



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

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

Pour l'obtention du Diplôme de

**MASTER en GENIE BIOMEDICAL**

*Spécialité : Instrumentation Biomédicale*

Présenté par : KERROUCHE Manel et FALI Omayma

---

**ETUDE ET REALISATION D'UNE TOISE  
ULTRASONIQUE**

---

**Soutenu le 25 juin 2018 devant le Jury**

Mr.	KERAI Salim	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Président
Mr.	TAOULI Sidi Ahmed	<i>MCB</i>	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr.	RAHMOUN Fethi	<i>MAA</i>	Université de Tlemcen	Examineur

**Année universitaire 2017-2018**

## Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Je dédie ce travail spécialement à mes très chers parents, à savoir ma mère et mon père dont le soutien inconditionnel et l'amour sans faille ont été pour moi la raison principale de ma réussite et le strapontin qui m'a servi d'atteindre ce stade dans mes études.*

*Je ne manquerai pas de citer les encouragements que me suscitait mon cher frère Khalil Anouar à qui je souhaite plein succès au baccalauréat et dans la suite de sa vie.*

*Par ailleurs, je ne saurais oublier le soutien indéfectible de ma chère sœur Leyla ainsi que son mari Khaled et à qui je souhaite beaucoup de bonheur et de prospérité.*

*Aussi, il ne saurait m'échapper de citer mes chères cousines Ilhem, Hanane et Nora sans oublier Tata Malika S. , ainsi que mon cousin Mehdi.*

*Je dédie ce travail à mon binôme Manel avec qui j'ai passé les cinq années d'études et qui me paraissent toujours très courtes, et à qui je souhaite une très belle vie tant sur le plan professionnel que familial.*

*Ma dédicace s'adresse à mes amies :*

- Lamia
- Hafsa
- Nadjet
- Imane

*Enfin je dédie ce travail à titre exceptionnel à M. BELAID Boumediene, M. BOUADI Miloud et Mlle DJILLALI Noria pour leur aimable assistance.*

**Omayma**

## *بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ*

*Au nom dieu, le clément, le très miséricordieux*

*Je dédie ce modeste travail à : Mes chères parents ma mère et mon père pour leur patience, amour, soutien et leur encouragements.*

*Mes sœurs : Loubna, Djihan et ma belle sœur Nadjah*

*Mes frères : Bilal, Aymen, Salah Eddine, Adam.*

*A toute la famille KERROUCHE.*

*A toute mes cousins et cousines.*

*A tous mes amies : ma binôme Omayma, Amira, Lamia, Fatima, Hafsa.*

*Une spéciale dédicace pour M. BELAID Boumediene pour le temps consacré et les informations fournis.*

## **Remerciements**

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

*Nous tenons à exprimer en premier lieu toute notre reconnaissance à notre encadreur M. TAOULI Sidi Ahmed, qui a joué un rôle fondamental dans notre formation et pour tous les efforts et l'ambiance qu'il a créés ainsi que pour les conseils qu'il nous a prodigués tout au long de ce travail.*

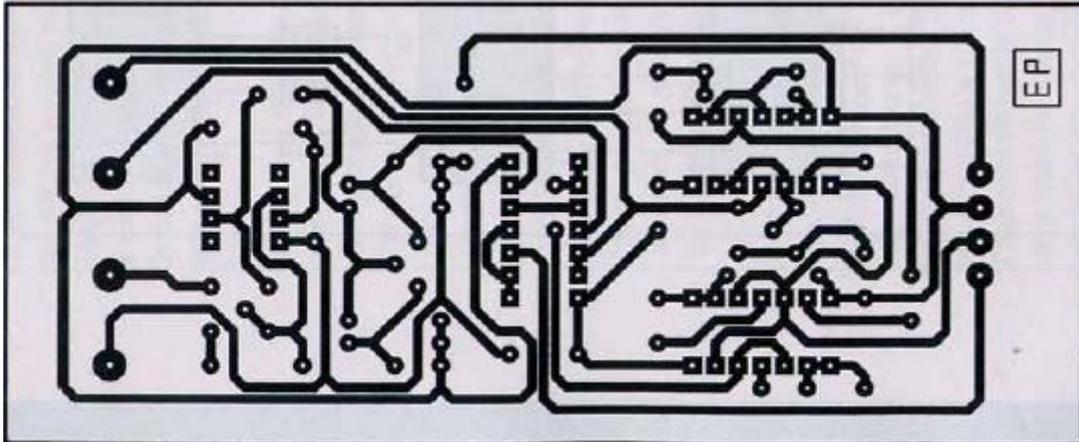
*Nos remerciements vont également au Co-encadreur M. HAMOUDI Youcef, qui a apporté une large contribution à cette recherche.*

*Nous remercions sincèrement tous les membres du laboratoire de l'université de Abou Bakr Belkaid de Tlemcen pour leur soutien.*

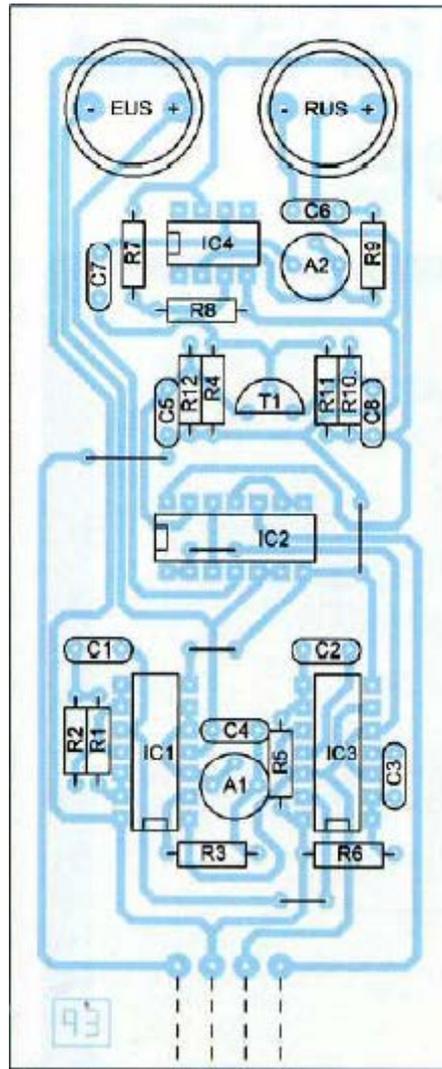
*Nous réservons une place singulière à toutes les personnes qui ont contribué, d'une façon directe ou indirecte, continue ou ponctuelle, à l'achèvement de ce travail, et particulièrement M. BELAID Boumediene.*

*Finalement, nous témoignons ici notre très profonde gratitude à M. KERAI Safim pour avoir accepté de présider le jury ainsi qu'à notre examinateur M. RAHMOUN*

**Annexe A1 :**

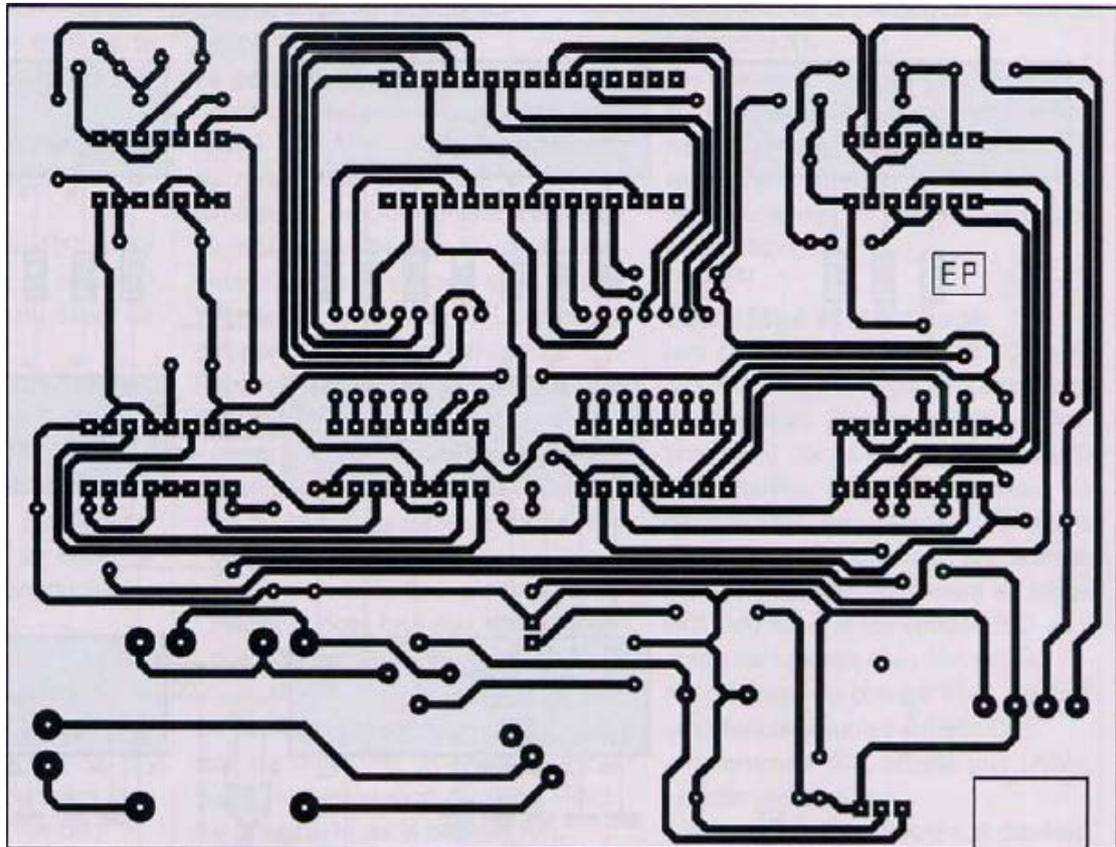


**Circuit imprimé du circuit d'émission et de réception**

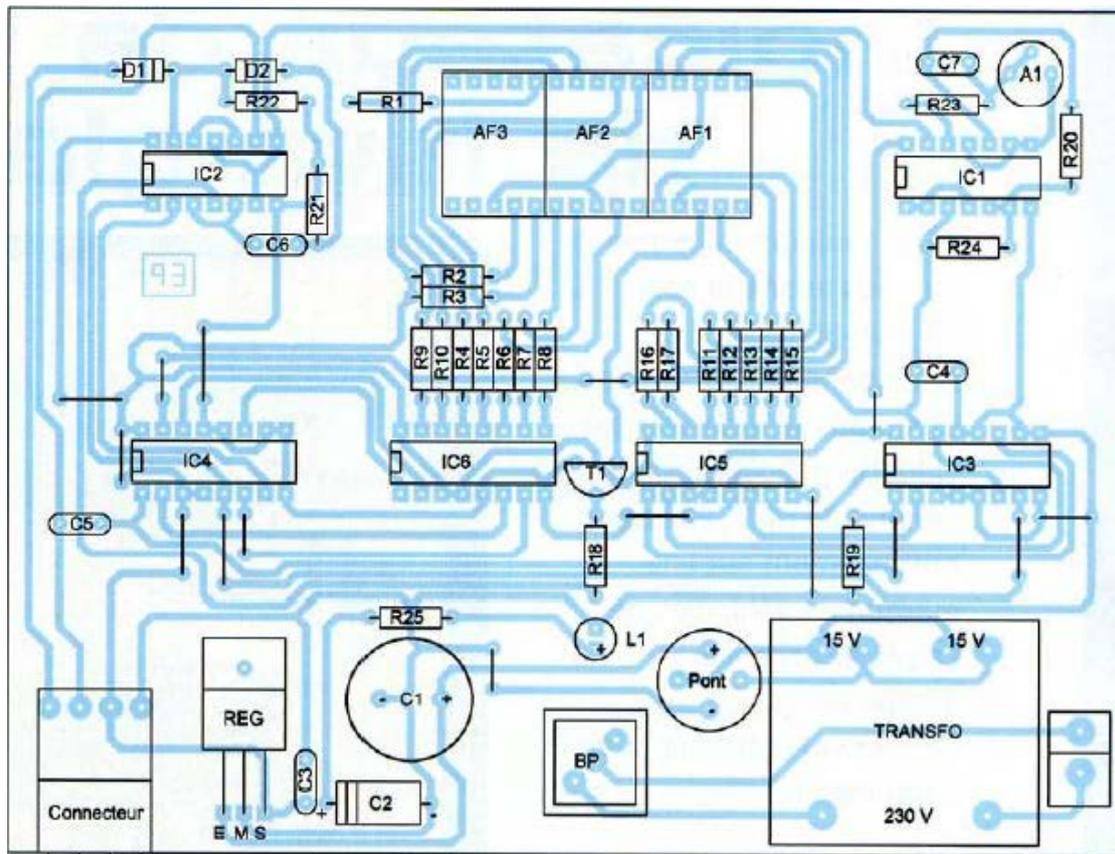


**Circuit imprimé de circuit d'émission et de réception face composants**

**Annexe A2 :**



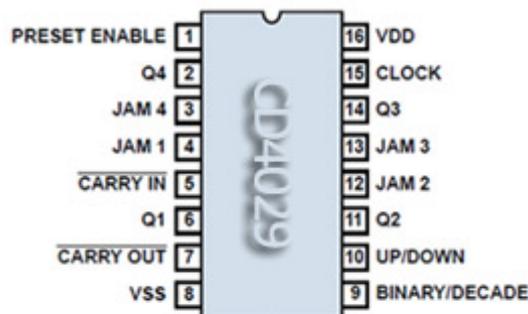
**Circuit imprimé de circuit d'alimentation et d'affichage**



**Circuit imprimé du circuit d'alimentation et d'affichage face composants**

## Annexe A3 :

### 1. Le Compteur décompteur CD4029



Le **CD4029** est un compteur décodeur. Le compteur possède quatre sorties qui peuvent être utilisés pour compter ou décompter dans le mode binaire ou BCD. Le CD4029 est alimenté par une tension continue de 3 à 18volts. Il peut fonctionner sous une fréquence maximale (créneaux de comptage 10v) de 8Mhz.

Pour que le CD4029 compte ou décompte il faut que les deux entrées CARRY IN et PRESET ENABLE soient sous un état bas et l'entrée UP/DOWN permet de changer le sens de comptage en avant ou en arrière. Donc un état haut de l'entrée UP/DOWN assure le comptage et un état bas assure le décomptage.

Un état haut exercé sur l'entrée BINARY/DECADE assure le comptage en mode binaire et un état bas assure le comptage en mode BCD.

Les entrées JAM peuvent positionner le compteur sur n'importe quelle position en appliquant aux entrées JAM individuellement des états logiques bas ou haut ensuite d'exercer sur l'entrée PRESET ENABLE une impulsion positive rapide. Les sorties Q1 à Q4 prennent immédiatement les positions binaires des entrées JAM.

## 2. Le décodeur BCD CD4511

Le CD4511 est un décodeur très utile, il permet de faire un affichage digital puisqu'il peut être branché directement à un afficheur sept segments.

### Caractéristiques

Tension d'alimentation de 3 à 18v

Courant de sortie 25mA

### Brochage

Une résistance doit être branchée entre chaque sortie du circuit et le segment correspondant.

Pour une tension de 5v il faut employer une résistance de 220W

6v > 330W

9v > 560W

12v > 680W

15v > 1kW



Broche N° Fonction

1 B: entrée

2 C: entrée

3 Lamp test: pour allumer tous les segments, cela permet de tester le bon fonctionnement des 7 segments de l'afficheur.

4 Blanking input: Pour éteindre l'afficheur.

5 Latch enable: C'est pour mettre en mémoire la valeur affichée.

6 D: entrée

7 A: entrée

8 Masse

9 e: sortie vers l'afficheur sept segments.

- 10 d: sortie vers l'afficheur sept segments.
- 11 c: sortie vers l'afficheur sept segments.
- 12 b: sortie vers l'afficheur sept segments.
- 13 a: sortie vers l'afficheur sept segments.
- 14 g: sortie vers l'afficheur sept segments.
- 15 f: sortie vers l'afficheur sept segments.
- 16 V+

### Fonctionnement

Pour un fonctionnement normal il faut mettre les deux entrées LT et BL a un état haut ensuite appliquer la logique BCD pour les quatre entrées A,B,C et D.

Tableau général de fonctionnement:

Entrées				Sorties							Affichage			
LE	ST	LT	D	C	B	A	a	b	c	d		e	f	g
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	Eteint
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Eteint
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	Eteint
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Eteint
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Eteint
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	Eteint
1	1	1	X	X	X	X				*				*

X : Niveau indifférent.

∴ Dépend du niveau d'entrée a l'instant du changement de LE.

## Liste de composants pour le circuit d'émission et de réception

### Résistances

$R_1$  :  $1M\Omega$

$R_2, R_3, R_4$  :  $100K\Omega$

$R_5$  :  $160K\Omega$

$R_6$  :  $330K\Omega$

$R_7, R_8$  :  $10K\Omega$

$R_9, R_{10}$  :  $1K\Omega$

$R_{11}$  :  $3.2 K\Omega$

$R_{12}$  :  $47 K\Omega$

$A_1$  : ajustable  $22 K\Omega$

$A_2$  : ajustable  $1M\Omega$

### Condensateurs

$C_1$  :  $2.2\mu F$

$C_2, C_4, C_5$  :  $1nF$

$C_3$  :  $20nF$

$C_6, C_7$  :  $0.1\mu F$

$C_8$  :  $220pF$

### Divers

5 straps (4 horizontaux ,1 vertical)

Eus : Transducteur us « émetteur ».

Rus : Transducteur us « récepteur ».

1 support 8 broches

3support 14 broches

Câble à 4 conducteurs

### Semi-conducteurs

$T_1$  : PNP/BC557C

IC<sub>1</sub>, IC<sub>2</sub> : CD 4011

IC<sub>3</sub> :CD4001

IC<sub>4</sub> :TL081

## **Liste de composants pour le circuit d'alimentation et d'affichage**

### **Résistances**

R<sub>1</sub> a R<sub>17</sub>: 3.2KΩ

R<sub>18</sub> a R<sub>22</sub> :10KΩ

R<sub>23</sub>, R<sub>24</sub> :100 KΩ

R<sub>25</sub>:2.2KΩ

A<sub>1</sub>: ajustable 47KΩ

### **Condensateurs**

C<sub>1</sub>: 2200μF/35V

C<sub>2</sub>:100μF/25V

C<sub>3</sub>:0.1μF

C<sub>4</sub> a C<sub>7</sub> :1nF

### **Semi-conducteurs**

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> : 1N 4148

L<sub>1</sub>: Led rouge 3mm

AF<sub>1</sub>, AF<sub>2</sub>, AF<sub>3</sub> : afficheur 7 segments a cathodes communes

Pont de diodes

REG : 7815

T1: NPN/BC546, BC547

IC<sub>1</sub> : CD 4011

IC<sub>2</sub>: CD4001

IC<sub>3</sub>, IC<sub>4</sub>: CD 4029

IC<sub>5</sub>, IC<sub>6</sub>: CD 4511

### **Divers**

15 straps (4 horizontaux ,11 verticaux)

2supports 14 broches

4supports 16 broches

2 barrettes de 15broches

Transformateur 230v /2\*15v/2.5Va

BP : bouton-poussoir (230v)

Bornier soudable de 2plots

Connecteur femelle de 4 plots

## Sommaire

Introduction générale..... **Erreur ! Signet non défini.**

### I) Chapitre1

1	Introduction.....	8
2	La toise ultrasonique .....	8
2.1	Définition.....	8
2.2	Principe de fonctionnement .....	8
3	Généralité sur les ultrasons .....	9
3.1	Définition.....	9
3.2	Classification des sons selon la fréquence.....	9
3.3	Historique .....	10
3.4	Principe de génération des ultrasons .....	10
3.4.1	Le transducteur piézoélectrique .....	11
3.4.2	Phénomène de piézo-électricité .....	12
3.4.3	Relais piézoélectrique .....	12
3.4.4	Effet direct et indirect de la piézo-électricité .....	12
3.4.5	Les applications de l'effet piézoélectrique.....	13
3.5	Propriété physique des ultrasons .....	13
3.5.1	Célérité de l'onde acoustique.....	13
3.5.2	L'impédance acoustique .....	13
3.5.3	La fréquence .....	14
3.5.4	La longueur d'onde .....	14
3.5.5	La pression .....	14
3.5.6	L'intensité.....	14
3.6	Phénomène d'interaction .....	15
3.6.1	Réflexion et réfraction des ondes ultrasonores.....	15
3.6.2	Diffusion de l'onde ultrasonore.....	16
3.7	Atténuation de l'onde ultrasonore .....	16
3.8	L'absorption de l'onde ultrasonore.....	17
3.9	Propagation des ultrasons dans différents milieux .....	17
3.9.1	Propagation des ultrasons dans un milieu gazeux .....	17
3.9.2	Propagation des ultrasons dans un milieu liquide .....	18
3.9.3	Propagation des ultrasons dans un milieu solide.....	18

3.10	L'effet doppler .....	18
3.10.1	Doppler continu.....	19
3.10.2	Doppler pulsé .....	19
3.11	Application des ultrasons.....	21
3.11.1	En chimie .....	21
3.11.2	En technologie.....	21
3.11.3	En médecine .....	21
4	Conclusion .....	21

## **II) Chapitre2**

1	Introduction.....	22
2	Schéma bloc .....	22
3	Etude des différents étages.....	23
3.1	Alimentation .....	23
3.1.1	Définition .....	23
3.1.2	Schéma synoptique.....	23
3.2	Circuit d'émission.....	24
3.2.1	Oscillateur .....	24
3.2.1.1	Définition.....	24
3.2.1.2	Oscillateur CD4011 .....	24
3.2.1.3	Brochage de CD4011.....	25
3.2.1.4	Caractéristique de CD4011.....	25
3.2.1.5	Oscillateur commandé .....	25
3.2.1.6	Les fonctions existantes dans le CD4011 .....	25
3.2.2	Monostable .....	27
3.2.2.1	Définition.....	27
3.2.2.2	Caractéristique .....	27
3.2.2.3	Monostable à porte NOR.....	30
3.2.2.4	Brochage de CD4001.....	30
3.2.2.5	Caractéristique de CD4001.....	30
3.2.2.6	Les fonctions existantes dans le CD4001 .....	31
3.2.3	Les bascules.....	31
3.2.3.1	Bascule RS.....	31
3.2.3.2	Principe de fonctionnement .....	32
3.2.4	Trigger de schmitt .....	33
3.2.4.1	Définition.....	33

3.2.4.2	Principe de fonctionnement .....	33
3.2.5	Transducteur d'émission .....	34
3.3	Circuit de réception .....	34
3.3.1	Transducteur de réception .....	35
3.3.2	Circuit d'amplification .....	35
3.3.2.1	Montages de base.....	36
3.3.2.1.1	Montage en amplificateur non inverseur .....	36
3.3.2.1.2	Montage en amplificateur inverseur : .....	36
3.3.2.1.3	Montage en comparateur : .....	37
3.3.3	Transistor.....	38
3.3.3.1	Transistor en commutation .....	40
3.3.3.2	Montage émetteur commun .....	40
3.4	Circuit d'affichage.....	41
3.4.1	Afficheur 7 segments .....	41
3.4.2	Compteur-décompteur :.....	42
3.4.3	Décodeur : .....	43
4	Conclusion : .....	43

### **III) Chapitre3**

1	Introduction.....	44
2	Réalisation du circuit d'émission et réception .....	44
3	Partie d'émission du train d'onde ultrasonique.....	47
3.1	Fonctionnement du montage de la partie d'émission .....	47
4	Partie de réception de l'écho de réflexion.....	48
4.1	Fonctionnement du montage de circuit de réception.....	48
5	Partie d'affichage et alimentation .....	51
5.1	Fonctionnement du montage de circuit d'affichage .....	53
5.2	Comptage et affichage .....	55
5.3	Présentation de quelques essais .....	55
5.3.1	Premier essai .....	56
5.3.2	Second essai .....	56
6	Conclusion .....	57
	Conclusion générale.....	58

## *Table de figures*

Figure 1.1: La toise ultrasonique.....	8
Figure 1.2: Illustre le principe de fonctionnement de la toise ultrasonique .....	9
Figure 1.3: Les différentes fréquences sonores .....	9
Figure 1.4: Composition d'un capteur (E1, E2, et E3 : forme quelconque d'énergie) .....	11
Figure 1.5: Capteur à ultrason standard pour une fréquence supérieure à 40 KHz.....	11
Figure 1.6: Effet direct et indirect de la piézo-électricité.....	13
Figure 1.7: Phénomène de réflexion et réfraction des ondes ultrasonores .....	16
Figure 1.8: Phénomène de diffusion des ultrasons .....	16
Figure 1.9: Schéma d'un Doppler pulsée .....	20
Figure 2.1: Schéma bloc .....	22
Figure 2.2: Circuit d'alimentation.....	23
Figure 2.3: Redressement double alternance.....	23
Figure 2.4: Circuit d'oscillateur .....	24
Figure 2.5: Circuit intégré CD4011 .....	25
Figure 2.6: Circuit d'oscillateur commandé .....	25
Figure 2.7: Symbole de la porte NAND.....	26
Figure 2.8: Symbole de la porte NON.....	26
Figure 2.9: Schéma synoptique d'un montage réalisant la fonction Monostable .....	27
Figure 2.10: Chronogramme d'un monostable .....	27
Figure 2.11: Chronogramme d'un monostable de type non redéclenchable .....	28
Figure 2.12: Chronogramme d'un monostable de type redéclenchable.....	29
Figure 2.13: Chronogramme des deux types de monostable.....	29
Figure 2.14: Circuit du monostable.....	30
Figure 2.15: Circuit intégré CD4001.....	30
Figure 2.16: Symbole de la porte NOR.....	31
Figure 2.17: Représentation de la bascule RS .....	32
Figure 2.18: Bascule RS .....	32
Figure 2.19: Chronogrammes de la bascule RS .....	33
Figure 2.20: Symbole du Trigger de Schmitt.....	33
Figure 2.21: Chronogramme de la bascule de Schmitt .....	34
Figure 2.22: Emetteur ultrason.....	34
Figure 2.23: Récepteur ultrason .....	35
Figure 2.24: Représentation simple d'un amplificateur opérationnel.....	35
Figure 2.25: Montage en amplificateur non inverseur .....	36
Figure 2.26: Montage en amplificateur inverseur .....	37
Figure 2.27: Comparateur non inverseur.....	37
Figure 2.28: Caractéristique de transfert d'un comparateur non inverseur .....	37
Figure 2.29: Comparateur inverseur.....	38
Figure 2.30: Caractéristique de transfert d'un comparateur inverseur .....	38
Figure 2.31: Symbole d'un transistor bipolaire PNP .....	39
Figure 2.32: Symbole d'un transistor bipolaire NPN .....	40
Figure 2.33: Transistor en commutation .....	40
Figure 2.34: Montage amplificateur à émetteur commun avec contre réaction et couplage alternatif .....	41
Figure 2.35: Afficheur 7 segments .....	41

Figure 2.36: Schéma interne d'un afficheur à anode commune .....	42
Figure 2.37 : Schéma interne d'un afficheur à cathode commune .....	42
Figure 2.38: Principe de fonctionnement d'un compteur .....	42
Figure 3.1: Photo du circuit d'émission et réception réalisé sur la plaque d'essai.....	45
Figure 3.2: Photo de circuit réalisé de l'émission et la réception .....	45
Figure 3.3: Photo de test de transducteurs sur la plaque d'essai .....	46
Figure 3.4: Signal à l'entrée de l'émetteur .....	46
Figure 3.5: Signal à la sortie du récepteur.....	46
Figure 3.6:Point c : sortie de l'oscillateur .....	47
Figure 3.7:Point A : sortie de monostable.....	47
Figure 3.8:Point D : sortie de l'oscillateur commandé.....	48
Figure 3.9:Point E : sortie de récepteur.....	49
Figure 3.10:Point F : entrée inverseuse d'AOP.....	49
Figure 3.11:Point G : la sortie d'AOP.....	49
Figure 3.12:Point H : sortie du collecteur de transistor T1 .....	50
Figure 3.13:le point B : sortie de partie de réception.....	50
Figure 3.14: photo de circuit réalisé de l'affichage et l'alimentation .....	52
Figure 3.15:La tension d'alimentation .....	52
Figure 3.16:Point K: l'entrée R de la bascule RS .....	53
Figure 3.17: Point L : la sortie de la bascule RS .....	54
Figure 3.18: Point M : la sortie de l'oscillateur.....	54

## *Liste des tableaux*

Tableau 1: Classification des sons selon leur fréquence .....	14
Tableau 2: Description des pins du CD 4011 .....	25
Tableau 3: Table de vérité de la porte NAND.....	26
Tableau 4: Table de vérité de la porte NON .....	26
Tableau 5: Description des pins du CD 4001 .....	30
Tableau 6: Table de vérité de la porte NOR.....	31
Tableau 7 : Table de vérité de la bascule RS .....	32
Tableau 8: Principe de fonctionnement d'un transistor en commutation .....	40

## Introduction générale

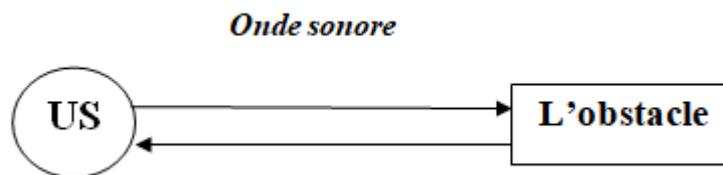
Une toise à ultrason est un dispositif électronique permet de mesurer la taille d'un individu par l'utilisation des ultrasons.

Les signaux ultrasonores sont des ondes de pression mécanique de fréquences supérieures à celles qui sont audibles par l'oreille humaine. D'une manière générale, cette bande de fréquences se situe entre 20 kHz et 1 GHz et couvre une grande variété d'applications dans différents domaines.

Les signaux ultrasonores sont habituellement générés par un transducteur composé d'un élément piézoélectrique qui permet de transformer les ondes mécaniques en signaux électriques et vice-versa.

Lorsqu'une variation de tension est appliquée aux bornes d'un cristal piézoélectrique, ce dernier se met à vibrer et produit une onde de pression. Inversement, lorsqu'un cristal piézoélectrique est exposé à une onde de pression, il se déforme et produit un signal électrique.

Le principe de cette technique est fondé sur la mesure du temps de retour d'une onde sonore inaudible émise par le capteur. La vitesse du son dans l'air étant à peu près stable, on en déduit la distance de l'obstacle.



L'objectif de notre travail est de réaliser une toise à ultrason permettant la mesure de la taille d'un individu. Dans ce contexte, ce mémoire est organisé comme suit :

Le **premier chapitre** introduit une idée générale sur le principe de fonctionnement de la toise. Aussi, nous nous focaliserons ici plus particulièrement sur le principe des ultrasons, leur propagation, leur génération et leurs applications.

Le **deuxième chapitre** sera consacré à une étude théorique des différents blocs qui constituent notre circuit.

Enfin le **troisième chapitre** a pour but de présenter la réalisation d'une toise ultrasonique et ainsi de présenter des résultats avec des signaux à l'appui.

Par conséquent, Nous finirons ce travail par une conclusion générale Optimale.

# *Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons*

## **1 Introduction**

L'anatomie humaine dispose de nombreuses mesures qui nécessitent différents outils pour mesurer chacune d'elle. Si la taille est certainement la plus commune, notamment lors d'une auscultation de routine par le médecin généraliste, d'autres permettent d'affiner le diagnostic général et de détecter d'éventuels troubles plus importants [1].

Le domaine d'application des ultrasons prend de l'ampleur de jour en jour mais le sujet qui a suscité notre intérêt ici est la mesure de la taille ou ce que l'on appelle « la toise ultrasonique » ; un dispositif de mesure qui vous permettra de mesurer la taille d'une personne, elle vous permettra une mesure numérique fiable qui offre un grand confort de lecture, ainsi que sa manipulation est aisée et rapide.

## **2 La toise ultrasonique**

### **2.1 Définition [2]**

Une toise médicale est un instrument de mesure utilisé quotidiennement en médecine pour déterminer avec une précision plus ou moins grande (allons du cm au m), la taille d'un patient.

La connaissance de la taille d'un adulte est indispensable aux diététiciens pour calculer le BMI (Indice de Masse Corporelle) ou réaliser un bilan nutritionnel dans le cadre d'un régime.

C'est aussi une information utile aux médecins généralistes ou médecins du travail lorsqu'ils doivent estimer l'état général d'un patient.

Pour éviter l'utilisation d'un mètre ou une toise classique il faut utiliser une technique de mesure qui nous donne des valeurs plus précises son fonctionnement base sur les ultrasons.



*Figure 1.1: La toise ultrasonique*

### **2.2 Principe de fonctionnement**

En règle générale, la prise de mesure avec la toise médicale est très simple à réaliser. Pour un adulte, il suffit de se placer avec le dos bien droit en face l'affichage de la toise puis de prendre la mesure. Les talons du l'individu doivent toucher le fond du socle. [3]

# Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

Le boîtier supérieur comporte deux transducteurs ultrasoniques, émetteur et un récepteur, places côte à côte. L'émetteur envoie, périodiquement, un bref signal ultrasonore en direction du crâne de l'individu à mesurer. La durée de la réflexion de l'écho permet de déterminer la distance « d ».

Le système n'a plus qu'à soustraire cette distance à la hauteur totale de 1.90m pour afficher en définitive la taille puis de lire le résultat simplement sur l'affichage. [4]

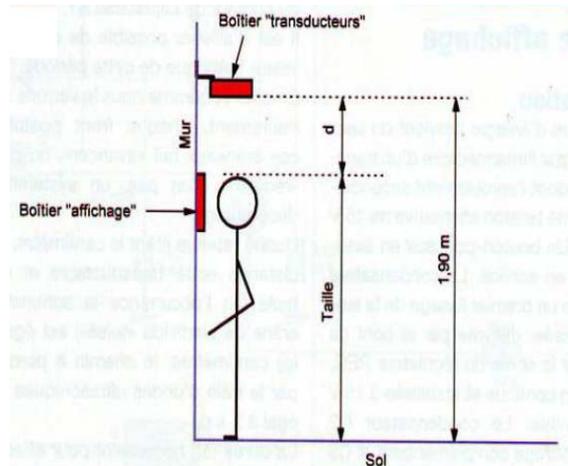


Figure 1.2: Illustre le principe de fonctionnement de la toise ultrasonique

## 3 Généralité sur les ultrasons

### 3.1 Définition

Les ultrasons se définissent comme des ondes mécaniques qui nécessitent un milieu matériel élastique, solide, liquide ou gazeux pour se propager. Elles sont de même nature que les sons mais leur fréquence est trop élevée (entre 20 KHz et 20 MHz). [5]

### 3.2 Classification des sons selon la fréquence

L'oreille humaine perçoit les ondes sonores pour les fréquences  $f$  comprises entre 20 Hz (son grave) et 20000 Hz (son aigu). Cependant, le domaine du son est beaucoup plus étendu. On distingue : [6]

Les infra-sons : inaudibles ; vitesse de propagation lente

Les sons : audibles ; vitesse de propagation intermédiaire

Les ultras sons : inaudibles ; vitesse de propagation rapide

Les hyper sons >100 GHz.



Figure 1.3: Les différentes fréquences sonores

# *Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons*

## **3.3 Historique**

Les ultrasons originellement appelé supersoniques sont restés pendant longtemps seulement un sujet de recherche. En 1883, Galton produisit par un sifflet des vibrations justes au-dessus des fréquences audibles perçues par l'oreille humaine afin de connaître la limite du spectre audible. [7]

Pendant trente ans les ultrasons resteront une curiosité assez mal connue dont on n'imaginait pas d'autres applications que le sifflet à chien. L'intérêt pour ces vibrations a été éveillé par la catastrophe du Titanic en avril 1912. À cette occasion, L. F. Richardson entrevoit la possibilité d'utiliser une méthode d'écho ultrasonore pour la détection d'obstacles immergés comme les icebergs, les épaves, récifs et autres écueils océaniques.

Cette idée prend corps durant la Première Guerre mondiale pour le repérage des sous-marins ennemis et un système de détection rudimentaire, mais opérationnel, est mis au point par Langevin en 1918 [8], utilisant le phénomène de la piézoélectricité. C'est l'ancêtre du sonar (Sound Navigation And Ranging), équivalent au radar (Radio Detection And Ranging) pour les déplacements en mer.

Les ultrasons se développèrent par la suite en bénéficiant des progrès parallèles de l'électronique. Après la première guerre mondiale, l'électronique a connu des développements considérables et c'est en 1925 que Pierce utilisa des transducteurs en quartz et en nickel pour générer des ultrasons atteignant des fréquences de quelques mégahertz.

Puis en 1932, les équipes de Debye et Sears, d'une part, de Lucas et Biquard, d'autre part, travaillant indépendamment l'une de l'autre, réalisent les premières expériences de diffraction de la lumière par les ultrasons et vérifient les prévisions théoriques de L. Brillouin faites en 1922.

Les expériences de propagation des ultrasons, d'abord limitées aux fluides, s'étendent ensuite aux solides. L'utilisation des ultrasons pour la détection des défauts dans les matériaux denses remonte aux travaux de Sokolov en 1934, qui peuvent être considérés comme les premiers pas en contrôle non destructif (NDT Non Destructive Testing).

Ces techniques se développeront beaucoup après la deuxième guerre mondiale dans les domaines de l'industrie, des services et de la médecine. Des ultrasons de très hautes fréquences, on peut en produire jusqu'à 100 GHz, peuvent être générés à l'heure actuelle.

Leur utilisation concerne la recherche physique de base et trouve également son application dans les télécommunications et les techniques modernes des calculateurs [9]. Aujourd'hui nous connaissons un progrès sans précédent dans des domaines pluridisciplinaires qui font appel aux ultrasons.

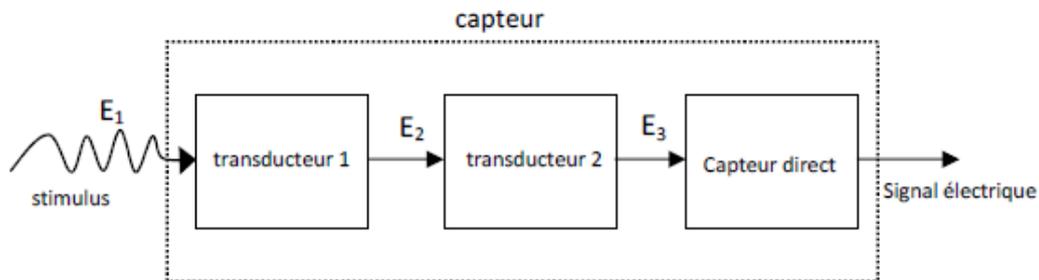
## **3.4 Principe de génération des ultrasons [10, 11]**

Les signaux ultrasonores sont habituellement générés par un transducteur, leurs applications étant très diverses, On décrira donc essentiellement les transducteurs les plus répandus, ceux utilisant l'effet piézoélectrique.

# Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

## 3.4.1 Le transducteur piézoélectrique

Le terme transducteur devrait être distingué du terme capteur (*sensoren* anglais), par définition le premier est un convertisseur d'énergie d'une forme à une autre, par contre, le second convertit un stimulus vers un signal électrique.



**Figure 1.4: Composition d'un capteur (E1, E2, et E3 : forme quelconque d'énergie)**

Le transducteur de ce type est constitué principalement d'un cristal piézoélectrique qui se met à vibrer lorsqu'une variation de tension est appliquée à ces bornes, une onde de pression alors est produite.

Inversement, lorsqu'un cristal piézoélectrique est exposé à une onde de pression, il se déforme et produit un signal électrique. Le capteur à ultrason standard est présenté dans la figure 5.



**Figure 1.5: Capteur à ultrason standard pour une fréquence supérieure à 40 KHz**

Les matériaux piézoélectriques possèdent une fréquence naturelle de résonance et la méthode la plus efficace pour produire des ultrasons est d'appliquer aux électrodes un signal électrique de même fréquence. Chaque piézoélectrique est conçu pour une fréquence spécifique. Tel que présenté par l'équation (1-1), les paramètres qui déterminent cette fréquence naturelle sont l'épaisseur du piézoélectrique ( $e$ ) et la vitesse de propagation ( $c$ ) de l'onde à l'intérieur du piézoélectrique.

$$f = \frac{c}{2e}$$

(1-1)

## Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

### 3.4.2 Phénomène de piézo-électricité [12, 13, 14]

Le terme piézoélectricité nous vient du grec « piézein » signifiant presser ou appuyer. Ainsi qu'il désigne la propriété que présentent certains corps de se polariser électriquement.

Le phénomène de la piézo-électricité est un effet physique permettant de coupler des contraintes mécaniques à des champs électriques. Elle a été découverte en 1880 par les frères Pierre et Jacques Curie.

Ils ont montré qu'ils ont alors non seulement apporté la preuve expérimentale de son existence - si un cristal de quartz, taillé perpendiculairement à l'un de ses axes électriques, est soumis à une pression mécanique, il génère des charges électriques. -, mais aussi théorisé les principales lois qui le régissent.

### 3.4.3 Relais piézoélectrique

$$\sigma = \frac{P_t}{K.E} \text{ Et } Q = \frac{F}{K.E}$$

(1-2)

Avec :

$\sigma(\text{C/m}^2)$  = polarisation électrique

$P_t$  (Pa) = contrainte mécanique

$K$  (nombre) = module piézoélectrique (ou facteur de jauge), dépendant du matériau ;

$K$  vaut 110 (céramiques PZT)- 80(BaTiO<sub>3</sub>)- 2(le quartz)

$F$ (N) = force

$E$  (V/m) = champ d'induction électrique

$Q$ (C) = charge électrique

Quelques exemples de différents matériaux possédant des propriétés piézoélectriques :

- Les cristaux qui possèdent une piézo-électricité naturelle comme le quartz et la topaze.
- Les céramiques de structure cristalline pérovskite ou de structures tungstène-bronze.
- Les polymères à base de fibres de caoutchouc, laine, cheveux, bois et soie.

### 3.4.4 Effet direct et indirect de la piézo-électricité

La piézoélectricité est la propriété que possèdent certains corps de se polariser électriquement sous l'action d'une contrainte mécanique (effet direct) et, réciproquement, de se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique (effet inverse).

# Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

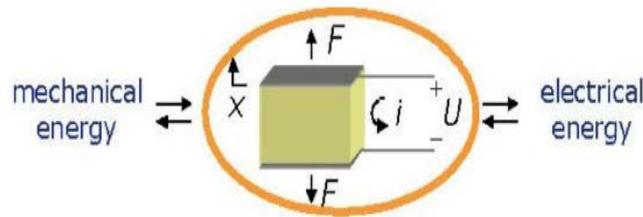


Figure 1.6: Effet direct et indirect de la piézo-électricité

## 3.4.5 Les applications de l'effet piézoélectrique

L'effet piézo-électrique trouve un très grand nombre d'applications dans l'industrie :

Le Capteur de pression piézoélectrique est une application industrielle : ils sont notamment utilisés pour l'automobile (mesure de la pression des pneus...), l'aéronautique (mesure de la pression dans les tuyères...), ainsi que pour les mesures de niveau.

La piézo-électricité est également utilisée en acoustique pour transformer des ondes acoustiques en signal électrique : microphones, haut-parleurs...

Les moteurs et actionneurs piézo-électriques utilisent l'effet inverse : transformation de la tension appliquée en déplacement. On les trouve par exemple les émetteurs.

## 3.5 Propriété physique des ultrasons [15, 16]

Une onde ultrasonore se propageant dans un milieu déterminé peut aussi être caractérisée d'une part par sa célérité, d'autre part par l'impédance acoustique, la fréquence, la longueur d'onde, la pression, l'intensité.

### 3.5.1 Célérité de l'onde acoustique

La célérité de l'onde acoustique : est la vitesse de propagation de la variation de pression dans le milieu, elle dépend uniquement du milieu. Le comportement d'un milieu matériel vis-à-vis des ultrasons est exprimé par une constante appelée impédance acoustique  $Z$ .

$$c = \frac{Z}{\rho}$$

(1-3)

### 3.5.2 L'impédance acoustique

L'impédance acoustique ( $Z$ ) dépend de la masse volumique et de la compressibilité du milieu, c'est-à-dire de son aptitude à reprendre sa forme originale après déformation.

$$Z = \sqrt{\frac{\rho}{\chi}} \quad (\text{Kg/m}^2/\text{s})$$

(1-4)

Avec :

$Z$  = impédance acoustique.

# Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

$\chi$  = compressibilité du milieu.

$\rho$  = masse volumique.

### 3.5.3 La fréquence

La fréquence  $F$  (Hz) : Elle est définie comme le nombre de vibrations de la source émettrice (cristaux) par unité de temps. Elle correspond au nombre de cycles observés par seconde ; Elle dépend des caractéristiques des cristaux piézo-électriques.

Les sons sont classés en quatre catégories (Tableau 1) selon leur fréquence.

Sons	Fréquence
Infrasons	Entre 0Hz et 20Hz
Sous audibles	20Hz à 20KHz
Ultrasons	20 KHz à 200MHz
Hyper sons	> 20 MHz

**Tableau 1.1: Classification des sons selon leur fréquence**

### 3.5.4 La longueur d'onde

La longueur d'onde ( $\lambda$ ) : elle caractéristique à la fois de l'onde et du milieu de propagation. Elle mesure l'étendue spatiale d'un cycle de vibration. Elle correspond à la distance parcourue par l'onde au cours d'un cycle de vibration. La fréquence et la longueur d'onde sont reliées par l'équation suivante :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-5)$$

Avec

$\lambda$  = longueur d'onde.

$c$  = célérité.

$f$  = fréquence.

### 3.5.5 La pression

En chaque point, la pression acoustique  $P$  varie selon la fréquence de l'onde ultrasonore. L'énergie délivrée dépend de ces variations de pression qui soumettent les particules du milieu à des mouvements vibratoires.

### 3.5.6 L'intensité

On appelle intensité ultrasonore l'énergie qui traverse perpendiculairement l'unité de surface pendant l'unité de temps. Elle est reliée à la pression acoustique par la formule:

$$I = \frac{p^2}{2\rho c} \quad (\text{W/ cm}^2) \quad (1-6)$$

Avec :

## Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

$p$  = pression acoustique

$\rho$  = masse volumique

$C$  = célérité.

### 3.6 Phénomène d'interaction [17, 18]

Les ultrasons sont des vibrations élastiques, de fréquence comprise entre 20 kHz et 100 MHz, qui se propagent dans des milieux fluides ou solides. L'onde ultrasonore subit plusieurs phénomènes tels que la réflexion, la réfraction, la diffusion, l'atténuation et l'absorption.

#### 3.6.1 Réflexion et réfraction des ondes ultrasonores

Quand une onde traverse une interface entre deux milieux différents, une partie peut retourner dans le milieu. Cette onde réfléchiée a la même vitesse que l'onde incidente. L'onde transmise continue de se propager mais à la vitesse imposée par le deuxième milieu. Les équations qui décrivent la réflexion et la réfraction sont, respectivement :

$$\theta_i = \theta_r \text{ Et } c_i \sin(\theta_i) = c_t \sin(\theta_t) \quad (1-7)$$

Avec :

$\theta_i$  : est l'angle d'incidence,

$\theta_r$  : l'angle de réflexion,

$\theta_t$  : l'angle de transmission,

$c_i$  : la vitesse de propagation dans le milieu de l'onde incidente

$c_t$  : la vitesse de propagation dans le milieu de l'onde transmise.

Pour une incidence normale le coefficient de réflexion et de transmission est donné par les relations suivantes :

**Le coefficient de réflexion R :**

$$R = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (1-8)$$

**Coefficient de transmission T :**

$$T = \left( \frac{4Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (1-9)$$

À la traversé d'une interface entre un milieu 1 et un milieu 2 et pour une incidence normale, les fractions réfléchies et transmises sont liées à la variation d'impédance acoustique des 2 milieux.

## Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

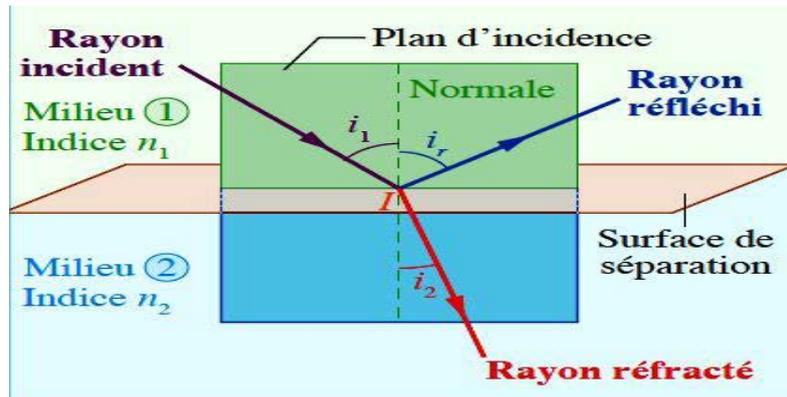


Figure 1.7: Phénomène de réflexion et réfraction des ondes ultrasonores

### 3.6.2 Diffusion de l'onde ultrasonore

Ce phénomène se produit lorsque l'onde ultrasonore rencontre une cible de petite dimension par rapport à sa longueur d'onde et non plus une interface de grande taille, on observe, au lieu d'une réflexion et d'une transmission partielles, une diffusion (type Rayleigh) multidirectionnelle.

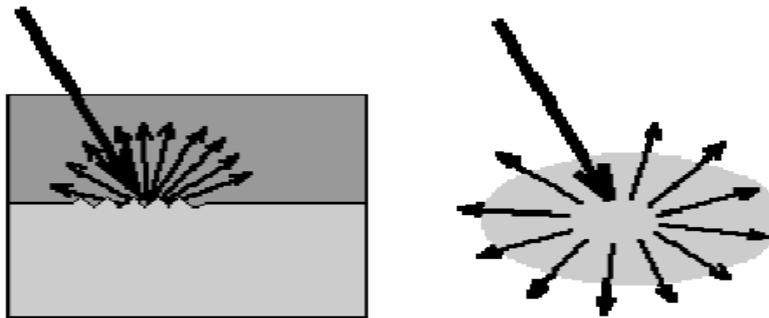


Figure 1.8: Phénomène de diffusion des ultrasons

### 3.7 Atténuation de l'onde ultrasonore

Au fur et à mesure qu'une onde traverse un milieu, son intensité diminue en fonction de la distance. Ce phénomène de perte d'intensité est appelé **l'atténuation** de l'onde ultrasonore.

Plusieurs facteurs contribuent à l'atténuation des ondes ultrasonores : la déviation du faisceau parallèle et donc la diminution de l'énergie par unité de surface ; la diffusion due à des réflecteurs non spéculaires ; la propagation de l'onde suivant des modes autres que le longitudinal (transversal, normal, ondes de surface, etc.) ; et l'absorption ou conversion de l'énergie ultrasonore en chaleur. Pour une onde plane, l'intensité ultrasonore est donnée par l'expression :

$$I_{ac} = I_{ac0} e^{-2\alpha d}$$

(1-10)

Où :

$I_{ac0}$  est l'intensité initiale,

## Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

$\alpha$  est l'atténuation donnée en  $\text{m}^{-1}$  et  $d$  est la distance donnée en mètres.

L'atténuation des ultrasons dépend des milieux traversés, mais aussi des caractéristiques de l'onde ultrasonore, et en particulier de la fréquence des ultrasons : plus la fréquence des ultrasons augmentent, plus l'atténuation est importante.

### 3.8 L'absorption de l'onde ultrasonore

L'**absorption** est définie comme le phénomène de conversion de l'énergie ultrasonore en chaleur lorsque que l'onde traverse un milieu atténuant. L'absorption a souvent été considérée comme due à des forces de friction qui s'opposent au mouvement périodique des particules dans le milieu (Kinsler et Frey, 1962). Cependant, une absorption provoquée par les forces de friction est proportionnelle au carré de la fréquence, et cette dépendance quadratique n'est pas observée expérimentalement dans les tissus où elle est plutôt linéaire (Hueter, 1948 et 1952; Goldman et Hueter, 1956 ; Pauly et Schwan, 1971).

Elle est décrite par une décroissance exponentielle par la formule suivant :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x}$$

(1-11)

Avec :

$x$  = épaisseur traversé.

$\mu$  = coefficient d'atténuation.

### 3.9 Propagation des ultrasons dans différents milieux [19, 20]

Les ondes ultrasonores sont des vibrations mécaniques représentatives d'un déplacement particulaire. La propagation d'une onde sonore est fortement dépendante de la nature du milieu dans lequel elle se propage soit un milieu solide, liquide ou gazeux mais ne peuvent être pas transmises dans le vide.

#### 3.9.1 Propagation des ultrasons dans un milieu gazeux

Dans un gaz comme l'air la propagation du son résulte d'une propriété essentielle : la mobilité des molécules, avec une vitesse moyenne de l'ordre de 480 m/s dans les conditions normales. Mais cette agitation n'a pas d'orientation privilégiée : elle diffuse l'énergie de la secousse dans toutes les directions.

Or la vitesse de propagation du son dans l'air, que l'on appelle **célérité**, implique que toutes les molécules situées dans un très petit volume (la particule fluide) subissent un même déplacement ordonné et collectif. Ceci explique que **la célérité du son**, bien que liée à la vitesse moyenne des molécules, ne soit qu'une fraction de cette vitesse moyenne, de l'ordre de 340 m/s.

# Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

## 3.9.2 Propagation des ultrasons dans un milieu liquide

Les ultrasons se propagent dans tous les milieux, notamment dans les liquides comme l'eau. Dans les mers ce phénomène présente un intérêt considérable, puisque, la lumière ne pénétrant pas dans les grandes profondeurs, il fournit **l'un des moyens de diagnostic privilégiés**. C'est avec des ultrasons que les géographes relèvent les reliefs sous-marins et que les marines nationales du monde entier repèrent les navires et les sous-marins amis ou ennemis présents dans leur voisinage. C'est aussi avec des ultrasons que les mammifères marins communiquent.

La gamme des fréquences utilisables dans l'eau de mer s'étend de 30 Hz à 1,5 MHz, une valeur 100 fois plus élevée que la limite audible pour l'homme, voisine de 15 000 Hz. La célérité de l'ultrason dans l'eau est voisine de 1450 à 1550 m s<sup>-1</sup>. Elle varie surtout avec la température et la profondeur, c'est à dire avec la pression, mais elle est peu sensible aux variations de salinité.

## 3.9.3 Propagation des ultrasons dans un milieu solide

Dans les milieux solides, les ultrasons se propagent encore plus rapidement que dans les liquides. Ceci tient au fait que les solides sont encore moins compressibles que les liquides. La célérité de l'ultrason dans un solide est de l'ordre de 5000 m/s.

L'émission d'impulsions ultrasoniques dans un solide produit deux effets : un effet thermique qui dépend de la puissance acoustique de l'onde et qui engendre une propagation de la chaleur dans le milieu et un effet mécanique qui est la transmission.

## 3.10 L'effet doppler [21]

En 1842, le physicien autrichien Christian Andreas Doppler réalise que lorsqu'un émetteur sonore produit un son dans l'air de fréquence  $f$ , la fréquence  $f'$  mesurée par un récepteur dépend de la vitesse de l'émetteur  $V_e$  et de la vitesse du récepteur  $V_r$ . La vitesse du son  $V_s$  (vitesse de l'onde par rapport à son milieu qui est l'air) est également un facteur à considérer dans la relation. Cet effet porte de nos jours le nom d'effet Doppler sonore :

$$f' = \left( \frac{V_s \pm V_r}{V_s \pm V_e} \right) f$$

(1-12)

Sachant que :

$f'$  : Fréquence du son mesurée par le récepteur (Hz ou S<sup>-1</sup>)

$f$  : Fréquence émise par l'émetteur (Hz ou S<sup>-1</sup>)

$V_s$  : Vitesse du son dans l'air sans vent (habituellement 340 m/s)

$V_r$  : Vitesse du récepteur (m/s)

Signe + : s'approche du son (plus aigu, fréquence augmente,  $f > f'$ )

Signe - : s'éloigne du son (plus grave, fréquence diminue,  $f < f'$ )

## ***Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons***

$V_e$  : Vitesse de l'émetteur (m/s)

Signe - : s'approche du récepteur (plus aigu, fréquence augmente,  $f > f'$ )

Signe + : s'éloigne du récepteur (plus grave, fréquence diminue,  $f < f'$ )

### *Différents systèmes Doppler [22]*

Il existe deux techniques utilisées : le Doppler continu et le Doppler pulsé

#### ***3.10.1 Doppler continu***

Le Doppler continu est une technique qui consiste à diriger des ondes ultrasoniques de façon continue vers un obstacle avec un angle qui ne doit jamais être égale à  $90^\circ$ . Une formule simple donne la relation entre la fréquence d'émission d'un appareil Doppler, la fréquence Doppler et la vitesse de l'objet mobile.

$$\Delta F = \frac{2F_0 \cdot V \cdot \cos \theta}{C_0}$$

(1-13)

Avec :

$F_0$  : Fréquence d'émission.

$F + \Delta F_0$  : Fréquence réfléchi reçue par le transducteur de réception.

$\Delta F$  : Fréquence Doppler.

$\Delta F > 0$ : Le déplacement se fait vers le transducteur d'émission.

$\Delta F < 0$ : C'est le cas contraire.

La technique du Doppler continu est très utilisée pour la réalisation du radar ultrasonique qui apporte une contribution particulière dans le domaine de la détection de différents obstacles.

#### ***3.10.2 Doppler pulsé***

Dans le mode pulsé, l'émission du signal  $F_0$  est discontinue et inversement proportionnelle à la distance, le nombre de signaux émis par seconde est nommé PRF (Peak Repeat Frequency), la durée de l'émission est proportionnelle à la largeur de la portée. Le temps de répétition est ajusté à la distance où se trouve l'obstacle et c'est un paramètre nouveau.

## Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons

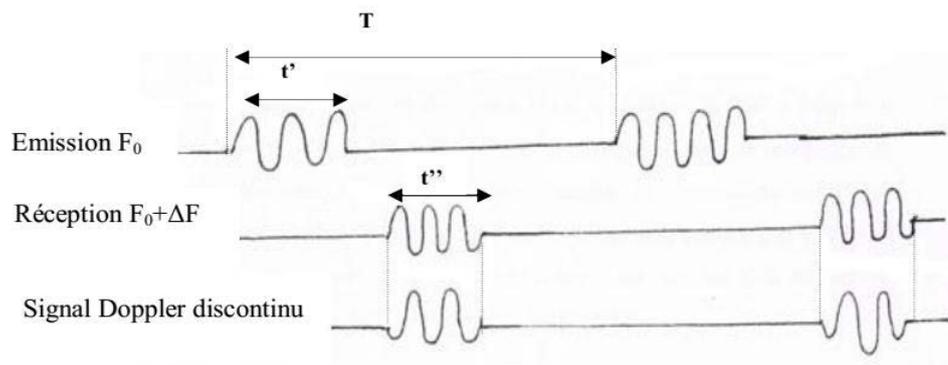


Figure 1.9: Schéma d'un Doppler pulsée

$$\text{PRF} = \frac{C_0}{2d_{\max}}$$

(1-14)

Avec :

$C_0$ : vitesse des ultrasons

$d_{\max}$ : Distance maximale

$$\text{PRF} = \frac{1}{T}$$

(1-15)

$$F_0 = \frac{1}{t'}$$

(1-16)

Le transducteur de réception doit détecter l'onde ultrasonique réfléchie pendant la durée. ( $T - t' = t''$ ).

La variation de  $t''$  se traduit par une variation sur la vitesse minimale  $d_{\min}$  de l'objet à détecter ce qui permet de choisir l'intervalle  $[d_{\min}, d_{\max}]$  et donc d'encadrer la position de l'obstacle qu'on veut détecter.

Pour les mesures précises de vitesse, il est indispensable que la fréquence fournie par l'émetteur soit très stable dans le temps. Il faut de plus que le transducteur d'émission soit rigoureusement immobile. Si le transducteur vibre, sa propre fréquence de vibration est prise comme une fréquence Doppler.

Le système voit alors tous les objets fixes comme s'ils étaient en mouvement, ce qui peut donner des résultats surprenants.

# *Chapitre 1 : Généralité Sur Les Ultrasons*

## **3.11 Application des ultrasons**

Le champ d'application des ultrasons ne cesse de se développer grâce à la possibilité d'engendrer des ondes de grandes énergies, qui provoquent des modifications des matériaux rencontrés et des effets divers : chimique, physique, biologique...

### **3.11.1 En chimie [23, 24, 25]**

Les ultrasons peuvent jouer le rôle d'un catalyseur, peuvent donc déclencher et accélérer des réactions chimiques. Cette activation est due au phénomène de cavitation. Ils ont également des effets sur les solutions chimiques tels que l'ionisation et la luminescence qui semble être à l'origine des décharges électriques dues aux différences de potentiel entre les parois des cavités.

### **3.11.2 En technologie [26]**

L'emploi des ultrasons a pris une importance considérable. Entre autres applications, ils sont utilisés pour souder des métaux qui, en particulier, ne peuvent être soudés par l'étain fondu (comme l'aluminium par exemple), pour usiner et percer des matériaux très fragiles ou très durs (les trous peuvent avoir n'importe quelles formes) et pour dégazer des liquides. Les effets sur les métaux fondus permettent en particulier d'avoir une structure plus fine et plus régulière.

En électronique et pour les télécommunications, les ultrasons sont utilisés comme ligne à retard, puisque leur vitesse est nettement inférieure à celle des ondes hertziennes. Cette application a été développée pour la fabrication des télévisions, des ordinateurs et des radars.

L'emploi des ultrasons s'est énormément développé dans la marine[27,28] pour détecter des obstacles immergés (iceberg, bancs de poisson, sous-marins...), pour rechercher du pétrole, pour relever le profil d'un fond sous-marin, etc. Signalons que c'est aussi un moyen de communication sous-marin.

### **3.11.3 En médecine [29, 30, 31]**

Les ultrasons permettent de guérir certaines maladies de l'oreille interne, de réaliser des massages diathermiques, de détruire des bactéries et surtout de faire de l'imagerie médicale par méthode échographique. Il faut également signaler l'existence d'appareils permettant aux aveugles de détecter la présence d'obstacle sur leurs chemins.

## **4 Conclusion**

Dans ce premier chapitre, nous avons donné une idée sur la toise ultrasonique et leur principe de fonctionnement, nous avons introduire une étude théorique sur le principe de génération et de propagation des ultrasons ainsi que leurs applications qui sont très nombreuses, en nous attardant notamment sur la mesure de distance.

Nous allons passer au chapitre suivant dans lequel nous présentons les différents blocs constituant notre circuit et aussi une étude détaillée sur le principe de fonctionnement de chaque bloc.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 1 Introduction

Dans ce chapitre on donnera quelque généralités sur le différents composants de base constituant notre circuit « toise ultrasonique », ce qui va servir par la suite à la bonne compréhension du principe de fonctionnement de ce dernier.

Nous allons dans un premier temps donner le schéma bloc de notre réalisation, tout en définissant le rôle de chaque partie et en introduisant par la suite des notions sur divers étages constituant le circuit de notre système.

### 2 Schéma bloc

Le montage que nous avons réalisé et donné par le schéma synoptique présenté sur la figure 1.

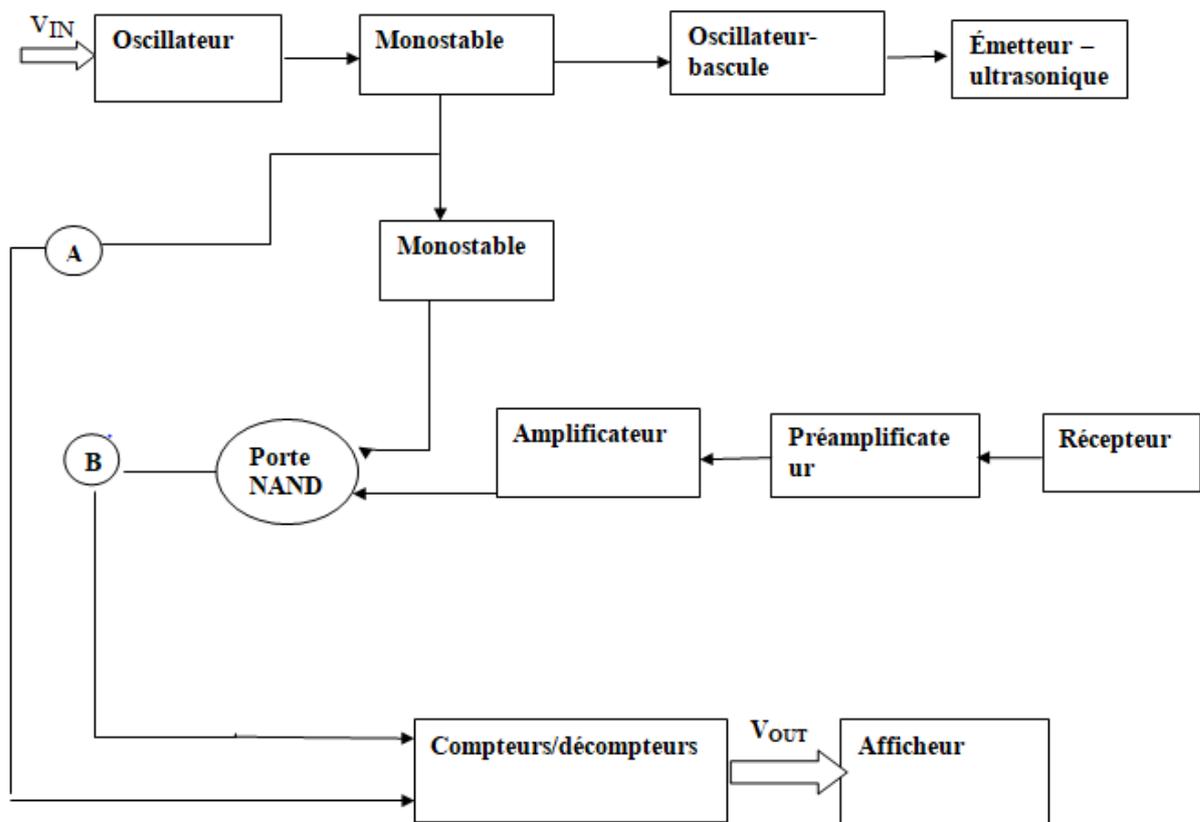


Figure 2.1: Schéma bloc

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 3 Etude des différents étages

#### 3.1 Alimentation

##### 3.1.1 Définition

Le terme d'alimentation électrique désigne un ensemble de systèmes capables de fournir de l'électricité aux appareils fonctionnant avec cette énergie.

Plus spécifiquement, l'alimentation électrique est l'appareillage qui tire le courant électrique d'un réseau électrique et le fournit, sous une forme appropriée, à un autre appareil ; courant, tension et fréquence tels que requis par l'appareil, de façon stable et constante.

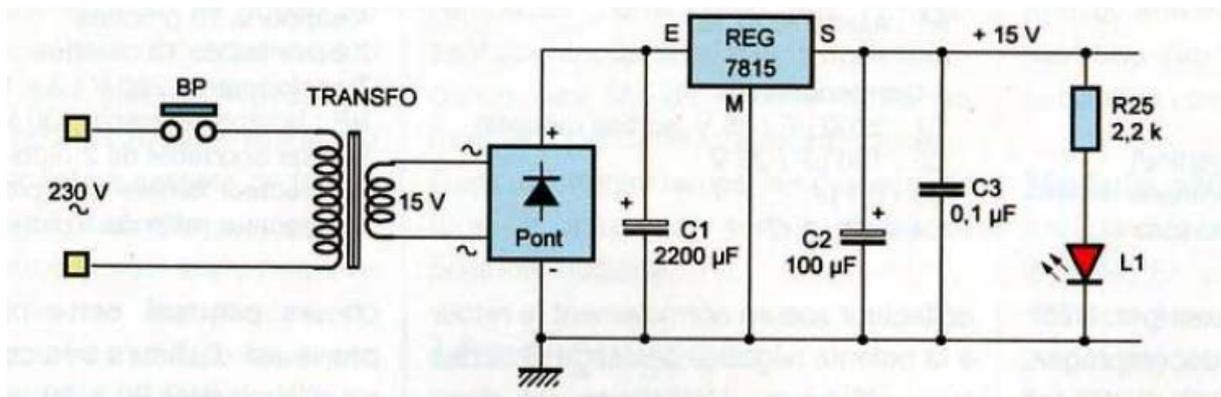
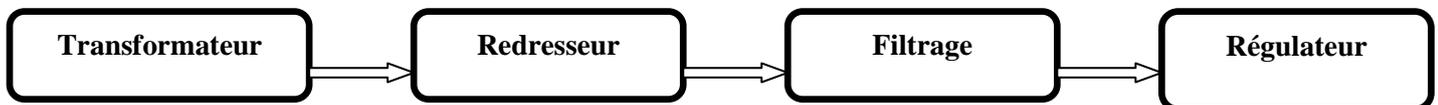


Figure 2.2: Circuit d'alimentation

##### 3.1.2 Schéma synoptique



*Le transformateur* : il a pour objectif deux fonctions de notre circuit

- L'isolement de l'équipement du secteur alimentaire.
- Il baisse la tension car la tension fournie par le secteur est très élevée par rapport à celle qui nécessite notre détecteur.

*Le redresseur* : il sert à convertir la tension alternative du secondaire du transformateur en une tension continue ce redresseur est réalisé par un pont diode.

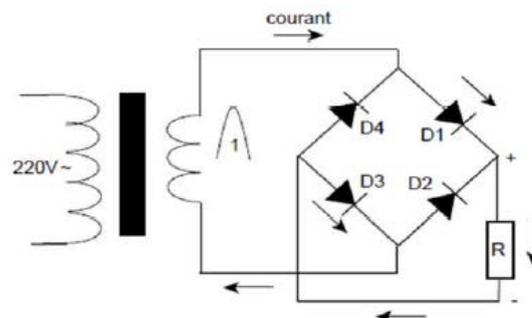


Figure 2.3: Redressement double alternance

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

Pendant l'alternance positive du signal, les deux diodes D1 et D3 conduisent puisqu'elles sont polarisées en direct ; alors que D2 et D4 sont bloquées.

Pendant l'alternance négative, les deux diodes D2 et D4 conduisent, et D1 et D3 se bloquent. On obtient ainsi un redressement double alternance.

*Le filtre* : c'est un circuit RC qui a pour but d'éliminer les parasites de la tension redressée.

*Le régulateur* : maintient la tension de sortie constante quel que soit la variation de la tension prise à la sortie du pont de diodes.

-Le montage à réaliser est divisé en trois parties : une partie assurant l'émission de l'onde ultrasonique, une deuxième partie permet la réception de cette onde et la troisième partie pour afficher les résultats obtenus.

### 3.2 Circuit d'émission

Il est constitué comme suit :

Un oscillateur principal qui génère une fréquence d'émission déterminée ;

Une bascule monostable formée par des portes NOR ;

Un oscillateur de type commandé ;

Un transducteur d'émission ultrasonore.

#### 3.2.1 Oscillateur

##### 3.2.1.1 Définition

Un oscillateur est un montage électronique, dont la fonction est de produire un signal périodique, de forme sinusoïdale, carrée, dents de scie, ou quelconque. L'oscillateur peut avoir une fréquence fixe ou variable.

Il existe deux types d'oscillateurs : les oscillateurs harmoniques qui produisent un signal sinusoïdal et les oscillateurs de relaxation ne produisant pas un signal sinusoïdal.

##### 3.2.1.2 Oscillateur CD4011

Dans notre réalisation, on a utilisé le CD4011 comme un oscillateur principal qui génère une fréquence égale à 40KHz. La figure suivante présente le circuit :

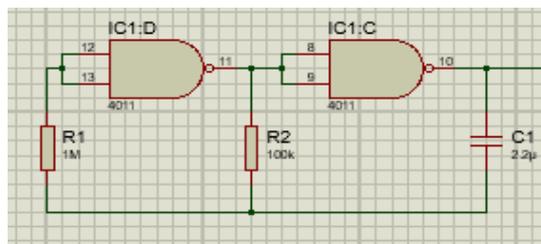


Figure 2.4: Circuit d'oscillateur

Le circuit intégré 4011 est de la série des circuits intégrés 4000 utilisant la technologie CMOS. Il contient quatre portes logiques NAND.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 3.2.1.3 Brochage de CD4011

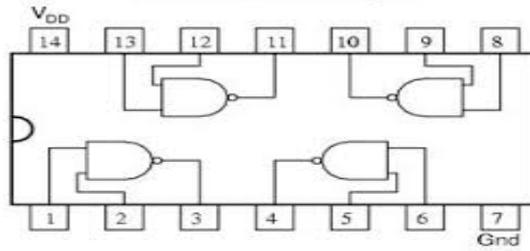


Figure 2.5: Circuit intégré CD4011

Numéro de pins	Fonction
(1, 2), (5, 6), (8, 9), (12, 13)	Entrées données
3, 4, 10, 11	Sorties données
7	Reliée à la masse
14	Reliée à $+V_{CC}$

Tableau 2.1: Description des pins du CD 4011

### 3.2.1.4 Caractéristique de CD4011

Elle est composée de deux transistors MOS canal P et de deux transistors MOS canal N.

Le circuit 4011 est disponible en boîtier Dual in line.

Il supporte au maximum une tension continue telle que :  $V_{ss} = -0.3V$  et  $V_{dd} = +15V$ .

La puissance totale de dissipation est d'environ 200mW.

La température de fonctionnement doit se situer entre - 40 et + 80°C.

### 3.2.1.5 Oscillateur commandé

Ce circuit générant un signal rectangulaire doit être activé par un signal de validation.

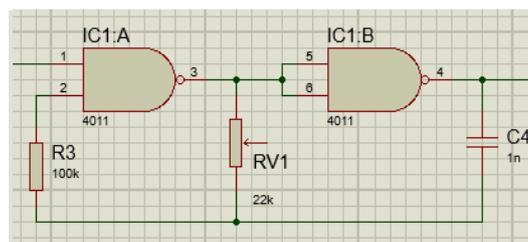


Figure 2.6: Circuit d'oscillateur commandé

Il est seulement actif lorsque l'entrée 1 est soumise à un état haut, si tel est le cas l'oscillateur délivre sur sa sortie des créneaux de forme carrée

### 3.2.1.6 Les fonctions existantes dans le CD4011

- La fonction NAND :

Dans une porte logique NAND, l'état de la sortie dépend uniquement de la combinaison des états respectifs des entrées ; on peut résumer toutes les possibilités ou combinaisons dans un tableau de vérité.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

$$S = \overline{A \cdot B}$$

(2-1)

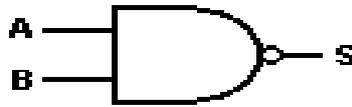


Figure 2.7: Symbole de la porte NAND

Sa table de vérité est donnée par :

A	B	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tableau 2.2: Table de vérité de la porte NAND

- la fonction NON ou (inverse) :

Si les entrées A et B prennent simultanément le même état logique, la sortie, elle prend l'état inverse; il est donc facile d'utiliser la porte NAND comme un inverseur.

$$S = \bar{A}$$

(2-2)

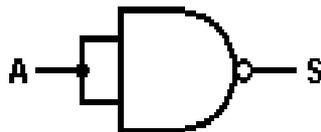


Figure 2.8: Symbole de la porte NON

Sa table de vérité est donnée par :

A	S
0	1
1	0

Tableau 2.3: Table de vérité de la porte NON

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 3.2.2 Monostable

#### 3.2.2.1 Définition

Un monostable est un circuit ne possédant qu'un seul état de stabilité. Sous l'effet d'une impulsion de commande, ce monostable peut passer à un état complémentaire de l'état stable dite état instable de durée  $T_0$  fixe.  $T_0$  est appelé durée propre du monostable.

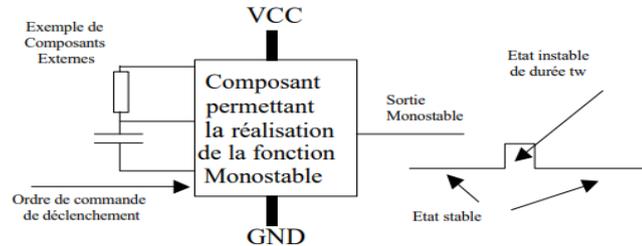


Figure 2.9: Schéma synoptique d'un montage réalisant la fonction Monostable

De nombreux circuits intégrés permettent la réalisation de la fonction monostable. Dans la majorité des cas le circuit doit être accompagné de composants externes (résistances, condensateurs) pour pouvoir réaliser la fonction.

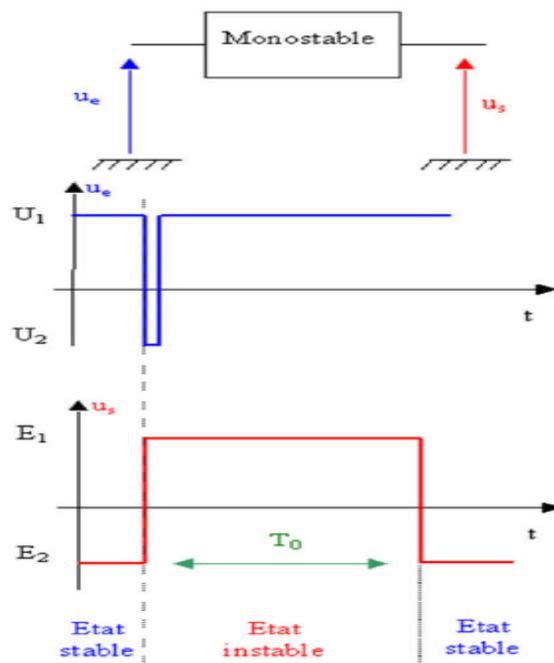


Figure 2.10: Chronogramme d'un monostable

#### 3.2.2.2 Caractéristique

Un monostable possède quatre caractéristiques :

- Etat stable.
- Front de déclenchement : (front montant ou descendant).
- Durée de l'état stable TW (Time Width).
- Redéclenchable ou non.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

Il existe deux types de monostable :

- Monostable non redéclenchable : une nouvelle impulsion pendant l'état instable ne modifie pas la durée de cet état.
- Monostable redéclenchable : une nouvelle impulsion pendant l'état instable relance le monostable pour une durée  $T_0$ .

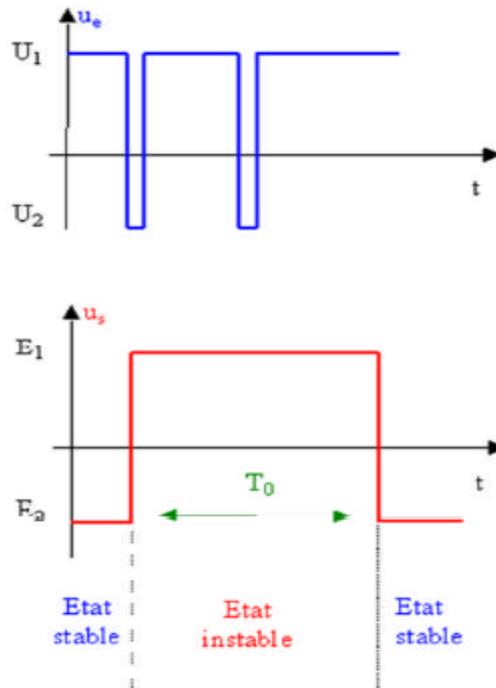


Figure 2.11: Chronogramme d'un monostable de type non redéclenchable

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

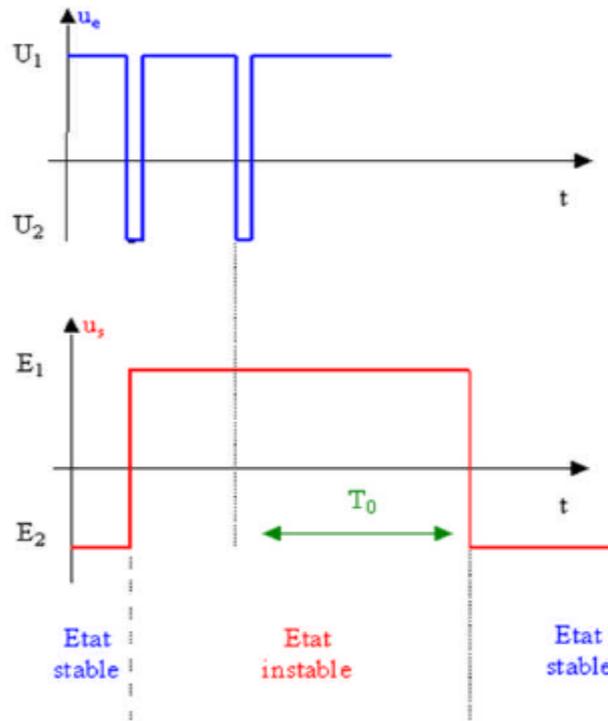


Figure 2.12: Chronogramme d'un monostable de type redéclenchable

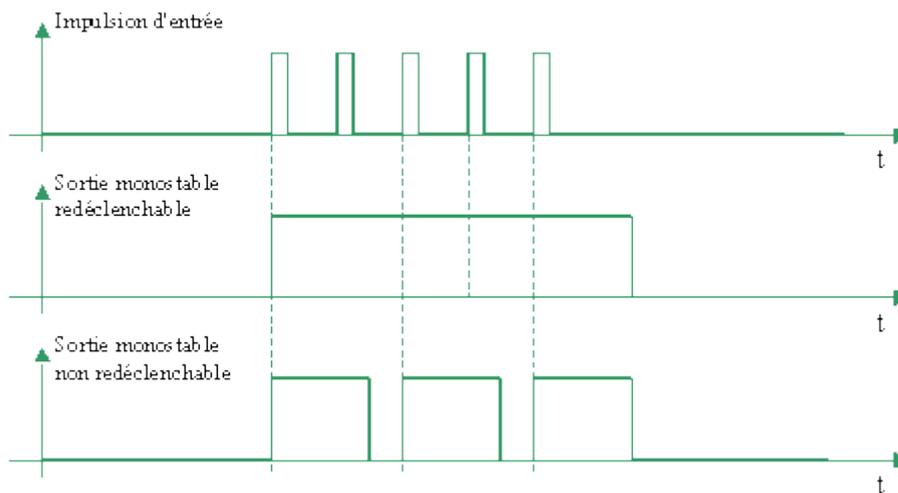


Figure 2.13: Chronogramme des deux types de monostable

Remarque concernant la fonction monostable : la présence du "1" désigne un monostable qui ne peut être déclenché qu'une seule fois ; il s'appellera un monostable non redéclenchable. En son absence, il s'agit donc d'un monostable redéclenchable.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 3.2.2.3 Monostable à porte NOR

Dans notre projet, on a utilisé le CD4001 pour réaliser une bascule monostable. La figure suivante présente le circuit :

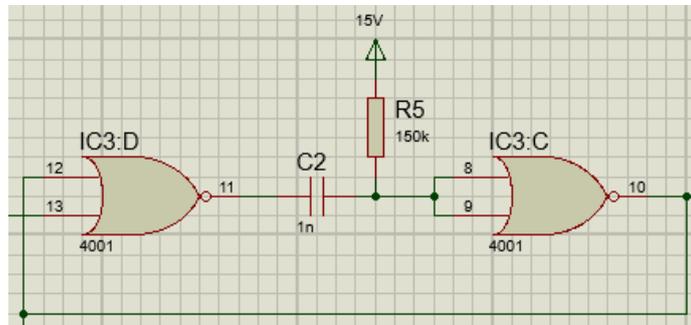


Figure 2.14: Circuit du monostable

Le circuit intégré 4001 est de la série des circuits intégrés 4000 utilisant la technologie CMOS, ayant 14 pins en DIL (Dual In Line Package). Il contient quatre portes logiques NOR à deux entrées.

### 3.2.2.4 Brochage de CD4001

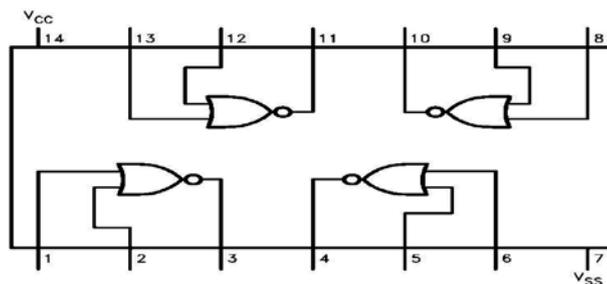


Figure 2.15: Circuit intégré CD4001

Numéro de pins	Fonction
(1, 2), (5, 6), (8, 9), (12, 13)	Entrées données
3, 4, 10, 11	Sorties données
7	Reliée à la masse
14	Reliée à $+V_{CC}$

Tableau 2.4: Description des pins du CD 4001

### 3.2.2.5 Caractéristique de CD4001

Il supporte au maximum une tension continue telle que :  $V_{SS} = 3V$  et  $V_{dd} = 20V$ .

La température de fonctionnement doit se situer entre  $-55$  et  $+125^{\circ}\text{C}$ .

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 3.2.2.6 Les fonctions existantes dans le CD4001

- La fonction NOR:

Dans une porte logique, l'état de la sortie dépend uniquement de la combinaison des états respectifs des entrées ; on peut résumer toutes les possibilités ou combinaisons dans un tableau de vérité.

$$S = \overline{A + B}$$

(2-3)



Figure 2.16: Symbole de la porte NOR

Sa table de vérité est donnée par :

A	B	S
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Tableau 2.5: Table de vérité de la porte NOR

### 3.2.3 Les bascules

Les bascules sont de manière générale des bistables, ce qui permet d'obtenir des niveaux logiques stables sur leur sorties (soit "1" ou "0").

Elles réalisent de ce fait une fonction mémoire temporaire permettant ainsi de stocker des informations. Ces dernières pouvant être aussi annulées à tout moment.

#### 3.2.3.1 Bascule RS

C'est une bascule asynchrone ; ce type de bascule n'utilise pas le signal d'horloge pour cadencer le fonctionnement. La bascule R-S constitue le point mémoire de base. Elle comporte deux entrées R et S et deux sorties Q et  $\bar{Q}$ . Q étant toujours le complément de  $\bar{Q}$ .

Les lettres R et S proviennent des initiales de deux mots anglo-saxons:

- **R** signifiant Reset qui veut dire replacer (dans l'état initial) et donc remise à 0
- **S** signifiant Set qui veut dire placer (dans un état) : mise à 1

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

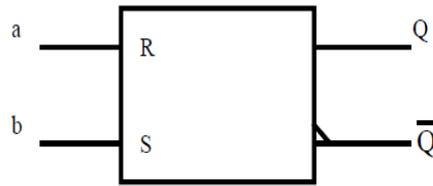


Figure 2.17: Représentation de la bascule RS

### 3.2.3.2 Principe de fonctionnement

Bascule RS réalisée à partir de deux opérateurs logiques de type OU-NON à deux entrées.

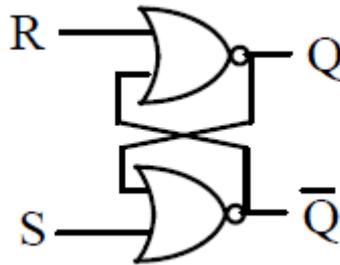


Figure 2.18: Bascule RS

La table de vérité ci-dessous montre le fonctionnement de La bascule RS.

Entrée	Entrée	Sortie	Sortie
R	S	$Q_n$	$\bar{Q}_n$
0	0	$Q_{n-1}$	$\bar{Q}_{n-1}$
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	?	?

Tableau 2.6 : Table de vérité de la bascule RS

#### Explication :

Le cas  $R=0$  et  $S=0$  correspond à la mémorisation de l'information.

La sortie ne change pas d'état par rapport au précédent  $Q_n = Q_{n-1}$ .

L'entrée S permet de fixer la sortie Q à "1".

L'entrée R permet de fixer la sortie Q à "0".

*Remarque* : L'application de  $S=1$  et  $R=1$  est un cas indéterminé, qu'il est interdit d'utiliser dans les applications.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

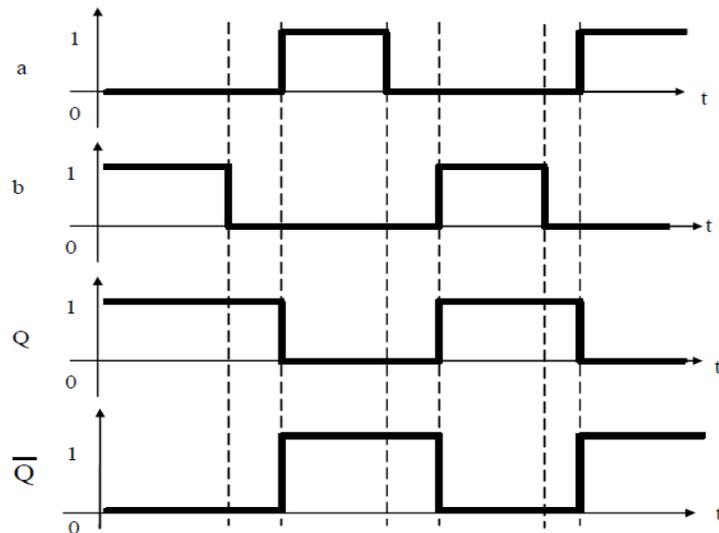


Figure 2.17: Chronogrammes de la bascule RS

### 3.2.4 Trigger de schmitt

#### 3.2.4.1 Définition

Le trigger de schmitt est un montage aussi appelé bascule à seuils. Il ne génère pas de signaux mais permet leur mise en forme. La sortie du trigger ne peut avoir que deux états possibles.

Elle passe de l'un à l'autre pour deux niveaux de la tension d'entrée selon que la variation de tension est croissante ou décroissante.

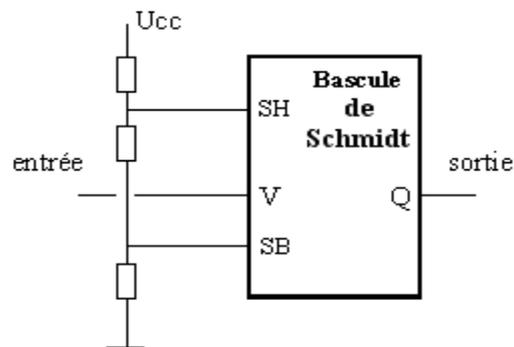


Figure 2.18: Symbole du Trigger de Schmitt

Sachant que :

V, SH (seuil haut), SB (seuil bas) sont les trois entrées de cette bascule.

Q est la sortie.

#### 3.2.4.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement est le suivant :

-Supposons qu'au départ, V soit à 0 ; Q est alors à 0 ;

-Quand V augmente, Q reste à 0 jusqu'à ce que V dépasse SH ; à ce moment, Q passe à 1 ;

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

-Q reste à 1 jusqu'au moment où V devient inférieur à SB ; à ce moment, Q passe à 0;

-Q reste à 0 jusqu'à ce que V repasse au-dessus de SH.

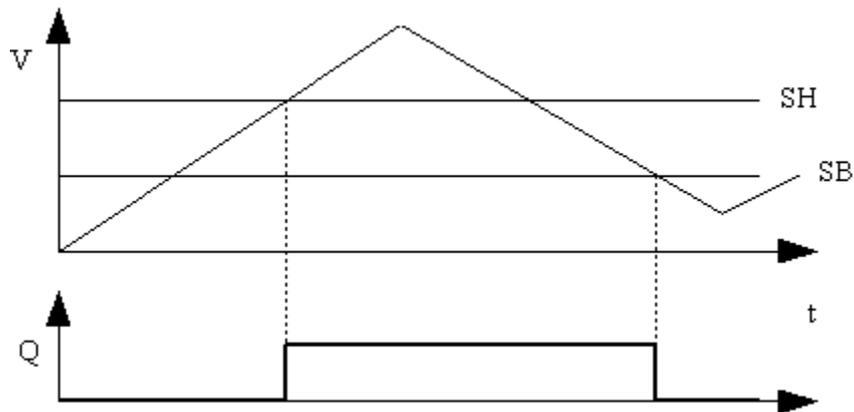


Figure 2.19: Chronogramme de la bascule de Schmitt

### 3.2.5 Transducteur d'émission

Un transducteur est un dispositif recevant de l'énergie d'un ou plusieurs systèmes ou milieux et fournissant une énergie correspondante, à un ou plusieurs systèmes ou milieu.

Dans notre projet on a utilisé un transducteur d'émission électro-acoustique sert à transformer l'énergie électrique en onde ultrasonique.



Figure 2.20: Emetteur ultrason

### 3.3 Circuit de réception

Notre circuit de réception se compose en général des éléments suivants :

Un transducteur de réception.

Un circuit d'amplification.

Un circuit de traitement du signal correspondant à l'écho.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### 3.3.1 Transducteur de réception

Le signal réfléchi est capté par un transducteur de réception qui permet de transformer l'onde ultrasonique en un signal électrique.



Figure 2.21: Récepteur ultrason

### 3.3.2 Circuit d'amplification

Ce circuit est basé sur un amplificateur opérationnel qui possède deux entrées, une dite inverseuse car la sortie sera de signe opposé au potentiel présent sur cette entrée et elle est notée (-), tandis que l'autre sera dite non inverseuse pour la raison inverse et elle est notée(+), et une seule sortie.

Ce composant électronique a le rôle d'amplifier la différence de potentiel électrique présente à ses entrées. Il est utilisé pour contrôler l'amplitude d'un signal, atténuer ou booster certaines fréquences, il joue le rôle d'un adaptateur d'impédance ou un mélangeur des signaux, et rectifier double alternance de précision.

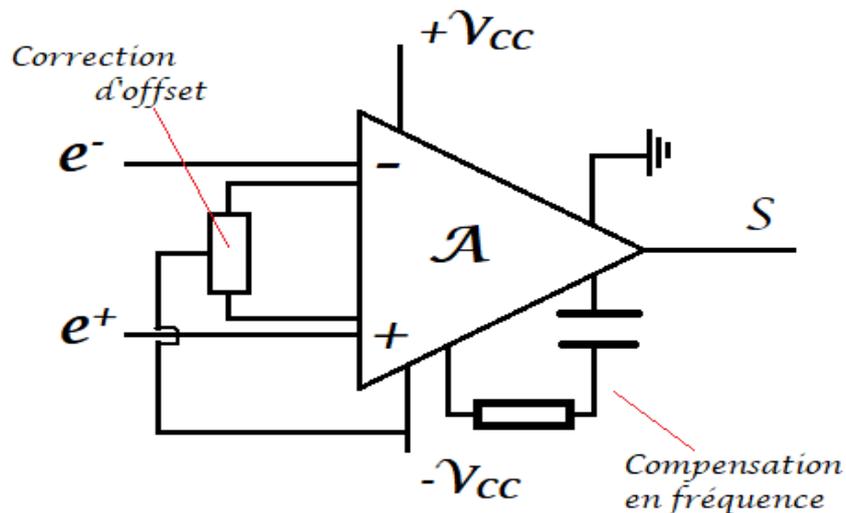


Figure 2.22: Représentation simple d'un amplificateur opérationnel

On remarque évidemment les entrées d'alimentation  $+V_{CC}$  (+) et  $-V_{CC}$  (-) que l'on omettra le plus souvent, pour alléger le dessin sur les schémas, ce qui ne dire pas qu'il faudra ignorer l'alimentation dans un montage réel.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

On note aussi la présence de deux circuits ; l'un de compensation en fréquence comporte un circuit R-C nécessaire sur les amplificateurs, mais généralement directement incorporé, l'autre de compensation d'offset ou décalage d'entrée (potentiomètre de réglage) pour faire compenser par une tension, ajustée au mieux, et injectée en entrée d'un des étages les petits défauts de symétrie de l'amplificateur réel.

Il est évident que pour un dispositif d'amplification dans lequel cette correction est intégrée, il n'y a pas lieu de procéder à cette compensation.

### 3.3.2.1 Montages de base

#### 3.3.2.1.1 Montage en amplificateur non inverseur

Pour avoir un fonctionnement en régime linéaire, la contre réaction se fait sur l'entrée inverseuse.

$$V_S = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_e$$

(2-4)

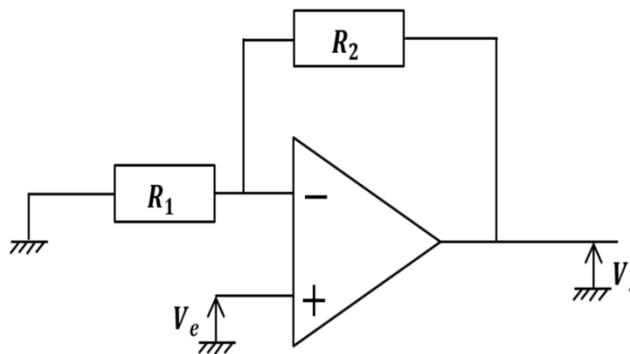


Figure 2.23: Montage en amplificateur non inverseur

#### 3.3.2.1.2 Montage en amplificateur inverseur :

L'entrée non inverseuse est liée à la masse.

En appliquant le théorème de Millman, on obtient :

$$V_S = -V_e \left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

(2-5)

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

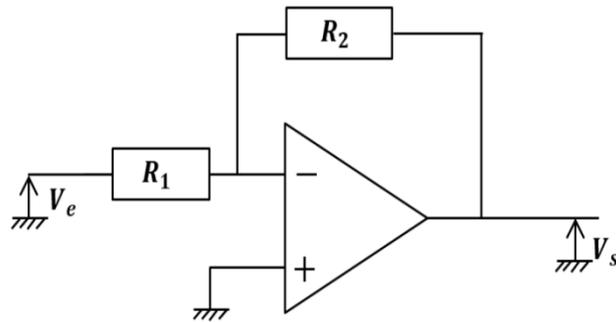


Figure 2.24: Montage en amplificateur inverseur

### 3.3.2.1.3 Montage en comparateur :

Un comparateur est un opérateur dont la tension de sortie  $V_s$  prend deux valeurs stables et distinctes selon le signe de la différence entre la tension d'entrée  $V_e$  est une tension de référence  $V_{réf}$  ; dite comparateur à un seuil.

- Comparateur non inverseur :

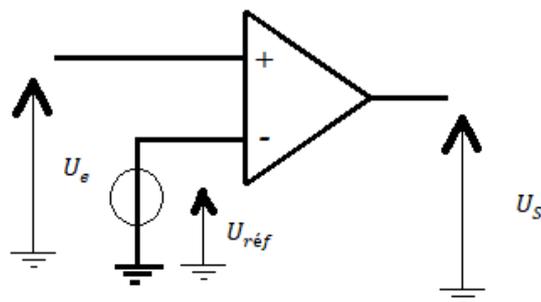


Figure 2.25: Comparateur non inverseur

Basculement :

Si  $U_+ > U_-$  alors  $U_S = +V_{sat}$

Si  $U_+ < U_-$  alors  $U_S = -V_{sat}$

Caractéristique de transfert  $U_S = f(U_e)$

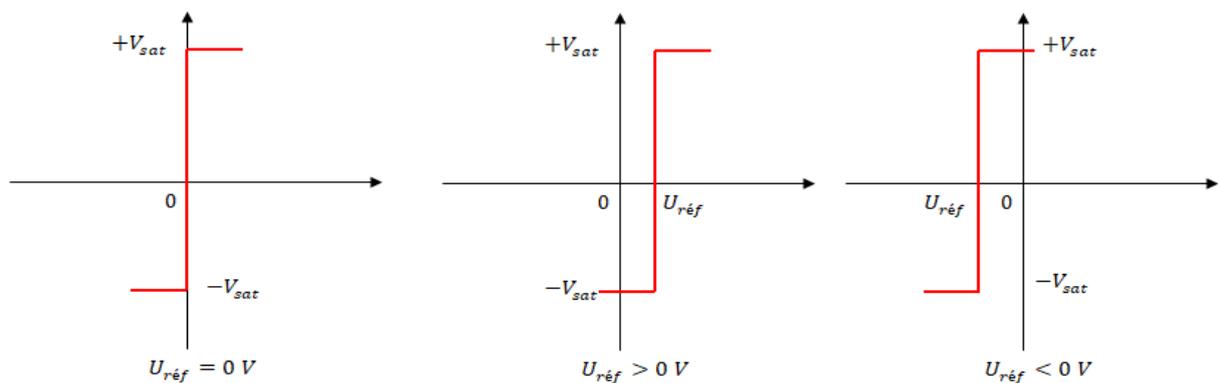


Figure 2.26: Caractéristique de transfert d'un comparateur non inverseur

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

- Comparateur inverseur :

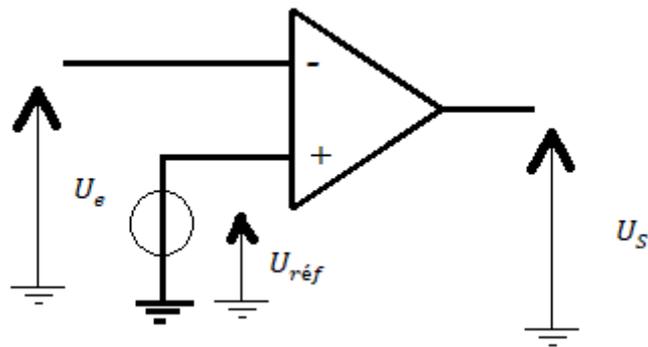


Figure 2.27: Comparateur inverseur

Basculement :

Si  $U_e > U_{réf}$  alors  $U_S = +V_{sat}$

Si  $U_e < U_{réf}$  alors  $U_S = -V_{sat}$

Caractéristique de transfert  $U_S = f(U_e)$

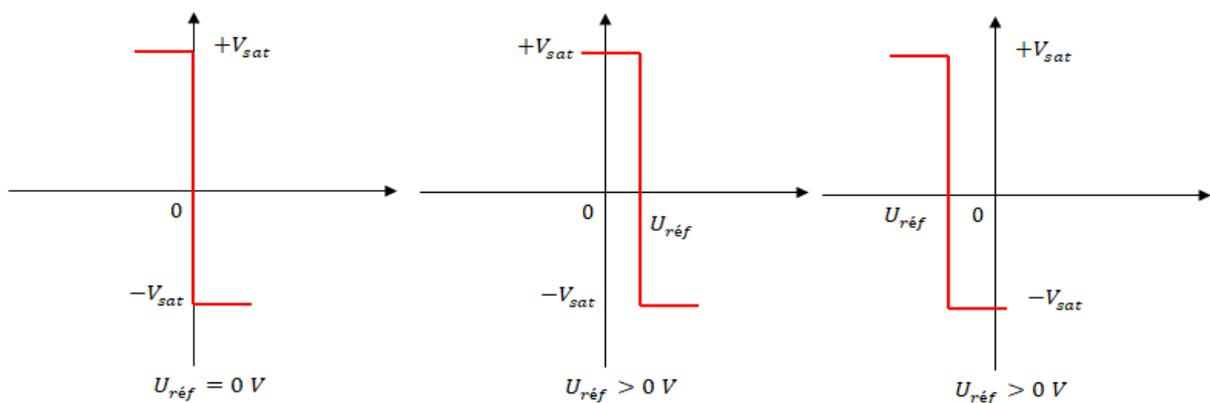


Figure 2.28: Caractéristique de transfert d'un comparateur inverseur

### 3.3.3 Transistor

Le transistor est un composant électronique semi-conducteur, sa résistance interne varie selon la puissance appliquée à sa base. Il est utilisé comme un interrupteur commandé, pour l'augmentation, et aussi pour stabiliser une tension, moduler un signal..

Les substrats utilisés pour former un transistor sont le germanium, le silicium, l'arséniure de gallium et le silicium-germanium qui sont utilisés beaucoup plus pour réaliser des transistors hyperfréquence et micro-onde.

Il existe :

- Un transistor bipolaire se compose de deux parties de substrat semi-conducteur dopées semblablement (P ou N) scindées par une mince tranche de semi-conducteur dopée inversement, on a ainsi deux type : NPN et PNP.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

### Transistors PNP :

Pour autoriser le passage du courant de l'émetteur au collecteur, il faut appliquer une tension relativement négative à la base.

Sur le symbole du schéma, la flèche pointe de l'émetteur vers la base et montre la direction du courant positif.

La tension appliquée à la base doit être inférieure d'au moins 0,6 V à celle appliquée à l'émetteur.

L'émetteur doit être plus positif que le collecteur.

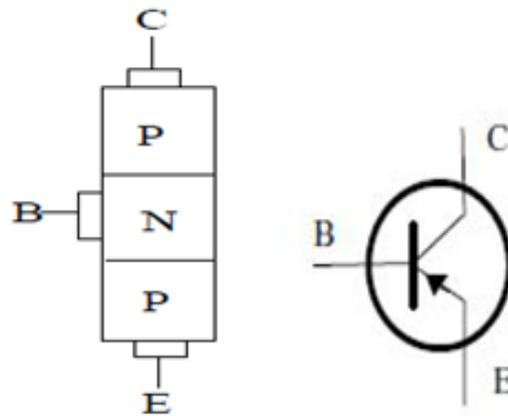


Figure 2.29: Symbole d'un transistor bipolaire PNP

### Transistors NPN :

Pour autoriser le passage du courant du collecteur à l'émetteur, il faut appliquer une tension relativement positive à la base

Sur le symbole du schéma, la flèche pointe de la base vers l'émetteur et montre la direction du courant positif.

La tension appliquée à la base doit être supérieure d'au moins 0,6 V à celle appliquée à l'émetteur.

Le collecteur doit être plus positif que l'émetteur.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

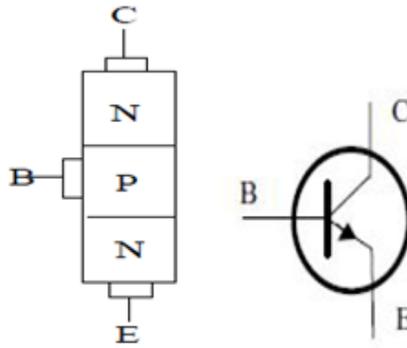


Figure 2.30: Symbole d'un transistor bipolaire NPN

- Le transistor à effet de champ : il est composé d'un barreau de semi-conducteur dopé N ou P, et entouré en son milieu d'un anneau de semi-conducteur dopé inversement (P ou N). On parle de FET à canal N ou P suivant le dopage du barreau.
- Le transistor MOS : se compose d'un barreau de semi-conducteur P ou N sur lequel on fait croître par épitaxie une mince couche d'isolant (silice par exemple), laquelle est surmontée d'une électrode métallique.

### 3.3.3.1 Transistor en commutation

Un transistor est utilisé en commutation lorsque son mode de fonctionnement s'apparente à un interrupteur. En réalité sa polarisation ne lui permet que deux modes de fonctionnement par opposition au fonctionnement en régime linéaire (amplification).

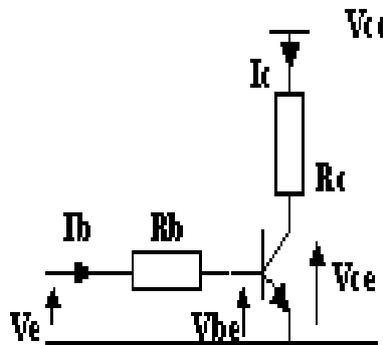


Figure 2.31: Transistor en commutation

Interrupteur	Transistor
Ouvert	Bloqué : $I_C = 0$ ; $V_{ce} = V_{CC}$
Fermé	Saturé : $V_{ce} \approx 0$ ; $I_C = V_{CC}/R$

Tableau 2.7: Principe de fonctionnement d'un transistor en commutation

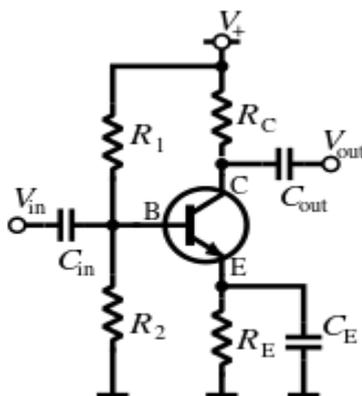
### 3.3.3.2 Montage émetteur commun

Un montage émetteur commun est un type d'amplificateur électronique utilisant un transistor bipolaire en série avec la charge.

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

Le terme émetteur commun vient du fait que l'électrode « émetteur » du transistor est reliée à la masse. Le collecteur est relié à la charge de sortie, et la base joue le rôle d'entrée.

Les circuits à émetteur commun sont utilisés pour amplifier des signaux de faible amplitude.



**Figure 2.32: Montage amplificateur à émetteur commun avec contre réaction et couplage alternatif**

Ce circuit peut être qualifié d'émetteur commun car le condensateur de découplage  $C_E$  est choisi de façon à présenter une impédance assez faible, lors d'une étude en petits signaux, pour court-circuiter la résistance  $R_E$ . La présence de la capacité de découplage  $C_E$  permet d'augmenter significativement le gain du montage, mais en contrepartie le circuit a de plus faibles impédances d'entrée et de sortie.

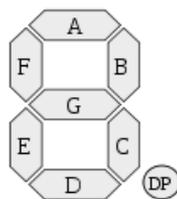
La résistance d'émetteur  $R_E$  permet de créer une sorte de contre-réaction appelée « dégénération de l'émetteur » qui assure de bonnes caractéristiques de stabilité et de linéarité du circuit, notamment en réponse aux variations de température

### 3.4 Circuit d'affichage

#### 3.4.1 Afficheur 7 segments

Les afficheurs 7 segments sont un type d'afficheur particulièrement présent sur les calculatrices et les montres à affichage numérique, il est composé de sept LEDs (7 segments a, b, c, d, e, f, g) qui nécessitent une polarisation spécifique selon le type d'afficheur ; anode commune ou cathode commune.

Il permet de visualiser les chiffres de 0 à 9, et le complément hexadécimal A, b, C, d, E, F.



**Figure 2.33: Afficheur 7 segments**

## Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique

- Afficheur à anode commune : toutes les anodes sont reliées et connectées au potentiel haut. La commande du segment se fait par sa cathode mise au potentiel bas.

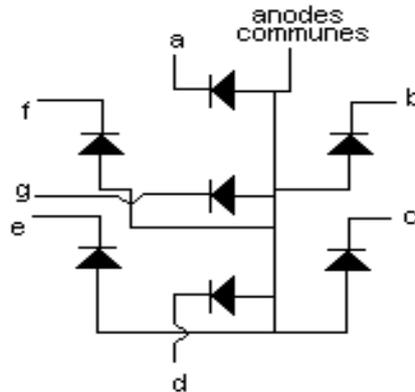


Figure 2.34: Schéma interne d'un afficheur à anode commune

- Afficheur à cathode commune : toutes les cathodes sont reliées et connectées au potentiel bas. La commande du segment se fait par son anode mise au potentiel haut.

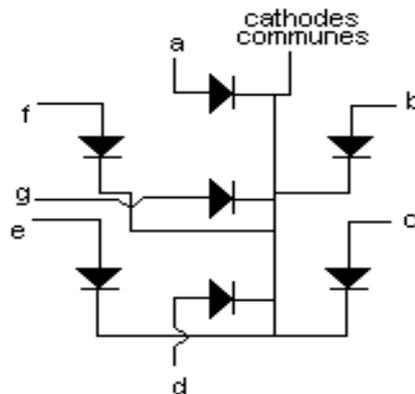


Figure 2.35 : Schéma interne d'un afficheur à cathode commune

### 3.4.2 Compteur-décompteur :

Un compteur (décompteur) est un circuit électronique constitué d'un ensemble de bascules et d'un réseau combinatoire. Il permet de comptabiliser le nombre d'événement qui se produisent pendant un temps donné, chaque événement est traduit en impulsion électrique.

Ces circuits possèdent le plus souvent une entrée (quelquefois deux entrées) sur laquelle parviennent les impulsions à compter ou à décompter et l'information disponible est située sur l'ensemble des sorties des bascules.

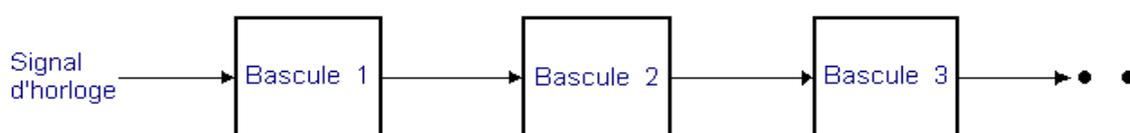


Figure 2.36: Principe de fonctionnement d'un compteur

## ***Chapitre 2 : Schéma Synoptique Et Etude Théorique***

Remarque : on a utilisé le CD4029 (voir annexes) qui possède quatre sorties pour compter ou décompter dans le mode binaire BCD (décimal codé binaire).

### **3.4.3 Décodeur :**

Un décodeur est un circuit logique combinatoire qui a une entrée binaire de  $n$  bits permettant  $2^n$  combinaisons et  $M$  sorties telles que  $2^n \geq M$ . Suivant le type de décodeur, la sortie peut traduire deux fonctions:

- Convertisseur de code à un code.
- Sélecteur de sortie : permet d'activer une seule sortie parmi les  $M$  disponible en fonction de la valeur binaire affichée à l'entrée.

## **4 Conclusion :**

Nous avons vu dans ce chapitre les différents composants de base pouvant être introduire pour réaliser notre système, nous avons remarqué aussi qu'un choix judicieux doit être fait quant au type de circuit à choisir pour notre application, dans certaines parties de circuit.

Maintenant il nous reste à bien faire ce choix et réaliser notre circuit « toise ultrasonique ».

## *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

### **1 Introduction**

Après avoir décrit la partie théorique de notre montage et avoir cité les différents composants qui ont constitué notre circuit. Dans ce chapitre nous allons présenter et décrire notre travail fini sur un circuit électrique puis un circuit imprimé et les mesures pratique en différents points des sorties de tous les étages. Le prélèvement des signaux est effectué à l'aide d'un oscilloscope.

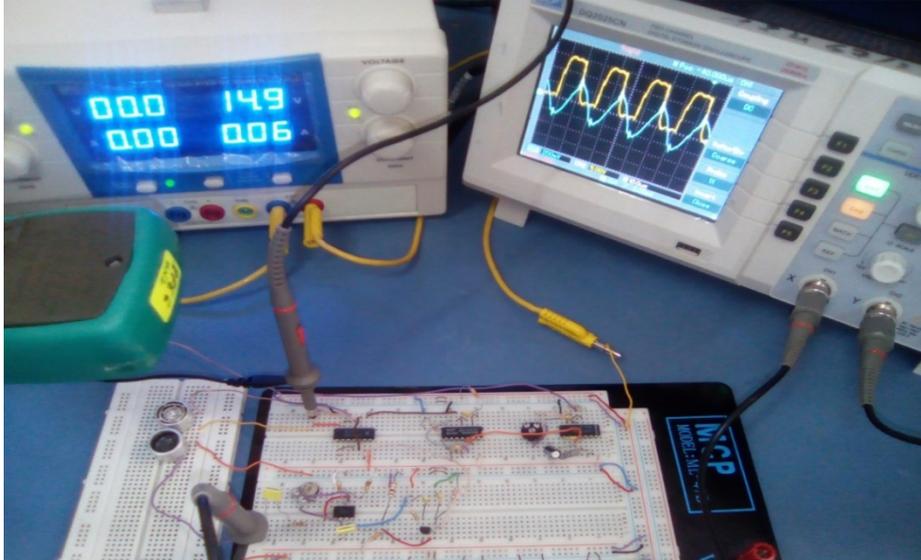
### **2 Réalisation du circuit d'émission et réception**

Après que notre schéma électrique présenté sur la figure suivant était fonctionnel sur la plaque d'essai, on l'a réalisé sur un circuit imprimé en faisant appel au logiciel ARES7 (voir annexe).

### *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

Le schéma électrique de la figure précédente, est une représentation schématique du circuit électrique à réaliser. Cette représentation doit être claire pour avoir une compréhension facile de fonctionnement du circuit, et pour que n'importe quel utilisateur du schéma pourra l'étudier.

Le circuit de l'émission et réception testé sur la plaque d'essai est illustré sur la photo de la figure ci-dessous.



*Figure 3.2: Photo du circuit d'émission et réception réalisé sur la plaque d'essai*

Le circuit réalisé est donné sur la figure ci-dessous. Celui du circuit imprimé est donné en Annexe A1.



*Figure 3.3: Photo de circuit réalisé de l'émission et la réception*

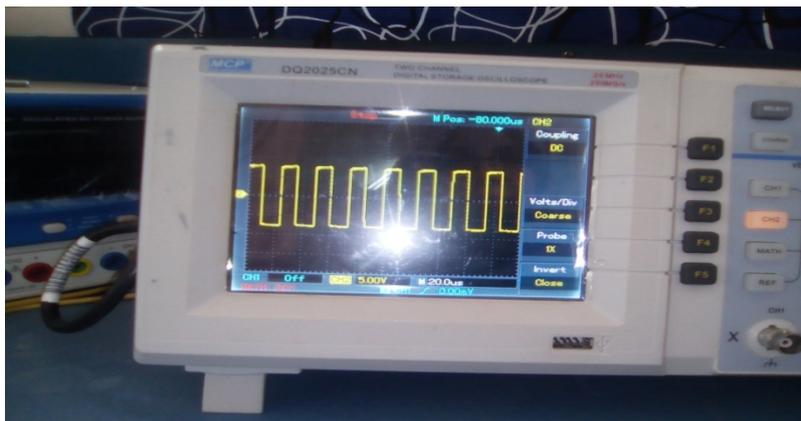
### Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

Dans un premier temps, nous avons pensé de tester la paire de transducteurs (émetteur/récepteur) sur la plaque d'essai sur la figure ci-dessous.



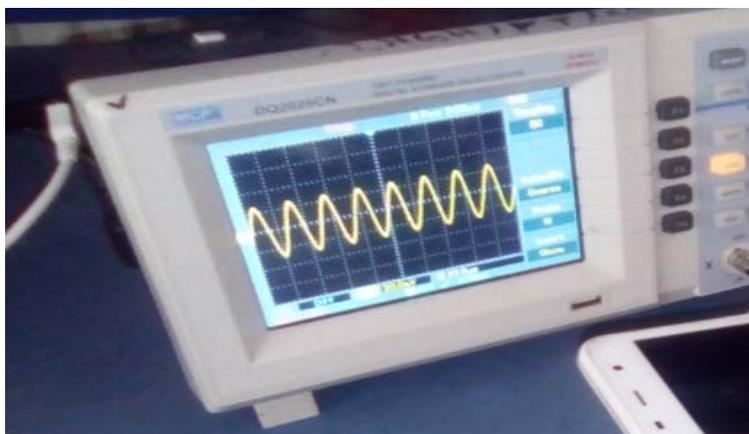
**Figure 3.4: Photo de test de transducteurs sur la plaque d'essai**

L'émetteur et le récepteur sont placés l'un à côté de l'autre distant d'environ 1 cm, pour alimenter l'émetteur directement on injecte un signal carré de fréquence de 40 kHz et d'amplitude de 15v généré par un GBF, voir la figure suivant :



**Figure 3.5: Signal à l'entrée de l'émetteur**

On récupère à la sortie de récepteur un signal sinusoïdal de fréquence et d'amplitude variée en fonction de variation de distance comme vu dans la figure suivante :



**Figure 3.6: Signal à la sortie du récepteur**

## Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

### 3 Partie d'émission du train d'onde ultrasonique

#### 3.1 Fonctionnement du montage de la partie d'émission

Un premier oscillateur est formé par R1, C1 et les portes NAND1 et NAND2 de circuit intégré (CD4011).il nous délivre une fréquence déterminée par R1 et C1.

Une bascule monostable est formée par les portes NOR3 et NOR4 de circuit intégré (CD4001). À l'occasion de chaque front montant du signal issu de l'oscillateur, cette bascule délivre un état haut d'une durée ( $\Delta t$ ) d'environ 100 $\mu$ s fixée par les valeurs de R5 et C2.

Un second oscillateur de type commandé est formé par les portes NAND3 et NAND4 du même circuit intégré (C/MOS4011).il est seulement actif lorsque l'entrée 1 est soumise à un état haut .si tel est le cas, l'oscillateur délivre, sur sa sortie, des créneaux de forme carrée dont la période dépend essentiellement de la position du curseur de l'ajustable A1.

Pour une position proche de la médiane, la période obtenue est de l'ordre de 25 $\mu$ s, ce qui correspond à une fréquence de 40 KHz.

La porte NAND2 de IC2 permet une inversion .si bien que le transducteur émetteur dont les entrées sont respectivement en liaison avec la sortie de l'oscillateur et cette porte NAND2, est soumis à un signal carrée d'une amplitude de 15 v .il en résulte une puissance d'émission accrue.

Dans les figures suivant, nous donnons les différents signaux relevés.

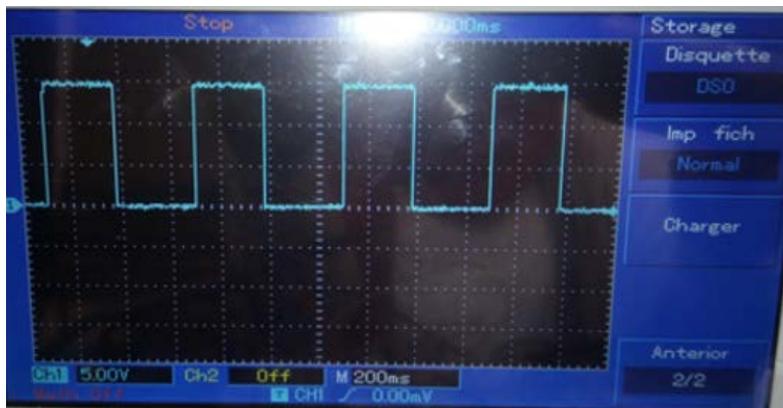


Figure 3.7:Point C : sortie de l'oscillateur

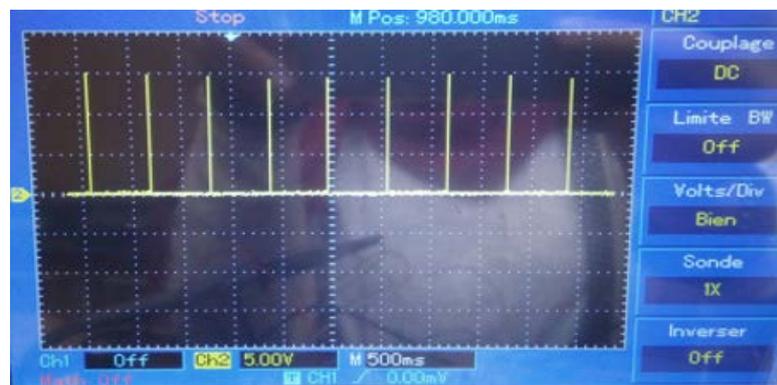


Figure 3.8:Point A : sortie de monostable

## Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

Le potentiomètre A1 est réglé pour une fréquence de 40kHz.

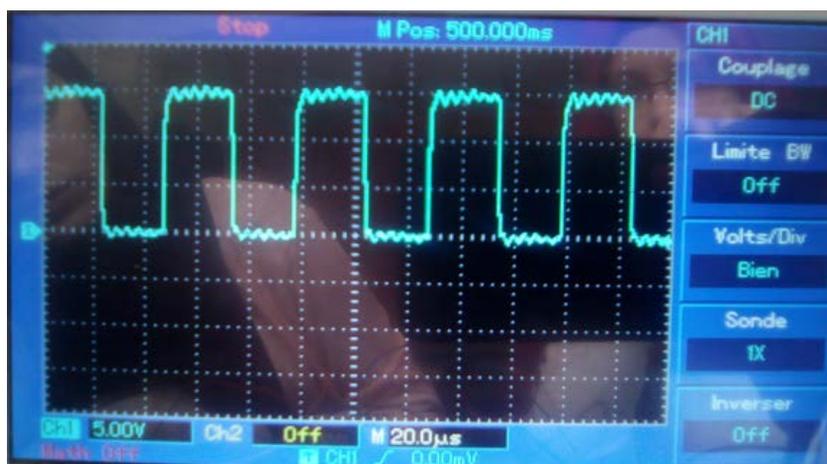


Figure 3.9:Point D : sortie de l'oscillateur commandé

### 4 Partie de réception de l'écho de réflexion

#### 4.1 Fonctionnement du montage de circuit de réception

Les vibrations, correspondant à la réflexion du train d'ondes sur un obstacle, sont perçues par le transducteur ultrasonique récepteur .ce dernier les transforme en signaux électriques, grâce à l'élément piézoélectrique qui le constitue.

Par l'intermédiaire de C6 et R9, ils sont transmis à l'entrée inverseuse de l'amplificateur IC4 (TL081).

L'entrée non inverseuse est soumise au demi-potentiel d'alimentation par le pont de résistances d'égales valeurs R7 et R8.c'est d'ailleurs ce potentiel de 7.5v qui est présent sur la sortie de IC4 en situation de veille.

Pour une position médiane du curseur de l'ajustable A2, le gain de cet étage amplificateur est d'environ 500.

Le transistor T1, un PNP, est monté en émetteur commun, sa base est polarisée de façon telle, qu'en l'absence de signaux en provenance, au début du retour de l'écho ultrasonique de réflexion, le collecteur accuse un bref passage à un potentiel voisin de 15v.

Dans ce qui suit nous donnons les différents signaux relevés du différent point de mesures pour le circuit de réception.

### Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

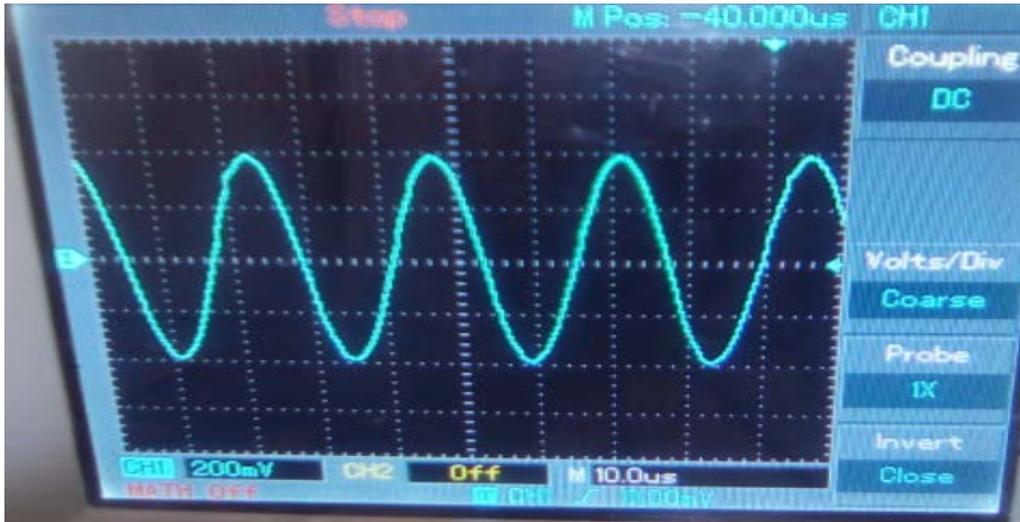


Figure 3.10:Point E : sortie de récepteur



Figure 3.11:Point F : entrée inverseuse d'AOP

Le signal à la sortie de AOP possède la forme d'un signal carré d'amplitude de 7.5V.

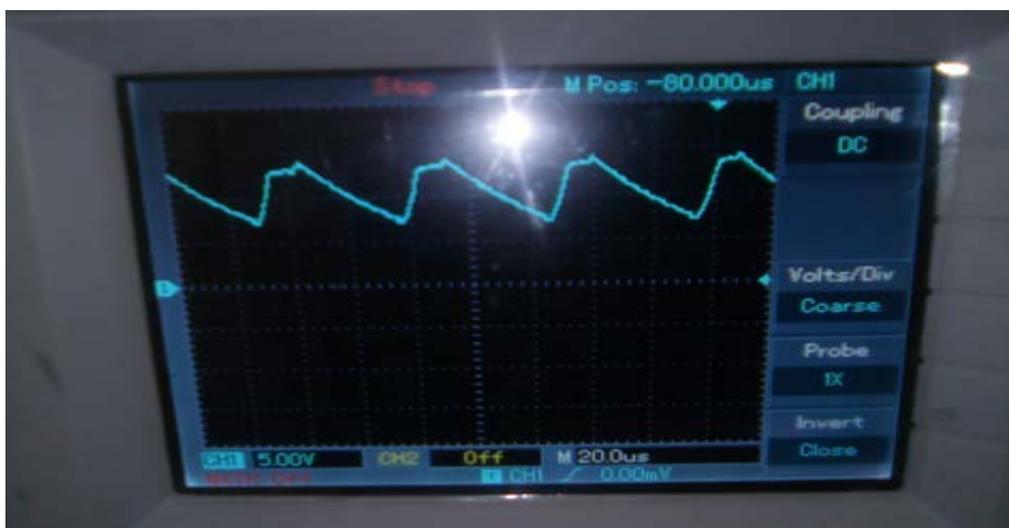
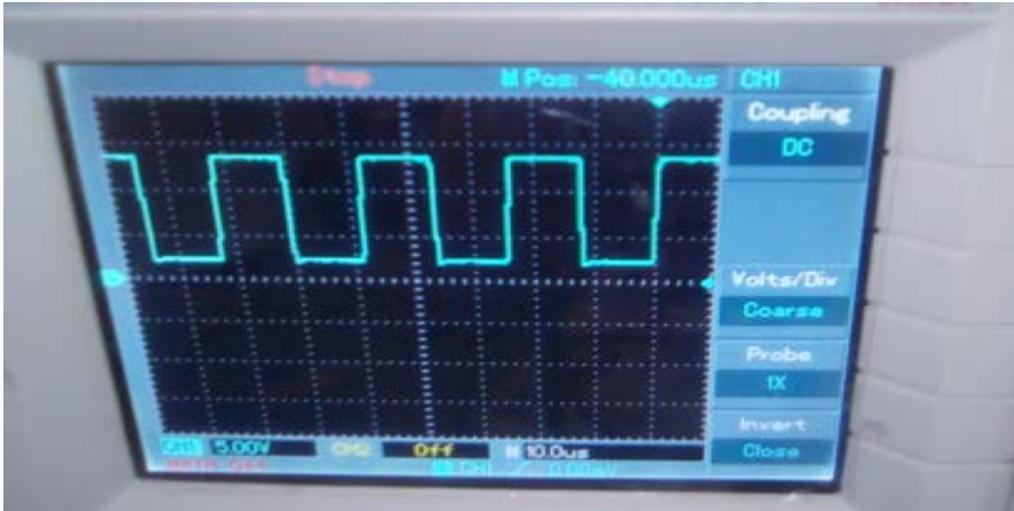


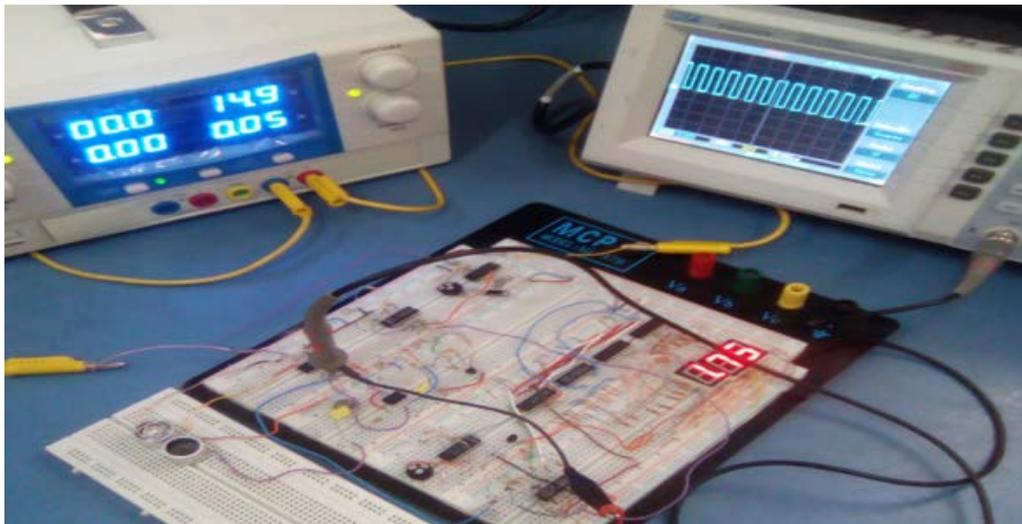
Figure 3.12:Point G : la sortie d'AOP

### *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

Maintenant le signal est injecté à un transistor T1 on récupère la tension au borne du collecteur de 15v.



*Figure 3.13:Point H : sortie du collecteur de transistor T1*



*Figure 3.14:le point B : sortie de partie de réception*

## *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

### **5 Partie d'affichage et alimentation**

Le circuit imprimé de la partie d'affichage et alimentation a été aussi réalisé en faisant appel au logiciel ARES7 (voir annexe A2) à partir du schéma électrique donné sur la figure présenté ci-dessous :

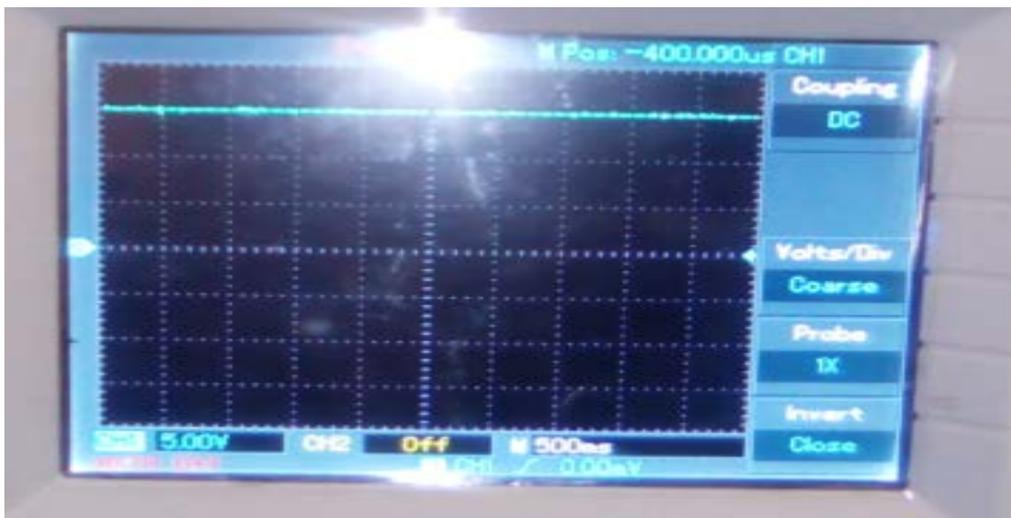
### *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

Le circuit réalisé est donné sur la figure ci-dessous.



*Figure 3.15: photo de circuit réalisé de l'affichage et l'alimentation*

Comme premier étape et avant de commencer les mesures il est envisageable de vérifier l'alimentation de notre circuit afin d'assurer le bon fonctionnement du circuit, la figure ci-dessous nous montre le niveau de la tension continue qui est de 15 volts.



*Figure 3.16: La tension d'alimentation*

## Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

### 5.1 Fonctionnement du montage de circuit d'affichage

Un bref état haut de 100 $\mu$ s de durée est disponible sur la sortie (A) du montage au moment du début de l'envoi du train d'ondes.

Un bref état haut est également disponible, un peu plus tard, au point (B).

Ces deux signaux sont pris en compte par la bascule RS constituée des portes NOR3 et NOR4 de IC2.

La sortie de la bascule RS au niveau de point L :

- Passe à un état haut stable et auto-maintenu pour tout état haut, même de durée brève, appliqué sur l'entrée d'activation (9) le point J.
- Passe à un état bas stable et auto-maintenu pour tout état haut appliqué sur l'entrée d'effacement (13) le point K.

L'oscillateur formé par les portes NAND3 et NAND4 de IC1, devient actif pendant toute la durée de l'état haut issue de la bascule RS, il délivre alors des créneaux de forme carrée, dont la valeur de la période dépend essentiellement de la position du curseur de l'ajustable A1.

Chaque front positif de ces créneaux fait avancer, ou plutôt reculer, d'un pas, un système de décomptage.

Les créneaux générés par l'oscillateur, sont pris en compte par le trigger formé par les portes NAND1 et NAND2 de IC1, avant d'être acheminés sur les entrées de décomptage du système de comptage /affichage.

Dans les figures suivant, nous montrons les différents signaux relevés du différent point de mesures pour le circuit d'affichage.

Dans le point (A), nous récupérons le même signale que nous avons vu dans la figure (7) de la partie d'émission. Ce signal est apparait au point J (entrée S de la bascule RS).

Au niveau de point (B), nous récupérons aussi le même signale que nous avons vu dans la figure (13) de la partie de réception.

La figure ci-dessous illustre le point K qu'est l'entrée R de la bascule RS.

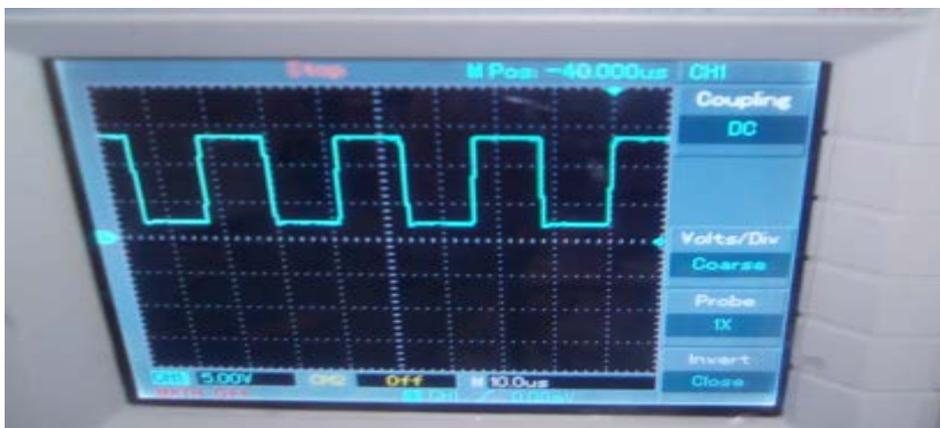


Figure 3.17: **Point K**: l'entrée R de la bascule RS

### Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

Le signal à la sortie de la bascule RS au niveau de point L.

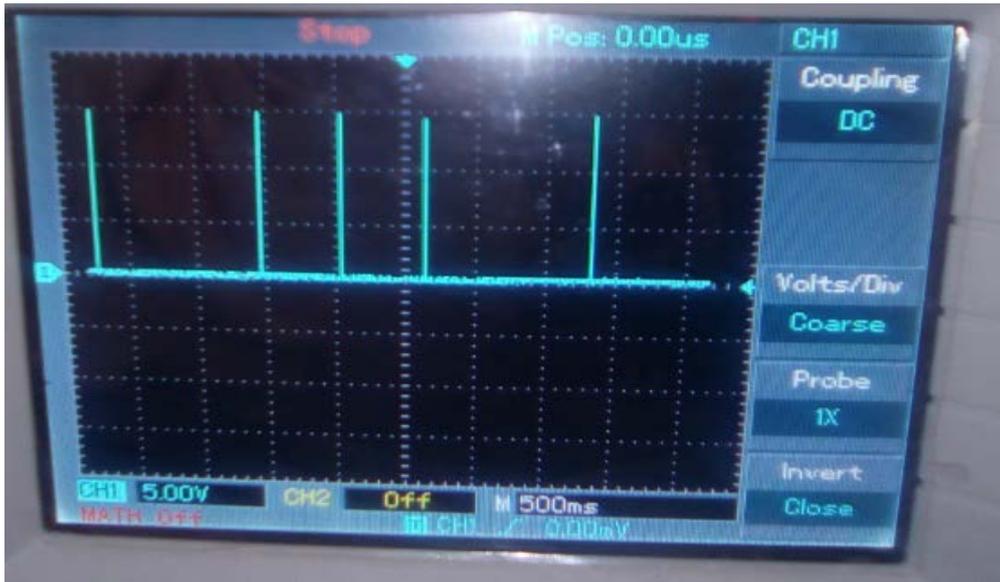


Figure 3.18: **Point L** : la sortie de la bascule RS

Après l'arrivée des impulsions précédant, l'oscillateur va délivrer des créneaux à sa sortie ou plutôt le point M.



Figure 3.19 : **Point M** : la sortie de l'oscillateur

## *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

### **5.2 Comptage et affichage**

Les circuits intégrés IC3 et IC4 sont des CD 4029. il s'agit de compteurs /décompteurs. Dans la présente utilisation, étant donné que les entrées U/D sont reliées à un état bas, ils décomptent au rythme des fronts montants appliqués sur les entrées CL.

De plus, ils fonctionnent en mode BCD, du fait que les entrées B/D sont également reliées à un état bas. À l'occasion de chaque front montant se présentant sur les entrées CL :

- Le compteur IC3, affecté aux unités, décompte d'un pas.
- Le compteur IC4, affecté aux dizaines, décompte d'un pas, uniquement à la condition que son entrée CI soit soumise à un état bas (phénomène se produisant seulement pour la position zéro d'IC3).

Au moment de l'activation de la bascule RS et par l'intermédiaire du système dérivateur formé par C5 et R19, les entrées PE (de pré-positionnement) des compteurs sont très brièvement soumises à un état haut, ce qui permet l'initialisation des compteurs sur les positions :

- (9) pour le compteur IC4, position imposée par les niveaux logiques auxquelles sont soumises les entrées J de ce dernier.
- (0) pour le compteur IC3, toujours en raison des niveaux présents sur les entrées J.

En tout début de comptage, le système de comptage IC3/IC4 occupe la position 90.

Les niveaux binaires des sorties Q des compteurs sont en liaisons avec les décodeurs BCD (circuits intégrés IC5 et IC6). ces derniers ont leurs sorties (a à g) reliées aux segments des afficheurs AF1 et AF2 par des résistances de limitation de courant.

Pour l'utilisateur de la toise, la lecture du résultat de la mesure est de la forme x, y, z tel que :

- Les deux afficheurs AF1 et AF2 indiquent, en centimètres, la distance. le décomptage ne peut s'effectuer que dans une plage allant de 90 à 00.
- L'afficheur AF3 affiche en permanence la valeur (1), suivie du point.

Pendant la phase de décomptage, l'entrée 6 de la portes NOR2 de IC2 est soumise à un état haut .sa sortie présente donc un état bas .il en résulte le blocage du transistor T1, dont le circuit collecteur assure le retour à la polarité négative des segments des trois afficheurs. L'affichage est donc éteint pendant le décomptage.

Cette disposition évite à l'observateur de voir clignoter les segments des afficheurs pendant cette phases est d'ailleurs très courte.

### **5.3 Présentation de quelques essais**

La procédure de mesure est comme nous avons expliqué dans le premier chapitre tel que l'utilisateur soit debout avec le dos bien droit en face l'affichage puis de prendre la mesure.

## Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique

### 5.3.1 Premier essai

Dans ce premier essai nous avons fait un essai sur la plaque d'essai.

Un obstacle est à une distance  $d= 15\text{cm}$ , Ce système n'a plus qu'à soustraire cette distance «  $d$  » à la hauteur totale  $190\text{cm}$  ( $190-15=175\text{cm}$ ) .Le résultat est illustré sur la photo de la figure suivante.



Figure 3.20 : premier essai

### 5.3.2 Second essai

Dans ce deuxième essai nous avons fait la mesure si un obstacle est plus loin d'une distance plus de  $1\text{m}$ , le résultat est nul.

#### Remarque

On remarque que ce dispositif a des mesures limitées, Si l'individu mesuré à une taille inférieure à  $1\text{m}$ , la position des compteurs atteindra, à un moment donné du décomptage, la valeur 00.les sorties CO des deux compteurs présenteront alors simultanément un état bas.

#### Explication :

La sortie de la porte NOR1 de IC2 passera à l'état haut. Le front montant qui en découlera sera pris en compte par le système dérivateur forme par C6 et R21. Par l'intermédiaire de D2, un bref état haut sera appliqué sur l'entrée d'effacement de la bascule R/S, ce qui aura pour conséquence son passage sur son état de repos.

L'oscillateur cessera de fournir des créneaux de décomptage. Les compteurs resteront donc provisoirement bloqués sur leur position 00 .La sortie de la porte NOR2 de IC2 présentera un état bas ce qui maintiendra l'extinction de l'affichage.

## *Chapitre 3 : Réalisation Et Résultats Pratique*

### **6 Conclusion**

Dans ce chapitre ; nous avons donné le circuit électrique du montage composé d'une partie d'émission, de réception et de l'affichage. Nous avons expliqué le fonctionnement détaillé de ces trois parties

Nous avons donné également les mesures relevées aux différents points, montrant ainsi le bon fonctionnement des différents étages constituant le circuit de notre réalisation.

## 2 Conclusion générale

Dans notre projet de fin d'études, nous avons réalisé un instrument de mesure qui est la toise ultrasonique destinés à mesurer la taille des adultes.

Cette toise s'installe très facilement sur un mur et ne prennent pas de place, elle s'utilise à la verticale, donc l'individu se tenant alors debout. Il suffit de fixer les transducteurs contre un mur à une hauteur de 1.90 m du sol tandis que l'affichage est installé entre 1.30 et 1.50 m pour lire la taille du l'individu.

Cette technique repose essentiellement sur l'émission des impulsions et la réception des échos à travers deux transducteurs à ultrason (émetteur / récepteur).

Cette technique de mesure est basée sur la mesure du temps écoulé entre l'émission et la réception des impulsions, Ainsi, Un obstacle qui se trouve à une distance « d » de la source, est calculé en utilisant l'équation :  $\Delta t = \frac{2d(cm)}{c(cm/s)}$  ,  $c = 34000$  (cm/s)

Il faut convertir ce temps en distance, par l'intermédiaire des compteurs et décodeur ce qui permet d'extraire chaque chiffre composant la distance en notation décimale et les apparaitre sur l'afficheur.

Dans l'application pratique de ce système de mesure, nous avons rencontré des difficultés à la phase de réception, nous avons obtenu des signaux un peu déformés, et cette déformation continue à atteindre la partie finale de l'affichage, ce qui a entraîné des résultats de mesure inexacts

Sans doute, notre montage est loin d'être parfait ; des améliorations seraient donc possibles pour réaliser un circuit plus performant. On s'intéresse à la précision de la mesure donc, en faisant appel souvent à des fonctions analogiques appliquées au signal telles que l'amplification, le filtrage, le redressement, la comparaison et l'adaptation.

Et enfin pour finir, notre projet nous a permis, d'approfondir nos Connaissances. Le plus important encore, c'est d'être confronter aux problèmes pratiques de l'électronique et comment surmonter tous ces problèmes pour mener à bien une réalisation.