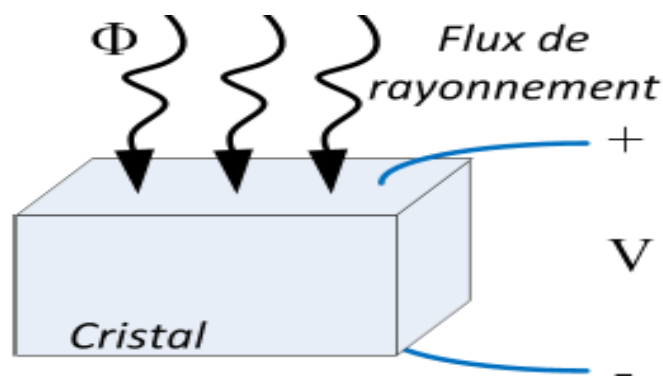


Figure 1-7: Effet pyroélectrique

- **Effet photovoltaïque** : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

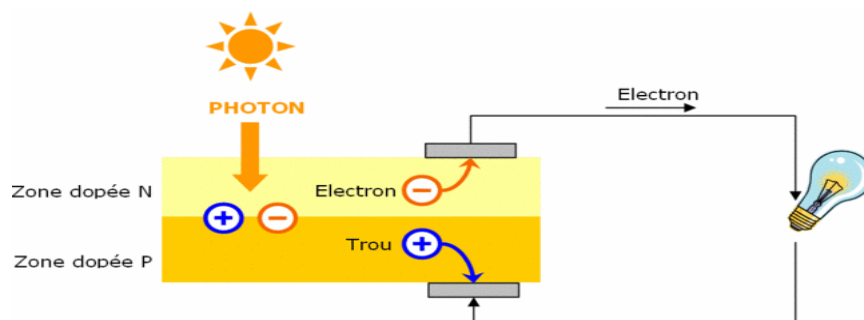


Figure 1-8 : Effet photovoltaïque

# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

**Tableau 1-1 : Grandeurs d'entrée et de sortie et effets utilisés par les capteurs actifs.**

Grandeur physique Mesurée	Effet utilisé	Grandeur de sortie
Température	Thermoélectricité	Tension
Flux de rayonnement optique	Photoémission	Courant
	Effet photovoltaïque	Tension
	Effet photo-électrique	Tension
Force	Piézo-électrique	Charge Électrique
Pression		
Accélération	Induction électromagnétique	Tension
Vitesse		
Position(Aimant)	Effet Hall	Tension
Courant		

## 1.6.2 Capteurs passifs

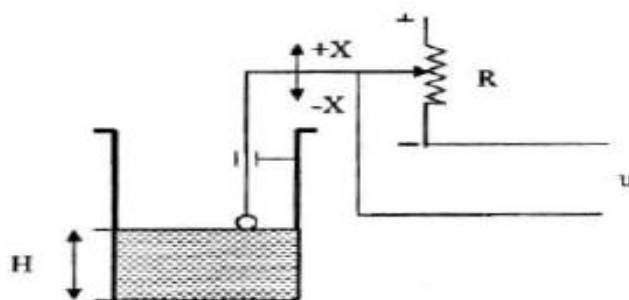
Il s'agit généralement d'impédance (résistance, inductance, capacité) dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte:

- Une variation de dimension du capteur (capteur de position ; potentiomètre...ect)
- Une déformation résultant d'une force ou d'une grandeur s'y ramenant (pression accélération). Exemples : armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensomètre liée à une structure déformable. [2]

### ▪ Capteurs à résistance

Les capteurs à résistance transforment la grandeur d'entrée, tel que le déplacement mécanique, les forces, les efforts, la pression...etc., en une variation de la résistance.

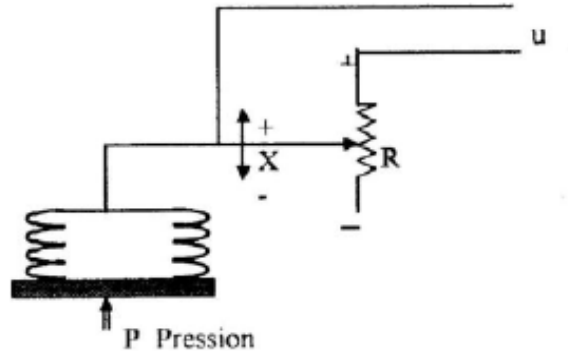
Les figures (1.9) et (1.10) représentent une forme schématique des exemples sur les capteurs à résistance.



**Figure 1-9 : capteur à résistance (variation du liquide).**

# Chapitre01 : les notions théoriques et fondamentales sur les capteurs

La variation du niveau du liquide (H), entraîne le déplacement du curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).



**Figure 1-10 : Capteur à résistance (variation de pression).**

La figure (1-10) représente la variation de la pression P qui entraîne la déformation du soufflet. Cette dernière met en déplacement le curseur du potentiomètre R (variation de la résistance).

## ▪ Capteurs capacitifs

Dans un capteur capacitif, la variation de la grandeur d'entrée entraîne une variation proportionnelle de la capacité du condensateur.

La capacité d'un condensateur plan est donnée par la relation suivante :

Avec :

$$C = \epsilon_r \cdot \frac{S}{d} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

$\epsilon_r$  : Permittivité du milieu (relative).

S : Surface des plaques (section).

d : La distance entre les armatures.

$\epsilon_0$ : Permittivité absolue de vide.

La variation de distance entre les armatures : le condensateur est destiné à la traduction de déplacements rectilignes ; il est inséré dans un montage en pont.

Pour  $dl=0$ , le pont est équilibré :  $V_s=0$ . Pour un déplacement  $dl$  de l'armature mobile, la tension de sortie  $V_s$  est proportionnelle à  $dl$ .

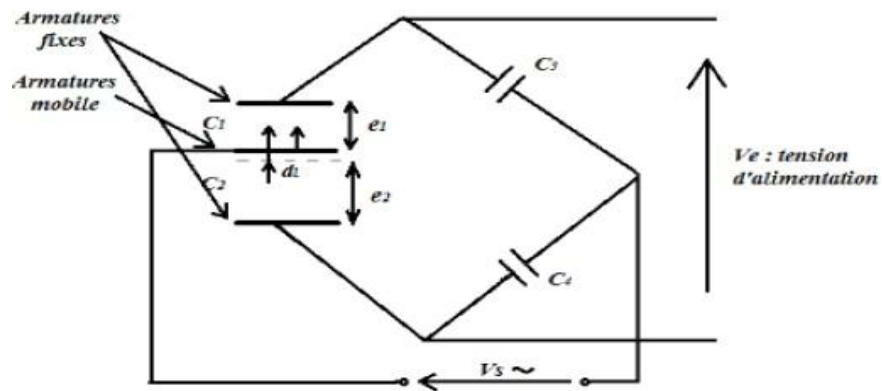


Figure 1-11 : Capteur capacitif.

## ▪ Capteurs inductifs

D'une manière analogue, le capteur inductif transforme la grandeur d'entrée en une variation de la résistance inductive figure (1.12).

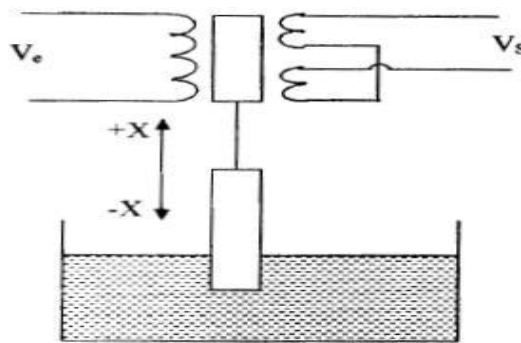


Figure 1-12 : Capteur inductif

## 1.7 Caractéristiques métrologiques d'un capteur

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

### 1.7.1 Caractéristique d'entrée-sortie d'un capteur

La caractéristique d'un capteur, appelée aussi courbe d'étalonnage est la courbe d'entrée-sortie de celui-ci.

C'est une courbe qui exprime la relation d'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée.

Il s'agit d'une courbe en régime permanent qui ne donne pas d'informations les caractéristiques transitoires du capteur. Figure (1.13) [2]

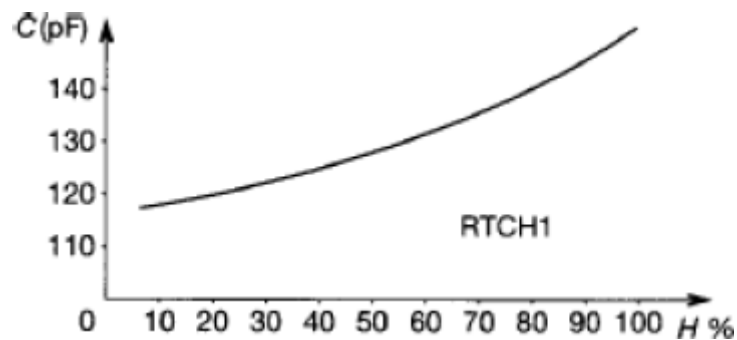


Figure 1-13 : Exemple de caractéristique d'un capteur d'humidité du type capacitif.

## 1.7.2 L'étendue de mesure

On notera l'étendue de mesure. C'est la différence algébrique entre les valeurs extrêmes pouvant être prises par la grandeur à mesurer, pour laquelle les indications d'un capteur, obtenues à l'intérieur du domaine d'emploi en une seule mesure, ne doivent pas être entachées d'une erreur supérieure à celle maximale tolérée. [4]

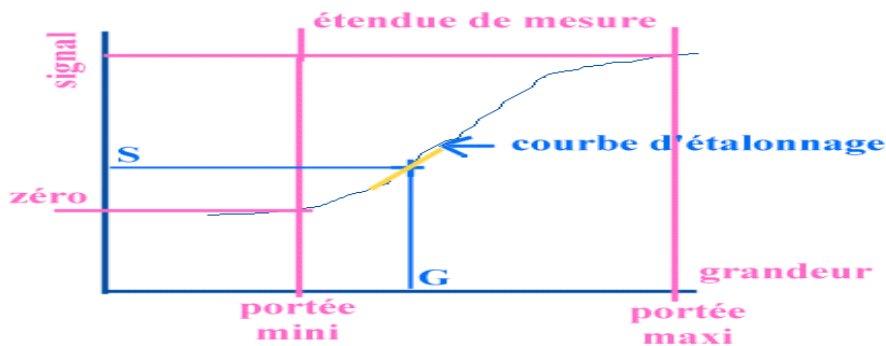


Figure 1-14 : Exemple d'étendue de mesure d'un capteur.

## 1.7.3 Sensibilité

Pour une valeur donnée de la grandeur à mesurer  $G$ , la sensibilité s'exprime par le quotient de la variation de la grandeur de sortie  $S$  par la variation correspondante de la grandeur mesurée autour de la valeur  $G$ . [4]

Dans le cas le plus général (le courbe d'étalonnage n'est pas linéaire) ; la sensibilité représente la pente de la tangente en un point au courbe d'étalonnage.



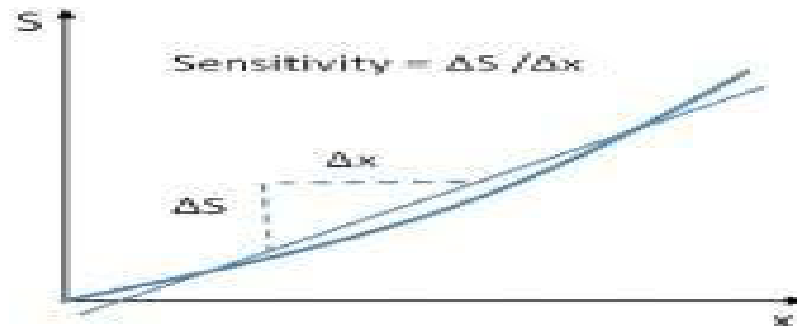


Figure 1.15 : Exemple de la sensibilité d'un capteur

## 1.7.4 Finesse

C'est la qualité exprimant l'aptitude d'un capteur à ne pas venir modifier par sa présence la grandeur à mesurer. Cela permet d'évaluer l'influence 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. [4]

## 1.7.5 Linéarité

Un capteur est dit **linéaire** dans une zone déterminée du mesurande si sa sensibilité  $y$  est indépendante de la valeur du 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. [5]

## 1.7.6 Rapidité - Temps de réponse

La rapidité est la spécification d'un capteur qui permet d'apprécier de quelle façon la grandeur de sortie suit dans le temps les variations du mesurande. Le temps de réponse caractérise cette rapidité.

Ce paramètre renseigne sur le comportement du capteur durant les phases transitoires de variation du mesurande.

C'est une caractéristique importante lorsqu'il faut des temps de réaction rapides. [6]

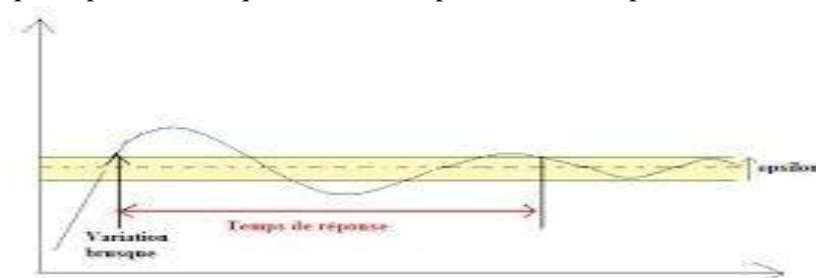


Figure 1-16 : Exemple de temps de réponse d'un capteur

## 1.7.7 L'hystérésis

L'hystérésis la réversibilité caractérise l'aptitude capteur à fournir la même indication lorsqu'on atteint une même valeur de la grandeur mesurée par variation croissante continue ou par variation décroissante continue de la grandeur. En cas d'indications différentes on parle d'erreur d'hystérésis ; qu'on exprime aussi en pourcentage de l'étendue de mesure. [4]

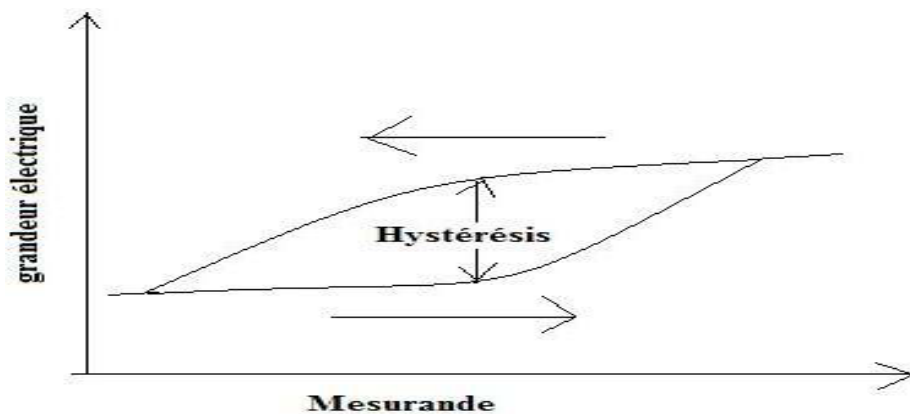


Figure 1-17 : Exemple de l'hystérésis d'un capteur

## 1.7.8 Conditions de fonctionnement d'un capteur

Alors que les caractéristiques métrologiques font référence à des étalonnages en laboratoire, les conditions de fonctionnement sont en relation étroite avec l'utilisation pratique du capteur, dans un environnement donné, en présence des grandeurs d'influence plus ou moins contrôlées. Il s'agit des grandeurs qui, appliquées de l'extérieurs, sont susceptibles de modifier les caractéristiques du capteur.

Ces grandeurs peuvent être de nature mécanique, thermique, électrique, chimique ...etc.

Les constructeurs n'envisagent en général que quelques grandeurs d'influence.

Ce sera donc souvent à l'utilisateur d'identifier l'importance de certaines d'entre elles dans le contexte de leur application spécifique. Il ne faut surtout pas supposer que parce que le constructeur ne dit rien à propos d'une grandeur d'influence potentielle que cela signifie à coup sur qu'elle n'a aucune influence sur le comportement du capteur !

### Limites d'utilisation d'un capteur et étendue de mesure

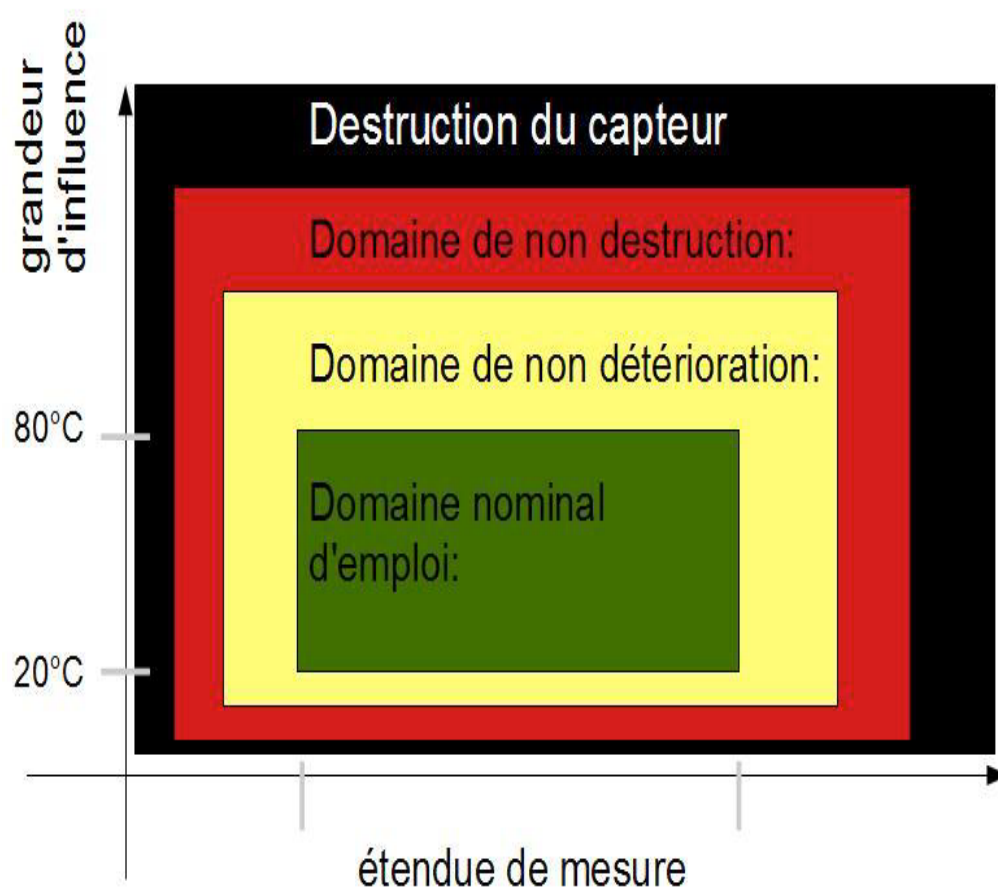


Figure 1-18 : Domaines de fonctionnement d'un capteur.

Des modifications des propriétés et des caractéristiques du capteur peuvent apparaître si celui-ci est soumis à des grandeurs d'influence telle la température, des contraintes mécaniques ou électriques.

Il existe 4 domaines d'utilisation du capteur qui peuvent plus ou moins affecter les caractéristiques de ce capteur :

- **le domaine nominal d'emploi** → correspond aux conditions normales d'utilisation du capteur.
- **le domaine de non-détérioration** → dans ce domaine les caractéristiques risquent d'être modifiées mais cette altération est réversible et le capteur pourra retrouver ses caractéristiques normales lorsqu'il retrouvera son domaine nominal d'emploi.
- **le domaine de non-destruction** → si le capteur est utilisé dans ce domaine, les altérations seront irréversibles et seul un réétalonnage permettra de remesurer dans le domaine nominal d'emploi.
- **le domaine de destruction** → le capteur ne sera plus utilisable et même un étalonnage ne pourra le modifier, la seule solution étant de racheter un capteur. [1]

## 1.8 Caractéristiques statistiques d'un capteur

### 1.8.1 Fidélité

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer une mesure répétitive sans erreurs. L'erreur de fidélité correspond à l'écart type obtenu sur une série de mesures correspondant à un mesurande constant.

### 1.8.2 Justesse

C'est l'aptitude d'un capteur à délivrer une réponse proche de la valeur vraie. Elle est liée à la valeur moyenne obtenue sur un grand nombre de mesures par rapport à la valeur réelle.

### 1.8.3 Précision

La précision caractérise l'aptitude d'un capteur à donner des indications proches de la valeur vraie de la grandeur mesurée. Ainsi un capteur précis aura à la fois une bonne fidélité et une bonne justesse. [4]

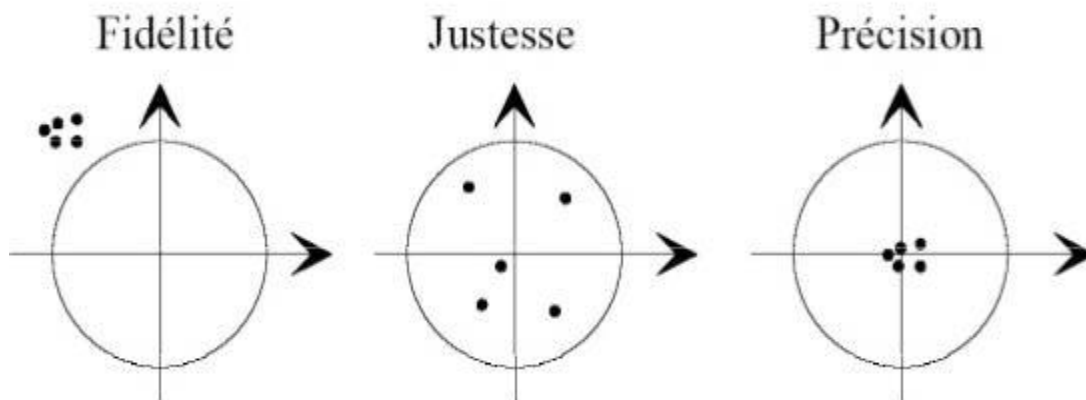


Figure 1-19 : caractéristiques statistiques d'un capteur .

### 1.8.4 Résolution

La résolution d'un appareil est la plus petite variation de la grandeur mesurée qui produit une variation perceptible de l'indication délivrée par l'instrument. Elle peut être exprimée en points, qui sont alors le nombre de valeurs différentes que l'instrument peut afficher. [3]

## 1.9 Grandeurs d'influence

La relation  $s=f(m)$  entre mesurande et grandeur électrique n'est de cette forme que dans cas idéal .En réalité beaucoup d'éléments autres que le mesurande peuvent modifier la grandeur E. La relation est de la forme suivant :

$s=f(m, g_1, g_2, \dots)$  ou les  $g_i$  sont les grandeurs d'influence. [1]

On les classe en deux types :

### 1.9.1 Grandeurs d'ambiance (environnement)

Grandeur physique autre que le mesurande dont la variation peut modifier la réponse du capteur :

- Température : modifications des caractéristiques électriques, mécaniques et dimensionnelles
- Pression, vibrations : déformations et contraintes pouvant altérer la réponse
- Humidité : modification des propriétés électriques (constante diélectrique ou résistivité).  
Dégradation de l'isolation électrique
- Champs magnétiques : création de fém d'induction pour les champs variables ou modifications électriques (résistivité) pour les champs statiques.

### 1.9.2 Grandeurs d'influence d'alimentation

Paramètre électrique (courant, tension, fréquence) des circuits d'alimentation du capteur.

## 1.10 Reproductibilité ou répétabilité

Ces deux termes sont souvent mélangés par erreur, c'est pour cela que nous allons définir la différence qu'il y a entre la reproductibilité et la répétabilité.

La répétabilité est la mesure d'un même échantillon avec la même méthode dans le même laboratoire avec la même personne et le même équipement alors que la reproductibilité est la mesure du même échantillon avec la même méthode mais dans un laboratoire différent avec des personnes différentes et des équipements différents.

## 1.11 Les erreurs de mesure dans les capteurs

Les erreurs de mesure ont des causes systématiques que l'opérateur peut corriger ou non. Ces erreurs ont des causes clairement identifiées et prévisibles. [8]

## 1.11.1 L'erreur sur le zéro (l'offset)

Appelée aussi «dérive » est généralement due au vieillissement des composantes d'un capteur et aux variations de température. Elle se traduit par un décalage de la grandeur de sortie indépendante du mesurande (voir la figure 1.20).

Erreur de zéro = Valeur de y quand X = 0

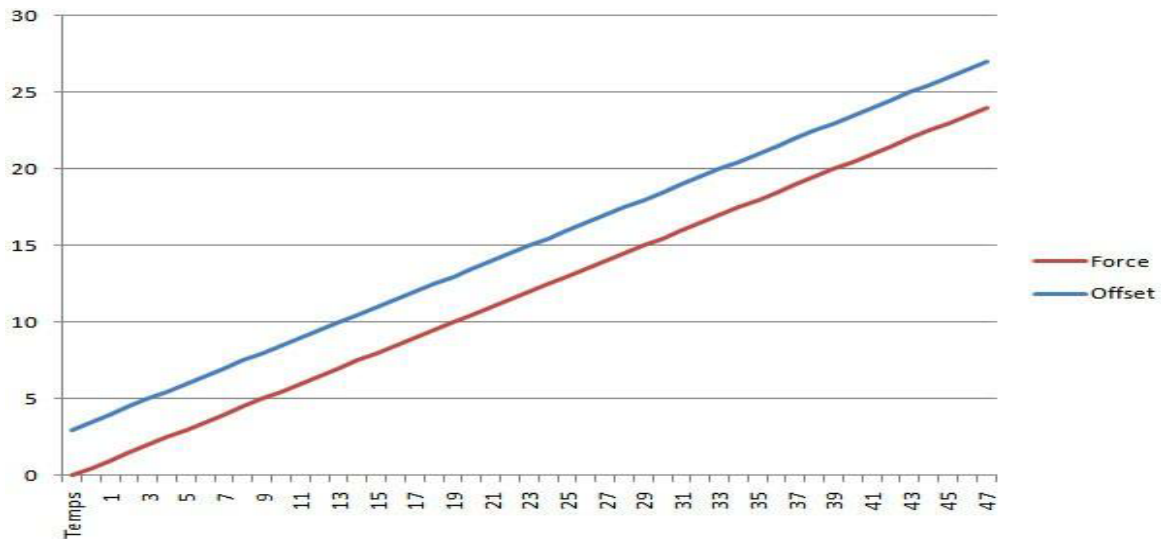


Figure 1-20 : Exemple L'erreur sur le zéro d'un capteur

## 1.11.2 L'erreur d'échelle (gain)

C'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur Mesurée.

Erreur de gain =  $20 \log(dy/dx)$

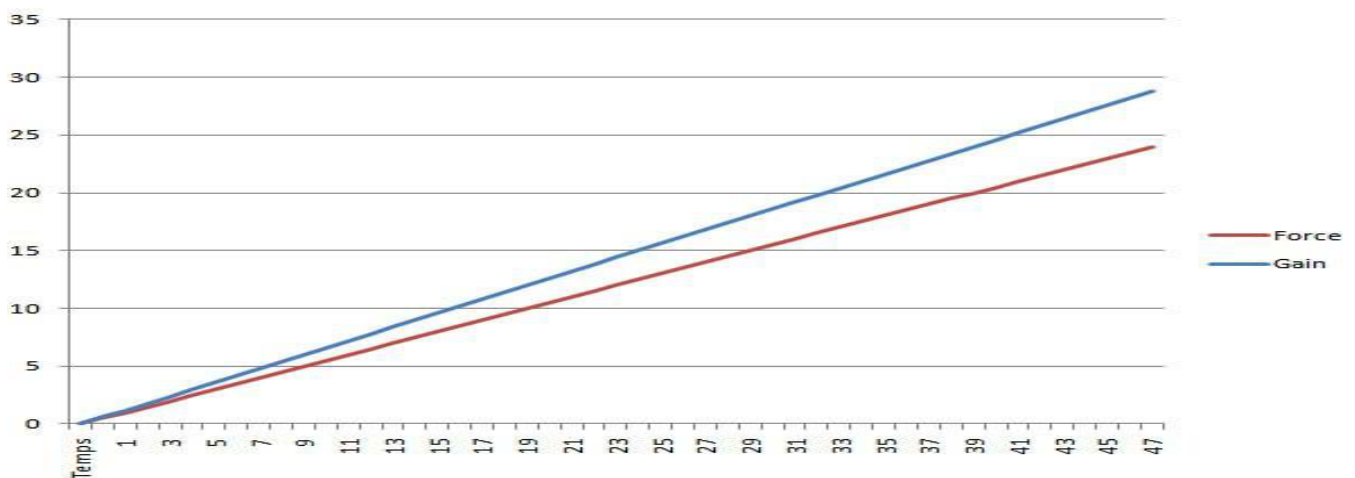


Figure 1-21 : Exemple L'erreur sur d'échelle d'un capteur

## 1.11.3 L'erreur de linéarité

La caractéristique n'est pas une droite.

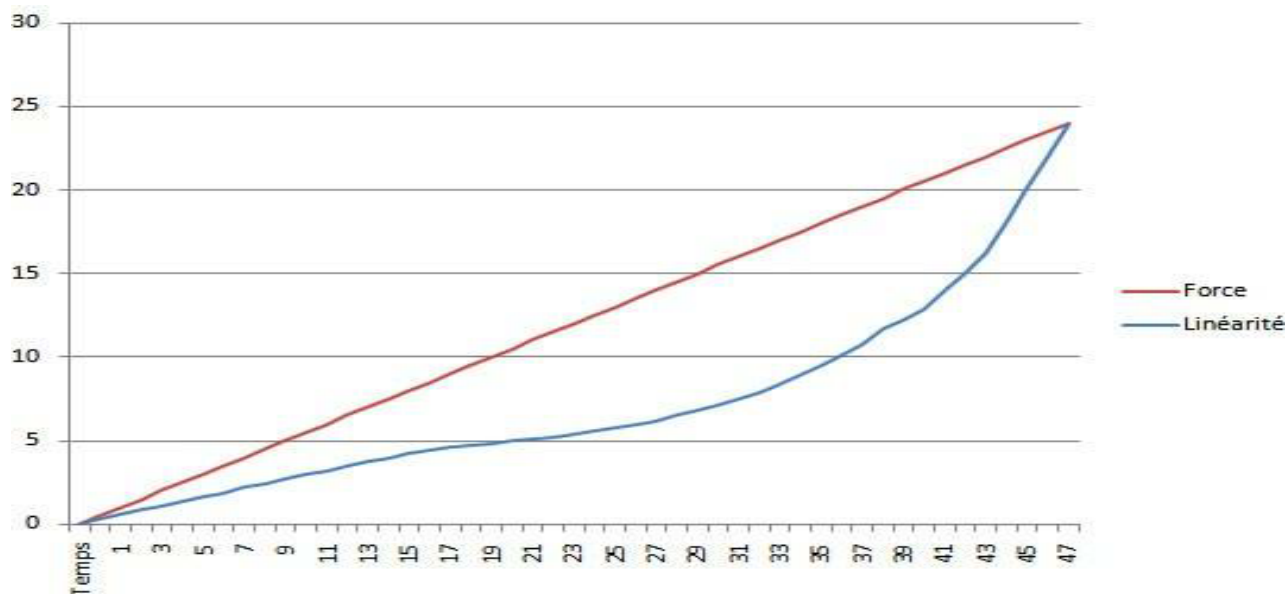


Figure 1-22 : Exemple L'erreur de linéarité d'un capteur

## 1.11.4 L'erreur due au phénomène d'hystérésis

Il y a phénomène d'hystérésis lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente mesure.

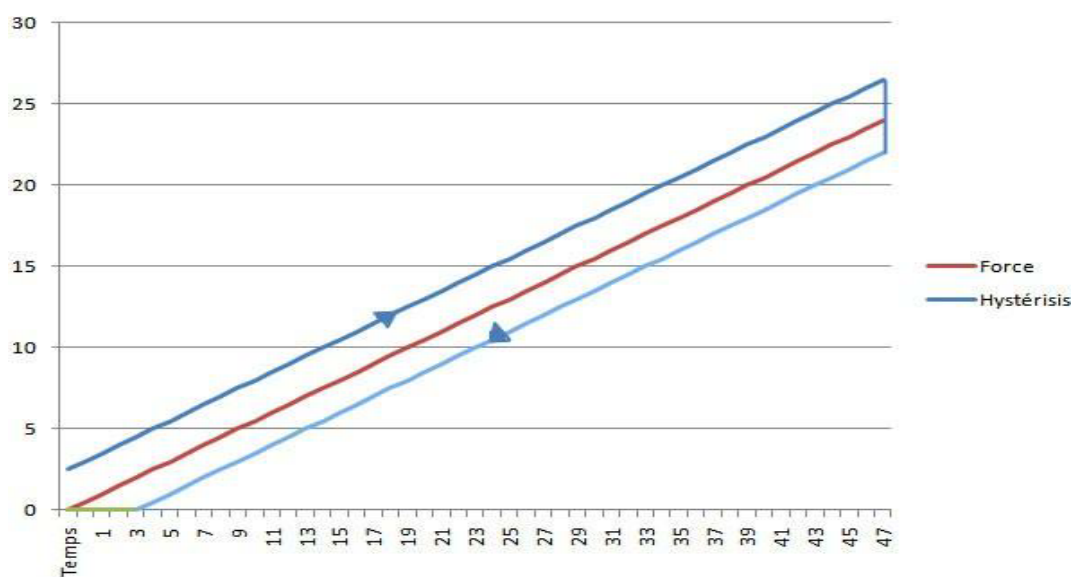


Figure 1-23 : Exemple L'erreur d'hystérésis d'un capteur

## 1.11.5 L'erreur de mobilité

La caractéristique est en escalier, cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.

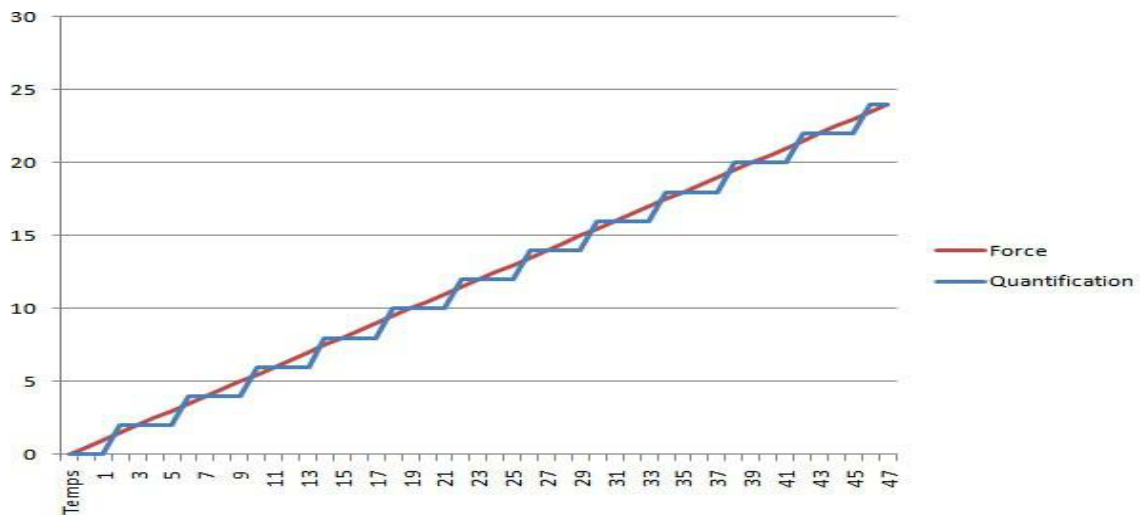


Figure 1-24 : Exemple L'erreur de mobilité d'un capteur



# **Chapitre 02**

## 2.1 Introduction

Un capteur de détection de vibration est un appareil qui détecte et répond à un type d'entrée de l'environnement physique. L'entrée spécifique peut être le mouvement, la pression ou l'un des forces appliqué sur une surface. La sortie est généralement un signal qui est converti en affichage lisible par l'homme à l'emplacement du capteur ou transmis électroniquement sur un réseau pour la lecture ou un traitement ultérieur.

Dans notre projet de fin d'étude nous avons détecté le pouls c'est à dire la détection de battement des artères produit par les vagues successives du sang injecté dans le cœur (perceptible au toucher, notamment sur la surface interne du poignet ou du cou (carotide) par l'utilisation d'un capteur de détection de vibration.

## 2.2 Les capteurs de détection

### 2.2.1 Capteur de pression

**Définition de la pression en tant que quantité mesurée :** La pression est définie comme la force appliquée par un liquide ou un gaz sur une surface et est généralement mesurée en unités de force par unité de surface. Les unités communes sont le Pascal (Pa), le Bar (barre), N / mm<sup>2</sup> ou psi (livres par pouce carré).

**Définition d'un capteur de pression :** Par conséquent, un capteur de pression est un instrument composé à la fois d'un élément sensible à la pression pour déterminer la pression réelle appliquée au capteur et de certains composants pour convertir cette information en un signal de sortie.

- Les capteurs de pression sont utilisés pour le contrôle et la surveillance dans des milliers d'applications quotidiennes. Ils peuvent être utilisés pour mesurer indirectement d'autres variables telles que le débit de fluide / gaz, la vitesse, le niveau d'eau et l'altitude.
- Les capteurs de pression peuvent également être appelés transducteurs de pression, transmetteurs de pression, indicateurs de pression, piézomètres et manomètres.
- Plusieurs technologies peuvent être utilisées dans les capteurs de pression pour fournir des résultats précis. Voici une liste des technologies les plus courantes :

**Les capteurs de pression basés sur des jauges de contrainte** (aussi appelées jauges de déformation ou capteur de force) :

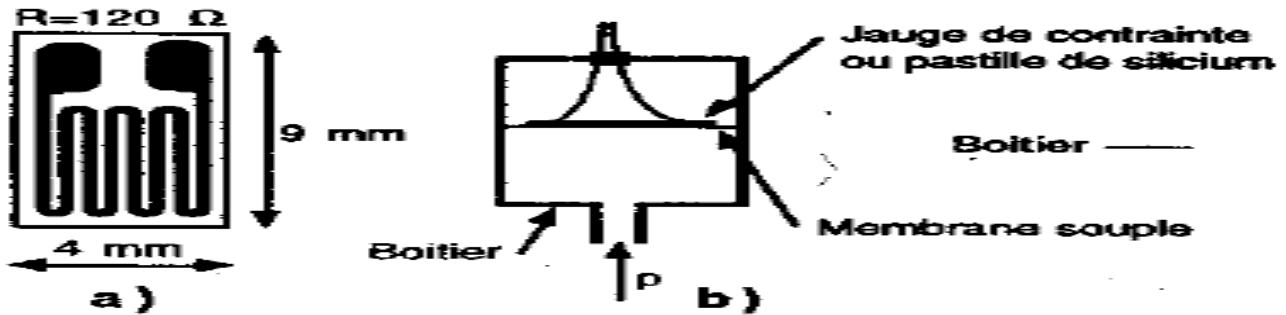
Une jauge de contrainte est un appareil utilisé pour mesurer la contrainte exercée sur un objet.

Inventé par Edward E. Simmons et Arthur C. Ruge en 1938. [2-2]

Le type de jauge de contrainte le plus courant consiste en un support flexible isolant qui soutient un motif de feuille métallique. La feuille se déforme, entraînant un changement de sa résistance électrique.

Ce changement de résistance, généralement mesuré avec un pont de Wheatstone, est lié à la déformation par la quantité connue sous le nom de facteur de jauge.

Les grands avantages de cette conception monolithique sont une rigidité améliorée et la possibilité de mesurer les pressions les plus élevées jusqu'à 15000 bars. La connexion électrique se fait normalement via un pont de Wheatstone qui permet une bonne amplification du signal et des résultats de mesure précis et constants.



Capteurs à jauges de contrainte

Figure2.1:capteur a jauge de contrainte

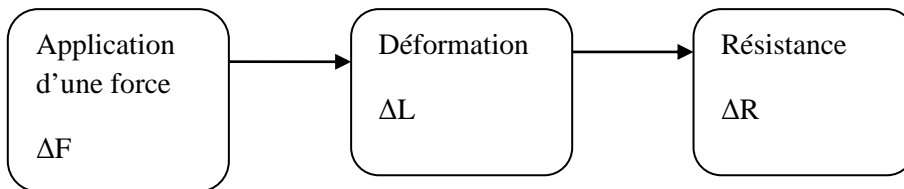


Figure2.2:un capteur de force sans conditionneur.

Le mesurande primaire est la force appliqué  $\Delta F$ . Le corps d'épreuve est constitué par un conducteur métallique qui va se déformer d'une quantité  $\Delta L$  sous l'action de force  $\Delta F$

Cette déformation est alors traduite par une variation de résistance  $\Delta R$ . [2-1]

L'idée recherché ici c'est la relation entre la force et la résistance donc :

$$R=f(F) \implies \Delta R = g(\Delta F) \quad [2-1]$$

**Le conditionneur ou transmetteur** : est l'élément de sortie du capteur qui transforme les variations de mesurande primaire ou secondaire en variation électrique exploitable .le conditionneur se trouve dans le capteur c'est-à-dire a l'intérieur du capteur (corps d'épreuve) ou l'extérieur du capteur.[2-1]

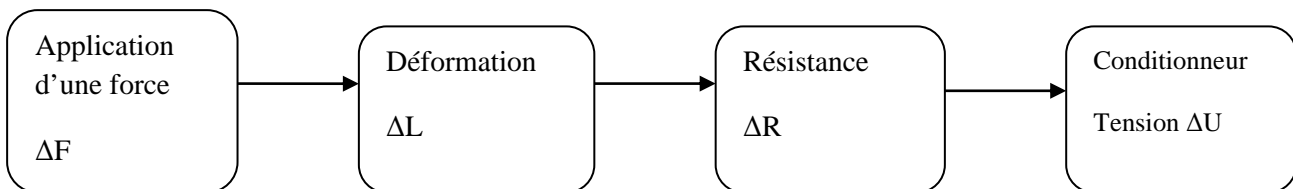


Figure02.3:un capteur de force avec conditionneur.

**Notation** : Du point de vue de l'utilisation on regroupe souvent les fonctions capteur-conditionneur sous un même terme de **capteur** ou **transducteur**

Application du force  $\longrightarrow$  capteur ou transducteur  $\longrightarrow$  tension

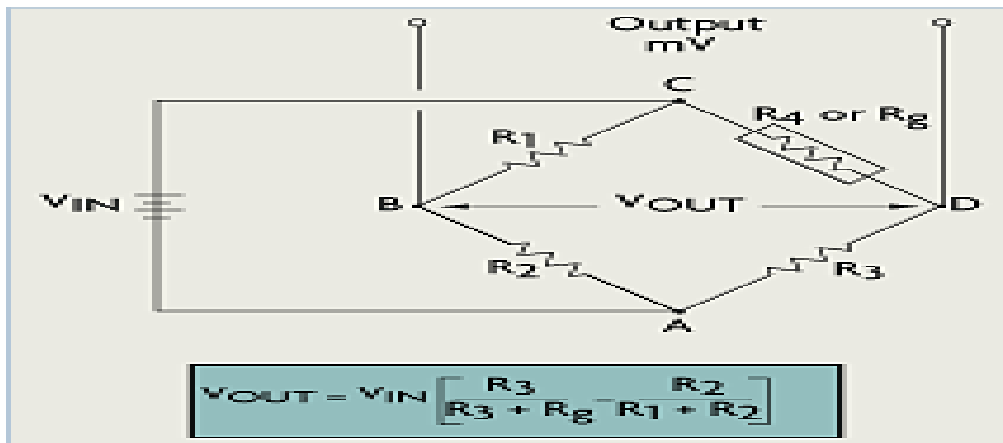


Figure2.4:circuit de mesure de résistance.

### Circuits de mesure

Afin de mesurer la contrainte avec une jauge de contrainte à résistance liée, elle doit être reliée à un circuit électrique qui est capable de mesurer les changements minuscules de résistance correspondant à la déformation. Un pont de Wheatstone est un circuit en pont divisé qui est utilisé pour la mesure de résistance électrique statique ou dynamique. Le circuit de Wheatstone est également bien adapté pour la compensation de température. [2-2]

**Les capteurs de pression capacitifs** utilisent une cavité de pression et un diaphragme pour produire un condensateur variable. La membrane est déformée lorsque la pression est appliquée et que la capacité diminue en conséquence. Ce changement de capacité peut être mesuré électriquement et est ensuite réglé en fonction de la pression appliquée. Ces capteurs sont limités à de faibles pressions d'environ 40 bars.

**Les capteurs de pression piézo-résistifs** se composent d'un diaphragme - majoritairement en silicium - avec des jauges de contrainte intégrées pour détecter les déformations dues à la pression appliquée. Ces jauges de contrainte sont généralement configurées dans un circuit en pont de Wheatstone pour réduire la sensibilité et augmenter le rendement. En raison du matériau utilisé, la limitation de pression est d'environ 1000 bars.

#### **Les capteurs de pression utilisés au laboratoire :**

Capteur de pression MPX2100A et MPX 2053D :

Les capteurs de pression piézorésistifs en silicium de la série MPX2100 et MPX2053D fournissant une sortie de tension très précise et linéaire directement proportionnelle à la pression appliquée. Le capteur est un diaphragme en silicium monolithique unique avec la jauge de contrainte et un réseau de résistances à couches minces intégré sur puce. La puce est ajustée au laser pour un calibrage précis de l'étendue et du décalage compensation de température. [2-3]

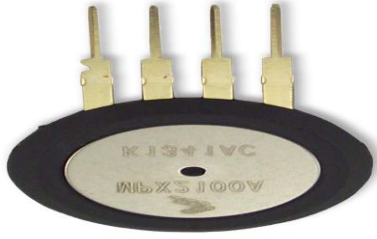


Figure2.5:un capteur de pression MPX2100A et MPX2053.

### Caractéristiques :

- Compensation de température entre 0 ° C et + 85 ° C
- Linéarité  $\pm 0,25\%$  (série MPX2100D)
- Options de groupe porte-puce faciles à utiliser
- Options de pression différentielle et manométrique

### Exemples d'application

- Contrôleurs de pompe / moteur
- robotique
- Indicateurs de niveau
- Diagnostic médical
- Commutation de pression
- Baromètres
- Mesure de la pression artérielle (MPX2053D)

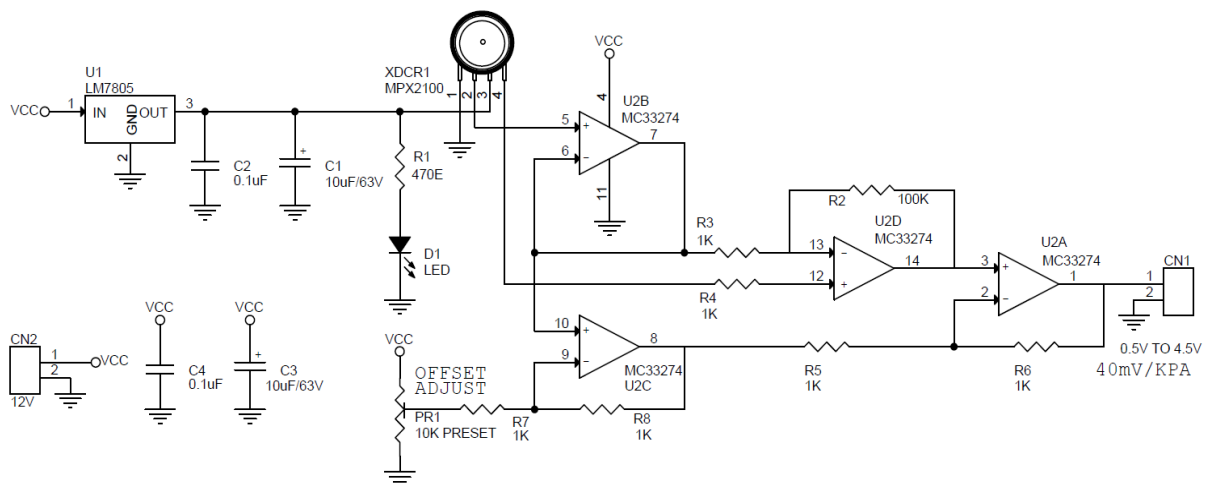


Figure2.6: Amplificateur de conditionnement de signal pour capteur de pression.

## 2.2.2- Un capteur piézoélectrique

En 1880, les frères Curie ont inventé l'effet piézoélectrique direct dans une certaine substance cristalline et diélectrique solide telle que le quartz .La piézoélectricité (du grec « piézein » pressé appuyer) est la propriété possédée par certains corps qui se polarisent électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique. Inversement, ces corps peuvent se déformer sous l'action d'un champ électrique. [2-4]

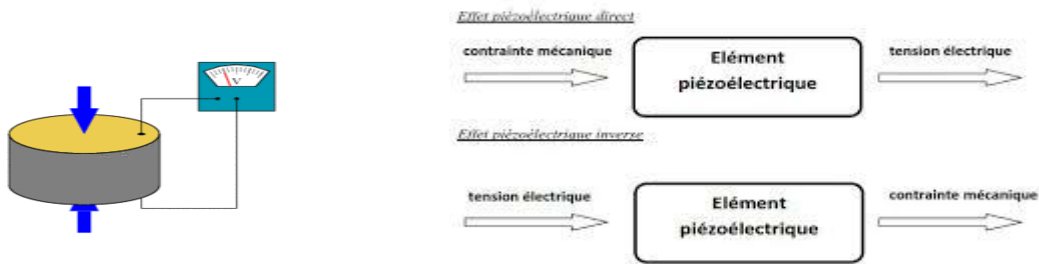


Figure2.7: L'effet piézoélectrique.

Les matériaux piézoélectriques peuvent être soit des cristaux ou matières minérales naturelles, soit des créations de l'homme.

**Cristaux naturels :** Berlinite, Quartz ; Topaze. **d'autres matériaux :** L'os, L'émail dentaire.

**Céramiques et cristaux fabriquées par l'homme :** Phosphate de gallium, Titanate de barium, Sodium tungstène, Lithium niobate, Titanate zirconate de plomb nommé PZT par ses sigles en anglais. Ses propriétés piézoélectriques sont efficaces pour fabriquer des outils de type capteurs ou actionneurs. Les plaques piézoélectriques que l'on a achetées aux États-Unis sont en PZT. [2-4]

**Qu'est-ce qu'un capteur piézoélectrique?**

Le capteur piézoélectrique est un dispositif utilisé pour l'effet piézoélectrique.

Ce capteur est utilisé pour mesurer le changement de pression, force, température, déformation et accélération.

Ils sont convertis en une charge électrique. Le circuit suivant montre le symbole schématique du capteur piézoélectrique :

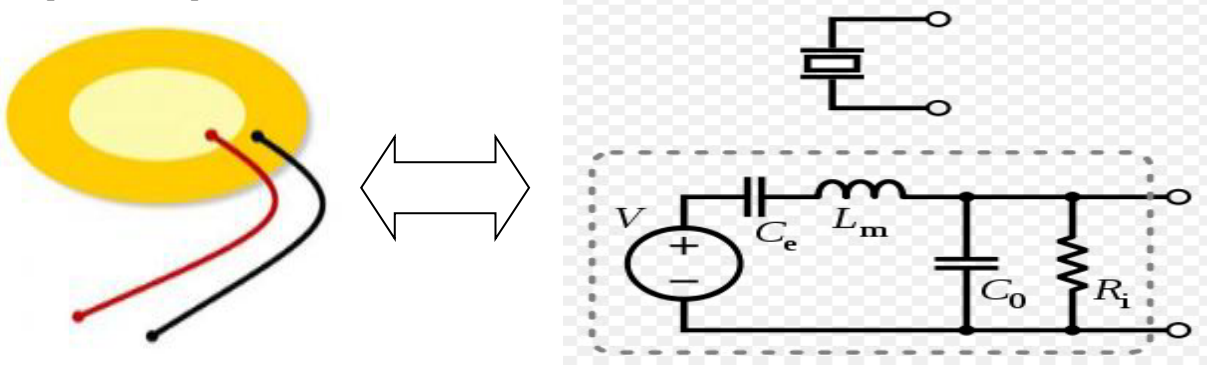


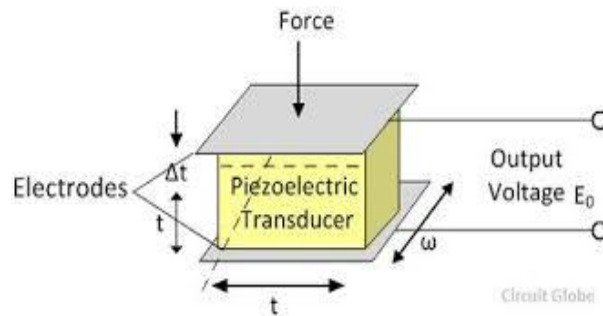
Figure02.8:Symbole schématique du capteur piézoélectrique.

### Principe et fonctionnement du capteur piézoélectrique :

Le capteur piézoélectrique comporte trois opérations principales: efficacité transversale, effet transducteur et effet de cisaillement. [2-5]

#### Effet transversal :

On dit que l'effet transversal est une force appliquée sur l'axe des y et qu'elle change dans la direction de l'axe des x. Ils sont perpendiculaires à la ligne de force.



#### Effet longitudinal et cisaillement :

La charge produite est directement proportionnelle à la force appliquée et est indépendante des éléments de taille et de forme piézoélectriques. Mécaniquement, plusieurs éléments se rassemblent en série et électriquement en parallèle pour augmenter le débit de charge. L'équation suivante montre la sortie de charge pour l'effet longitudinal :

$$C_x = d_{xx} F_x n$$

Dans l'effet de cisaillement, L'équation de charge est donnée comme :

$$C_x = 2d_{xx} F_x n$$

Ici

$F_x$  est considéré comme une force appliquée dans la direction x.

$d_{xx}$  est le coefficient piézoélectrique d'une charge sur l'axe des x.

$n$  est le correspondant au nombre d'éléments empilés. [2-5]

#### Applications du capteur piézoélectrique :

Certaines applications importantes du capteur piézoélectrique suivent Matériel de fabrication dans les systèmes de transport, machines-outils, moteurs, fusées, La première application des matériaux piézoélectriques est appliquée pendant la guerre 1

#### Avantages du capteur piézoélectrique

- Ce capteur est un capteur sans pollution.
- Le remplacement de cet équipement est très facile.
- Ce capteur n'est pas affecté par le champ électromagnétique externe.

#### Inconvénient du capteur piézoélectrique

- Si nous utilisons la température élevée, cela peut être affecté.
- Le cristal est sujet à la fissuration s'il est soumis à une contrainte excessive.

### 2.2.3-Microphone

#### Définition

Un microphone à électret est un type de microphone à condensateur électrostatique, qui élimine le besoin d'une alimentation polarisante en utilisant un matériau chargé en permanence.

Un électret est un matériau diélectrique stable avec un moment dipolaire électrique statique intégré en permanence (qui, en raison de la résistance élevée et de la stabilité chimique du matériau, ne se désintègre pas avant des centaines d'années). Le nom vient de électrostatique et aimant; Analogie avec la formation d'un aimant par alignement de domaines magnétiques dans un morceau de fer. Les électrets sont généralement fabriqués en faisant tout d'abord fondre un matériau diélectrique approprié tel qu'un plastique ou une cire contenant des molécules polaires, puis en le laissant se solidifier à nouveau dans un champ électrostatique puissant. Les molécules polaires du diélectrique s'alignent sur la direction du champ électrostatique,

Produisant un "biais" électrostatique permanent. [2-6]

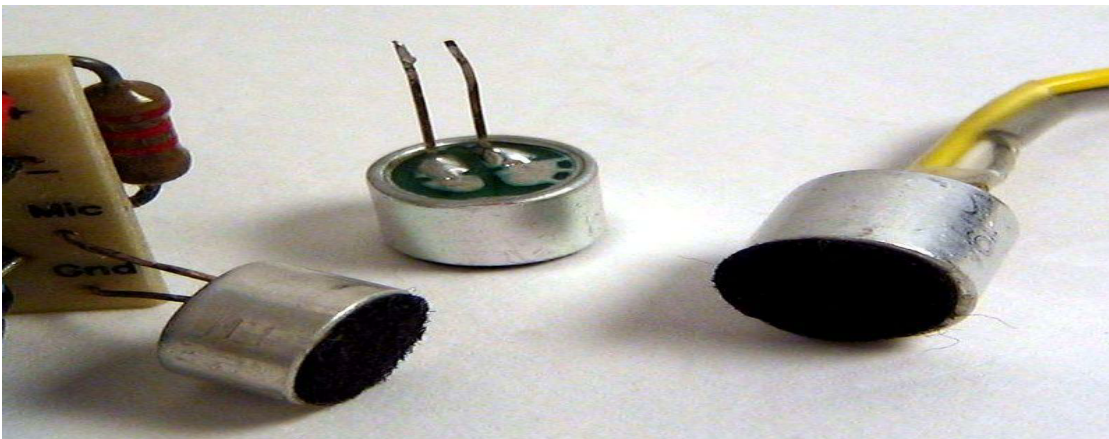


Figure2.10: microphone à électret.

#### L'histoire

Les matériaux électret sont connus depuis les années 1920 et ont été proposés à plusieurs reprises comme éléments de microphone à condensateur, mais ils ont été jugés peu pratiques jusqu'à ce que le type électret à feuille soit inventé par Bell West Laboratories en 1961 par James West et Gerhard Sessler, à l'aide d'un mince film de téflon métallisé. Cela est devenu le type le plus courant, utilisé dans de nombreuses applications allant de l'enregistrement de haute qualité à l'utilisation de calepins en passant par les microphones intégrés dans les petits appareils d'enregistrement du son et les téléphones.[2-7]

Il existe **trois principaux types de microphones à électret**, qui diffèrent par la manière dont le matériau à électret est utilisé:

#### Type feuille ou type diaphragme :

Un film de matériau électret est utilisé comme diaphragme lui-même. C'est le type le plus courant, mais aussi la qualité la plus basse, car le matériau à électret ne constitue pas un diaphragme particulièrement bon. [2-7]



## Chapitre02 : les capteurs de détection de vibrations

---

### Retour électret :

Un film d'électret est appliqué sur la plaque arrière de la capsule de microphone et le diaphragme est constitué d'un matériau non chargé, ce qui peut être mécaniquement plus approprié pour la conception du transducteur en cours de réalisation.

### Électret avant :

Dans ce type plus récent, la plaque arrière est supprimée de la conception et le condensateur est formé du diaphragme et de la surface interne de la capsule. Le film d'électret adhère au capot avant intérieur et le diaphragme métallisé est connecté à l'entrée du FET. Il est équivalent à l'électret arrière en ce que tout film conducteur peut être utilisé pour le diaphragme.

Un circuit de préampli de microphone à électret typique utilise un FET dans une configuration de source commune.

La capsule électret à deux bornes contient un FET qui doit être alimenté de manière externe par la tension d'alimentation  $V+$ . La résistance définit le gain et l'impédance de sortie. Le signal audio apparaît à la sortie, après un condensateur bloquant le courant continu [2-7]

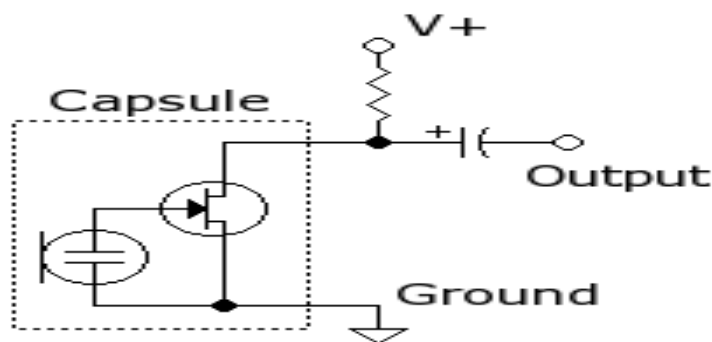


Figure02.11: Un circuit de préampli de microphone à électret typique.

### Le fonctionnement d'un microphone à électret :

Le microphone à électret a un principe de fonctionnement strictement identique à celui du microphone électrostatique. Les trois différences majeures viennent du fait que la membrane n'est pas entre deux grilles polarisées, mais systématiquement au voisinage d'une seule. D'autre part, la tension de polarisation mise en jeu est bien plus faible que pour une capsule électrostatique, puisqu'elle varie de 5V à 12V selon les cas. Enfin, l'air entre les grilles est remplacé par un polymère ayant subi un traitement de polarisation spécial. En général, ce type de micro fournit sa propre alimentation par le biais d'une pile "embarquée". Il est également possible dans la grande majorité des cas de l'alimenter via une alimentation fantôme extérieure.

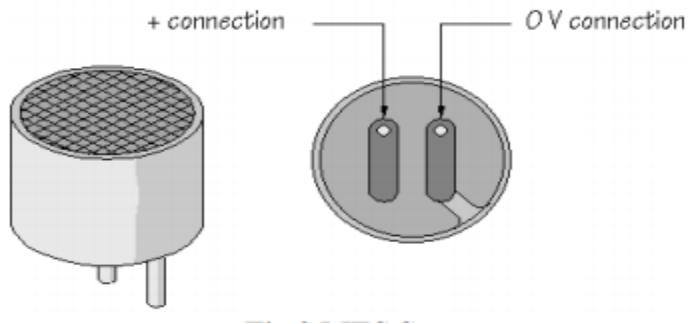


Figure2.12: alimentation d'un microphone à électret.

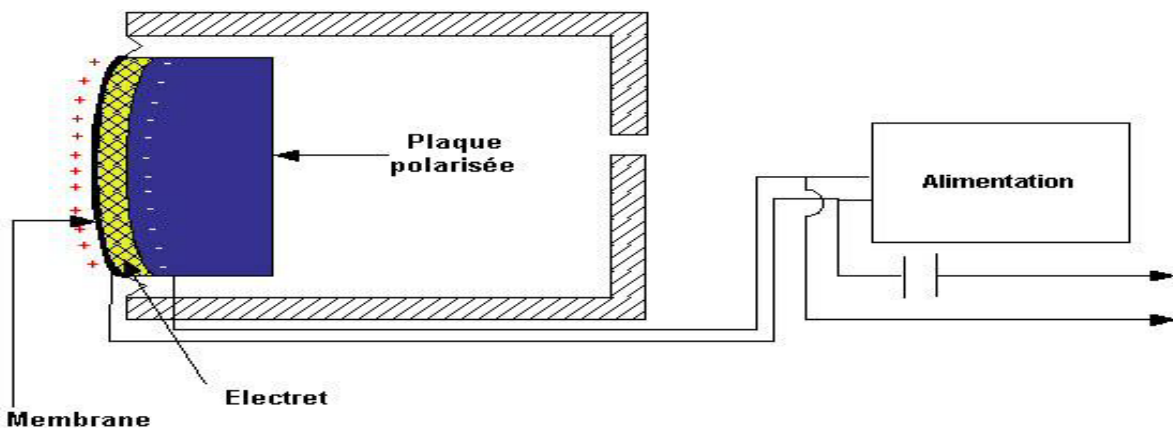


Figure2.13:Principe de fonctionnement d'une capsule à électret. [2-8]

### Avantage :

- Micro très peu coûteux
- Très robuste (pas de risque d'arcs électriques entre la membrane et la grille vu la faible tension mise en jeu)
- Sensibilité honorable selon la qualité des modèles.

### Inconvénients :

- Bande passante assez limitée même dans les produits haut de gamme, sauf rares exceptions (pertes de graves en champ libre)
- Courbe de réponse souvent incontrôlée
- Performances très variables en fonction des modèles
- Relativement faible durée de vie en raison des capacités qui gèrent l'alimentation interne.
- Selon la qualité, le bruit équivalent peut être correct ou rédhibitoire.

### Utilisations :

Selon la sensibilité il peut être utilisé en proximité ou à distance

- Souvent utilisé pour les micros-cravates en raison de la miniaturisation possible
- Utile pour des conditions de prise de son difficiles (humidité, froid.) qui empêchent l'utilisation d'un électrostatique
- Peut être utilisé en micro-main (faible sensibilité aux bruits de manipulation)

### 2.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons cité les trois capteurs que nous allons tester et choisir la plus sensible utilise pour le contrôle et détection du pouls qui sont réalisés autour du circuit électrique, un filtre, détecteur d'enveloppe ...etc. Ensuite, nous avons cité les différents circuits que nous allons utiliser pour suivre la variation des battements à distance par un dispositif « Emission/Réception » à infrarouges (convertisseur fréquence-tension, diode émettrice, photodiode ou radio fréquence (capteur émission/réception R433MHz), système d'alarme sonore et visuel avec comparateur a fenêtre. Dans le prochain chapitre on va entamer la partie pratique et décrire les différentes étapes de la réalisation pratique de notre projet de fin d'étude.

## **Chapitre 03**

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## Introduction

Dans ce chapitre, on va aborder la mise en œuvre du circuit qui va permettre la détection et le contrôle du pouls, afficher un signal acoustique à partir de la détection du pouls au niveau du poignet ou au niveau de la carotide et provoquer éventuellement une alarme lumineuse ou sonore à l'aide d'un buzzer. Le principe est de réaliser un système comportant un capteur de détection (nous avons choisi le capteur le plus sensible à partir du test de trois différents capteurs: (un microphone, un capteur piézoélectrique et un capteur de pression) ; un convertisseur fréquence-tension, un dispositif « émission/réception » à infrarouge (ou à radio fréquence comme une seconde variante proposée) pour suivre la variation des battements à distance, un système d'alarme sonore et visuel à la sortie d'un comparateur à fenêtres : notre système se composera en deux grandes parties : émission/réception par l'infrarouge et émission/réception par radiofréquence (comme deuxième variante). Le schéma synoptique de notre dispositif est donné ci-dessous (figure 3.1)

## Schéma synoptique de détection du pouls

La figure suivante (figure 3.1) illustre les deux parties importantes de notre détection du pouls et les différents étages :

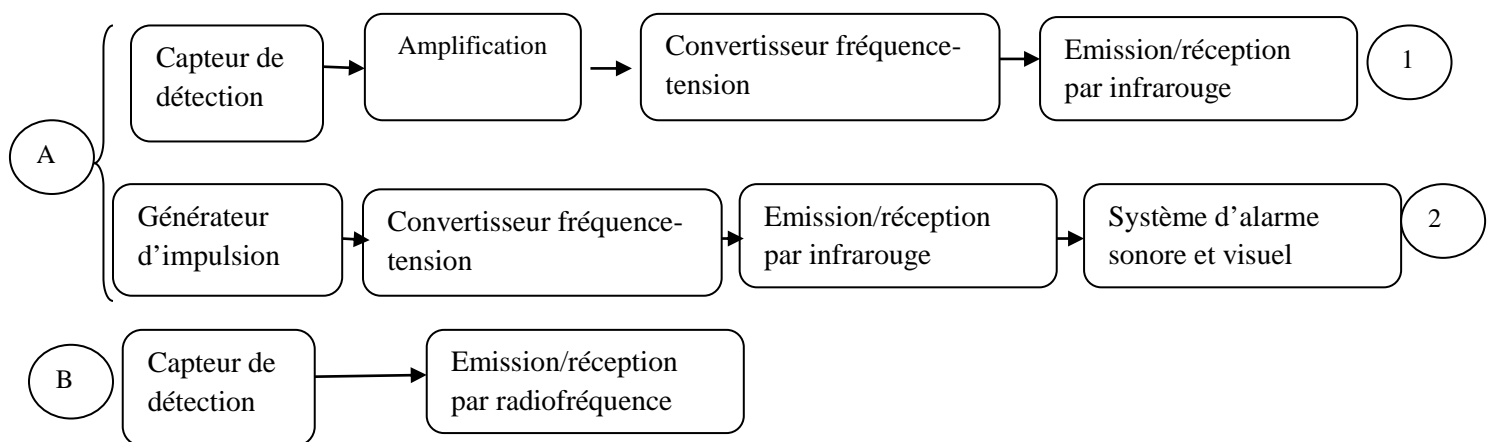


Figure 3.1 : Schéma synoptique de détection du pouls.

## 3.1 Dispositif de détection et du contrôle du pouls avec utilisation d'infrarouge

Afin de détecter le pouls au niveau de la carotide, nous avons proposé un circuit électrique qui utilise le capteur qui nous a donné un résultat satisfaisant lors du test de la sensibilité et de la linéarité. Ce circuit est composé en deux grandes parties :

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## 3.1. A-Emission-Réception par Infrarouge

### -Test de la sensibilité des trois capteurs :

Afin d'étudier la sensibilité d'un microphone nous devons modifier la valeur de l'entrée et mesurer la tension de sortie.

-Nous avons chargé deux applications au niveau du Smartphone: la première pour la production de sons (générateur de sons) et la seconde pour la valeur du décibel.

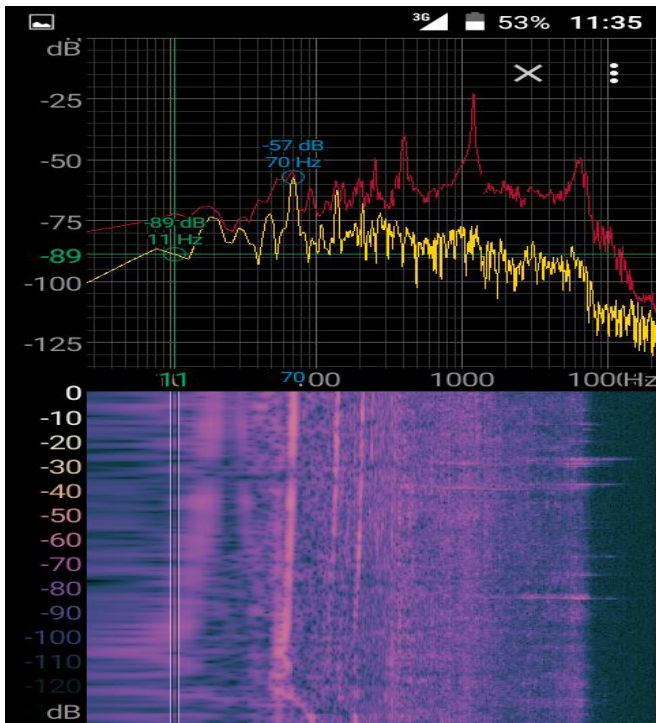


Figure 3.2: Puissance de sons en dB.

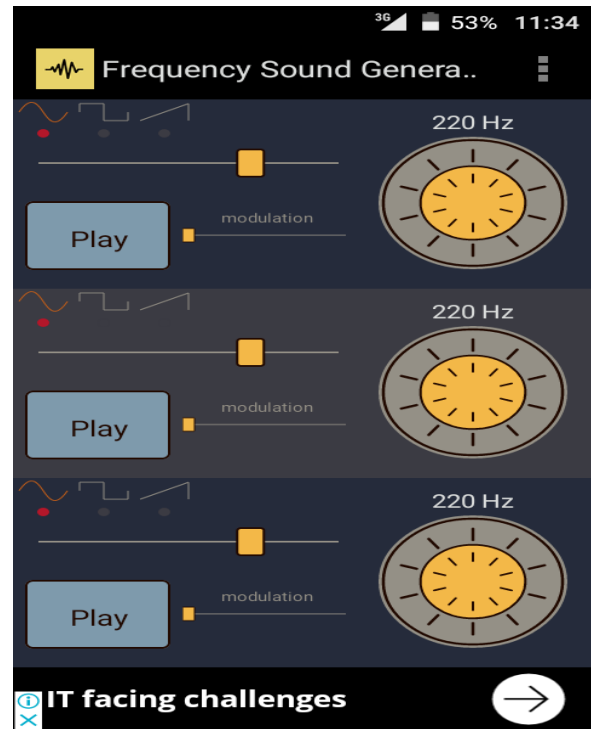


Figure 3.3: Générateur de sons.

-**Les microphones** : Nous avons expérimenté trois types de microphones afin de choisir le capteur le plus sensible (capteur électret, capteur de kit man, capteur de téléphone Nokia)

- **Le test d'un microphone électret :**

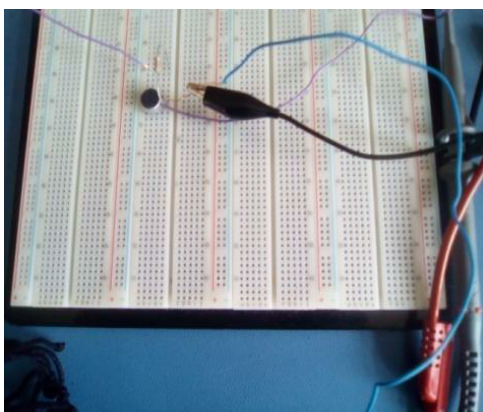


Figure 3.4: montage du test de microphone

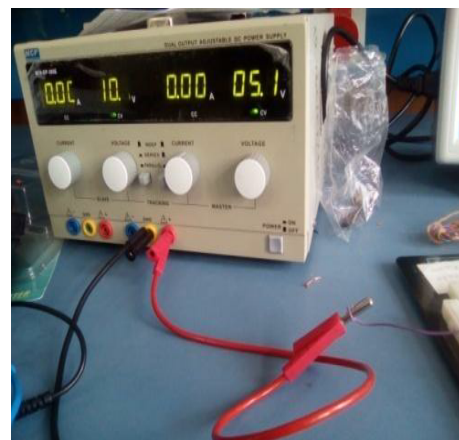


Figure 3.5 : alimentation d'un microphone

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

Le test nous a donné les mesures suivantes :

Fréquence(Hz)	100	120	140	160	180	240	300	360	400
Puissance(dB)	-75	-75	-64	-62	-48	-37	-35	-27	-24
Sortie : Tension (mV)	2.5	2.8	3.5	4	6.5	17	20	41	48
Fréquence(Hz)	440	480	500	510	520	540	560	580	600
Puissance(dB)	-22	-20	-19	-18	-18	-17	-16	-16	-16
Sortie : Tension (mV)	62	74	86	95	96	100	116	124	129

Tableau 3.1 : la tension de sortie en fonction de la fréquence et de la puissance

-Schéma bloc de test :

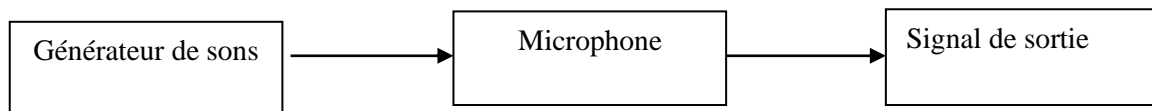


Figure 3.6: schéma bloc de test du microphone

-Schéma électrique de test :

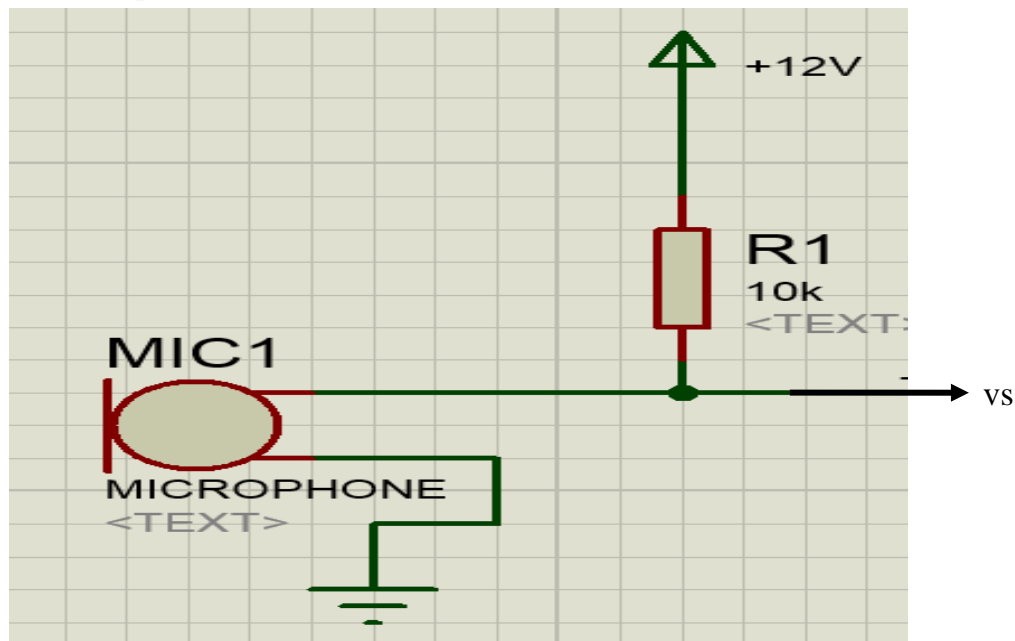


Figure 3.7: schéma électrique de test de microphone.



# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## - Le test d'un microphone du kit man :

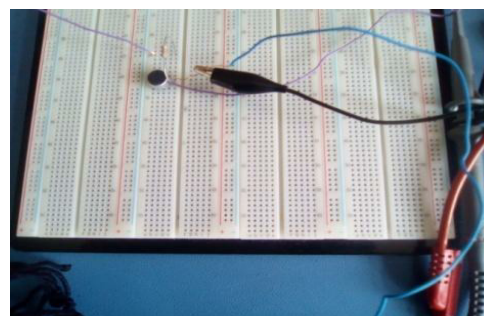


Figure 3.8 : microphone d'un kit man

Figure 3.9 : montage de test de microphone d'un kit man

D'après le test on obtient les mesures du tableau suivant :

Fréquence(Hz)	100	120	140	160	180	240	300	360	400
Puissance(dB)	-70	-68	-64	-62	-48	-37	-35	-27	-24
Sortie : Tension (mV)	4	6	10	16	20	30	44	50	67
Fréquence(Hz)	440	480	500	510	520	540	560	580	600
Puissance(dB)	-22	-20	-19	-18	-18	-18	-16	-16	-15
Sortie : Tension (mV)	78	90	97	100	110	118	128	130	140

Tableau 3.2 : la sortie tension en fonction de la fréquence et de la puissance

## Remarque

Les résultats que nous avons obtenus sont presque similaires aux premiers résultats

## - le test d'un microphone de portable Nokia :

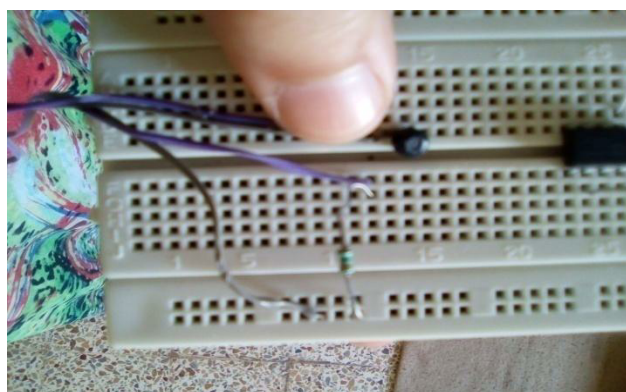


Figure 3.10 : un microphone de portable Nokia

- montage de test de microphone de portable Nokia



## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

D'après le test on obtient les mesures du tableau suivant :

<b>Fréquence (Hz)</b>	100	120	140	160	180	240	300	360	400
<b>La sortie (mV)</b>	20	200	220	330	340	450	560	600	700
<b>Fréquence (Hz)</b>	440	480	500	510	520	540	560	580	600
<b>La sortie(mV)</b>	720	750	800	820	850	900	950	1000	1050

Tableau 3.3 : la sortie tension en fonction de la fréquence et de la puissance.

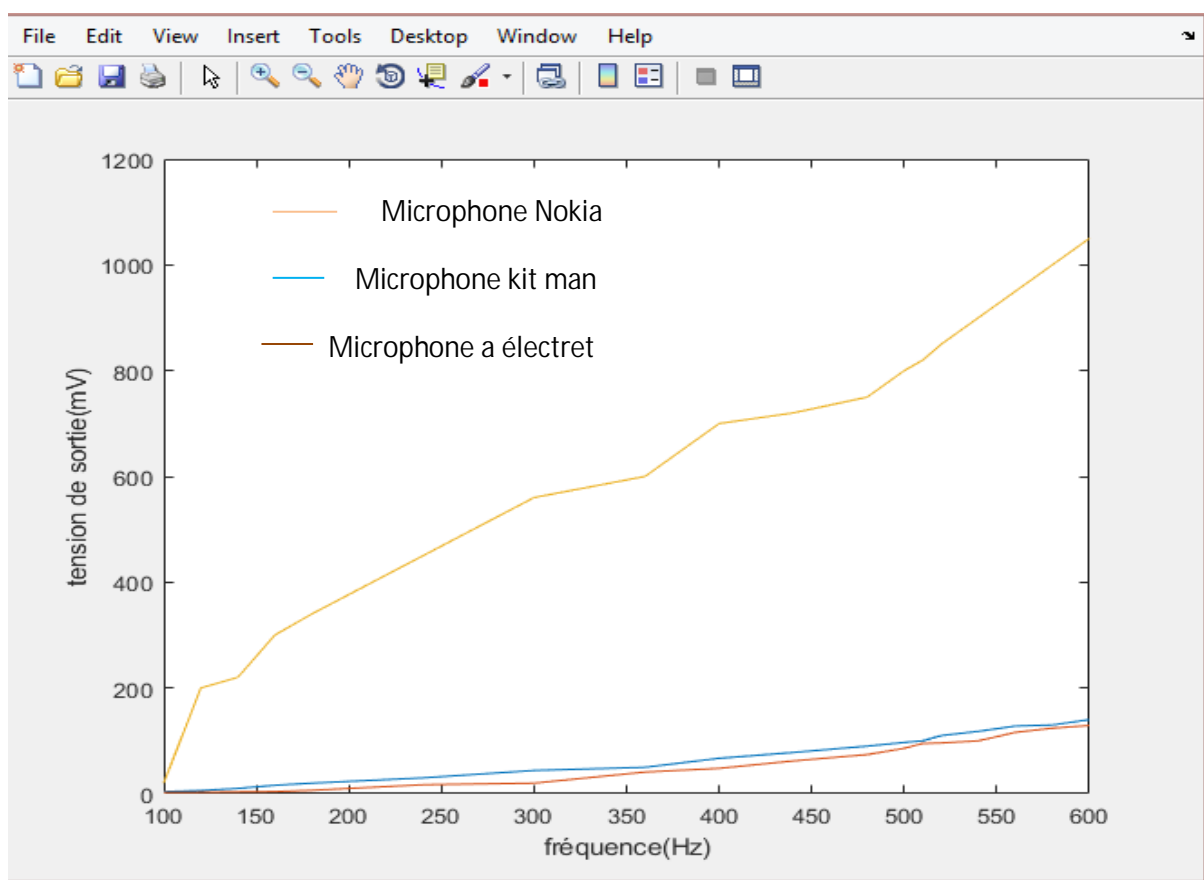


Figure 3.11 : La figure illustre la sortie (tension) de trois microphones en fonction de la fréquence.

Selon la figure 3.11 la réponse du microphone Nokia semble la plus adéquate à être utilisée.

**-Capteur de pression :**

**-Le test de capteur de pression MPX2100A et MPX2053D nous ne donne aucun résultat.**

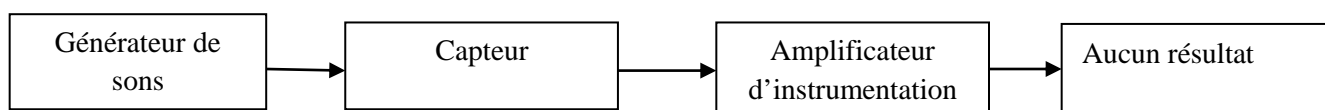


Figure 3.12: schéma bloc de test de capteur de pression.

## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

D'après le test on obtient le tableau suivant :

<b>Fréquence (Hz)</b>	100	120	140	160	180	240	300	360	400
<b>La sortie (mV)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Fréquence (Hz)</b>	440	480	500	510	520	540	560	580	600
<b>La sortie(mV)</b>	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.15

Tableau 3.4 : la sortie tension en fonction de la fréquence et de la puissance.

Le résultat est trop faible car il s'agit d'un capteur de pression aérodynamique.

**-Capteur piézoélectrique :**



Figure 3.13: capteur piézoélectrique.

Le capteur piézoélectrique est le plus couramment utilisé pour la détection des vibrations mais la non disponibilité de ce capteur nous a empêché de déterminer leur sensibilité. Selon notre expérience, le capteur NOKIA a été qualifié être le plus sensible et c'est la raison pour laquelle, le choix du capteur en terme de sensibilité est important.

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## A.1-Partie1 de l'émission/réception par l'infrarouge :

### A.1.1- Capteur de détection:

Le capteur de détection (microphone NOKIA) est placé au niveau du poignet ou de la carotide afin de donner le signal du pouls

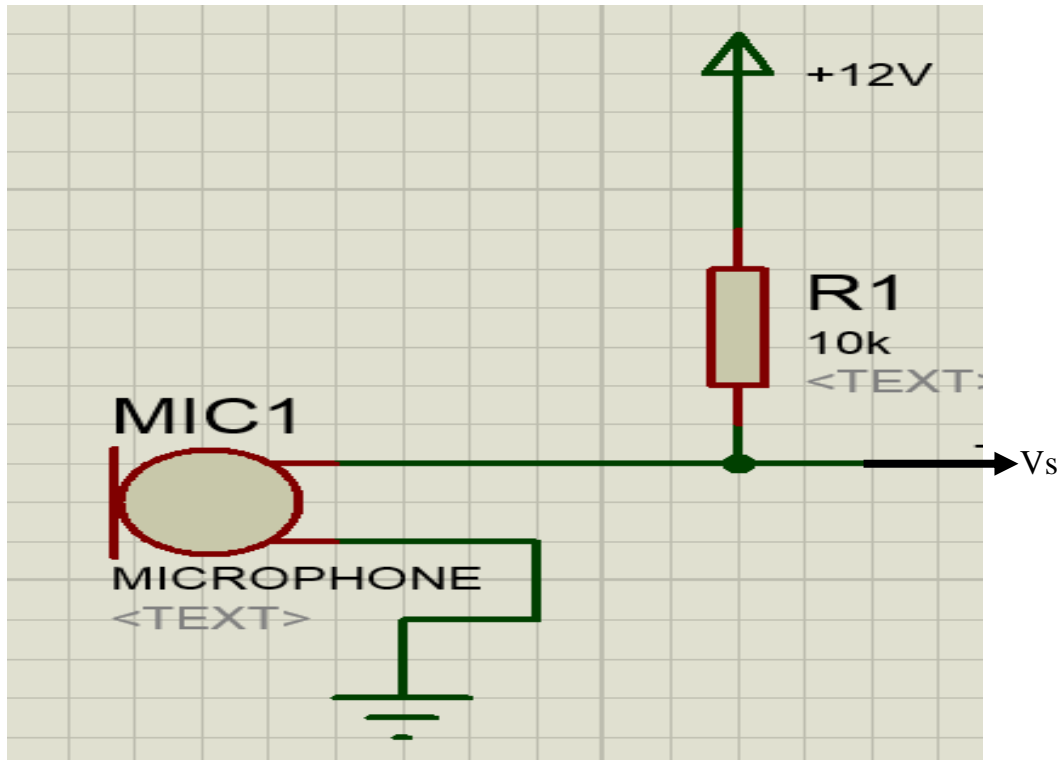


Figure 3.14: circuit électrique de détection.

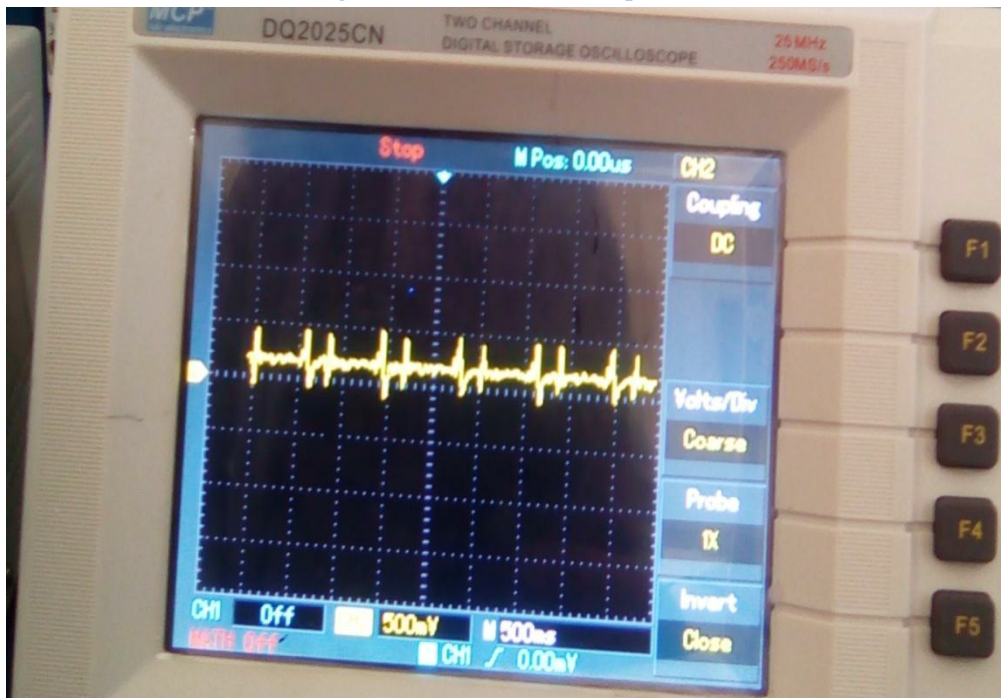


Figure 3.15: signal de sortie du microphone Nokia est haut à la ligne de base.

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## A.1.2-Circuit d'amplification :

Le signal issu du microphone est de très faible niveau. Pour cela on a placé un amplificateur non-inverseur à la sortie du détecteur dans le but d'obtenir des tensions plus importantes.

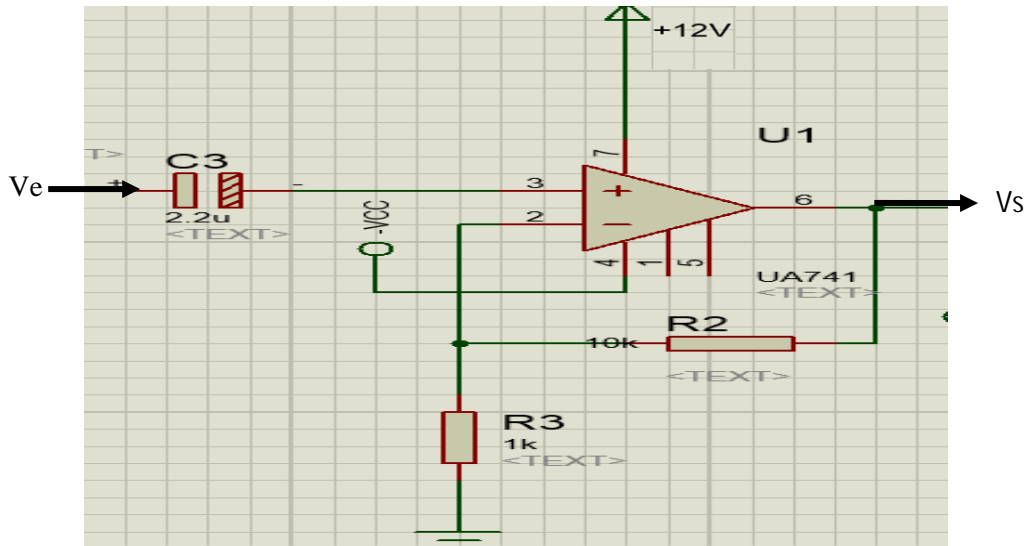


Figure 3.16: circuit d'amplification avec une capacité.

Puisque les deux entrées d'un ampli-op sont identiques alors on a :

$$\begin{aligned} V_- &= V_+ \\ [R3 / (R3 + R2)] V_s &= V_e \\ V_s / V_e &= (R3 + R2) / R3 \\ V_e &= 1 + R2 / R3 \end{aligned}$$

Alors,  $V_s / V_e = 11$ .

L'utilisation d'une capacité de 2.2uF est utilisée pour éliminer la composante DC et abaisser le signal à la ligne de base



Figure 3.17: signal de sortie d'un amplificateur.

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## A.1.3-Convertisseur fréquence/tension :

**NB.** Pour suivre la variation des battements à distance par un dispositif « Emission/Réception » à infrarouges nous avons besoin d'un convertisseur fréquence-tension. Une tension est plus facile à manipuler qu'une fréquence.

Notre convertisseur comporte un détecteur d'enveloppe, un filtre passe bas et d'un étage d'amplification.

### A.1.3.1-Détecteur d'enveloppe sans seuil :

L'utilisation d'un détecteur d'enveloppe sans seuil est nécessaire pour avoir une tension continue qui va être injecté dans la suite de circuits d'émission/réception par l'infrarouge.

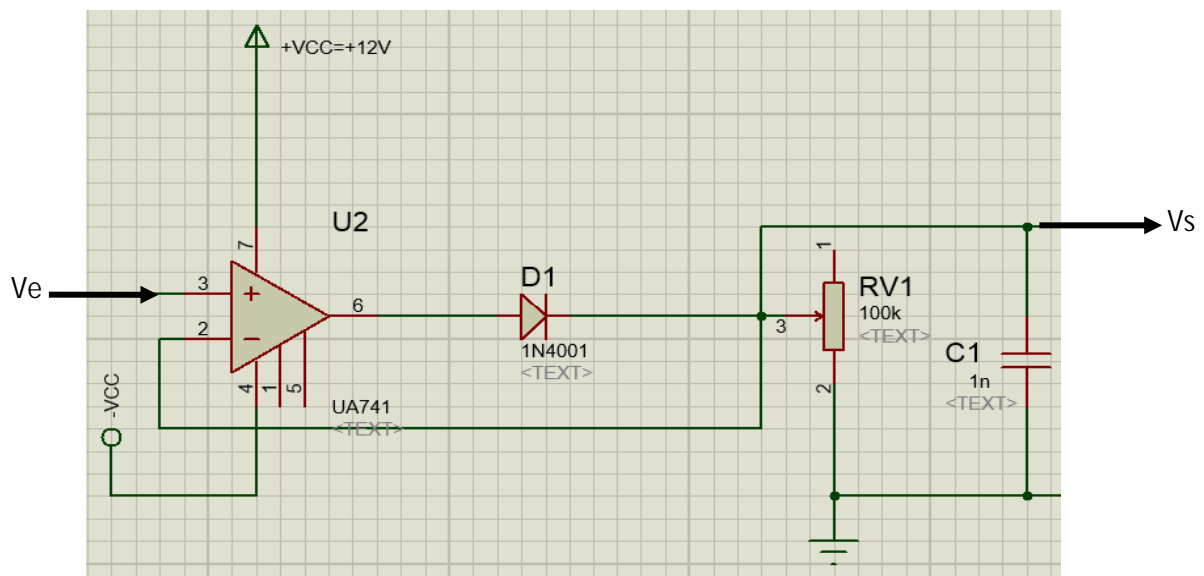


Figure 3.18: détecteur d'enveloppe sans seuil.

L'amplificateur utilise pour que la diode détecte n'importe quelle valeur sans seuil 0.3ou 0.6V.

La diode est associée à un condensateur et une résistance monte en dérivation l'un par rapport à l'autre. Ce circuit RC permet de détecter l'enveloppe.

- Pour les alternances positives la diode est passante et la tension aux bornes du condensateur est égale à celle du signal modulé.
- Lorsque la diode est bloquée, le condensateur se décharge a travers la résistance suivant la constante de temps  $\tau=RC$ .

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## A.1.3.2--Filtre passe bas :

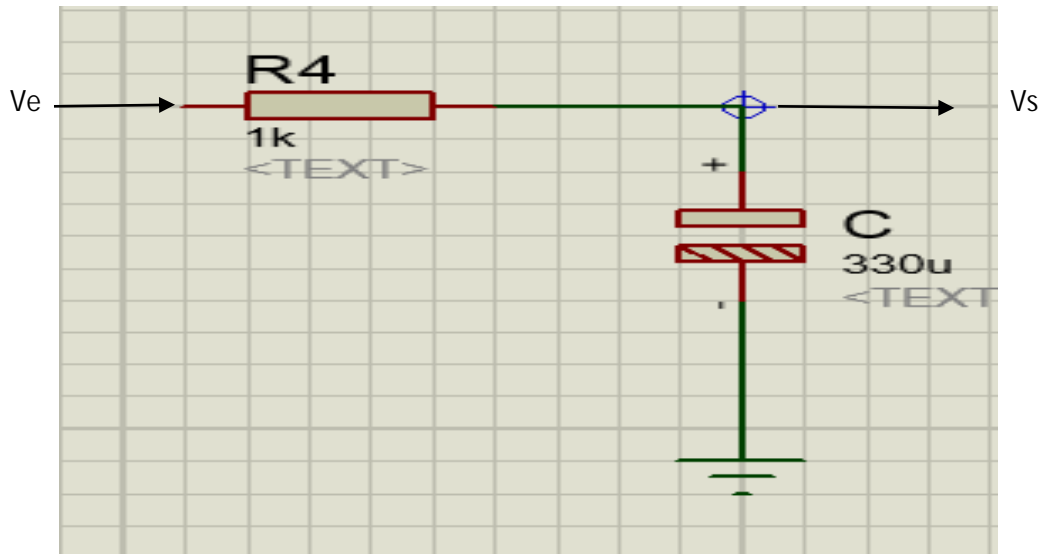


Figure 3.19: filtre passe bas.

Dans cet étage on a utilisé un filtre passe bas pour obtenir une bonne composante DC. Un filtre passe-bas est un dispositif qui possède une réponse en fréquence relativement constante (gain fixe) aux basses fréquences et un gain décroissant aux fréquences supérieures à la fréquence de coupure. La décroissance plus ou moins rapide dépend de l'ordre du filtre. La résistance et le condensateur se comportent comme un diviseur de tension idéal. [3-12] [3-13]

## A.1.3.3-Amplificateur non-inverseur:

$$Vs / Ve = (R3 + R2) / R3$$

Alors,  $Vs / Ve = 11.$

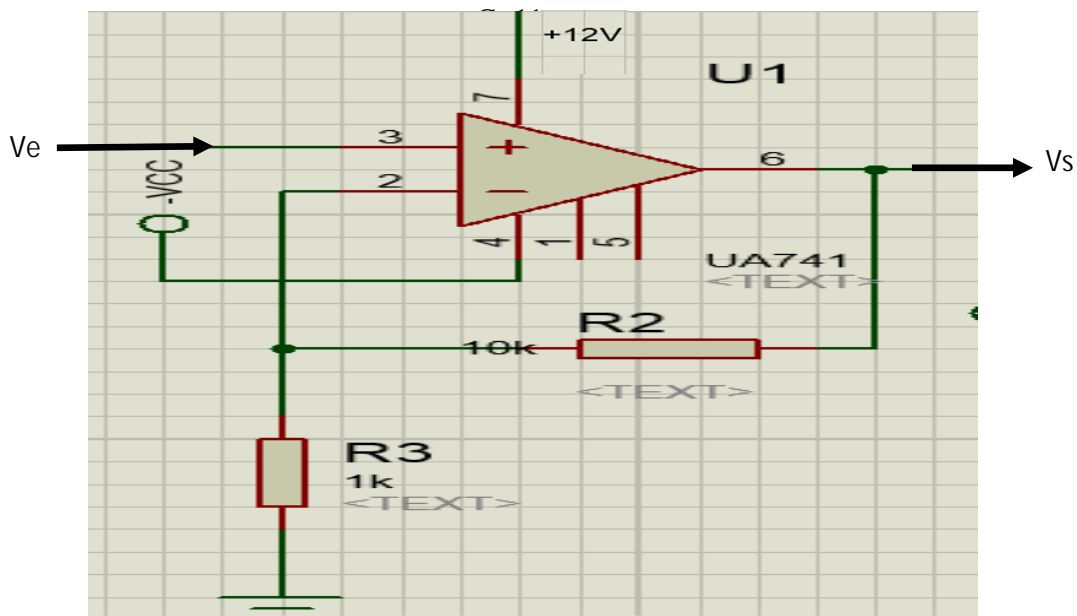


Figure 3.20:amplificateur non-inverseur.



## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls



Figure 3.21:le signal de sortie d'un convertisseur fréquence/tension.

### A.1.4- Transmission du signal par IR:

Dans cet étage on a utilisé une suite de circuits « émission/ réception » pour suivre la variation des battements à distance. (Voir annexe4)

#### A.1.4.1-Test de la distance maximale de l'émission/réception d'IR sans obstacle :

-Matériels utilisé :

- LED émettrice d'IR
- Photodiode
- 2résistance (5.6k, 330 $\Omega$ )
- Générateur d'impulsions

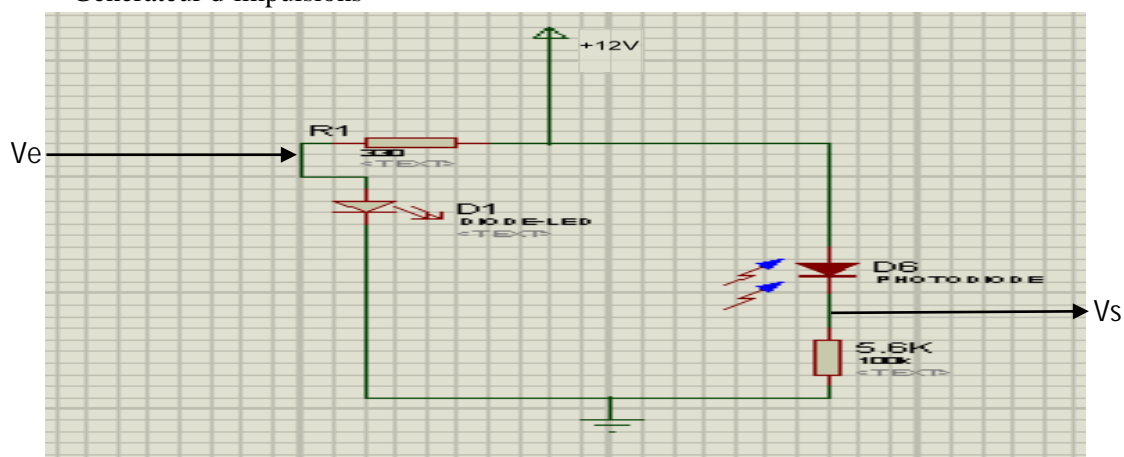


Figure 3.22:circuit d'émission réception par IR.

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## Mesures Pratiques sans lumière ambiante :

1 -Pour étudier la distance en fonction de la tension d'alimentation, nous varions la tension d'alimentation de la diode LED émettrice de 1 à 12V et nous stabilisons la fréquence sur 1.08 (Le choix de fréquence est limité de 1 à 2Hz car la fréquence cardiaque du cas normal est comprise entre 1 et 2 Hz). Photodiode alimenté par 8.8V.

Tension d'alimentation(V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
La distance max (cm)	0	0	14	27	29	35	39	42	48	52	78	80

Tableau 3.5: la distance max entre LED émettrice et la photodiode en fonction de tension d'alimentation de LED émettrice.

Remarque1 :Le tableau 3.4 nous permet de choisir la tension d'alimentation 12V car on obtient la distance la plus grande (80cm)

2- On fixe la tension d'alimentation de LED émettrice ( $V_{cc}= 12V$ ) et on opère les mesures suivantes :

La distance (cm)	4	8	12	16	20	24	28	32	36	42	44	48	52	56	60	64	72	76	80
La tension de sortie (V)	5.8	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.3	5.2	5	5	2	2	1	1	0.4	0.6	0.2	0.2	0.1

Tableau 3.6 : la sortie en fonction de la distance avec tension d'alimentation 12V.

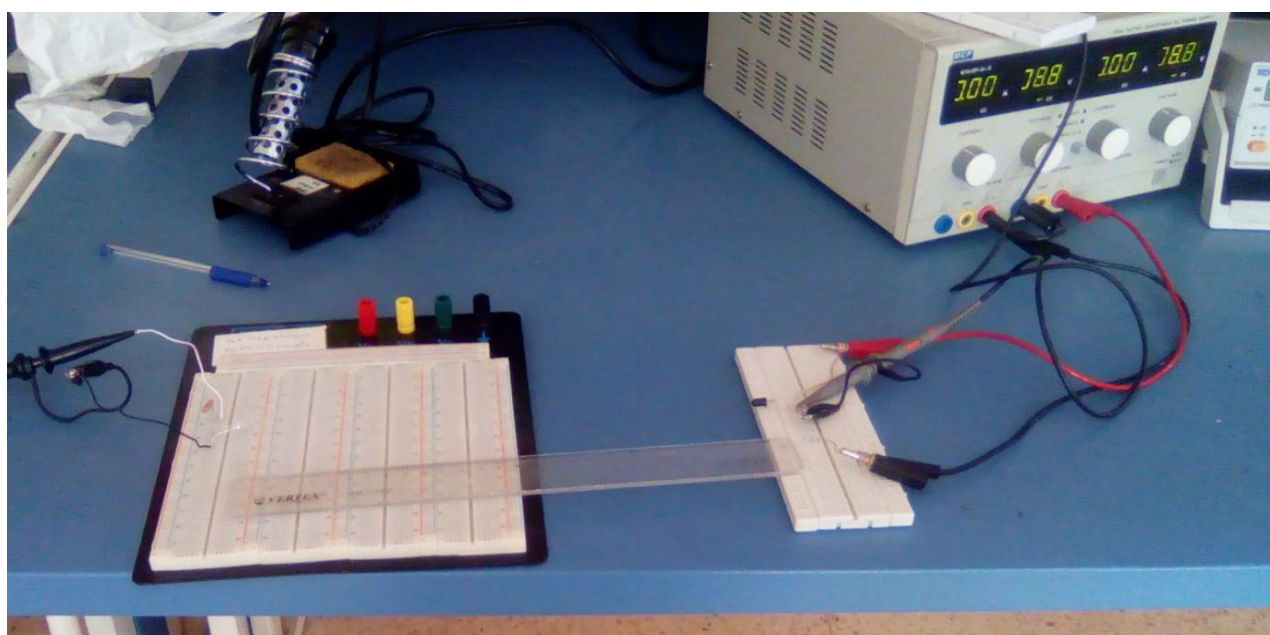


Figure 3.23: montage émission/réception par IR au laboratoire.



## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

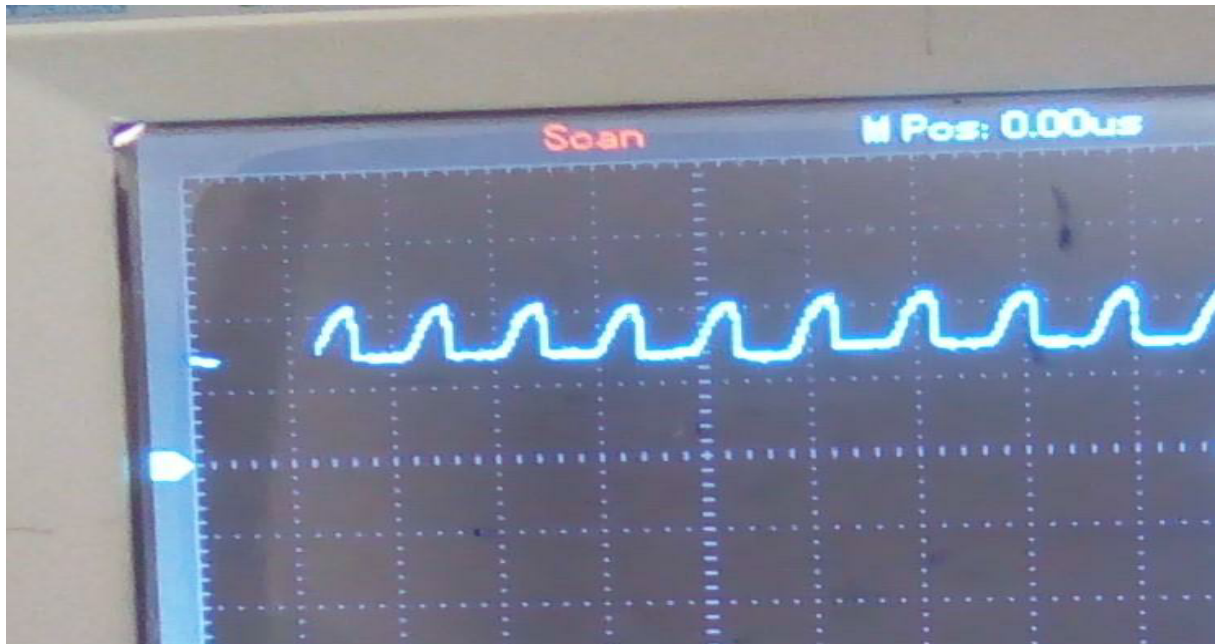


Figure 3.24:le signal de sortie de photodiode après l'impulsion de l'IR avec distance 64cm en présence de la lumière ambiante.

Remarque 2 :

L'influence de lumière ambiante sur le montage émission/réception par IR :

-on remarque qu'en présence de la lumière le signal de sortie est en haut par rapport a la ligne de base par contre en l'absence de lumière ambiante on remarque que le signal est sur la ligne de base.

Donc la lumière ambiante fait ajouter une composante DC à notre signal utile.

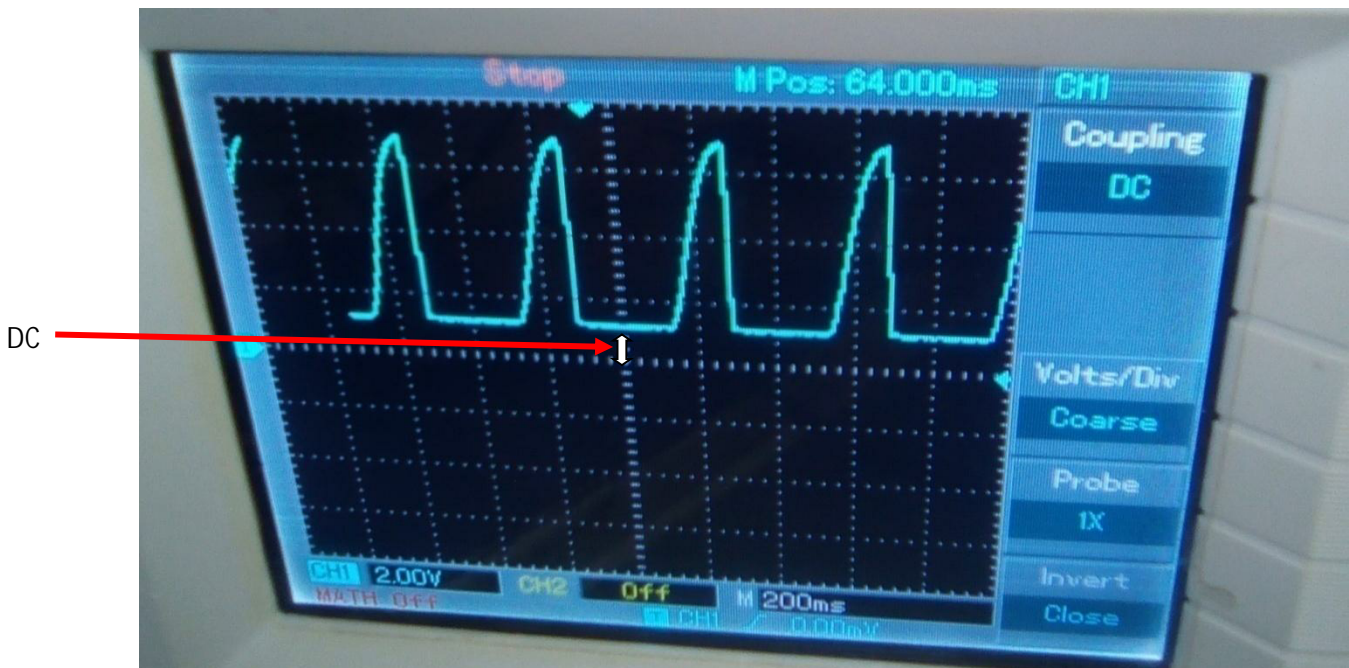


Figure 3.25:le signal après l'impulsion de l'IR avec distance 3cm en présence de lumière ambiante.

## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

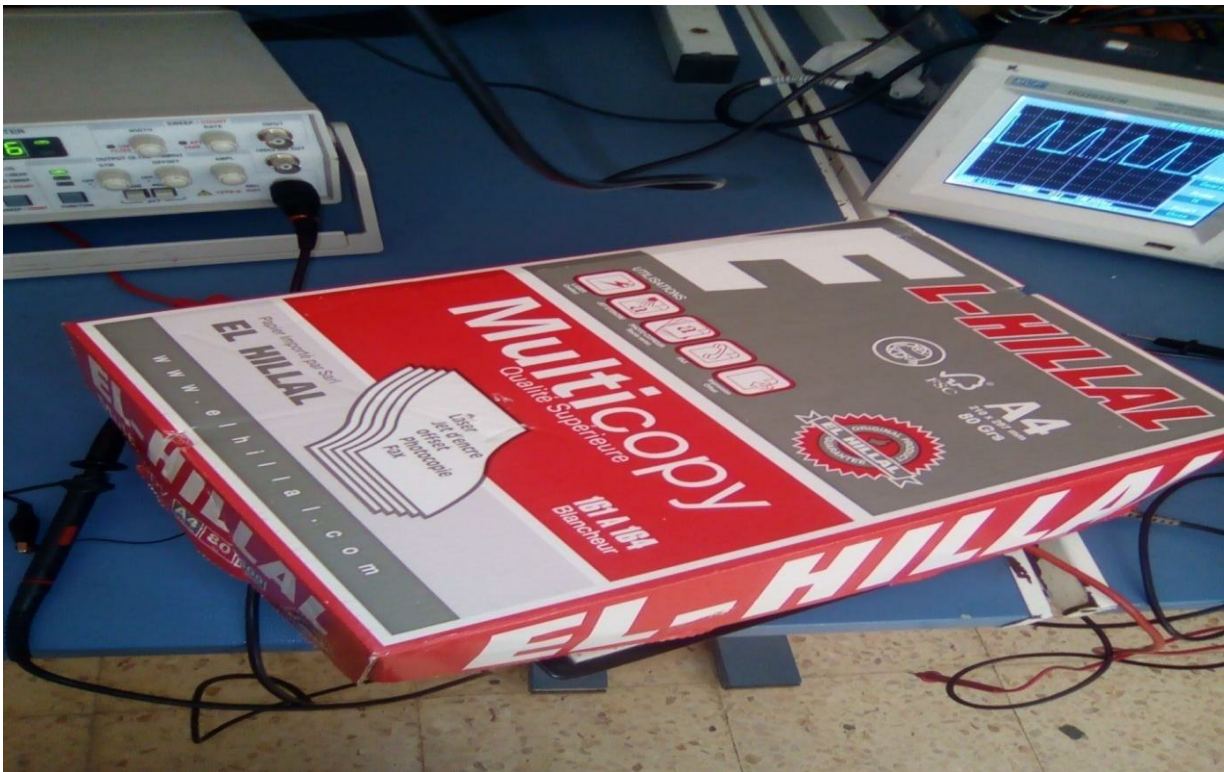


Figure 3.26: Isoler le montage de la lumière ambiante.

Remarque 3 : La composante DC qui apparaît en présence de la lumière ambiante à une valeur constante de 1,2 V qui peut être supprimée à l'aide d'un soustracteur à la sortie du circuit émission/réception d'IR.

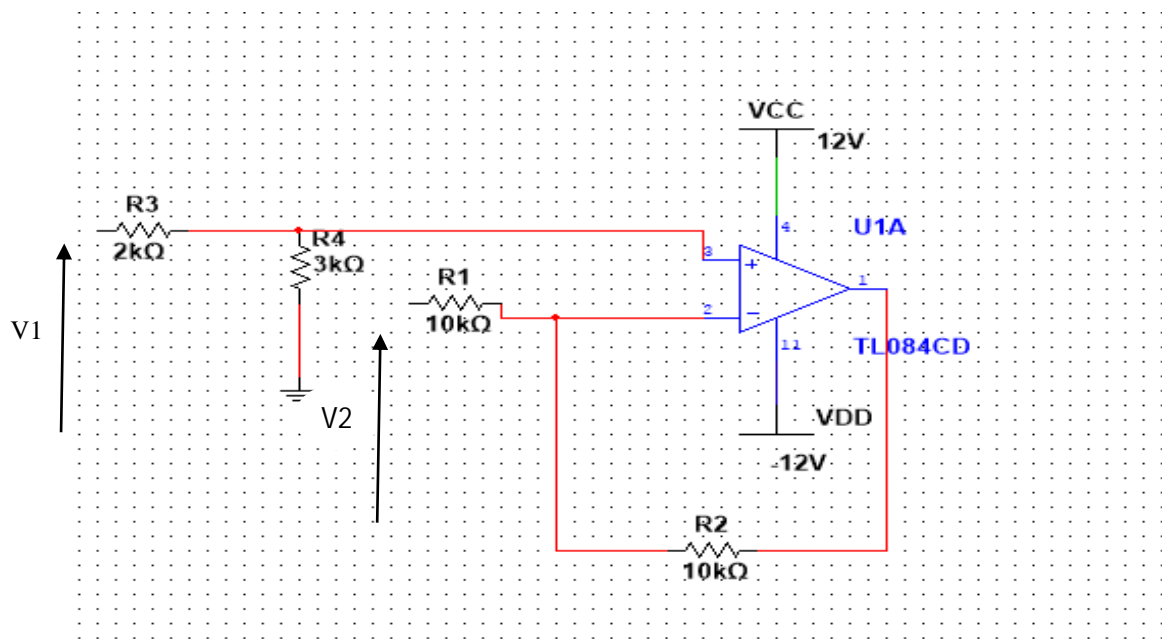


Figure 3.27 : Amplificateur soustracteur



## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

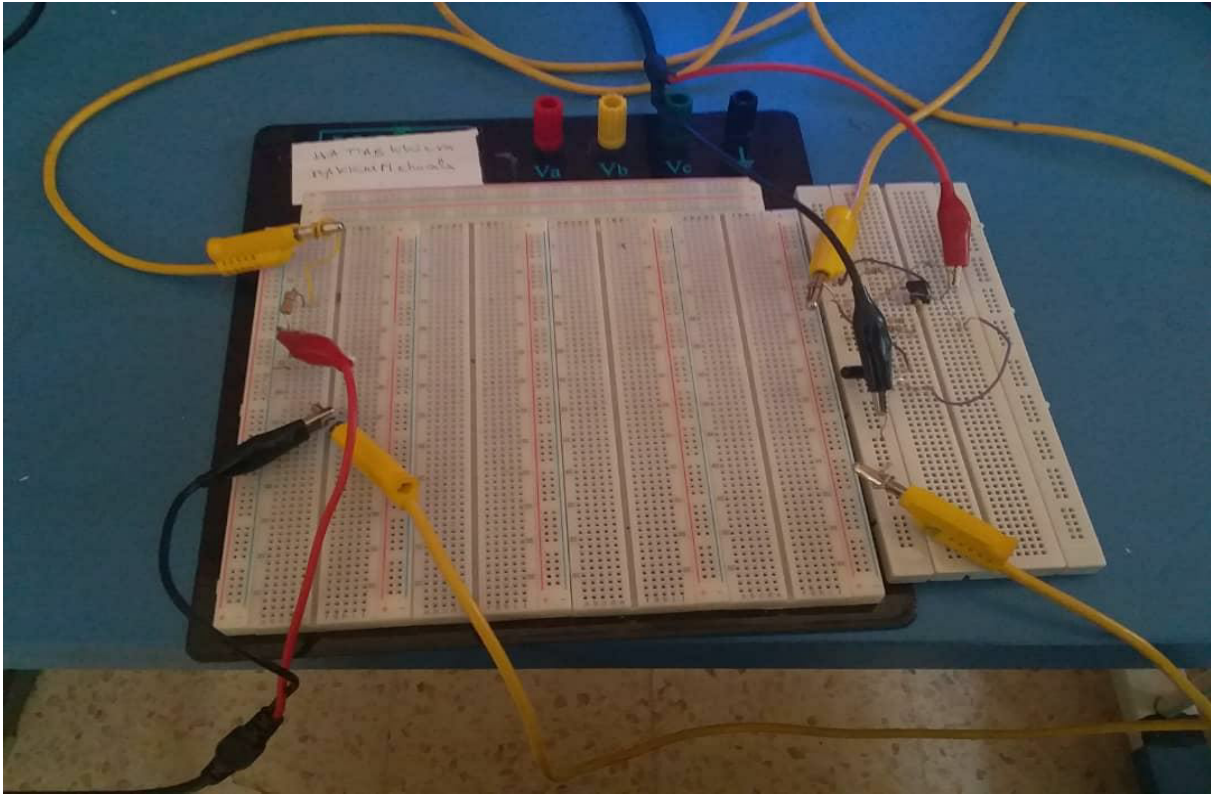


Figure 3.28: Isoler le montage de la lumière ambiante avec l'utilisation d'un soustracteur.



Figure 3.29: le signal après l'impulsion de l'IR avec distance 3cm en absence de lumière ambiante.

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## A.1.4.2-L'utilisation d'une suite de circuits d'émission/ réception IR pour suivre la variation des battements à distance :

### -Trois circuits émission-réception par IR avec distance différents :

Nous avons transmis notre signal à partir de l'utilisation d'un seul circuit émetteur – récepteur à infrarouge puis deux puis trois et on a mesuré les distances maximales obtenues aux niveaux des différents récepteurs (voir tableau 3.7).

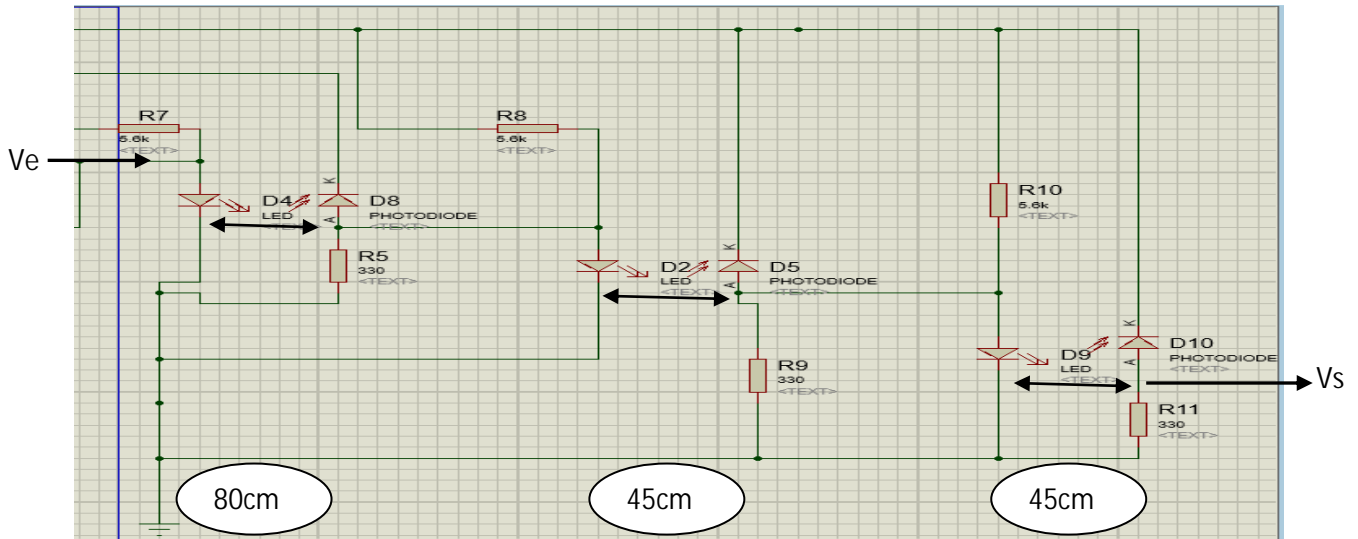


Figure 3.30 : circuit électrique d'une suite de circuit d'émission/ réception par IR.

### -Nous avons étudié la distance maximale entre l'émetteur et le récepteur en fonction de nombre des circuits :

Nombre de circuits IR	La distance maximale entre l'émetteur et le récepteur
1	80 cm
2	125 cm
3	170 cm

Tableau 3.7: la tension de sortie en fonction de la fréquence.

« Nous remarquons clairement que la distance augmente en fonction du nombre de circuits émetteur – récepteur à infrarouge utilisés »

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## 1-Mesure de sortie au niveau de récepteur IR avec 1circuit IR (80cm)



Figure 3.31: schéma bloc de 1circuit IR (80cm).

Fréquence(Hz)	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.5
Tension de sortie (V)	10.6	10.3	10	8.4	8.3	8	7.9	7.5	6.8	5.6	4.5	4	3.5

Tableau 3.8: la tension de sortie en fonction de la fréquence.

## 2- Mesure de sortie au niveau de récepteur IR avec 2 circuits IR (125 cm)

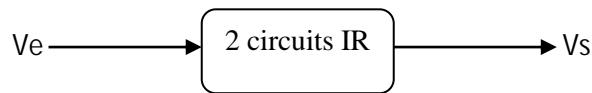


Figure 3.32: schéma bloc de 2circuit IR (125cm).

Fréquence(Hz)	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.5
Tension de sortie (V)	9.7	9.5	9.2	7.8	7.5	7.3	7	6.8	6.5	5.4	4.3	4	4.1

Tableau 3.9: la tension de sortie en fonction de la fréquence.

## 3- Mesure de sortie au niveau de récepteur IR avec 3 circuits IR (170 cm)

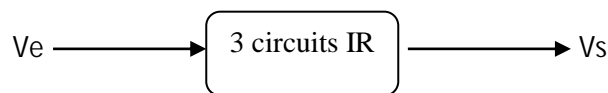


Figure 3.33: schéma bloc de 3 circuits IR (170 cm).

Fréquence(Hz)	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.5
Tension de sortie (V)	8.5	8.3	8	7.3	7	6.9	6.7	6	6.5	4.9	4	3.8	3

Tableau 3.10: la tension de sortie en fonction de la fréquence.

## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls



Figure 3.34:circuit électrique d'une suite de circuit d'émission/ réception par IR au laboratoire.

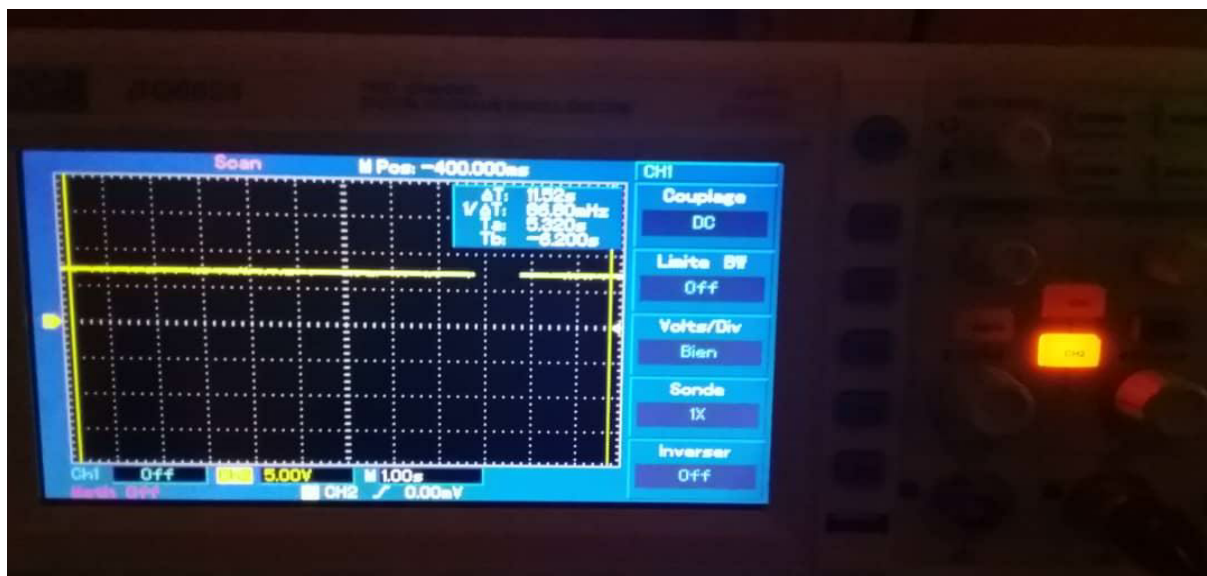


Figure 3.35:notre signal de sortie d'une suite de circuit d'émission/réception de l'IR.



# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

## A.2-Partie2 de l'émission/réception par l'infrarouge :

### A.2.1- Générateur d'impulsion :

On utilise le GBF pour qui va nous générer un signal impulsionnel pour remplacer le signal du pouls. On fait varier la fréquence de ce signal impulsionnel afin de faire varier le nombre de battements cardiaques et ainsi simuler des cas « normaux » ou « pathologiques » de l'activité cardiaque.

### A.2.2-Convertisseur fréquence/tension :

Une tension continue étant plus commode à manipuler nous allons donc utiliser un convertisseur fréquence-tension

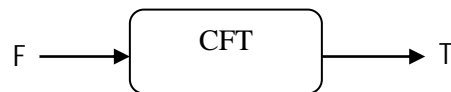


Figure 3.36: schéma bloc de la conversion de fréquence en fonction de tension.

La tension continue obtenue doit être proportionnelle à la fréquence du signal impulsionnel.

Méthode de calcul des fréquences :

**F normal** =  $100/60=1.66\text{Hz}$  ; **F tachycardie**= $150/60=2.5\text{Hz}$  ; **F bradycardie**= $40/60=0.66\text{Hz}$

C'est la conversion de fréquence en tension après l'amplification et suite de circuit émission réception :

Nombre des battements par minute	40	100	150
Fréquence(Hz)	0.66	1.66	2.5
La tension en (V)	8	6	3

Tableau 3.11: résultat de conversion fréquence/tension.

### Les mesures au niveau de laboratoire:



Figure 3.37:Générateur de fréquence affiche 0.66Hz(40bpm).

## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

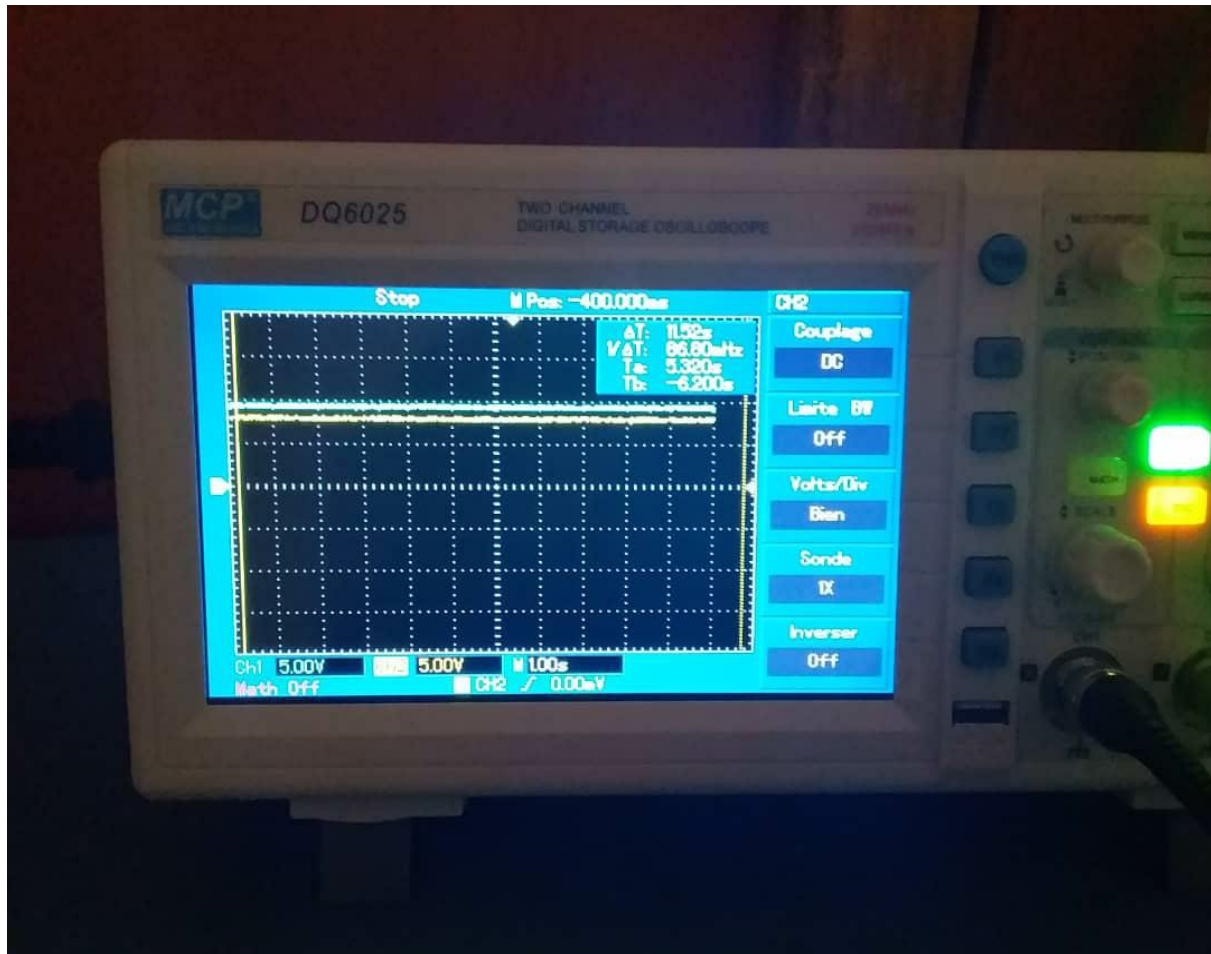


Figure 3.38 : affichage du signal de sortie de CFT et au niveau de récepteur IR (0.66Hz →40bpm)

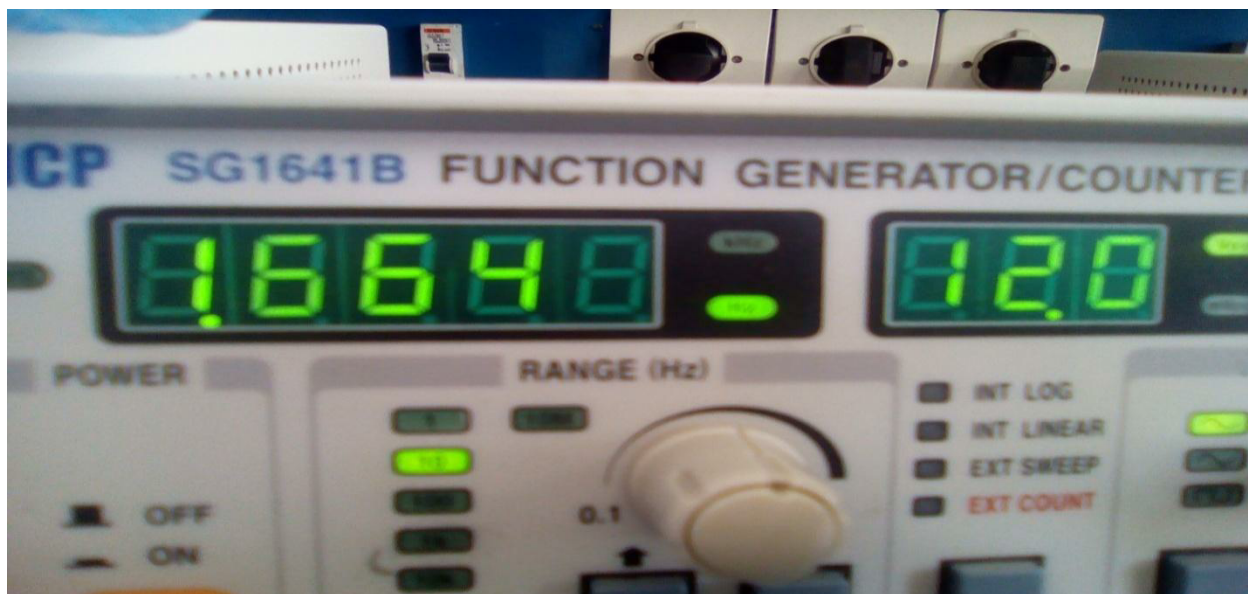


Figure 3.39: générateur de fréquence affiche 1.66Hz (100bpm).



## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

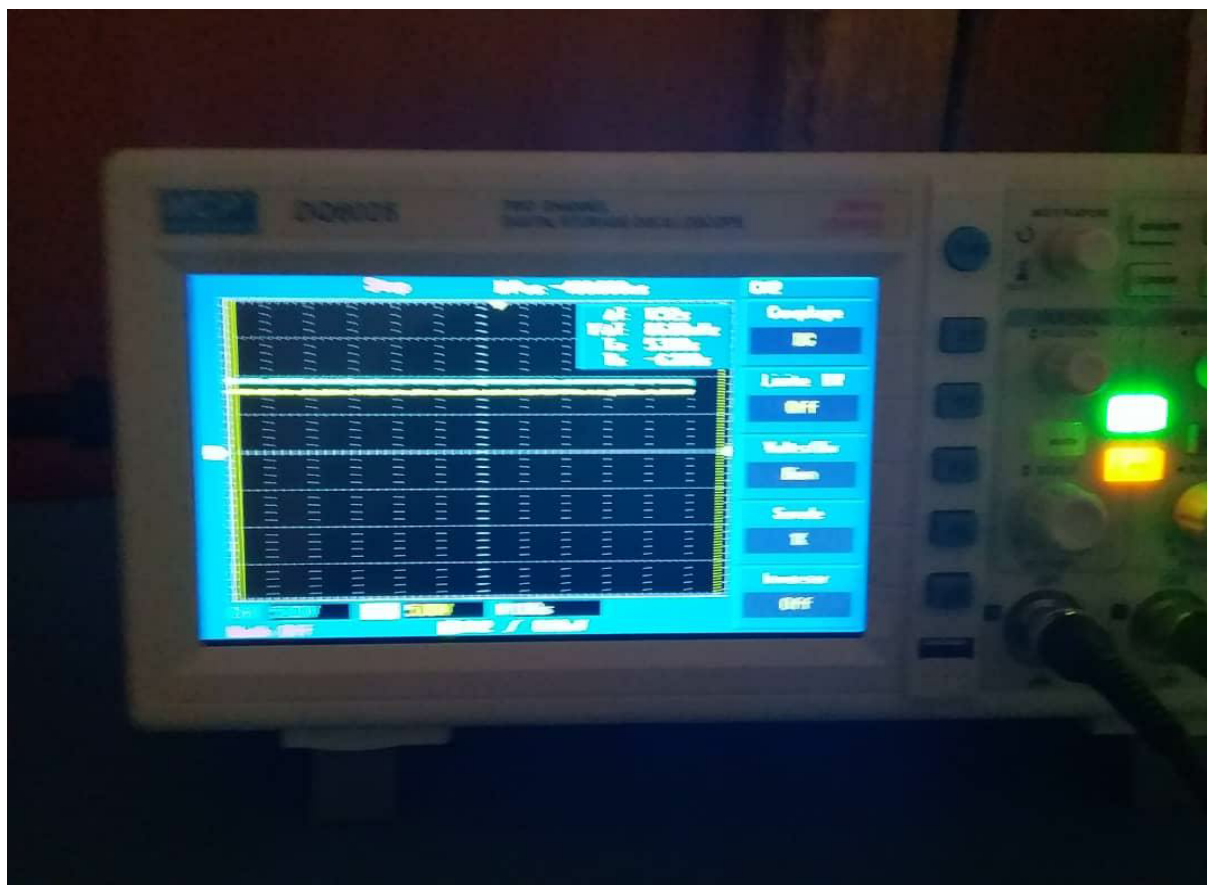


Figure 3.40: affichage du signal de sortie de CFT et au niveau de récepteur IR (1.66Hz→100bpm)

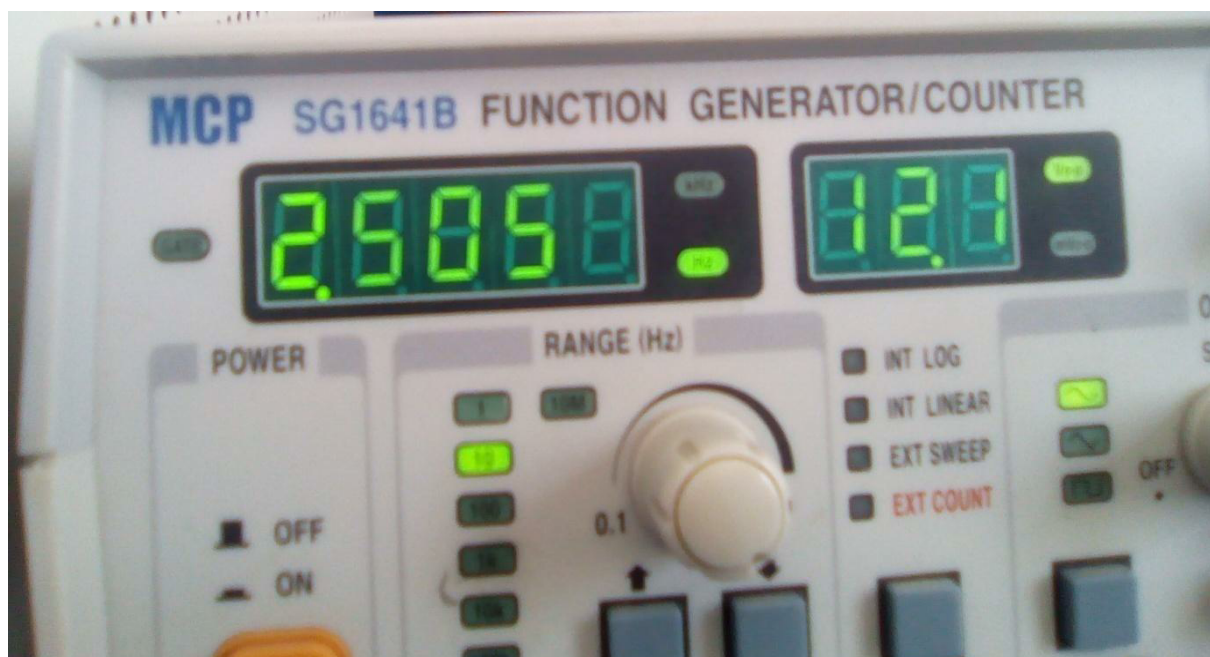


Figure 3.41: générateur de fréquence affiche 2.5Hz (150bpm).

## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

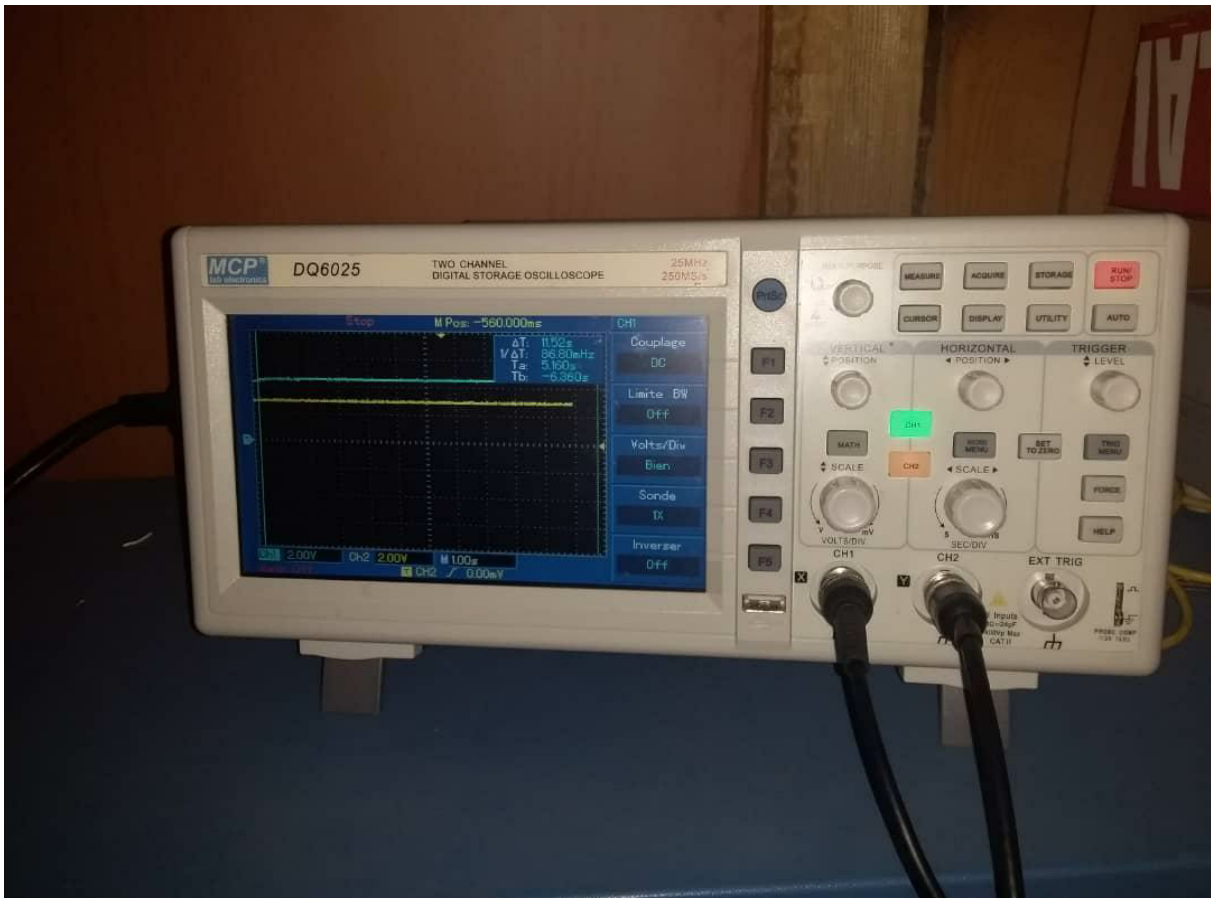


Figure 3.42 : affichage du signal de sortie de CFT et au niveau de récepteur IR (2.5Hz → 150bpm)

### A.2.3-- Système d'alarme sonore et visuel :

#### A.2.3.1-Comparateur à fenêtres :

Les entrées de notre comparateur sont les tensions seuils correspondants aux 70 et 120 bat/min. Ces entrées (entrées de seuils) sont obtenues à l'aide de deux diviseurs de tension, le premier relié au +Vcc pour obtenir la tension « 4.9V », et le deuxième avec +Vcc pour « 7.1V ». Le comparateur va comparer cette tension avec la tension des seuils selon la logique suivante :

- Si  $V_e < 4.9v$  → la sortie du comparateur 1 est à 1. (Cas de la pathologie).
- Si  $V_e > 4.9V$  → la sortie du comparateur 1 est à 0.
- Si  $V_e > 7.1V$  → la sortie du comparateur 2 est à 1. (Cas de la pathologie).
- Si  $V_e < 7.1V$  → la sortie du comparateur 2 est à 0. (Cas de normale).

#### A.2.3.2-LED et buzzer:

Les sorties du comparateurs sont reliés à des LEDs, en cas de pathologie une LED rouge va s'allumer, en cas normale une verte. Les sorties des comparateurs sont aussi reliées à un buzzer à travers une porte OR. C'est-à-dire que dans le cas pathologie le buzzer sera activé.

# Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

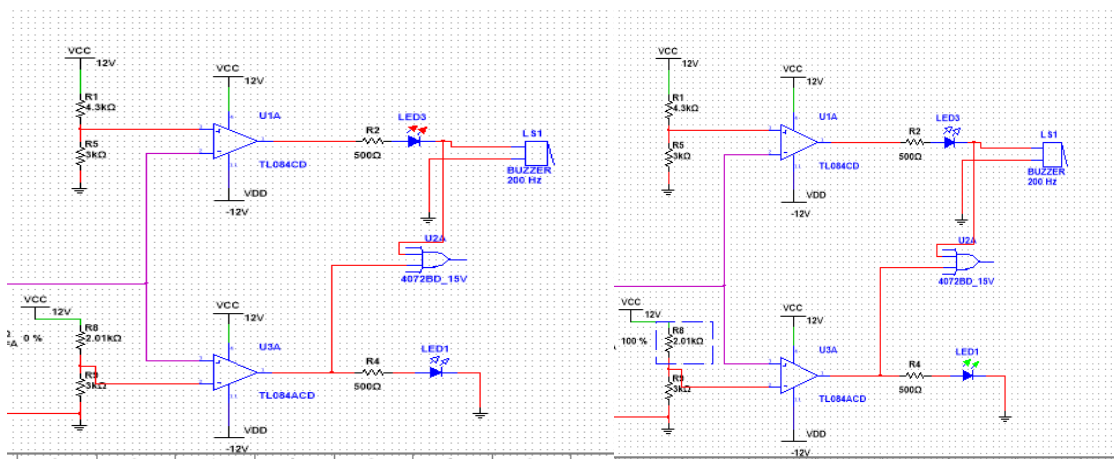


Figure 3.43:circuit complet de système d'alarme dans le cas normale et pathologie.

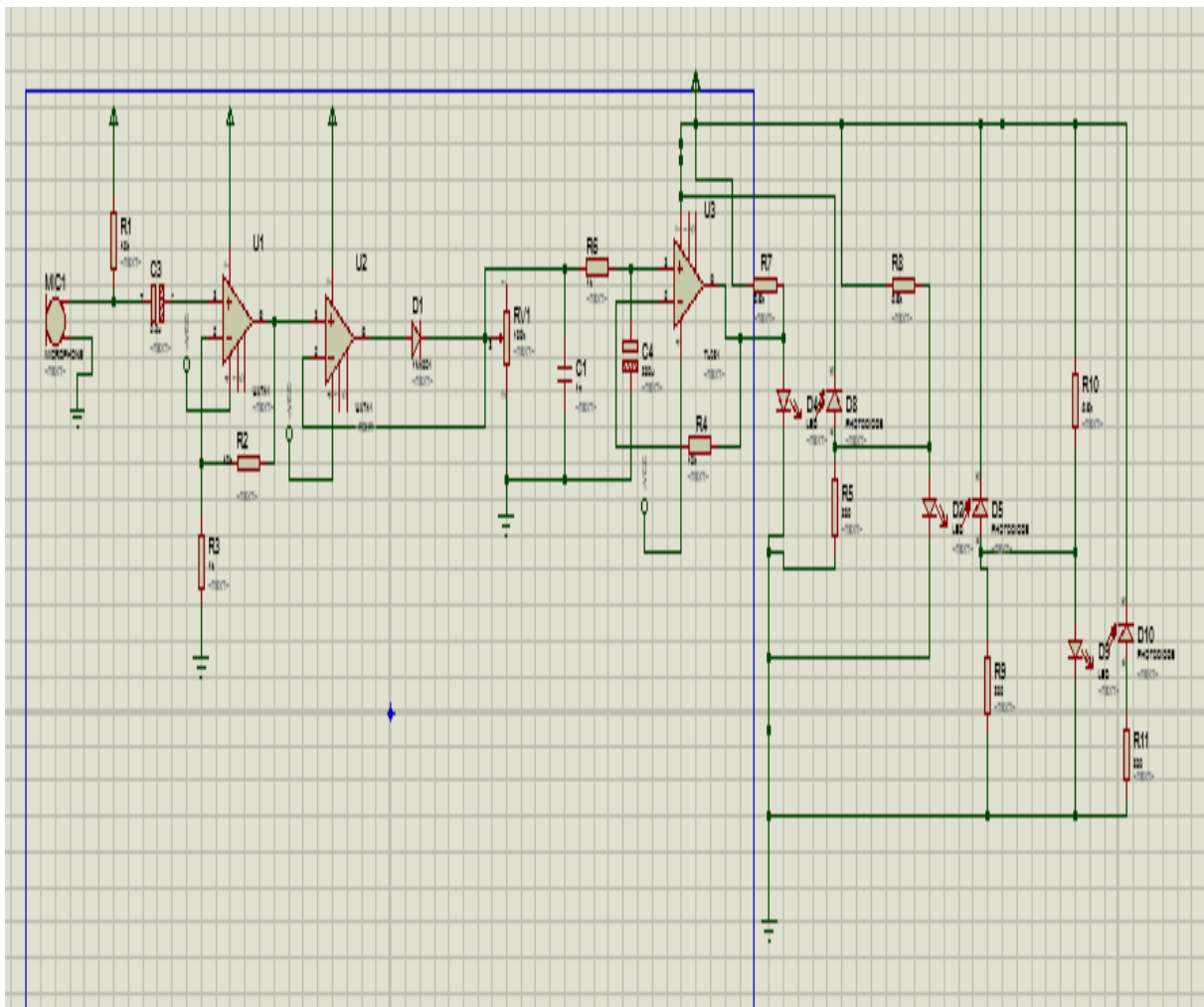


Figure 3.44:circuit complet de l'émission/réception par IR.

## Chapitre03 : Etude pratique de dispositif de détection et de contrôle du pouls

---

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats que nous avons obtenus dans notre projet de fin d'études. Les résultats obtenus sont probants. Un microphone détecte le pouls au niveau du cou et nous donne un signal acoustique transmis par infrarouge. Le générateur d'impulsions a été utilisé afin de simuler un signal cardiaque dans le cas normal et pathologique. Un circuit d'alarme lumineux utilisant deux LEDs de couleurs différentes (verte pour le cas normal et rouge pour le cas pathologique) et un circuit d'alarme sonore utilisant un buzzer n'intervenant qu'en cas de pathologie.

### **Remarque :**

Pour augmenter la distance d'émission entre l'émetteur et le récepteur nous avons testé une émission –réception par radio fréquence (RF) qui a donné de bons résultats (100m sans obstacles et 30m avec obstacles). Le manque de temps nous a empêchés de parachever cette partie. La partie pratique effectuée de cette partie est représentée en annexe1

L'utilisation de la fibre optique (annexe 5) peut être une autre solution pour augmenter la portée d'émission.

## Références bibliographiques

- [1] : Mr Djebbari.A << cour les capteurs>> Université Abou Bakr Belkaïd 2016 .
- [2] : Franck Robichon <<Les capteurs >> Lycées E.Pérochon et J.Desfontaines, section Sciences de l'Ingénieur; 2008.
- [3] :  
[file:///C:/Users/MICRO/Downloads/Documents/Generalites\\_sur\\_les\\_capteurs.pdf](file:///C:/Users/MICRO/Downloads/Documents/Generalites_sur_les_capteurs.pdf).
- [4] : [file:///C:/Users/MICRO/Downloads/Documents/capteurs\\_generalites.pdf](file:///C:/Users/MICRO/Downloads/Documents/capteurs_generalites.pdf).
- [5] : Georges Asch et collaborateurs << les capteurs en instrumentation industrielle>>, édition Dunod, 1991.
- [6] : Lous Couffignal, capteur et régulation, lycée polyvalent,2005-2006.
- [7] :  
[www.univorleans.fr/mapmo/membres/maitine/MASTER2/FAP/exposeFAP.pdf](http://www.univorleans.fr/mapmo/membres/maitine/MASTER2/FAP/exposeFAP.pdf).
- [2-1] : [www.hdeveloptech.com/](http://www.hdeveloptech.com/) +//[www.youtube.com/capteur](http://www.youtube.com/capteur) partie 1.
- [2-2] : [www.omega.co.uk/prodinfo/StrainGauges.html](http://www.omega.co.uk/prodinfo/StrainGauges.html) .
- [2-3] : [www.datasheetspdf.com/datasheet/search.php?sWord=mpx2100a](http://www.datasheetspdf.com/datasheet/search.php?sWord=mpx2100a).
- [2-4]: [www.researchgate.net/.../255591884\\_APPLICATION\\_OF\\_PIEZOELCTRIC](http://www.researchgate.net/.../255591884_APPLICATION_OF_PIEZOELCTRIC).
- [2-5 ]: [en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectric\\_sensor](http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectric_sensor).
- [2-6]: [www.learningaboutelectronics.com/Articles/Electret-microphones](http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Electret-microphones).
- [2-7]: [en.wikipedia.org/wiki/Electret\\_microphone](http://en.wikipedia.org/wiki/Electret_microphone).
- [2-8] : [www.diapovision.com/articles/micros\\_electret.htm](http://www.diapovision.com/articles/micros_electret.htm).
- [2-9] : Mr.Belmir .M et Mr .Fellah. « A. étude et réalisation d'une Barrière infrarouge ».
- [3-10] :/en.wikipedia.org/wiki/Radio\_wave+<https://telectronica.com/en/como-funciona-la-radiofrecuencia/>
- [3-11]:[en.wikipedia.org/wiki/RF\\_module](http://en.wikipedia.org/wiki/RF_module).
- [3-12]:[www.groupepolymtl.ca/mec6405/Labo%20A06/Filtres%20passe-bas.pdf](http://www.groupepolymtl.ca/mec6405/Labo%20A06/Filtres%20passe-bas.pdf)
- [3-13] :[ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/cours\\_elec/filtres.pdf](http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/cours_elec/filtres.pdf)

**Conclusion ET perspectives:**

## Conclusion et perspectives

Nous avons réalisé un dispositif de détection et contrôle du pouls ;le prototype comprend essentiellement deux parties :

- Pour la détection du pouls au niveau carotide par microphone NOKIA on a :
  - A-Transmission de notre signal par IR.
  - B-Transmission de notre signal par RF433MHz.
- Pour étudier le cas normal et pathologie :
  - Un générateur d'impulsion pour simuler le signal électrique cardiaque.
  - Un convertisseur fréquence/tension.
  - Une suite de circuits émission/réception par IR (trois circuits).
  - Un circuit d'alarme pour alerter en cas pathologie ou normale.

Un microphone Nokia utilise pour détecte le pouls au niveau carotide puis la transmission du signal obtenue par une suite de circuits d'émission/réception par l'infrarouge avec distance 1.70m sans obstacle ou par radio fréquence de distance 100m sans obstacle et 30m avec l'obstacle.

Le générateur d'impulsion génère un signal impulsionnel à fréquence qu'on peut varier. Dans notre étude, on y est allé vers les fréquences les plus élevées (cas pathologie) ou des fréquences normales (cas normale).

On a deux alarmes : visuelle (deux LEDs). Les impulsions sont introduites dans un circuit de conversion fréquence-tension. La sortie du convertisseur est branchée avec une suite d'un circuit émission/réception à l'infrarouge puis un comparateur à fenêtre où on a fixé les deux seuils limitant la plage des fréquences maximale et normale. Quand la sortie du convertisseur est inférieure au seuil maximale (cas de la pathologie) la LED rouge est allumée et quand elle est au seuil normale, la LED verte est alors allumée (cas normale). Et dans le cas pathologie un buzzer sera activé.

Des améliorations peuvent être opérées sur le prototypage réalisé. Il s'agit d'ajouter un système d'alarme pour la détection du pouls par RF et d'un ajout indispensable de moyen de transmission à distance (les fibres optiques) ainsi qu'une communication en temps réel avec un PC pour sauvegarder et suivre les variations continues de fréquence cardiaque, en vue de permettre le contrôle et la bonne gestion de l'ensemble.

On peut ainsi ajouter un autre circuit émission/réception pour augmenter la distance au maximum. En plus de ses améliorations, une nouvelle retouche peut enrichir ce dispositif. D'autres études plus élargies, à mon sens, pourraient faire l'objet de recherches et d'investigations par les futurs candidats, et ce dans le cadre de nouveaux projets relatifs à l'Instrumentation Biomédicale.

**Annexes :**



# Annexe 1

## Dispositif de détection et du contrôle du pouls par radiofréquence :

### - Notion générale sur les ondes radio fréquence :

#### 1-Définition :

Les ondes de radiofréquence (RF) sont générées lorsqu'un courant alternatif traverse un matériau conducteur. Les ondes sont caractérisées par leur fréquence et leur longueur. La fréquence est mesurée en hertz (ou cycles par seconde) et en mètres (ou centimètres). Les ondes radio sont des ondes électromagnétiques qui se déplacent à la vitesse de la lumière dans l'espace libre. [3-10]

#### 2-Radiofréquence :

Le terme **radiofréquence** (souvent abrégé en RF) désigne les ondes **radio** dont le spectre est situé entre 3 kHz et 300 GHz, ce qui inclut les **fréquences** utilisées par différents moyens de radiocommunication, notamment la téléphonie mobile, le Wi-Fi ou la radiodiffusion, ainsi que des signaux destinés à d'autres usages ... [3-10] c.-à-d. :RF est élément du spectre électromagnétique compris entre 3 kHz et 300 GHz, permettant la transmission d'ondes radio.

#### 3-Module RF (module radiofréquence) : [3-11]

Est (généralement) un petit appareil électronique utilisé pour transmettre et / ou recevoir des signaux radio entre deux appareils. Dans un système intégré, il est souvent souhaitable de communiquer avec un autre appareil sans fil. Cette communication sans fil peut être réalisée par communication optique ou par communication radiofréquence (RF).

Dans notre projet nous avons utilisé module radio de fréquence 433 MHz.

#### 4-Types de modules RF:

Le terme module RF peut être appliqué à de nombreux types, formes et tailles de cartes de circuits imprimés de petits sous-ensembles électroniques. Il peut également être appliqué aux modules à travers une énorme variation de fonctionnalités et de capacités. Les modules RF intègrent généralement une carte de circuit imprimé, un circuit d'émission ou de réception, une antenne et une interface série pour la communication avec le processeur hôte.

La plupart des types standard et bien connus sont traités ici:

##### 4.1-Module émetteur :

Un module émetteur RF est un petit sous-ensemble de circuits imprimés capable de transmettre une onde radio et de moduler cette onde pour transporter des données

#### 4.2-Module récepteur :

Un module récepteur RF reçoit le signal RF modulé et le démodule. Il existe deux types de modules récepteurs RF: les récepteurs superhétérodynes et les récepteurs super-régénératifs. Les modules super-régénératifs sont généralement des conceptions à faible coût et à faible consommation d'énergie qui utilisent une série d'amplificateurs pour extraire des données modulées d'une onde porteuse. Les modules super-régénératifs sont généralement imprécis car leur fréquence de fonctionnement varie considérablement avec la température et la tension d'alimentation.

#### 4.3-Module émetteur-récepteur :

Un module émetteur-récepteur RF comprend à la fois un émetteur et un récepteur. Le circuit est généralement conçu pour un fonctionnement en semi-duplex, bien que des modules en duplex intégral soient disponibles, généralement à un coût plus élevé en raison de la complexité accrue.

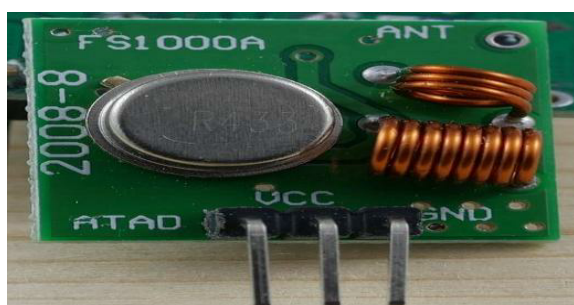
#### 5-Modules RF 433MHz:



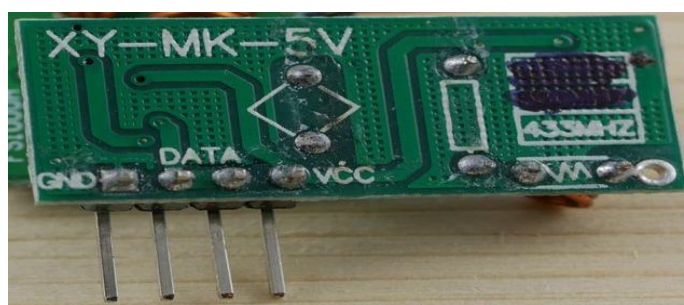
Module radio 433MHz.

Ces modules radio sont disponibles en trois variantes : émetteurs (pour envoyer des messages), récepteurs (pour recevoir des messages) et émetteur-récepteur ("transceiver" en anglais, pour envoyer et recevoir des messages).

*N.B. Les variantes émetteur-récepteur sont plus chères et disposent de plusieurs broches supplémentaires pour contrôler le mode de fonctionnement. Nous allons détailler uniquement l'utilisation des deux variantes de base : émetteurs seuls et récepteurs seuls. Cependant, la version "deux en un" est tout à fait utilisable avec la bibliothèque VirtualWire.*



brochage émetteur

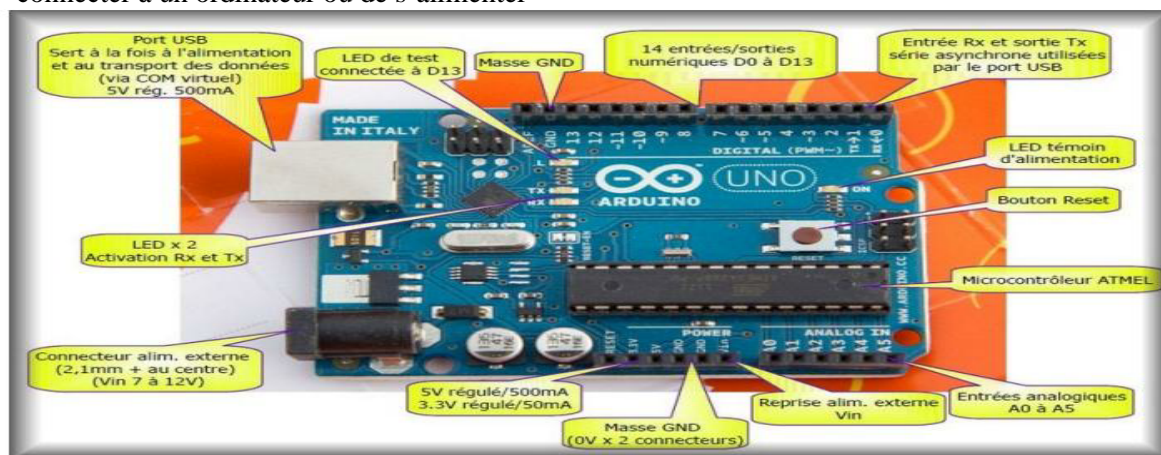


brochage récepteur.

Les modules radio ont trois (parfois quatre) broches : **VCC**, **DATA** et **GND**, ainsi qu'une broche pour l'antenne. Ces modules sont généralement conçus pour fonctionner avec une alimentation de 5 volts sur la broche **VCC**. (Voir Annexe1)

## 5.1-Communiquer sans fil en 433MHz avec la bibliothèque VirtualWire et une carte Arduino / Genuino :

**5.1.1- la carte Arduino Uno** : est un microcontrôleur ATmega328 programmable permettant de faire fonctionner des composants (moteur, LED...). Elle possède des «ports» permettant par exemple de se connecter à un ordinateur ou de s'alimenter



Description de la Carte Arduino "Uno".

### - Détails techniques :

La carte Arduino Uno peut être alimentée via la connexion USB ou avec une alimentation externe. La source d'alimentation est automatiquement sélectionnée. Une alimentation externe peut provenir soit d'un adaptateur AC-DC ou d'une batterie. L'adaptateur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm dans la prise d'alimentation de la carte ou à partir d'une batterie connectée dans le pin (ou broche) GND et V-in (alimentation externe).

Les pins (ou broches) d'alimentation sont les suivantes:

- V-in. Tension d'entrée à la carte Arduino à l'aide d'une source d'alimentation externe (par opposition à 5 volts de la connexion USB ou une autre source d'alimentation régulée). Si l'alimentation en tension est faite par l'intermédiaire de la prise d'alimentation, on pourra y accéder via ce pin.
- 5V. Cette pin délivre un 5V régulé par la carte. La consommation de courant maximale est de 50 mA.
- 3.3V Une alimentation de 3,3 volts générée par le régulateur. La consommation de courant maximale est de 50 mA.
- GND. Masse
- IOREF. Ce pin sur la carte Arduino fournit la référence de tension avec laquelle le microcontrôleur fonctionne.

- **Mémoire** L'ATmega328 a 32 Ko (avec 0,5 KB occupées par le boot loader\*\*). Il a également 2 Ko de SRAM et 1 Ko de mémoire EEPROM\*\*\* (qui peut être lu et écrit avec la bibliothèque de l'EEPROM).
  - **Entrées et sorties** Chacune des 14 broches numériques sur la carte Uno peut être utilisée comme une entrée ou une sortie, en utilisant les fonctions pin Mode (), digital Write () , et digital Read (). Ils fonctionnent à 5 volts. Chaque broche peut fournir ou recevoir 20 mA en état de fonctionnement recommandée et a une résistance de pull-up interne (déconnecté par défaut) de 20-50k ohm. Un maximum de 40mA est la valeur qui ne doit pas être dépassée sur toutes les broches d'Entrée/Sorties pour éviter des dommages permanents au microcontrôleur.
  - **Certaines broches ont des fonctions spécialisées:**  
Série: 0 (RX) et 1 (TX). Permet de recevoir (RX) et transmettre (TX) TTL données série.
  - **LED: 13.** Il est équipé d'un conduit par la broche numérique 13. LED Lorsque la broche est à la valeur HIGH, la LED est allumée, lorsque la broche est faible, il est hors tension.
- L'Uno dispose de 6 entrées analogiques, A0 à A5, dont chacune fournit 10 bits de résolution (ou 1024 valeurs différentes). (Annexe2 et 3)

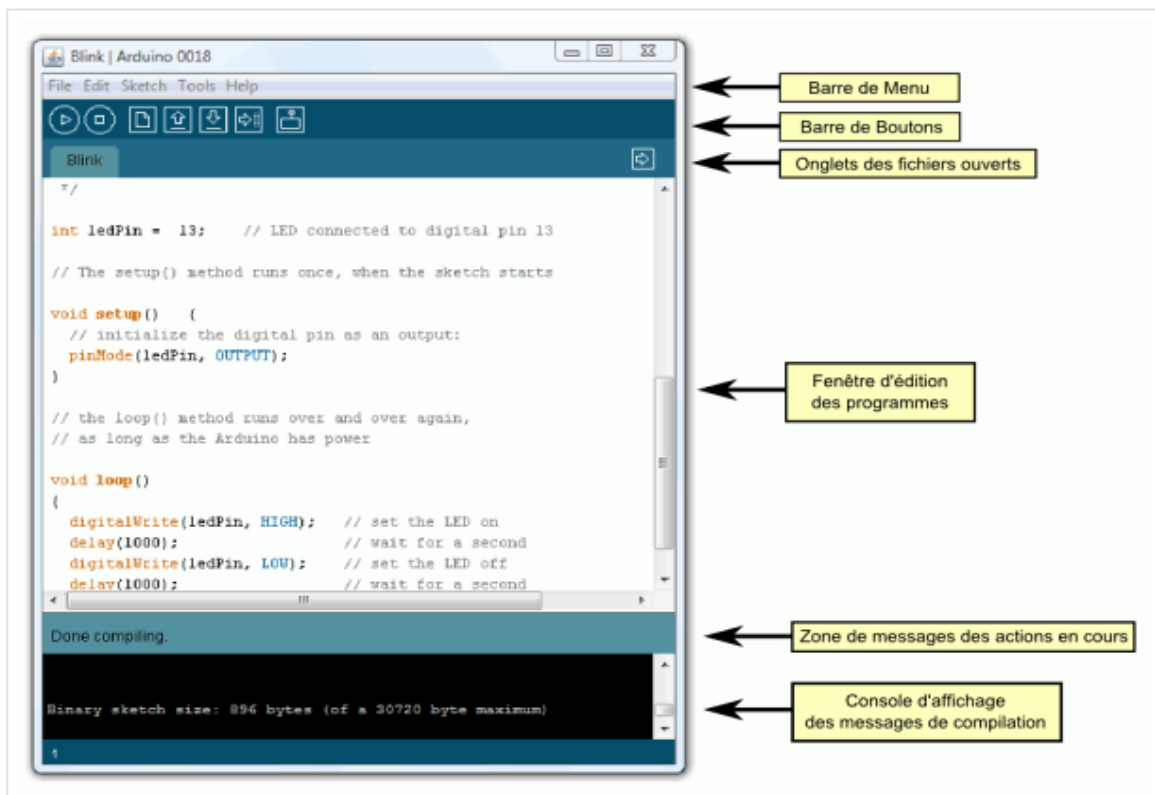


Figure4: Structure d'un programme en Arduino.

### 5.1.2- la bibliothèque VirtualWire :

La bibliothèque VirtualWire permet d'envoyer et de recevoir des messages de moins de 77 octets de manière simple et efficace avec n'importe quels modules radio capables de transmettre un signal logique TTL (tout ou rien, haut ou bas). Cette bibliothèque est très communément utilisée en développement Arduino avec des modules radio. Elle est aussi couramment utilisée avec des talkies-walkies, des modules radio haut de gamme et même des systèmes filaires pour des transmissions longues distances.

#### La bibliothèque VirtualWire est uniquement conçue pour communiquer avec d'autres cartes électroniques utilisant la bibliothèque VirtualWire

Une fois la bibliothèque VirtualWire installée, il suffit d'ajouter ces quelques lignes en début de programme pour l'utiliser : [3-14]

```
#include <VirtualWire.h>
```

Ensuite dans la fonction setup (), il suffit d'appeler la fonction vw\_setup() pour initialiser la bibliothèque VirtualWire avec les options de configuration par défaut :

```
void setup() // Fonction setup()
{
  vw_setup(2000); // initialisation de la bibliothèque VirtualWire à 2000 bauds
}
```

Dans le cas du récepteur, il sera nécessaire d'ajouter un appel à vw\_rx\_start() après vw\_setup() pour lancer l'écoute du signal radio :

```
void setup() // Fonction setup()
{
  vw_setup(2000); // initialisation de la bibliothèque VirtualWire à 2000 bauds
  vw_rx_start();
}
```

#### -Matériel nécessaire :

Pour réaliser le montage émission réception RF, il va nous falloir :

- Deux cartes Arduino UNO (et deux câbles USB).
- Deux modules radio 433MHz (un émetteur et un récepteur).
- Deux plaques d'essai et des fils pour câbler notre montage.
- Deux fils de 173mm de long pour les antennes des modules radio.



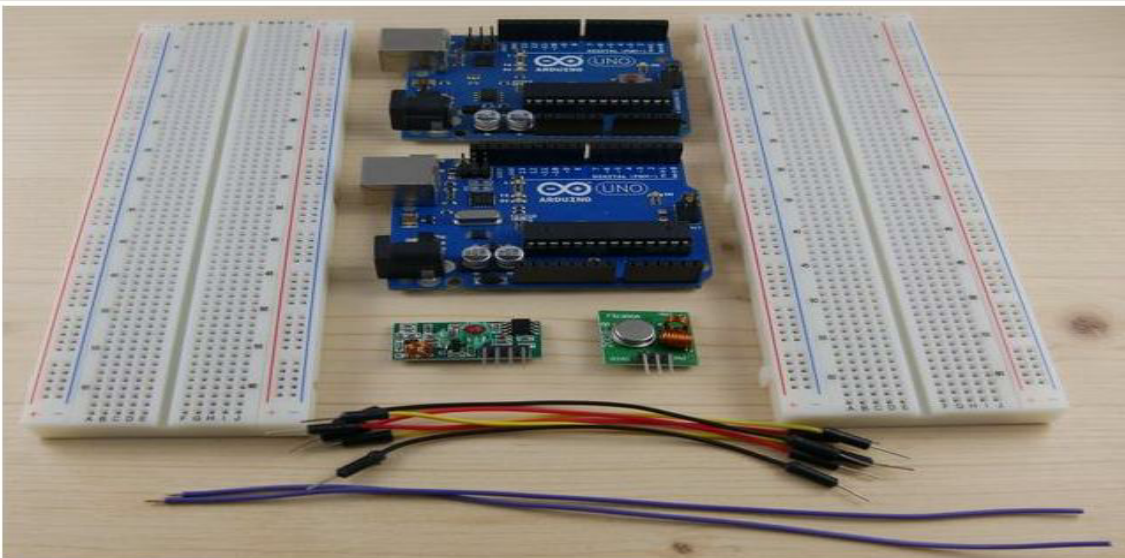


Figure5: Matériel nécessaire pour le montage.

**-Vue prototypage du montage :**

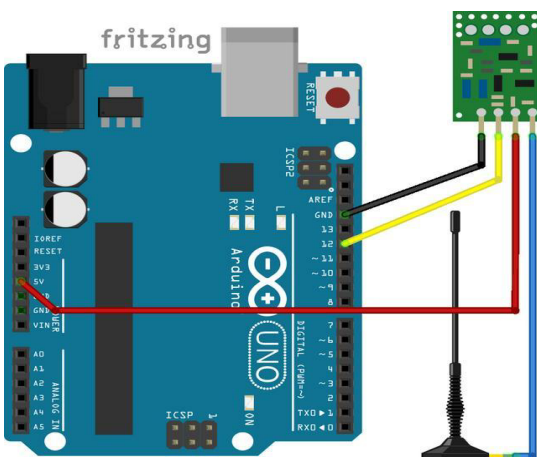


Figure6: partie émetteur.

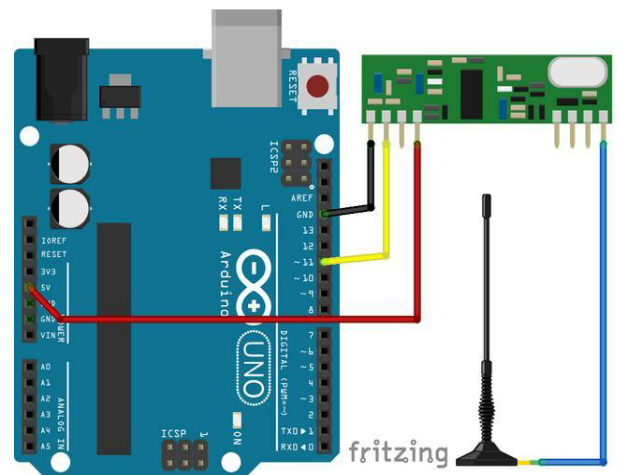
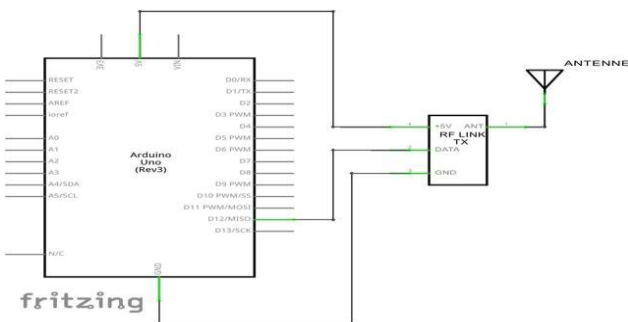
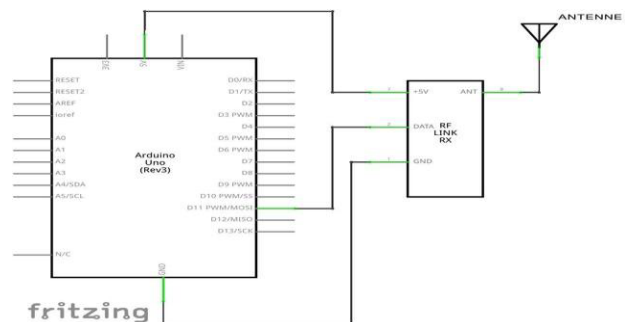


Figure7: partie récepteur.

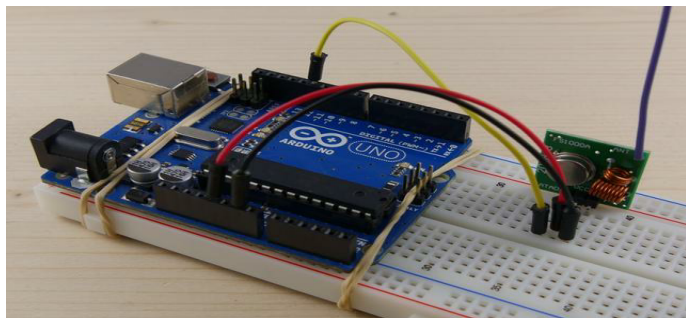
**-Vue schématique du montage :**



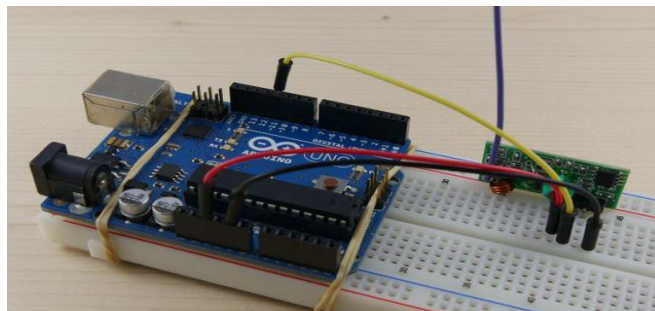
Partie émetteur.



Partie récepteur.

**-Le montage fini :**

Partie émetteur.



Partie récepteur.

**- Mesure pratique :**

Pour augmenter la distance de la détection on peut utiliser un circuit « radiofréquence » qui permettra d'augmenter la distance entre l'émission et la réception

**1-test de programme émission/réception RF433MHz :****-Matériels utilisé :**

- 2 cartes arduino.
- Capteur émission/réception RF433MHz.
- Potentiomètre.

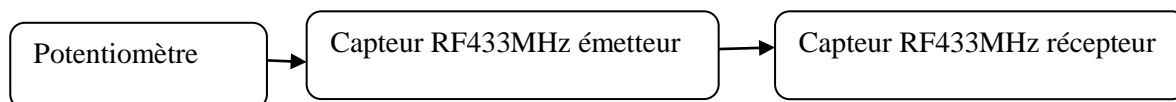


Schéma synoptique de teste de programme

**2-le programme émetteur/récepteur RF433MHz :****- le programme émetteur :**

`#include <VirtualWire.h>` // Une fois la bibliothèque VirtualWire installée, il suffit d'ajouter cette ligne en début de programme.

`void setup()` // est un fonction pour initialiser la bibliothèque VirtualWire, avec les options de configuration

```
{
```

```
vw_setup(2000); // initialisation de la bibliothèque VirtualWire à 2000 bauds (bits/seconde).
```

```
}
```

`void loop()` // Dans la fonction `loop()`, on génère une valeur quelconque à transmettre, ici en lisant le port série, puis on envoi la valeur et on attend la fin de l'envoi.

```
{
```

```
float p = analogRead (A5); // la valeur mesuré est lue dans A5 dans la carte arduino.
```

```
char buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN]; // Chaîne à envoyer.
```

*La constante `VW_MAX_MESSAGE_LEN` fournie par la bibliothèque `VirtualWire` contient la taille maximum en octet d'un message.*

```
String str = ""; //initialiser le float.
str = "i" + String(p); // nous convertissons le float qui provient d'une mesure d'un capteur en String.
str.toCharArray(buf, sizeof(buf)); // convertir la chaîne en tableau.
vw_send((uint8_t *)buf, strlen(buf)); // Nous envoyons le tableau.
vw_wait_tx(); // Nous attendons que le message soit envoyé.
delay(20); //le délai de transmission.
}

- le programme récepteur :
#include <VirtualWire.h>
float dato1 = 0.0; //initialiser le float.
void setup()
{
Serial.begin(9600);
  vw_setup(2000); // Vitesse: bits par seconde.
  vw_rx_start(); // Il commence comme récepteur. Déclenche le processus de réception du signal. Une
fois cette fonction appelée, vous commencerez à recevoir les messages.
}
void loop()
{
uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN; // Nous vérifions s'il y a des données valides dans le
RF.
  if (vw_get_message((uint8_t *)buf, &buflen)) // vérifier pour voir si quelque chose a été reçu.
  {
    int i;
    String DatoCadena = ""; // initialiser la chaîne de donnée

    if ((char)buf[0] == 'i') // on vérifie le début de réception.
    {
      for (i = 1; i < buflen; i++)
      {
        DatoCadena.concat((char)buf[i])
      }
      dato1 = DatoCadena.toFloat();
      Serial.print("pouls: "); // afficher la valeur de pouls.
```

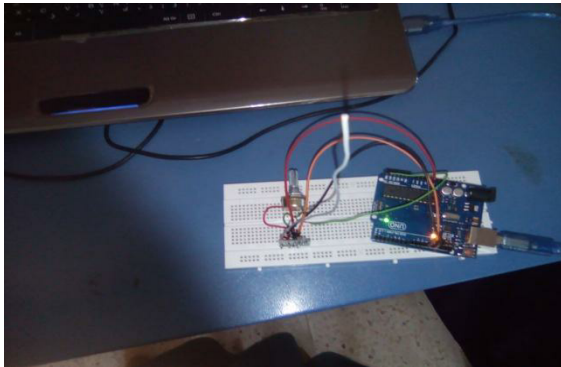


```

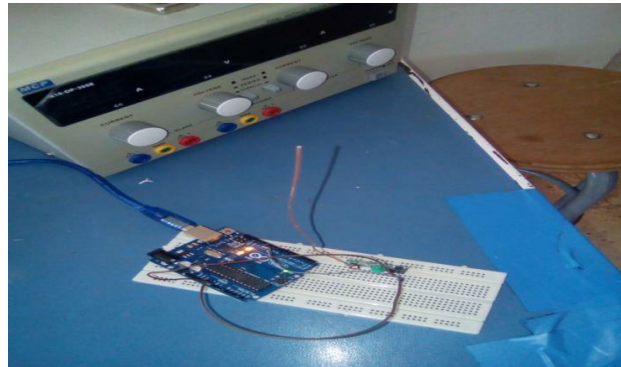
Serial.println(dato1);// afficher le message dans port 1.
}
}

```

Potentiomètre alimenté par 5V. À chaque fois on varie la valeur de potentiomètre

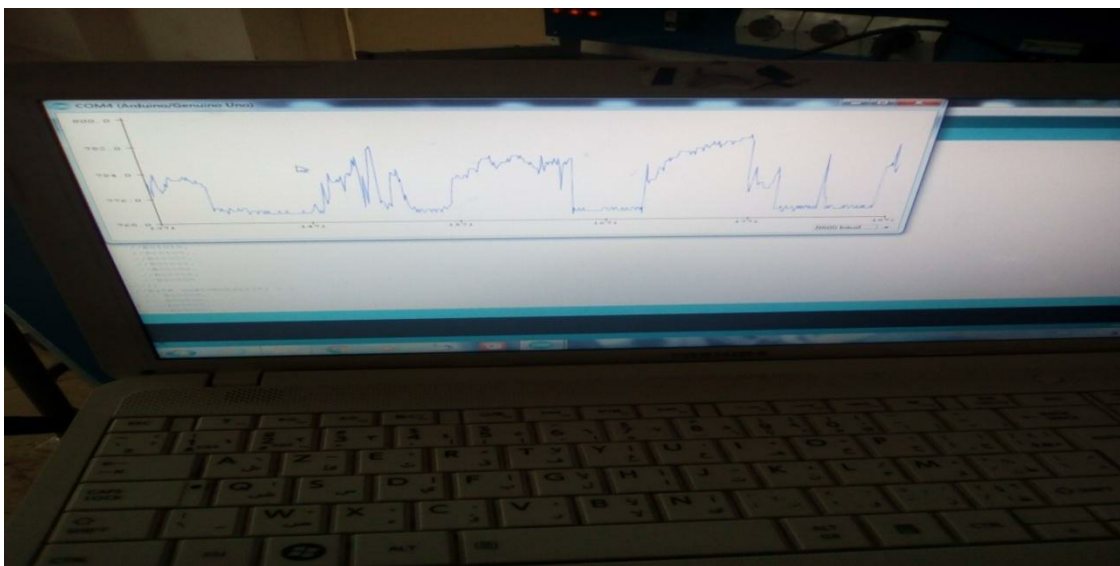


**Emetteur**



**Récepteur**

Le montage de test de programme.

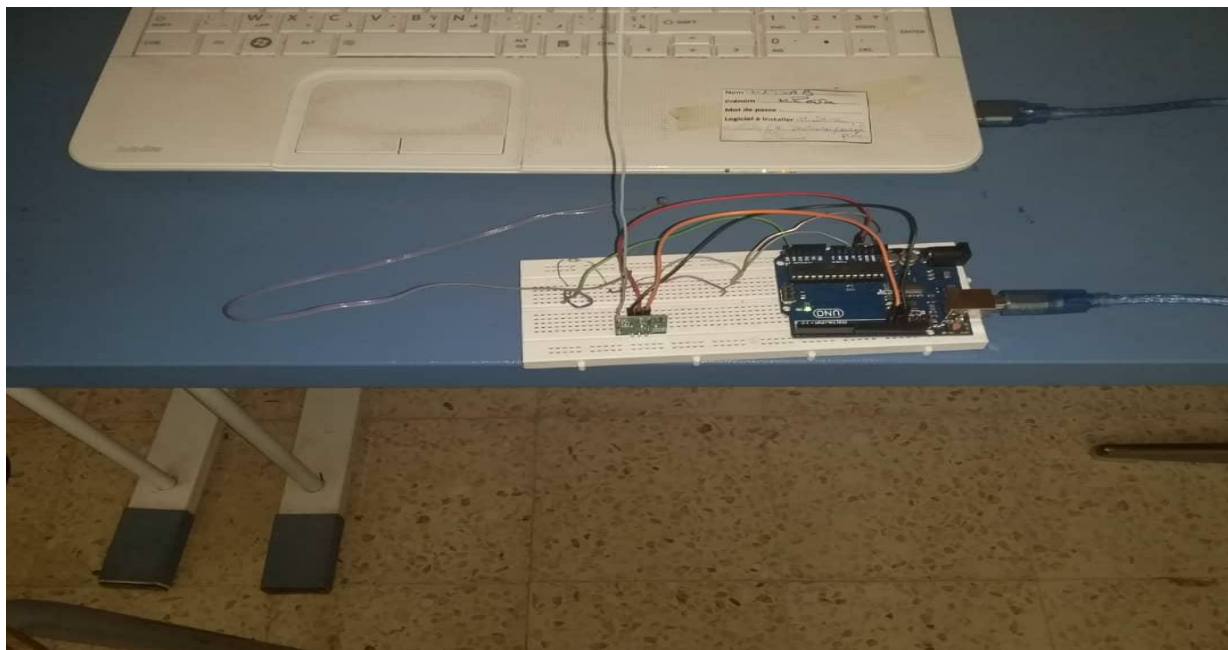


Le signal de sortie de potentiomètre pendant la variation des valeurs de potentiomètre.

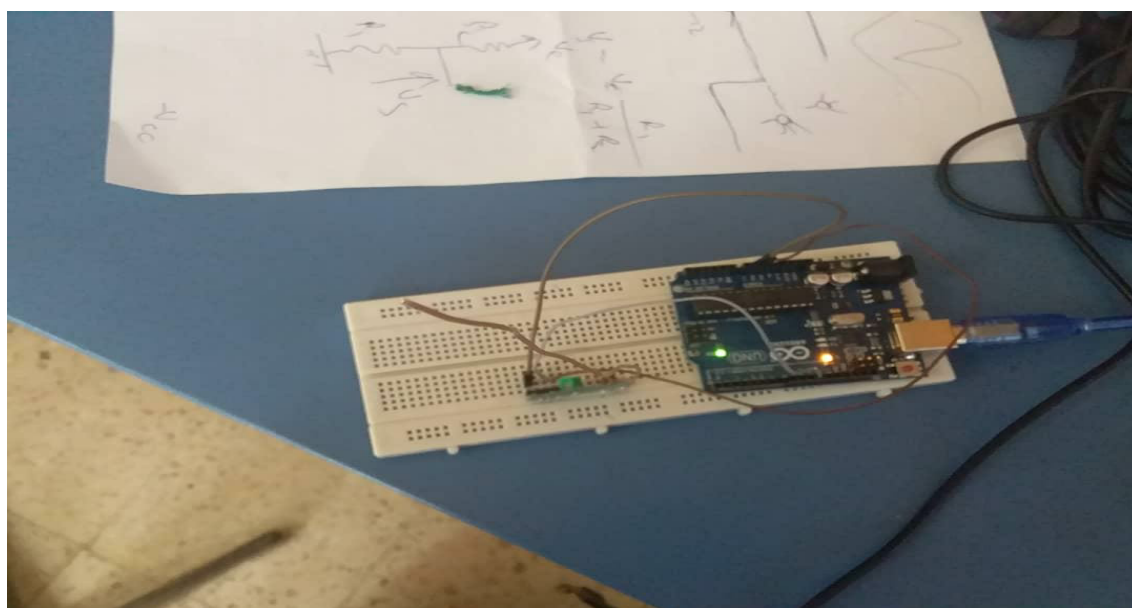
**2-transmission notre signal par RF433MHz :**

**-Matériels utilisé :**

- Microphone.
- Capteur RF433MHz de l'émission et réception.
- 2 cartes arduino avec 2 câbles.
- 2 pc : l'un pour l'émetteur et l'autre pour le récepteur.



Le montage de transmission de notre signal.



Le montage de réception de notre signal.

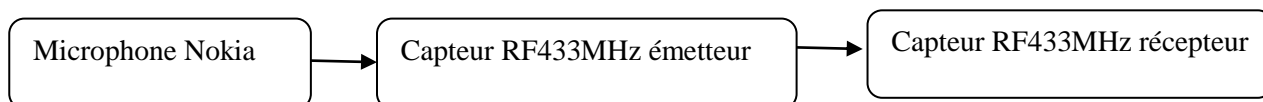
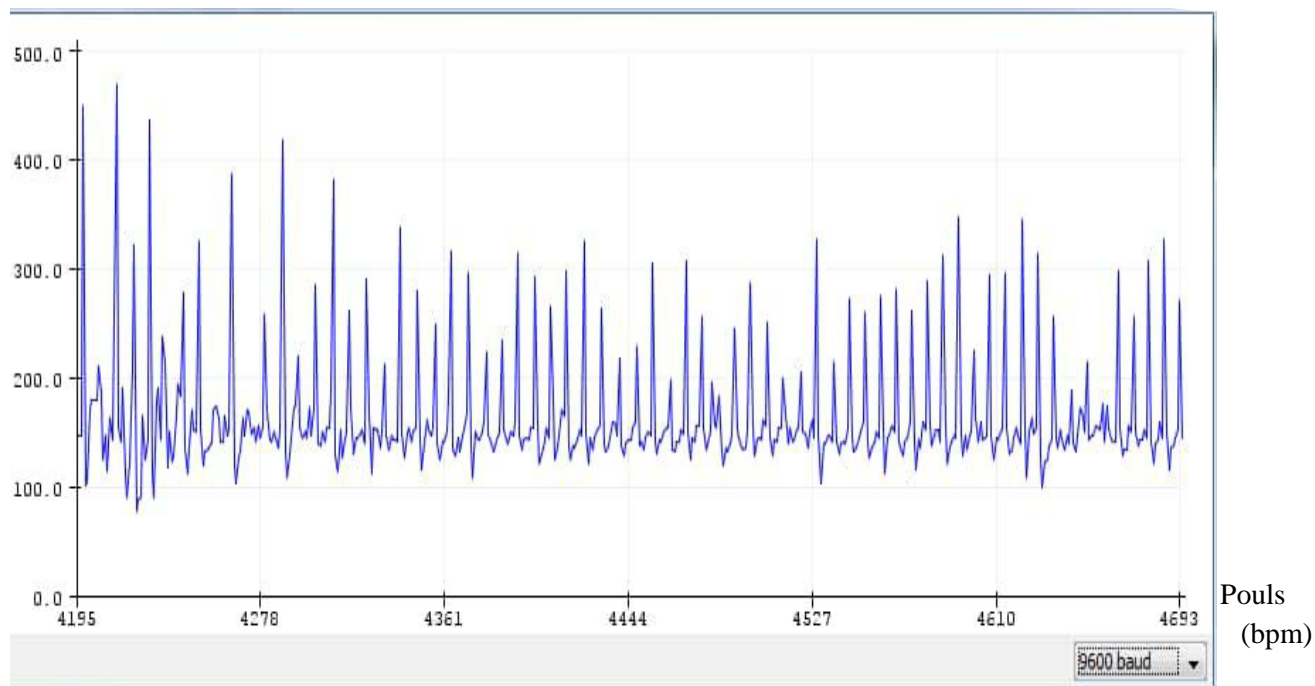


Schéma synoptique de détection du pouls par RF433MHz

La tension V



Le résultat de transmission de notre signal par capteur RF433MHz.

**Résultat obtenu :** capteur RF433MHz permet la transmission de notre signal sans obstacle avec distance maximale 100m et a la présence d'obstacle avec distance maximale 30m

# Annexe2

## \* PWM

En numérique, les signaux ont toujours une valeur LOW ou HIGH (0 ou 1). Le principe est de construire un signal alternativement LOW ou HIGH et de répéter cette alternance. La DEL est donc alternativement allumée et éteinte mais le cycle est tellement rapide que la persistance rétinienne nous donne l'illusion d'une DEL allumée en permanence.

Voir le lien pour plus de détails : <http://www.locoduino.org/spip.php?article47>

\*\* **Bootloader** : il s'agit de la racine du système, à la manière du bios sous Windows, où l'on peut installer un recovery alternatif, un kernel, une image d'Android, parmi d'autres choses... après l'avoir ouvert.

\*\*\* **EEPROM** : mémoire dont les valeurs sont conservées lorsque la carte est éteint (comme un petit disque dur)

---

# Annexe 3

## Caractéristiques techniques :

Microcontrôleur	<a href="#">ATmega328P</a>
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'entrée (recommandé)	7-12V
Tension d'entrée (limite)	6-20V
E / S numériques Pins	14 (dont 6 fournissent la sortie PWM*)
PWM numérique E / S Pins	6
Pins d'entrée analogique	6
DC Courant par I O Pin /	20 mA
Courant DC pour 3.3V Pin	50 mA
Mémoire flash	32 KB (ATmega328P) dont 0,5 KB utilisé par bootloader**
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM ***	1 KB (ATmega328P)
Vitesse de l'horloge	16 MHz
Longueur	68,6 mm
Largeur	53,4 mm
Poids	25 g

# Annexe4

## -Infrarouge

### 1-Définition de l'infrarouge :

Le nom infrarouge signifie « en dessous du rouge » (du latin infra : « plus bas » comprise entre 780 nm et 1000000 nm).

-Le rayonnement infrarouge (IR) est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière visible mais plus courte que celle des microondes.

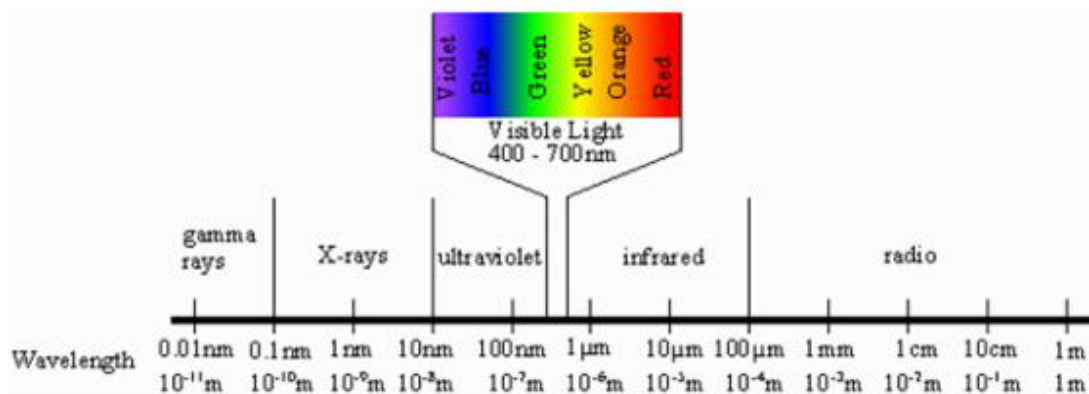


Figure1: Spectre électromagnétique.

L'œil humain a une bande passante limitée, ce qui rend le faisceau infrarouge invisible. L'infrarouge peut traverser les surfaces transparentes telles que les vitres mais sera arrêté par les obstacles opaques. En plus, le faisceau infrarouge peut être réfléchi par un miroir et sa direction peut-être en présence d'obstacles opaques situés dans la voie de transmission. Le choix de l'émetteur se fait en fonction des propriétés du produit à absorber la longueur d'onde émise.

### -Un émetteur-récepteur à infrarouge :

Est un dispositif électronique capable de communiquer des données en utilisant la lumière infrarouge. Les unités émettrices-réceptrices de l'infrarouge (IR) peuvent à la fois transmettre et recevoir des informations. Deux éléments principaux sont trouvés à l'intérieur d'une unité émetteur-récepteur IR : Une diode émettrice de lumière infrarouge (LED) est utilisée pour produire des impulsions infrarouges tandis qu'un détecteur infrarouge (photodiode) est capable de détecter des signaux infrarouges reçus. Certains émetteurs-récepteurs IR avancés utilisent des diodes laser infrarouges à la place des LED. Cela augmente la portée du signal IR, mais réduit la largeur du faisceau détectable.

La standardisation des protocoles d'émetteur-récepteur IR permet à de nombreux dispositifs différents de partager des données rapidement. Deux personnes dans la même pièce peuvent simplement pointer leurs appareils l'un face à l'autre afin de transférer des messages ou fichiers. Les appareils infrarouges compatibles tels que les télécommandes peuvent également recevoir des fichiers dans l'air, ce qui élimine le besoin de câbles de connexion. Les émetteurs-récepteurs IR sont généralement limités à une ligne de communication directe, et ne peuvent pas transférer des données à travers un mur ou tout autre obstacle.



Ce système est composé de deux parties essentielles : une partie d'émission et la deuxième partie celle de la réception comme l'illustre le schéma ci-dessous.

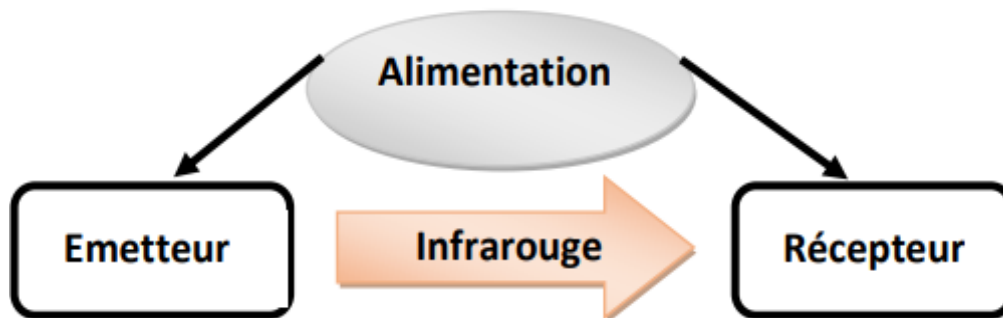


Schéma d'un émetteur-récepteur.

### -Principe de fonctionnement :

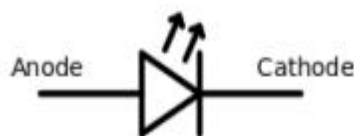
#### 1-Alimentation :

Dès que nous entendons parler d'appareils ou de circuits électroniques, nous sommes sûrs de rencontrer une partie alimentation à l'intérieur. En fait, l'alimentation électrique est l'ensemble des équipements électriques qui assure le transfert du courant électrique d'un réseau électrique pour le fournir, sous les paramètres appropriés (puissance, tension) de façon stable et constante à un ou plusieurs consommateurs et ce dans des conditions de sécurité.

#### 2-Emetteur :

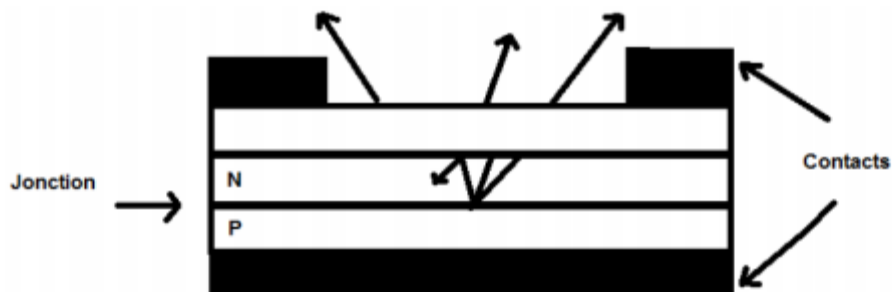
##### Diode électroluminescente : [2-9]

**Définition** : Une diode infrarouge est une diode électroluminescente qui émet de la lumière lorsqu'on lui applique un courant dans le sens direct ; sous ses conditions les électrons sont injectés dans le matériau de type P.



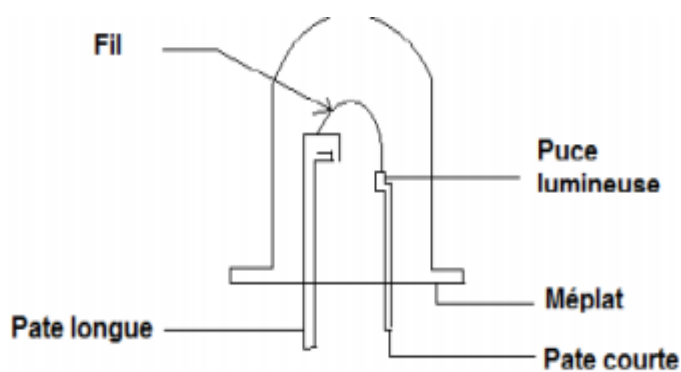
Diode électroluminescente.

Lorsque les électrons injectés se recombinent avec les porteurs majoritaires, au niveau de la jonction PN, de l'énergie est libérée sous forme de photons. La direction d'émission est contrôlée par des surfaces réfléchissantes.



Constitution d'une diode électroluminescente.

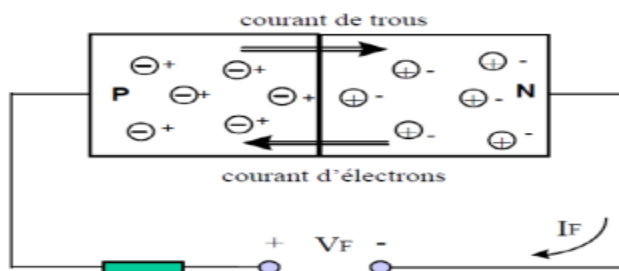
Les LED (IR) ont la même présentation que les LED de couleur.



Boîtier de la LED.

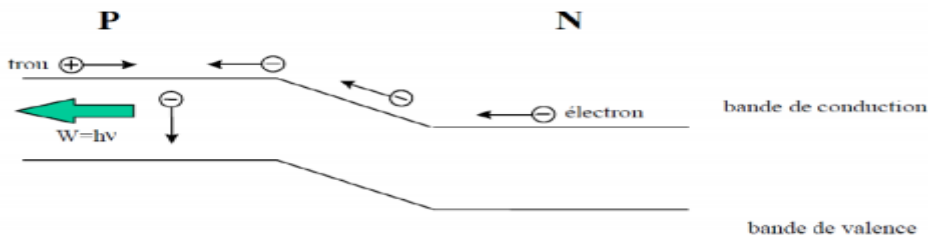
### Principe de fonctionnement des diodes électroluminescentes :

Considérons une jonction PN polarisée dans le sens direct et parcourue par un courant



Injection des porteurs minoritaires dans une jonction PN.

A l'intérieur du matériau, il y a injection de trous dans la zone N et d'électrons dans la zone P : c'est le phénomène d'injection des porteurs minoritaires ; un certain nombre de porteurs minoritaires se recombinent en libérant de l'énergie. En effet, lorsqu'un électron libre rencontre un trou il le comble (c'est-à-dire une absence d'électron dans un atome, qui de ce fait est chargé positivement). Cet électron passe donc de la bande de conduction à la bande de valence du matériau P, libérant par conséquent une énergie égale à la différence d'énergie entre ces deux bandes. Une partie de cette énergie est libérée sous forme de lumière (photon) et le reste sous forme de chaleur.



On voit donc que la fréquence de la radiation émise est directement liée à la largeur de la bande interdite. L'énergie d'un photon s'écrit :

$$W = h.\nu$$

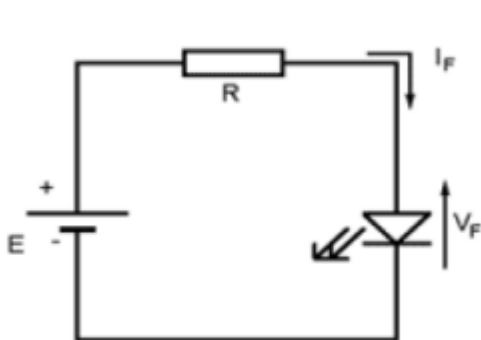
$h$  : constante de Planck ( $6,6 \cdot 10^{-34}$  J.s) et  $\nu$  : Fréquence de la radiation émise (en Hz). La longueur d'onde émise est donnée par la relation :

$$\lambda = 1240 / E_g$$

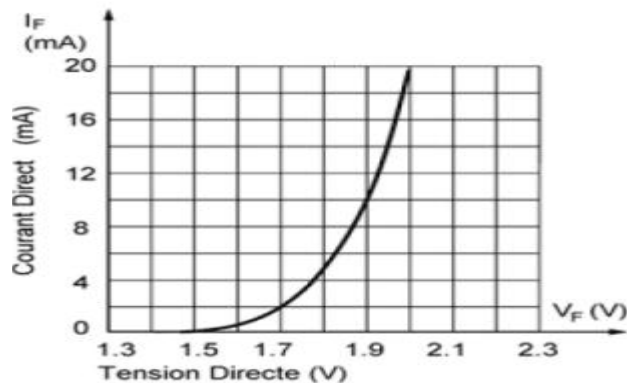
$\lambda$  : Longueur d'onde de la radiation émise (en nm)  $E_g$  : largeur de la bande interdite (en eV).

**Caractéristiques électriques :**

Une LED se comporte électriquement comme une diode. Pour émettre elle doit être polarisée en direct. La caractéristique  $I_F(V_F)$  montre que la tension de conduction de la diode LED est environ 1,5 Volts à 2 V, pour un courant nominal  $I_F=20\text{mA}$ .



Montage de fonctionnement de la



Le courant traversant la LED détermine l'intensité lumineuse émise.

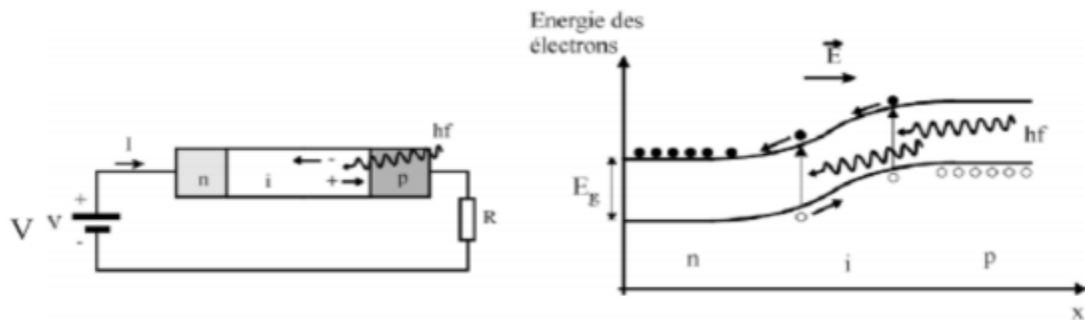
**Remarque :** Certaines diodes ont des tensions de conduction de l'ordre de 3 Volts et plus. Polarisée en inverse, la LED est éteinte : elle n'émet plus d'intensité lumineuse.

### 3-Récepteur :

#### Photodiode :

**Définition :** Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique. Les diodes PIN sont les détecteurs les plus couramment utilisés avec les fibres optiques. Il s'agit d'un semi-conducteur intrinsèque pris en sandwich entre un semi-conducteur de type N et un semi-conducteur de type P.

La concentration de charges libres dans le semi-conducteur intrinsèque est très faible, ce qui lui procure une résistivité élevée. Le champ électrique sera donc grand dans cette région de résistivité élevée, et faible dans les parties N et P, de résistivité plus faible. La photodiode PN est, comme son nom l'indique, une jonction p-n, généralement utilisée en polarisation inverse. Dans ce cas, les porteurs majoritaires sont bloqués par le champ électrique dans la zone de charge d'espace, et le courant résulte donc du passage des porteurs minoritaires à travers la jonction. Le courant est dans ce cas limité par le faible taux de génération de porteurs minoritaires dans le voisinage de la jonction.



Diode PIN comme détecteur de lumière et diagramme d'énergie correspondant.

Sous l'action de la lumière, des paires électron-trou peuvent être générées dans le semi-conducteur, si la longueur d'onde de la lumière est inférieure à ce qui correspond à une énergie de photons supérieure à la largeur de la bande interdite. Supposons qu'une paire électron-trou est ainsi générée dans la zone de charge d'espace. Sous l'action du champ électrique qui règne dans cette zone, le trou sera accéléré vers la zone P où il s'ajoute aux porteurs majoritaires et l'électron sera accéléré vers la zone N. Donc une séparation de la paire électron-trou et un courant dans le sens de N vers P, c'est-à-dire une augmentation du courant inverse dans la diode.



Structure d'une photodiode.

**Caractéristiques importantes d'une photodiode :**

Si on fait varier la puissance optique reçue par le composant, on constate lorsque la photodiode est polarisée en inverse, que le courant inverse qui la traverse va augmenter. L'évolution de ce courant en fonction du nombre de photons reçus par unité de temps  $\Phi_P$  peut être modélisée de la façon suivante :

$$I_P = q \cdot \eta \cdot \Phi_P + I_s$$

Où :  $\eta$  : est le rendement quantique

$I_s$  : est le courant d'obscurité que l'on pourra négliger dans un premier temps.

Si  $\nu$  est la fréquence des photons reçus et  $h$  la constante de Plank  $h \approx 6.62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  on peut aussi écrire que :  $I_P = q \cdot \eta \cdot \frac{POPT}{h \cdot \nu}$

On peut également définir la sensibilité de la photodiode comme étant :  $S = I_P / POPT$



Montage fini d'émission réception par IR.

# Annexe5

## La fibre optique

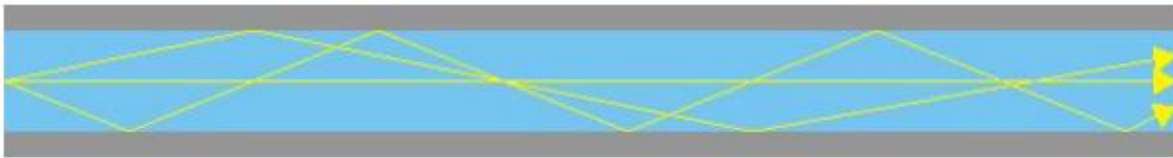
**-Définition :** un tuyau dans lequel on peut faire passer de la lumière.

Nous avons vu que la lumière avait une certaine tendance à se propager en ligne droite. Pour transporter de l'information d'un point quelconque vers un autre point quelconque, ce n'est pas très pratique; un tuyau, c'est mieux, ça peut faire des virages.

**-Le principe :**

Dans un premier temps, on va faire simple, une lumière incohérente et pas forcément monochromatique, dans une fibre construite sans trop de précautions. Le principe de base, c'est le coup du dioptre. La fibre de verre va être gainée d'un autre matériau tel que le dioptre ainsi formé soit avantageux pour nos besoins, à savoir :

- Un angle critique le plus grand possible (tel que nous l'avons défini dans la page précédente), ceci afin de supprimer autant que possible tout rayon diffracté.
- Des absorptions d'énergie les plus minimales possibles lors de la réflexion sur le dioptre.



Fibre optique

Personne n'a jamais dit que les fibres optiques transmettaient la lumière sans pertes ! Et ce n'est d'ailleurs pas la seule source de pertes :

-La nature du "verre" et celle du dioptre font qu'il y a des pertes dans la fibre. Pertes dues à la "turbidité" du verre et pertes dues aux réflexions. Il ne faudra pas s'attendre à ce que la longueur utile d'une fibre optique soit infinie.

-Le verre et ses équivalents sont des milieux dispersifs. La vitesse de propagation va varier en fonction de la longueur d'onde. Si l'on introduit une lumière qui n'est pas monochromatique, on va récupérer en sortie plusieurs lumières "différentes" et ça ne va pas aider à reconstituer le signal.

**Tous ces inconvénients vont imposer des limites d'utilisation :**

- Une "bande passante" maximale. Si l'on envoie des impulsions lumineuses, elles seront récupérées avec une certaine distorsion et si cette distorsion devient trop grande, on ne pourra plus reconstituer l'information. Nous comprendrons mieux cet effet sur les illustrations qui suivent.
- Une longueur maximale. Il est assez compréhensible que, plus la fibre va être longue, plus ces perturbations vont être observées. Pour une performance attendue, il y aura une longueur maximale définie, en fonction des technologies utilisées.

**-La fibre optique** est bidirectionnelle. Cependant, on ne l'utilise souvent que dans un seul sens, pour simplifier les convertisseurs placés aux extrémités. Si l'on souhaite exploiter une fibre optique dans les deux sens, il faudra :

- Utiliser des longueurs d'onde différentes pour chaque sens.
- Utiliser des extrémités capables de capter de la lumière pour la convertir en électricité et émettre de la lumière en fonction d'un signal électrique. C'est réalisable, mais ça a un coût. Peut-on passer

**- il y a même deux méthodes pour plusieurs informations différentes dans la même fibre et les récupérer à l'autre bout intactes:**

- Si l'on utilise plusieurs longueurs d'ondes lumineuses. Là aussi, ça a une incidence sur la complexité des équipements aux extrémités. C'est du multiplexage spatial, à rapprocher du "large bande" sur le cuivre ou la HF.
- On peut également faire du multiplexage temporel.



## Résumé :

Dans notre projet de fin d'étude nous avons détecté le pouls au niveau carotide au poignet par l'utilisation d'un microphone ensuite nous avons transmis le signal obtenu par émission/réception à IR avec distance 170cm sans obstacle et par les ondes radio fréquence avec distance 100m sans obstacle et 30m avec obstacle puis nous avons étudié le cas pathologie et normale avec un système d'alarme sonore et visuel .en cas normal une LED verte qui va s'allumer et en cas pathologie une LED rouge qui va s'allumer et le buzzer sera activé.

## Abstract :

In our end of study project we detected the carotid pulse on the wrist by the use of a microphone. Then we transmitted the signal obtained by emission / reception at IR distance 170cm without obstacle and by the radio frequency waves. with distance 100m without obstacle and 30m with obstacle then we studied the pathology and normal case with a system of audible and visual alarm .in the normal case a green LED which will be lit and in case pathology a red LED which goes s' on and the buzzer will be activated.

## خلاصة القول:

في نهاية مشروع دراستنا ، اكتشفنا النبض السباتي على الرسغ باستخدام ميكروفون ، ثم أرسلنا الإشارة التي تم الحصول عليها عن طريق الإرسال / الاستقبال على مسافة 170 سم دون تدخل ودون تدخل موجات التردد اللاسلكي. بمسافة 100 متر بدون عائق و 30 متر مع العائق ، درسنا علم الأمراض والظروف الطبيعية باستخدام نظام إنذار صوتي ومرئي. في الحالة العادية للمصباح الأخضر الذي يضيء وفي حالة المصباح الأحمر ، يتم تشغيل علم الأمراض ، ويتم تنشيط الجرس.