

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BAKR BELKAID



FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de Génie Electrique et Electronique

**Contribution à l'étude d'une microsonde
météorologique constituée de trois capteurs
(température, pression et l'humidité) en Technologie
MEMS**

*Mémoire pour l'obtention du diplôme de
Master en Instrumentation Electronique*

Soutenu par :

**Oussama Bouziane
Belinda Langelihle Yolanda Dube**

Le 05 Juin 2016

Devant la commission d'examen constituée par :

Président : Mr. GHAFfour KHEIR EDDINE Professeur Faculté de Technologie
Encadreur : Mr. BENMOUSSA NASR EDDINE Maître de conférences Faculté des Sciences
Examineur : Mr. MERAD LOTFI Maître de conférences A EPST Tlemcen

Année universitaire 2015/2016

Résumé :

Le radiosondage est une technique qui permet de mesurer les trois grandeurs de l'atmosphère qui sont : la température, la pression et l'humidité relative et bien d'autres paramètres à différentes altitudes. Cette technique utilise un équipement appelé radiosonde. Elle est composée de deux parties : émission et réception.

Dans ce projet nous avons essayé de simuler cette technique utilisant des circuits électroniques de traitement de l'information par PROTEUS (logicielle de simulation de circuits électroniques).

Mots clé : Microsonde météorologique, atmosphère, Capteur, Pression, température, humidité.

Abstract :

The technology of radiosonde is a technic to measure the three atmospheric parameters: Temperature, Pressure, Humidity and others as well at different altitudes. This technic uses equipment called the radiosonde and it is composed of two parts: Transmission and Emission.

In this project we have tried to simulate this technique using electronic circuits that process information using PROTEUS (simulation software of electronic circuits).

Key words: meteorological microsonde, atmosphere, Sensor, Pressure, Temperature, humidity.

REMERCIEMENT

Avant tout, Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté de parvenir à la fin de notre parcours universitaire.

Un grand merci à Monsieur Nasr Eddine BENMOUSSA notre encadreur pour sa confiance en nous et pour son aide si précieuse qui nous a permis d'achever notre modeste travail.

Nous adressons aussi toute notre gratitude et respects envers Monsieur Ghaffour Kheir Eddine, Monsieur Lotfi MERAD et Monsieur Nemmiche Ahmed, qui nous ont aidés dans notre travail.

Nos remerciements vont aussi à tout le corps pédagogique : enseignants, administrateurs, employés du département de Génie électrique et électronique ainsi que toutes les personnes de notre faculté.

Nous tenons à remercier Monsieur Ghaffour Kheir Eddine d'avoir accepté de présider le jury. Ainsi que Monsieur Merad Lotfi d'en être l'examineur.

Enfin, à toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet, un grand merci.

DÉDICACES

Je dédie ce travail à mon Dieu fidèle.

Je dédie ce modeste travail :

À ma chère mère Ghanmi Hafida.

À mon agréable père Bouziane Ghalem.

*À tous mes proches plus particulièrement mes
sœurs Bouziane Amina, Bouziane Chaimae et
Bouziane Khawla et mon frère Bouziane
Mohammed.*

Bouziane Oussama

Je dédie ce travail à mon Dieu fidèle.

Je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde : mes parents N .NGWENYA, BB DUBE ,HS DUBE ,K MABUYA , H MADLUNGA qui m'ont toujours aidé et encouragé dans mon parcours universitaire, sans oublié leurs sacrifice et Amour.

A mes frères et sœurs : Leeroy, Billy, Alan, Brendon, Kholiwe, Natasha, Awakhiwe, Mgabadeli, Nomagugu, Sibahle, Precious.

A mes amis : Rodwel, Polite, Florence, Mirirai, Jacky, Soneni, Michelle, Patricia et Lillian.

A mon collègue, mon ami, mon binôme Bouziane Oussama.

Belinda Langelihle Yolanda Dube

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	01
CHAPITRE 1 GENERALITES SUR LES CAPTEURS.....	02
I.1-Définition d'un capteur	03
I.2-Constitutions d'un capteur.....	03
I.3-Mode de Transduction.....	04
I.4- Problèmes	05
I.5-Quelques exemples sur les grandeurs d'influence	05
I.6-Rôle du capteur	05
I.7-Pourquoi des Petits Capteurs.....	06
I.8-Quelques Classifications des Capteurs	07
CHAPITRE 2 PRINCIPLE DE FONCTIONNEMENT DES CAPTEURS.....	08
II.1- Capteur de pression.....	09
II.1.1- Définition de la pression	09
II.1.2-Autres unités de pression	09
II. 1.3-La pression atmosphérique	10
II. 1.4-Capteur de pression	10
II. 1.5- Utilisations	11
II. 1.6-Les avantages et les inconvénients.....	11
II. 1.7- Le modes de transduction d'un capteur de pression.....	12
II. 1.8-Capteur de pression capacitif	13
II. 1.9- Principe de fonctionnement du capteur de pression capacitif.....	14
II. 1.10- Capteur de pression piézorésistif	16
II.2-Capteur d'humidité.....	16
II .2.1-Definition de l'humidité	16
II .2.2-Mesure de l'humidité	16
II .2.3-L'humidité absolue et l'humidité relative	16

II .2.4-Definition d'un capteur d'humidité	17
II .2.5-Ses domaines d'utilisation	17
II .2.6- Les modes de transduction d'un capteur d'humidité.....	17
II .2.7- Capteur d'humidité capacitif	18
II .2.8-Capteur d'humidité résistif.....	19
II .2.9-Ses avantages et ses inconvénients.....	19
II .3- CAPTEUR DE TEMPERATURE.....	20
II .3.1-Quelques définitions	20
II .3.2-Definition d'un capteur de température	20
II .3.3-Défférentes technologies	20
II.3.3.1- Les thermocouples	20
II .3.3.2- Thermistance	20
II .3.3.3-Capteur de température de type résistance	21
II .3. 4-Les utilisations	23
II .3.5-Les avantage et les inconvénients	24
CHAPITRE 3 RADIOSONDAGE	25
III .1-Définition	26
III.2-Ballon-sonde	26
III.3-Différents types de ballons-sondes	26
III.4-Eléments constituant le ballon-sonde.....	27
III.5-Radiosondage.....	28
III.7-Caractéristiques	29
III.8-Comment s'effectue la mesure	29
CHAPITRE 4 SIMULATION	30
IV.1- Schéma synoptique.....	31
IV.2- Logiciel utilisé	32

IV.3-Proteus Isis.....	32
IV.4- Phase 1 de la radiosonde : Emission.....	33
IV.4.1-Capteur de la Température (LM335)	33
IV.5-Capteur de pression	36
IV.5.1-Simulation de capteur de pression sous ISIS	37
IV.5.2-Représentation graphique de la tension en fonction de la pression	37
IV.5.3-Convertisseur tension-fréquence	38
IV.6- Capteur d'humidité HCH 1000.....	42
IV.6.1-La conversion de la capacité en fréquence	44
IV.6.2-NE555.....	45
IV.6.3-Courbe de tension en fonction d'humidité.....	48
IV.7 -Multiplexeur utilisant un commutateur(CD4016) et un compteur(CD4017)	50
IV.7.1-Commutateur CD4016.....	50
IV.7.2-Compteur CD4017.....	53
IV.8-Modulation et Démodulation.....	64
IV.8.1-Modulation.....	64
IV.8.2-Demodulation.....	65
IV.9-Antenne.....	65
IV.10- Phase 2 de la Radiosonde : RECEPTION.....	66
IV.10.1-Démultiplexeur utilisant un commutateur(CD4016) et un compteur(CD4017)	66
IV.10.2- Convertisseur fréquence-tension	67
IV.10.3- Calcule de la tension de sortie.....	68
IV.10.4- Convertisseur analogique-numérique avec Arduino	69
IV.10.5-Mesurer une tension	70
IV.10.6-Le code de démonstration	71
IV.11-Résultats.....	74

CONCLUSION.....	76
-----------------	----

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : La représentation modulaire d'un capteur.....	04
Figure I.2 : Figure qui représente le rôle du capteur.....	06

Chapitre II

Figure II.1 : La courbe représentant la variation de la pression atmosphérique en Allemagne en septembre 2004 sur plusieurs jours.....	10
Figure II.2: Schéma Synoptique d'un capteur de pression.....	11
Figure II.3: Schéma de capteur de pression capacitif et piezoresistif	12
Figure II.4 : (a) capteur de pression piézorésistif	12
(b) capteur de pression capacitif	12
Figure II.5 : Schéma simple d'un capteur de pression.....	13
Figure II.6 : Un schéma simple de principe de fonctionnement d'un capteur de pression capacitif.	14
Figure II.7 : Le capteur de pression capacitif au repos.....	15
Figure II.8 : Un schéma qui représente la déformation d'une armature du capteur de pression.....	15
Figure II.9 : Un capteur d'humidité capacitif.....	18
Figure II.10 : La conception sur le principe de fonctionnement de capteur d'humidité.....	19
Figure II.11 : Le principe de l'effet Seebeck et du thermocouple.....	21
Figure II.12 : Le symbole électrique d'une thermistance.....	21
Figure II.13 : La structure d'un capteur de température.....	22
Figure II.14: L'évolution de la résistance en fonction de la température pour les matériaux exploités.....	23

Chapitre III

Figure III.1: Schéma d'éléments constituant le ballon-sonde.....	27
Figure III.2: La structure verticale d'atmosphère.....	28

Chapitre IV

Figure IV.1 : Schéma synoptique.....	31
Figure IV.2 : Schéma des circuits sous ISIS.....	32
Figure IV.3: Schéma ISIS sous windows.....	33
Figure IV.4 : Figure qui représente LM335.....	34
Figure IV.5 : Schéma de simulation du LM335 sur ISIS.....	34
Figure IV.6: Graph de tension en fonction de la tension de sortie.....	35
Figure IV.7 : Les différents types de capteur de pression MPX.....	36
Figure IV.8 : Le fonctionnement de capteur de pression MPX.....	36
Figure IV.9: Schéma de simulation de capteur de pression sous ISIS.....	37
Figure IV.10: Courbe qui représente la tension de sortie de capteur en fonction de la pression.....	38
Figure IV.11: Le montage de convertisseur tension-fréquence basée sur LM331.....	39
Figure IV.12: Schéma de simulation d'un convertisseur tension-fréquence d'un capteur de température à 27°C.....	40
Figure IV.13: La visualisation du signal de sortie par un oscilloscope Virtual sur ISIS (le jaune).....	40
Figure IV.14: Schéma de simulation d'un convertisseur tension-fréquence d'un capteur de pression à 94 KPa.....	41
Figure IV.15: La visualisation du signal de sortie par un oscilloscope Virtual sur ISIS (le jaune).....	42
Figure IV.16: La figure représentant le capteur d'humidité HCH 1000.....	43
Figure IV.17: La capacité en fonction d'humidité.....	43
Figure IV.18 : Le circuit électronique de conversion capacitance à fréquence avec un simple 555 Timer.....	44
Figure IV.19: L'image de circuit intégré 555timer.....	45

Figure IV.20: Le circuit électronique de 555timer.....	45
Figure IV.21: Figure de fréquence correspondante à la charge et décharge de la capacité.....	47
Figure IV.22: Simulation de capteur d'humidité capacitif (HCH100) sous ISIS utilisant un timer NE555.....	47
Figure IV.23: La visualisation du signal de sortie sur un oscilloscope virtuel sur ISIS (humidité égale à 10%).....	48
Figure IV.24: La courbe qui représente la tension de sortie de capteur en fonction de l'humidité.....	49
Figure IV.25: Schéma du brochage de CD 4016.....	50
Figure IV.26: Un exemple d'un montage SPDT sous ISIS	51
Figure IV.27: Un exemple d'un montage DPST sous ISIS.....	52
Figure IV.28: Un exemple d'un montage DPDT sous ISIS.....	53
Figure IV.29: Schéma du brochage du CD4017.....	54
Figure IV.30: Schéma de base du compteur CD4017.....	54
Figure IV.31: Un exemple de la simulation de CD4017 sous ISIS.....	55
Figure IV.32: T : de 0ms à 100ms.....	55
Figure IV.33: T : de 100ms à 200ms.....	56
Figure IV.34: T : de 200ms à 300ms.....	56
Figure IV.35: T : de 300ms à 400ms.....	57
Figure IV.36: T : de 400ms à 500ms.....	57
Figure IV.37: T : de 500ms à 600ms.....	58
Figure IV.38: T : de 600ms à 700ms.....	58
Figure IV.39: T : de 700ms à 800ms.....	59
Figure IV.40: T : de 800ms à 900ms.....	59
Figure IV.41: Le montage d'un commutateur CD4016 commandé par un compteur CD4017.....	60
Figure IV.42: Visualisation du signal de la sortie du commutateur de 0 à 10 μ s (L'information sur la mesure de température).....	61

Figure IV.43: La visualisation du signal de la sortie du commutateur de 10 μ s à 20 μ s (L'information sur la mesure de pression).....	62
Figure IV.44: La visualisation du signal de la sortie du commutateur de 20 μ s à 30 μ s (L'information sur la mesure d'humidité).....	63
Figure IV.45: Le concept de modulation de fréquence.....	64
Figure IV.46: L'image d'une antenne et son symbole électronique.....	65
Figure IV.47: La Réalisation d'un démultiplexeur utilisant un commutateur CD4016 et un compteur CD4017 sur ISIS.....	66
Figure IV.48: Montage de convertisseur fréquence-voltage basée sur LM331.....	67
Figure IV.49: La capture d'un signal analogique et d'un signal numérique.....	69
Figure IV.50: Signal analogique versus signal numérisé.....	70
Figure IV.51: L'emplacement des entrées analogiques d'une carte Arduino UNO.....	71
Figure IV.52: Afficher les résultats sur un écran LCD.....	73

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Tableau donnant les différentes unités de pression et leur conversion.....	09
Tableau II.2 : Un tableau faisant la comparaison entre un capteur de pression capacitif et un capteur de pression piézorésistif.....	13
Tableau II.3: Un tableau qui représente les différents noms d'humidité, les formules, les définitions, les grandeurs et les unités.....	16
Tableau A1 : La tension de se sortie de capteur de température.....	77
Tableau A2 : La tension de se sortie de capteur de pression.....	79
Tableau A3 : La tension de se sortie de capteur d'humidité.....	81

GLOSSAIRE

Liste des notations utilisées

A : L'aire de surface de l'armature fixe

C : capacité du condensateur.

d : distance entre les armatures.

e : épaisseur des jauges / épaisseur du diélectrique

F : fréquence

Fout : fréquence de sortie

H : humidité

L : distance entre deux électrodes métallique

LSB : bit le moins significatif

m : grandeur mesurande

P : pression

R : résistance.

Rs : la résistance de l'échantillon

s : grandeur sortie

S : surface armature

RH : humidité relative.

Ro : Résistance initial

T : température.

T0: Température initial

t1 : période première cycle

t2 : période deuxième cycle

V : tension

Vout : tension de sortie

ΔT : différence de température.

ϵ_0 : permittivité du vide.

μ : 10^{-6}

SPDT : (Single Pole /Double Throw) une entrée /deux sorties

DPST : (Double Pole /Single Throw) deux entrées /une sortie

DPDT : (Double Pole / Double Throw) deux entrée /deux sorties

ARDUINO : un microcontrôleur

INTRODUCTION

De tout temps, l'homme a toujours essayé de trouver des moyens meilleurs et efficaces pour mesurer les paramètres météorologiques concernant l'atmosphère qui ont un rôle très important dans différents domaines comme l'agriculture, le transport, l'aviation, l'industrie....

Parmi ces moyens de mesure, on trouve la radiosonde.

Le radiosondage est une technique qui permet de mesurer les trois grandeurs de l'atmosphère qui sont : la température, la pression et l'humidité relative et bien d'autres paramètres à différentes altitudes. Cette technique utilise un équipement appelé radiosonde. Cette dernière est composée de deux parties : émission et réception.

La partie émission est composée de quatre éléments: un ballon gonflé à l'hydrogène ou hélium, un réflecteur radar qui permet de déterminer la trajectoire du ballon jusqu'à son éclatement, équipement électronique composé des trois capteurs de type MEMS, le circuit électronique de traitement avec son antenne et enfin un parachute qui a un but de freiner la chute de l'ensemble lorsque le ballon éclate.

La partie de réception est tout simplement une station météorologique qui a pour but de recevoir les informations sur la mesure de trois paramètres de l'atmosphère pour les traiter.

L'objectif de ce mémoire consiste à étudier une microsonde météorologique constituée de trois capteurs (température, pression et l'humidité).

Ce mémoire se décompose en quatre chapitres. Le premier chapitre est une initialisation aux capteurs en général.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude du principe de fonctionnement de chaque capteur (température, pression et humidité).

Le troisième chapitre s'intéressera à la technologie radiosondage de façon générale.

Le dernier chapitre est basé sur la simulation de la microsonde d'une station météorologique par un circuit électronique utilisant un logiciel de simulation qui s'appelle Proteus.

Enfin, nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale.

CHAPITRE 1



Dans ce chapitre, nous donnerons un aperçu sur les capteurs d'une manière générale. Nous citerons les parties les constituent.

I.1- Définition d'un capteur :

C'est un dispositif qui transforme une grandeur physique, chimique ou biologique (le mesurande) en une autre grandeur généralement électrique (tension, courant, charge, ...) plus évidente à nos yeux.

I.2- Constitution d'un capteur:

Les parties constituant un capteur sont les suivantes:

- **Le corps d'épreuve:**

Le corps d'épreuve est un élément mécanique qui réagit à la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer la grandeur à mesurer en une autre grandeur physique mesurable. Cette grandeur constitue la réaction du corps d'épreuve (Exemple : Membrane, Microlevier, Micropont, Etc...)

- **L'élément de transduction:**

C'est un élément sensible lié au corps d'épreuve. Il traduit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie (Exemple : Condensateur variable, Résistance variable).

- **Le boîtier:**

C'est un élément mécanique de protection, de maintien et de fixation du capteur.

- **Chaîne de mesure:**

Le signal délivré par le capteur n'est pas directement utilisable et a besoin d'être amplifié, adapté, converti, linéarisé, digitalisé, etc... L'ensemble des circuits et appareils qui assure ces opérations est appelé chaîne de mesure.

C'est donc une suite d'éléments transducteurs et d'organe de liaison d'un instrument de mesure allant du capteur (qui est le premier élément) au dispositif d'indication, de stockage ou de traitement qui en est le dernier élément.

I.3- Mode de Transduction :

C'est l'effet physique mis en œuvre pour traduire un mesurande en grandeur électrique : transducteurs piézoélectrique, piézorésistif, pyroélectrique, électrostatique magnétostrictif, thermoélectrique, photo-électrique,...

Représentation Modulaire d'un Capteur

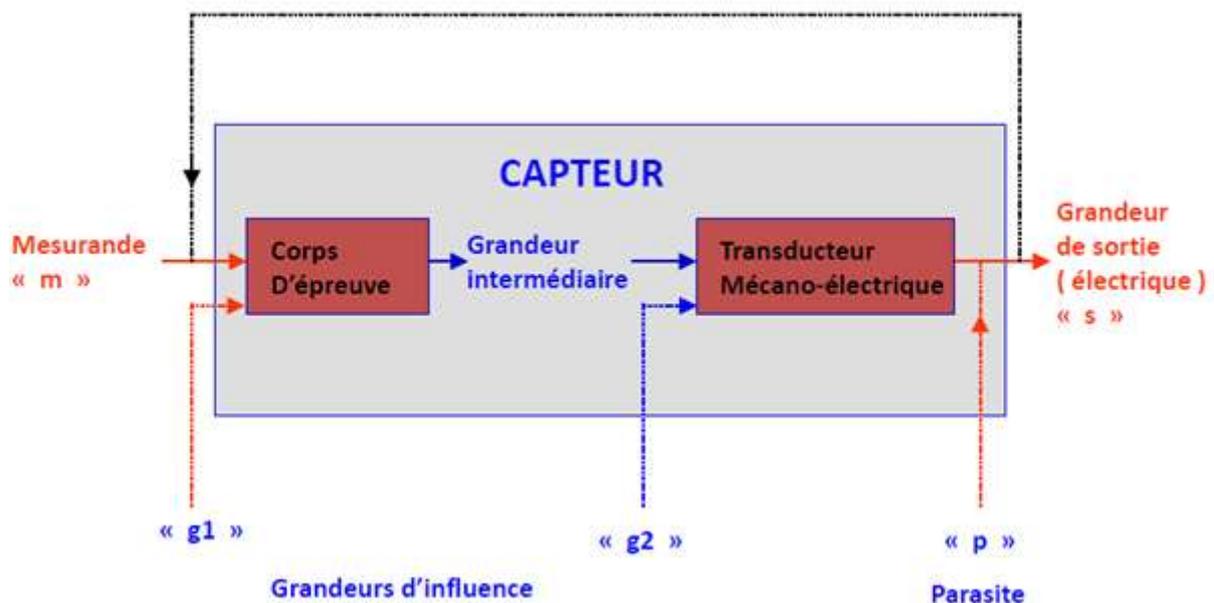
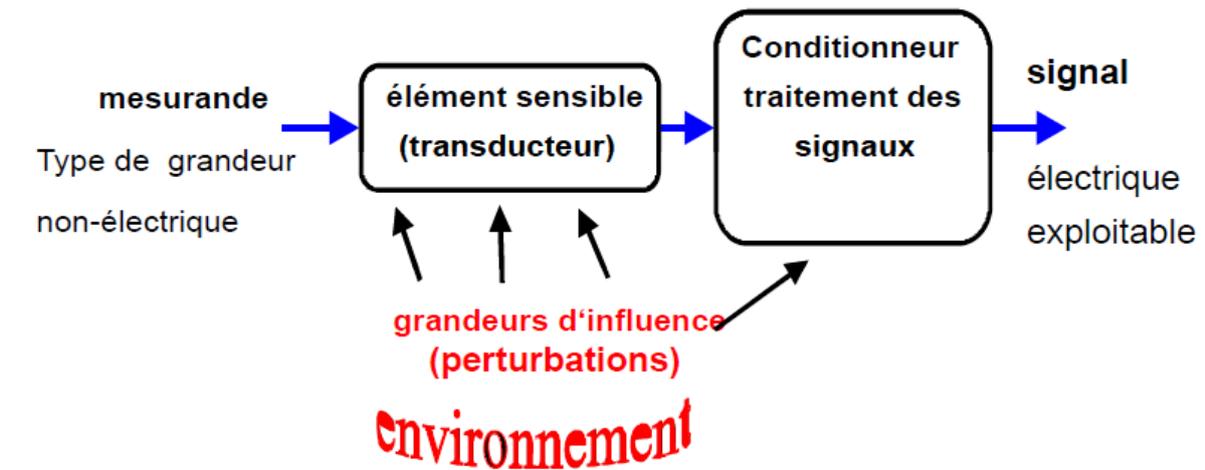


Figure I.1: La Représentation modulaire d'un capteur

I.4- Problèmes :

Dans la chaîne de mesure, certains phénomènes parasites peuvent perturber le traitement :

- le signal fourni par le capteur dépend des grandeurs d'influences (par exemple: Dérive thermique, bruit de mesure, etc.)..,
- une variation du mesurande provoque une variation retardée du signal de sortie (temps de réponse fini).
- Le fait d'introduire un organe de mesure peut déjà changer l'environnement, et le mesurande.

I.5- Quelques exemples sur les grandeurs d'influence :

- Température (la plus répandue et la plus gênante).
- Pression, accélération, vibrations
- Humidité
- Champs magnétiques : La perturbation électromagnétique.
- Tension d'alimentation
- Lumière ambiante
- Les ambiances corrosives.

Comment peut-on régler / éviter / réduire ces grandeurs d'influence :

- par un blindage isolement
- en stabilisant les grandeurs d'influence à des valeurs connues, étalonner le capteur
- en compensant les grandeurs d'influence (p.ex. montage différentiel) pour diminuer son effet

I.6- Rôle du capteur :

Le capteur réagit aux variations de la grandeur physique que l'on veut étudier (mesurande), en délivrant un signal électrique donnant une image de la mesurande.

Le transducteur est l'élément fondamental qui permet de passer du domaine physique du mesurande au domaine électrique.

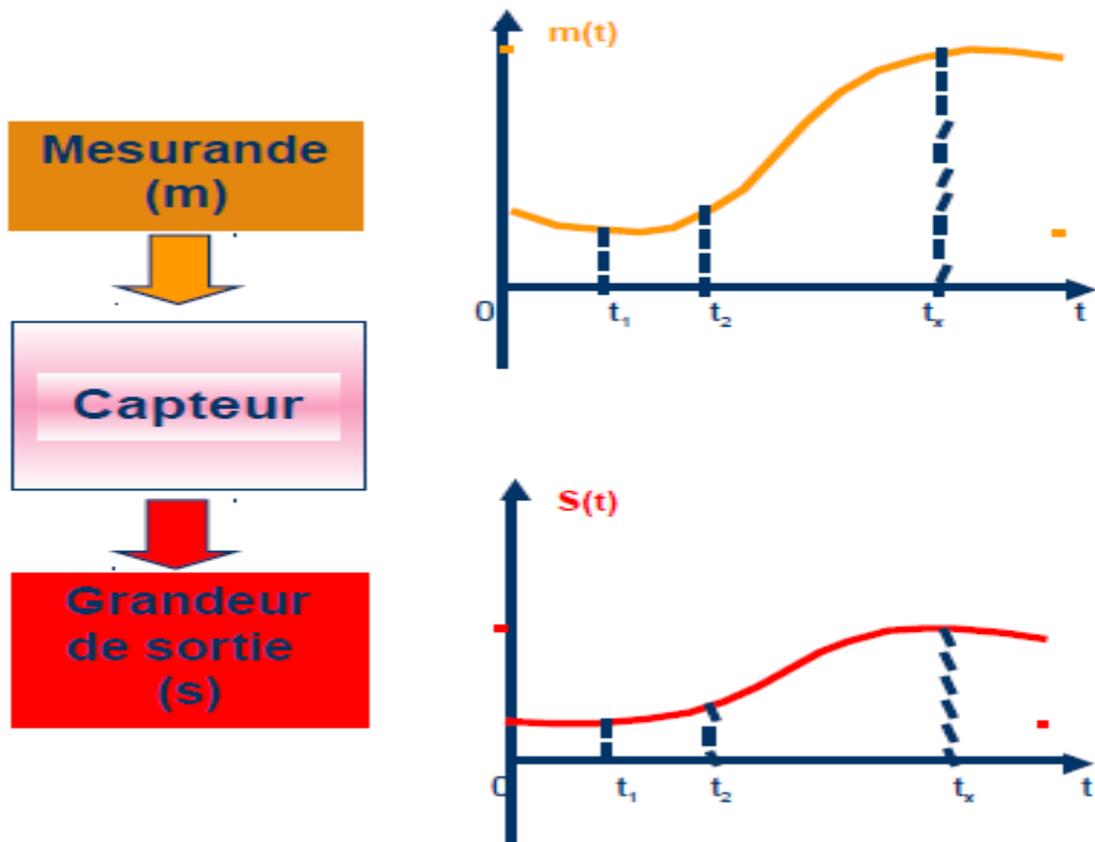


Figure 2 : La Figure qui représente le rôle du capteur

I.7- Pourquoi des Petits Capteurs

De nos jours, nous cherchons à concevoir des dispositifs de plus en plus petits. En effet, ils présentent les avantages suivants :

Fonctionnalité:

- Ce sont des dispositifs peu encombrants ;
- Ce sont des dispositifs discrets et légers ;
- Ils Perturbent moins, par sa présence, l'environnement qu'il est sensé analyser.

Performances :

- Consommation électrique réduite.
- Plus grande rapidité mécanique :
- Plus grande rapidité thermique

- Possibilités accrues de fonctionnement en réseaux de capteurs.
- Parfois meilleure sensibilité qu'en macroscopique, nouveaux effets physiques,
- Certains modes de fonctionnement plus simples à mettre en œuvre (boucle fermée).

Économie :

Du fait de la fabrication collective, le coût de la fabrication est relativement très réduit.

I.8- Quelques Classifications des Capteurs :

Suivant le critère utilisé, nous pouvons obtenir plusieurs classifications :

Par domaine d'énergie :

Capteurs mécaniques, magnétiques, thermiques, fluidiques,...

Par type de mesurande :

Température, champ magnétique, débit, vitesse de rotation, pression, Thermomètre, magnétomètre, débitmètre

Par mode de transduction :

Piézoélectrique, capacitif, électromagnétique,...

Par type de technologie de fabrication :

En quartz, silicium, à fibres optiques, micro-usiné, hybride, intégré,...

Par nature électrique / électronique :

Capteur actif ou passif (résistif/capacitif/inductif), en boucle ouverte/fermée, à sortie analogique/numérique

Les capteurs passifs : les signaux délivrés est une variation d'impédance. Ces capteurs nécessitent des sources d'énergie pour avoir générer un signal électrique a la sortie. Exemple : thermistance.

Les capteurs actifs : Ces capteurs n'ont pas besoin des sources d'énergie pour délivrer un signal électrique a la sortie.

Exemple : thermocouple.

CHAPITRE 2



Dans ce chapitre, nous exposerons le principe de fonctionnement des différents capteurs utilisés : le capteur de pression, d'humidité et de température.

II.1- CAPTEUR DE PRESSION

II.1.1- Définition de la pression :

La pression est une notion physique fondamentale. Elle correspond à la force par unité de surface exercée par un fluide ou un solide.

$$P = \frac{dF}{dS}$$

F : La force exercé par un solide ou fluide en Newton(N).

S : La surface en mètre carré (m^2).

L'unité de pression dans le système international d'unités est le pascal (Pa).

II.1.2- Autres unités de pression :

Il existe plusieurs unités de pression dont l'utilisation généralement dépend de la discipline.

Unités de pression

	pascal	bar	atmosphère technique	atmosphère normale	torr	livre par pouce carré
	Pa	bar	at	atm	Torr	psi
1 Pa	$\equiv 1 \text{ N/m}^2$	10^{-5}	$1,0197 \times 10^{-5}$	$9,8692 \times 10^{-6}$	$7,5006 \times 10^{-3}$	$1,450377 \times 10^{-4}$
1 bar	10^5	$\equiv 10^6 \text{ dyn/cm}^2$	1,0197	0,98692	750,06	14,50377
1 at	$0,980665 \times 10^5$	0,980665	$\equiv 1 \text{ kp/cm}^2$	0,9678411	735,5592	14,22334
1 atm	$1,01325 \times 10^5$	1,01325	1,0332	$\equiv p_0$	$\equiv 760$	14,69595
1 Torr	133,3224	$1,333224 \times 10^{-3}$	$1,359551 \times 10^{-3}$	$1,315789 \times 10^{-3}$	$\equiv 1 \text{ mmHg}$	$1,933678 \times 10^{-2}$
1 psi	$6,8948 \times 10^3$	$6,8948 \times 10^{-2}$	$7,03069 \times 10^{-2}$	$6,8046 \times 10^{-2}$	51,71493	$\equiv 1 \text{ lb/pc}^2$

Tableau II.1: Tableau donnant les différentes unités de pression et leur conversion.

II. 1.3- La pression atmosphérique :

La pression atmosphérique est la pression générée par la force exercée par un mélange gazeux constituant l'atmosphère (l'air) sur une surface quelconque lorsqu'il y a un contact entre les deux.

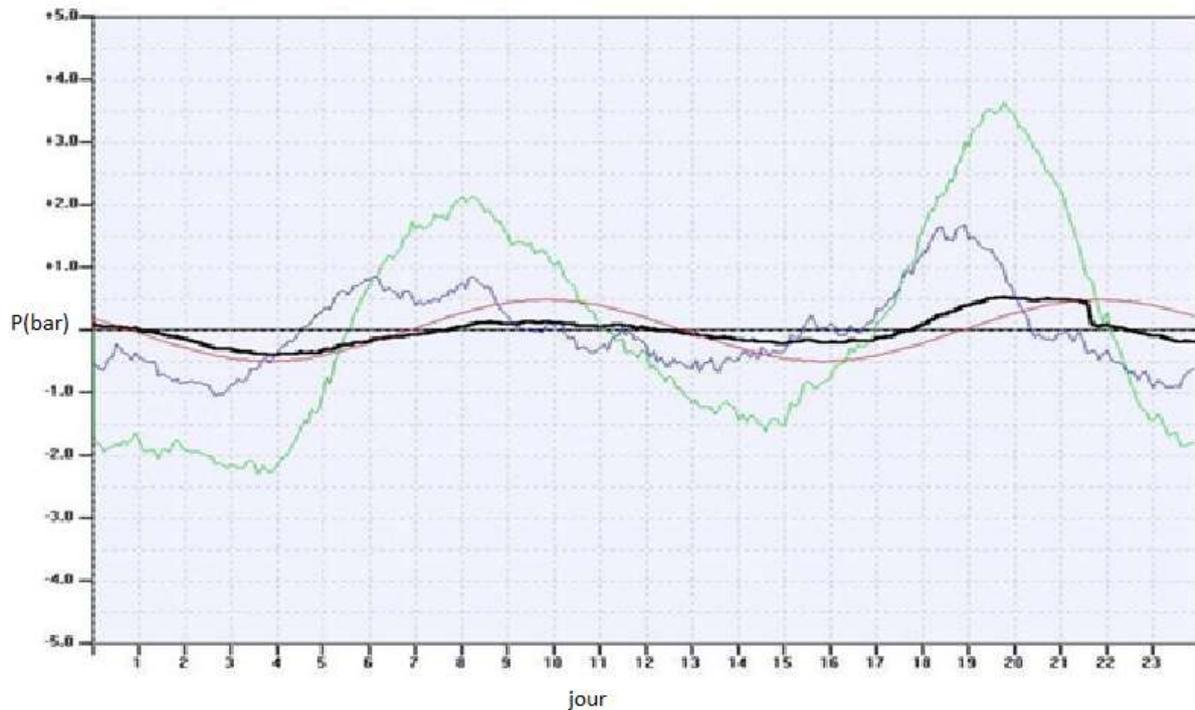


Figure II.1 : La courbe représentant la variation de la pression atmosphérique en Allemagne en septembre 2004 sur plusieurs jours.

II.1.4- Capteur de pression :

Le capteur de pression est généralement constitué de deux parties : une partie de détection qui s'appelle « Cellule sensible)» et une partie de traitement de l'information (traitement de signal).

La partie de détection est constitué d'une membrane susceptible de se déformer sous l'action d'une pression différentielle appliquée. On peut schématiser un capteur de pression par le schéma de la figure suivante :

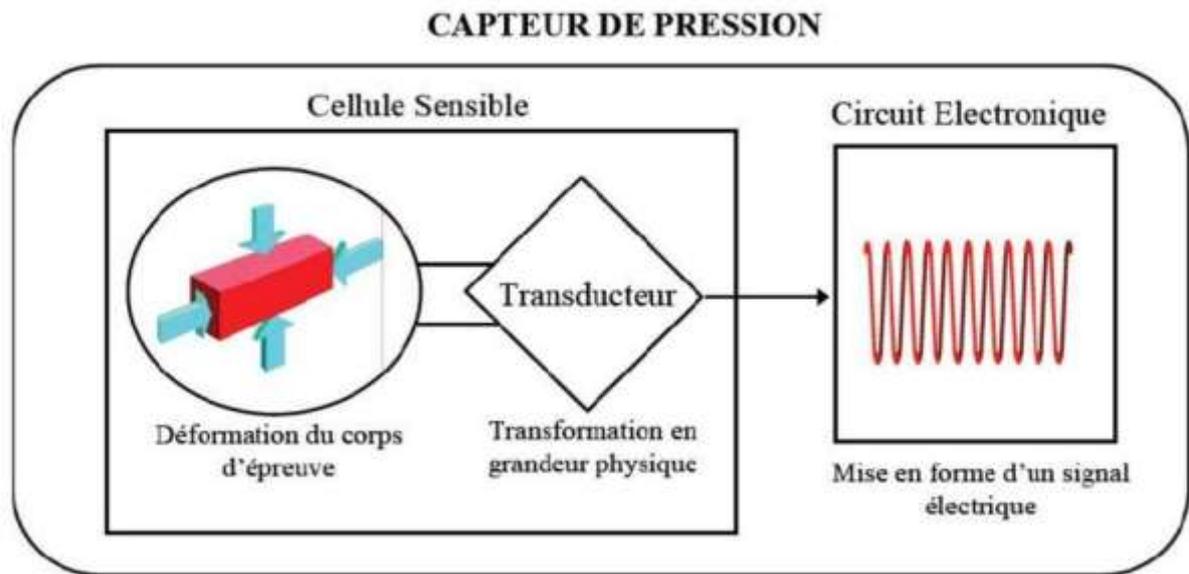


Figure II.2: Schéma Synoptique d'un capteur de pression

II.1.5- Utilisations :

Les capteurs de pression peuvent être utilisés dans les domaines suivants :

- Médical /vétérinaire
- Automobile
- Militaire
- Aérospatial et aviation
- Météorologie /applications environnementales

II.1.6- Les avantages et les inconvénients

L'avantage :

- Faible cout
- Très légers
- Très peu encombrant
- Robuste et fiable
- Leur réalisation est compatible avec la technique de la microélectronique

Inconvénient :

Le principal inconvénient est la nécessité des grands moyens et certaines techniques spécifiques pour leur réalisation.

II.1.7- Le modes de transduction d'un capteur de pression

Il existe deux modes de transduction d'un capteur de pression :

- Un mode capacitif
- Un mode piézorésistif

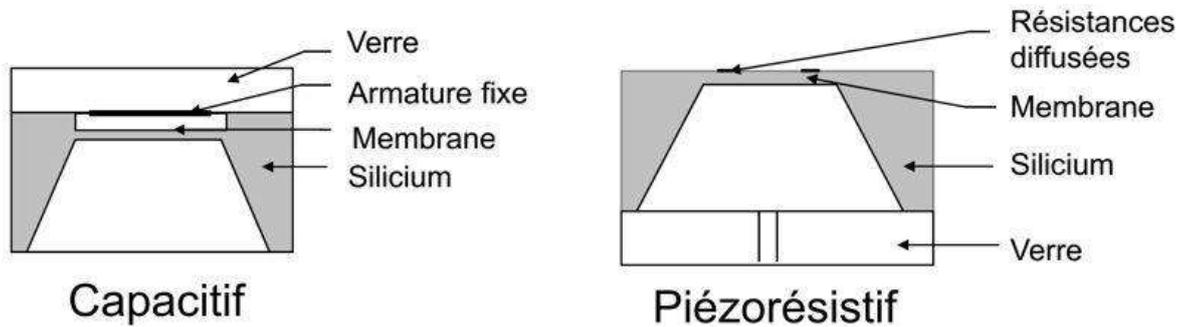


Figure II.3: Schéma de principe de capteur de pression capacitif et piézorésistif

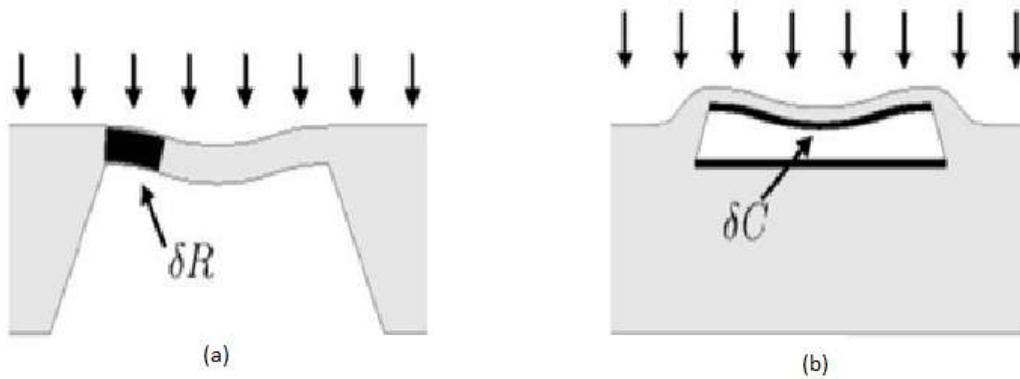


Figure II.4 : (a) capteur de pression piézorésistif

(b) capteur de pression capacitif

	Capteur capacitif	Capteur piezoresistif
Sensibilité à la pression	10^2 à 10^4 ppm /mmHg	20 à 200 ppm/mmHg
Sensibilité à la température	0.05 mmHg /°C	5 mmHg/ °C
Réponse	Non linéaire	Linéaire
Consommation	Nulle	25 mW (pour R=1KΩ et V=5V)
Technologie	Simple	Plus compliquée
Fiabilité	Fiable (liée à la structure)	Moins fiable (lié aux problèmes éventuels dus aux diodes)
Coût	Faible	Faible

Tableau II.2 : Un tableau faisant la comparaison entre un capteur de pression capacitif et un capteur de pression piézorésistif.

II.1.8-Capteur de pression capacitif :

Le capteur de pression capacitif est constitué de deux armatures, l'une est fixe et l'autre est une membrane en silicium susceptible de se déformer sous l'action d'une pression différentielle P appliquée. La variation de pression P fait donc varier la capacité de ce condensateur.

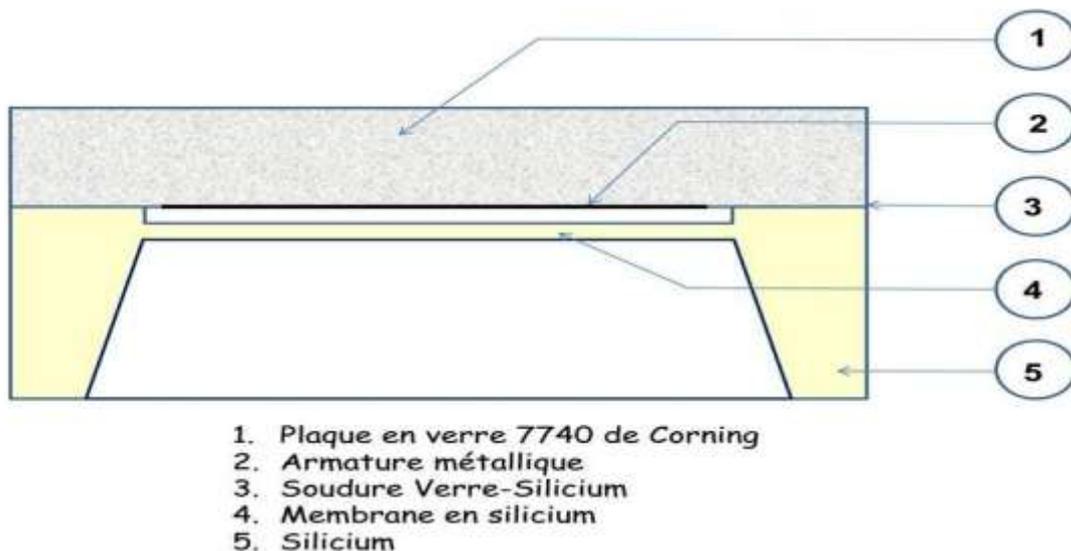


Figure II.5 : Schéma simple d'un capteur de pression

II.1.9- Principe de fonctionnement du capteur de pression capacitif :

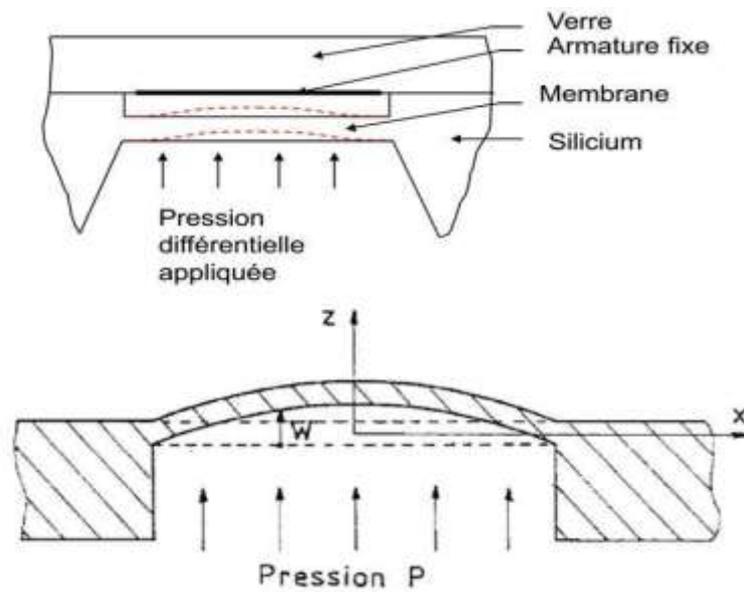


Figure II.6 :Un schéma de principe de fonctionnement d'un capteur de pression capacitif.

En absence de pression appliquée, la capacité intrinsèque de la cellule est celle d'un condensateur plan. Elle est définie par :

$$C_i(0) = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Où : ϵ_0 représente la permittivité électrique du vide.

A : L'aire de surface de l'armature fixe.

d : La distance entre les deux armatures.

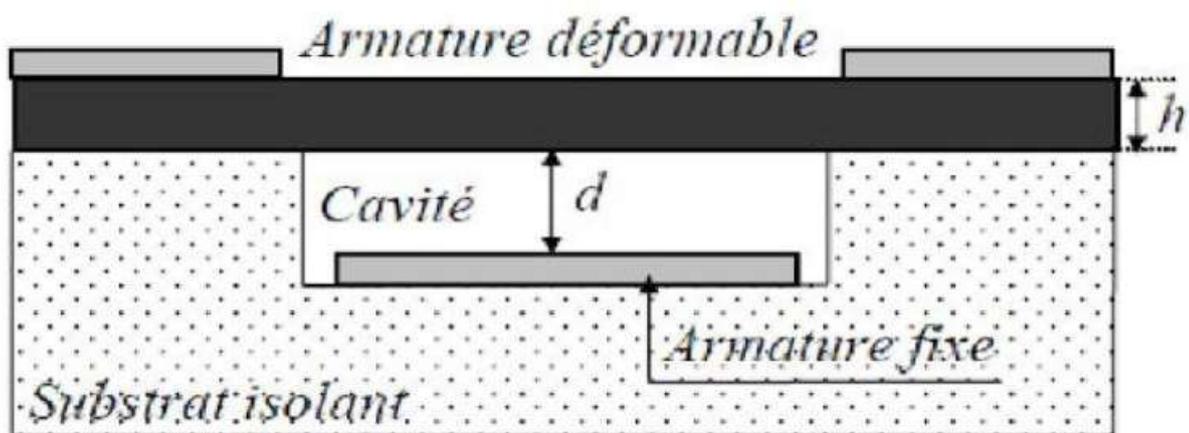


Figure II.7 : Capteur de pression capacitif au repos.

En présence de pression appliquée : La déflexion de la membrane est fonction de la pression appliquée. Lorsque la pression extérieure augmente, la distance entre les deux armatures diminue donc la capacité augmente.

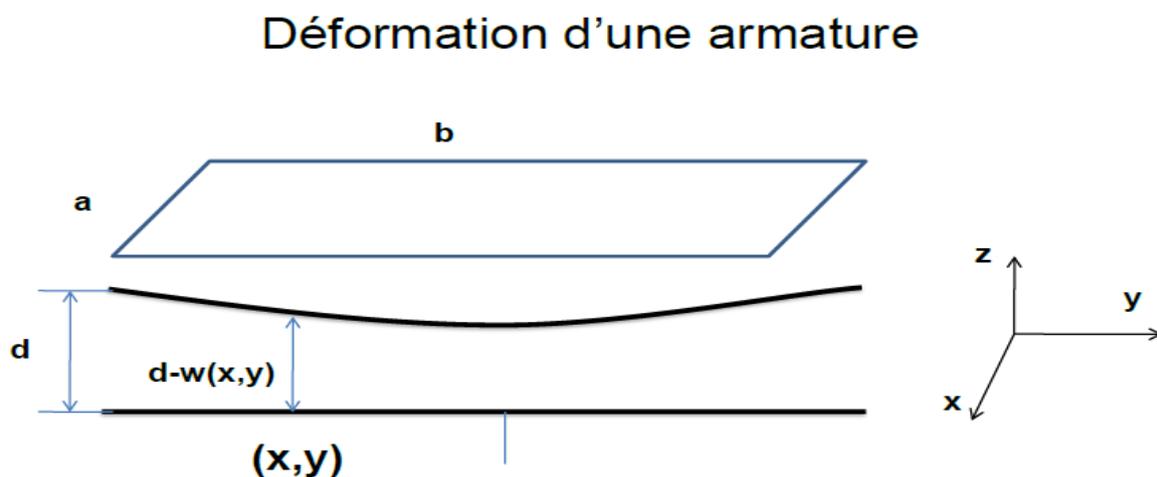


Figure II.8: Un schéma qui représente la déformation d'une armature du capteur de pression

La capacité élémentaire en un point $M(x, y)$ de la membrane est donnée par :

$$dC = \varepsilon \cdot \frac{dx \cdot dy}{d-w(x,y)} \text{ D'où } C = \iint_S \varepsilon \cdot \frac{dx \cdot dy}{d-w(x,y)}$$

II.1.10-Capteur de pression piézorésistif :

Ce type de capteur est constitué d'une membrane susceptible de se déformer sous l'action d'une pression différentielle appliquée. La variation de la pression est liée à une variation de la résistance des piézorésistances diffusées ou implantées sur la surface de cette membrane.

II.2- CAPTEUR D'HUMIDITE

II.2.1- Définition de l'humidité :

L'humidité est la présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ou dans une substance (exemple :un produit chimique). Elle peut se mesurer grâce à un hygromètre à cheveu ou numérique et s'exprime le plus souvent en pourcentage.

II.2.2- Mesure de l'humidité :

L'humidité peut être utilisée dans différentes domaines (génie des procédés, météorologie, traitement de l'air, etc.).

Nom	Formule	Définition	Grandeur	Unité
Humidité relative	$\frac{P_{vap}}{P_{sat}(T)}$	pression de vapeur / pression de vapeur d'eau saturante ^{N2}	rapport de pression	(%)
Humidité absolue ^{N3}	g/m^3	masse de vapeur d'eau / volume unitaire d'air	taux/densité de la vapeur d'eau	g/m^3
Taux d'humidité (chimie analytique)	$\frac{m_{eau}}{m_{total}}$	masse d'eau / masse de produit	rapport de masse	(%)
Teneur en eau (air)	$g_{eau}/g_{air \text{ sec}}$	masse de vapeur d'eau / masse unitaire d'air sec	rapport de masse	(%)
Teneur en eau pondérale (Milieux poreux)	$\frac{m_{eau}}{m_{total}}$	masse d'eau liquide / masse totale	rapport de masse	(%)
Teneur en eau volumique (Milieux poreux)	$\frac{V_{eau}}{V_{total}}$	volume d'eau liquide / volume total	rapport de volume	(%)
Humidité spécifique	$kg_{eau}/kg_{air \text{ humide}}$	masse de vapeur d'eau / masse unitaire d'air humide	rapport de masse	(%)
Rapport de mélange	$g_{eau}/kg_{air \text{ sec}}$	masse de vapeur d'eau / masse unitaire d'air sec	rapport de masse	(%)

Tableau II.3:Un tableau qui représente les différents noms d'humidité, les formules, les définitions, les grandeurs et les unités.

II.2.3- L'humidité absolue et l'humidité relative :

L'humidité absolue :

Elle est appelée aussi le rapport de mélange, notée r et exprimée en en g/kg.

Elle exprime le rapport des masses M_v de vapeur d'eau et M_a d'air sec à une température constante.

La détermination de ce type d'humidité est extrêmement délicate à cause des très faibles quantités de vapeur d'eau mises en jeu.

L'humidité relative :

On appelle pression de vapeur saturante $P_s(T)$, la valeur maximale que peut atteindre la pression P_v de la vapeur d'eau à la température T. Au-delà, une partie de cette vapeur se condense (apparition d'eau liquide).

L'humidité relative s'exprime en pourcentage (%) par la relation suivant :

$$HR(\%) = 100 \left(\frac{P_v}{P_s(T)} \right)$$

II.2.4- Définition d'un capteur d'humidité :

Un capteur d'humidité est un dispositif ou un système qui permet d'évaluer la présence d'un mélange d'air sec et de vapeur d'eau dans l'air ambiante puis les transformer vers un signal électrique utilisable (courant ou tension).

II.2.5- Ses domaines d'utilisation :

- Médicale
- Chimique industriel
- Météorologie
- Agriculture
- Aviation
- L'automobile

II.2.6- Les modes de transduction d'un capteur d'humidité

- Capacitif
- Résistif
- Optique
- Gravimétrique
- Hydrométrique

II.2.7- Capteur d'humidité capacitif :

Définition :

Les capteurs d'humidité capacitifs sont des condensateurs à deux bornes. Leur principe de fonctionnement est basé sur la variation de la capacité d'une couche diélectrique exposée à un changement du taux d'humidité. La valeur de la capacité augmente quand des molécules d'eau sont absorbées dans son polymère diélectrique actif. La permittivité relative de ce diélectrique varie donc en fonction de l'humidité

La valeur de la capacité peut se mettre dans la forme suivante :

$$C = \varepsilon \frac{S}{e}$$

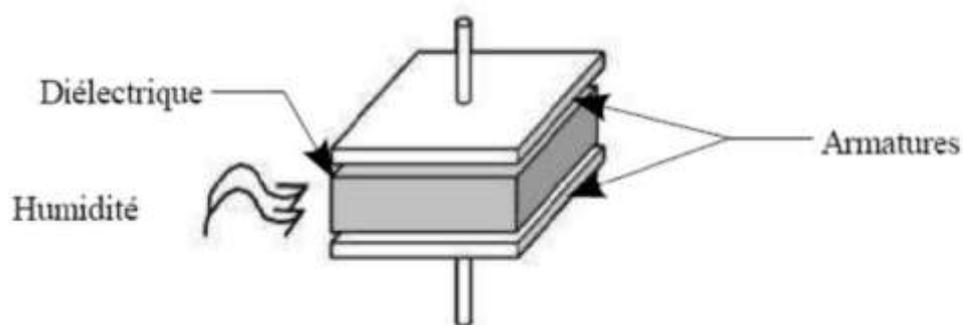
C : Capacité en Farad.

ε : Permittivité relative du diélectrique.

S : Surface des armatures.

E : Epaisseur du diélectrique.

Exemple d'un capteur d'humidité capacitif en Si poreux : Le principe de fonctionnement de ce capteur repose sur un dépôt d'électrodes métalliques Cr/Au/Cr à la surface d'une couche de Si poreux épaisse de 1 μ m. L'électrode consiste en un maillage de la couche métallique. Une thermistance est incluse pour permettre l'évacuation de l'humidité.



FigureII.9 : Un capteur d'humidité capacitif.



Figure II.10 : La conception sur le principe de fonctionnement de capteur d'humidité

H : humidité (%)

C : Capacité (F)

F : Fréquence (Hz)

On obtient la fréquence à partir du circuit convertisseur CFC.

II.2.8- Capteur d'humidité résistif

Le principe de fonctionnement de ces capteurs est basé sur le changement d'impédance de la couche sensible après l'absorption d'humidité. Trois matériaux sont généralement utilisés : céramiques, polymères et électrolytes.

La résistivité est donnée par la formule suivante :

$$\rho = \frac{R_S \cdot S}{L}$$

Où R_S : est la résistance de l'échantillon.

S : est la surface des électrodes.

L : est la distance entre deux électrodes métalliques.

II.2.9- Ses avantages et ses inconvénients :

Ses avantages :

- S'utilise sans entretiens sur de longues périodes
- Il est utilisé même dans la température négative sans problème
- Indépendant de la pression atmosphérique
- Il fonctionne bien sous pression

Ses inconvénients :

- Ils sont sensibles à la condensation et à certains milieux agressifs
- La stabilité à long terme limitée

II.3- CAPTEUR DE TEMPERATURE :

II.3.1- Quelques définitions :

- La physique statistique définit la température comme un degré d'agitation des atomes et/ou des molécules.
- La thermodynamique apporte une énorme contribution dans la définition de la température. En effet celle-ci est introduite par Sadi Carnot en 1824 dans la notion de machine thermique parfaite décrite par un cycle. Dans cette notion, le rapport de températures est défini par un rapport d'énergies.
- La température est une grandeur intensive, c'est-à-dire qu'elle traduit un « état » du système étudié au même titre qu'une tension électrique, une altitude ou un potentiel chimique, etc. On peut comparer les valeurs d'une grandeur intensive de deux systèmes, mais on ne peut pas en faire la somme.

II.3.2- Définition d'un capteur de température :

Un capteur de température est un dispositif qui mesure une autre grandeur physique G qui dépend de la température de l'élément à mesurer. Il existe une relation mathématique qui relie la grandeur G à la température :

$$G = f(T)$$

II.3.3- Différentes technologies :

Pour mesurer la température, plusieurs technologies sont utilisées :

II.3.3.1- Les thermocouples :

Le principe de mesure par cette technologie est le suivant : deux métaux de nature différente A et B sont reliés par deux jonctions (formant ainsi un thermocouple) aux températures T_1 et T_2 . Par effet Seebeck, le thermocouple génère une différence de potentiel qui dépend de la température entre les jonctions.

Pour mesurer une température inconnue, il faut que l'une de des jauges doit être maintenue à une température connue tel que le glace fondante (0°C). Il est également possible que cette température soit mesurée par un capteur (température ambiante, par exemple).

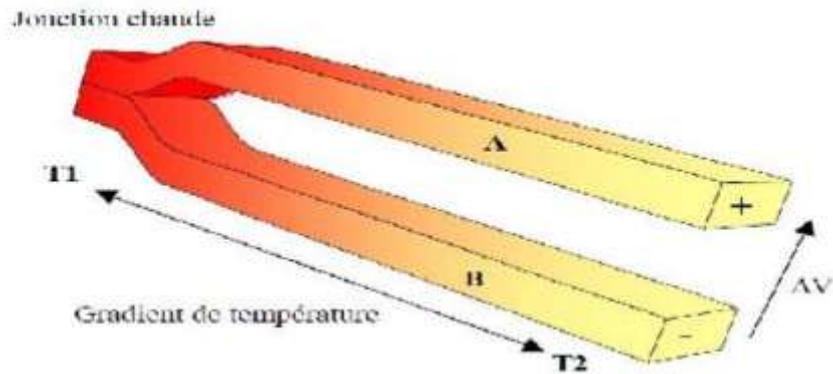


Figure II.11: Le principe de l'effet Seebeck et du thermocouple.

II .3.3.2 - Thermistance :

Principe de fonctionnement :

Les thermistances, comme les capteurs de température à résistance (RTD), sont des conducteurs thermosensibles dont la résistance varie avec la température.

Les thermistances sont constituées d'un matériau semi-conducteur d'oxyde métallique encapsulé dans une petite bille d'époxy ou de verre.

En outre, les thermistances présentent généralement des valeurs de résistance nominale plus élevées que les RTD (de 2 000 à 10 000 Ω) et peuvent être utilisées pour de plus faibles courants.



FigureII.12: Le symbole électrique d'une thermistance

II .3.3.3- Capteur de température de type résistance :

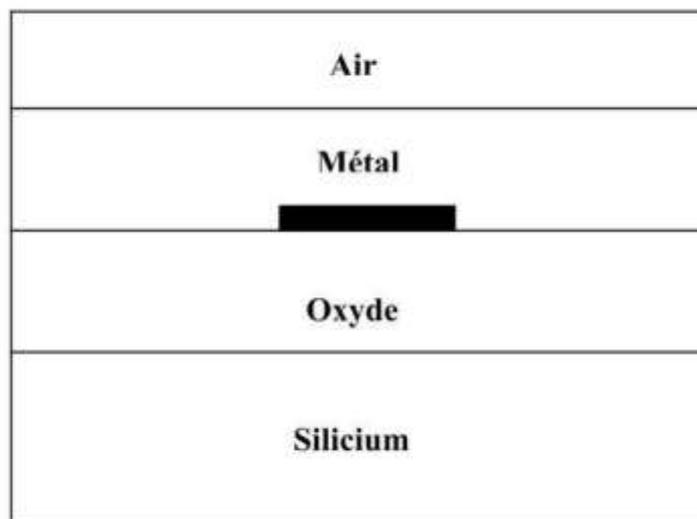
La technologie de type résistante est la plus communément utilisée du fait de sa facilité de fabrication, de l'évolution linéaire de ces résistances avec la température et sa compatibilité avec la technologie microélectronique.

De façon générale, le platine est le matériau le plus utilisé pour la réalisation de plaques chauffantes. Il supporte de fortes densités de courant. Il est fortement résistant

à l'oxydation et peut opérer à des températures de 550°C à 600°C sans changement de sa structure. Il est adapté à la détection de température car son coefficient de température de la résistance (TCR) est stable.

Si la résistance électrique d'un matériau varie avec la température, le capteur résultant est appelé thermomètre à résistance (RTD).

Dans le cas des métaux, la résistance électrique augmente avec la température. La figure suivante représente la structure d'un capteur de température composée d'un substrat, un oxyde et un métal qui va capter la température et de l'air.



FigureII.13 : La Structure d'un capteur de température.

La plupart des métaux présentent un coefficient de température de la résistivité de l'ordre de $3,4.10^{-3}/^{\circ}\text{C}$. Il existe trois matériaux qui sont principalement utilisés à cause de leur linéarité et leur facilité de mise en œuvre : ce sont le cuivre, le nickel et le platine. Les valeurs normalisées à 25°C, sont 50 Ω pour Ni et 100 Ω pour Pt (Voir la figure **II.14**).

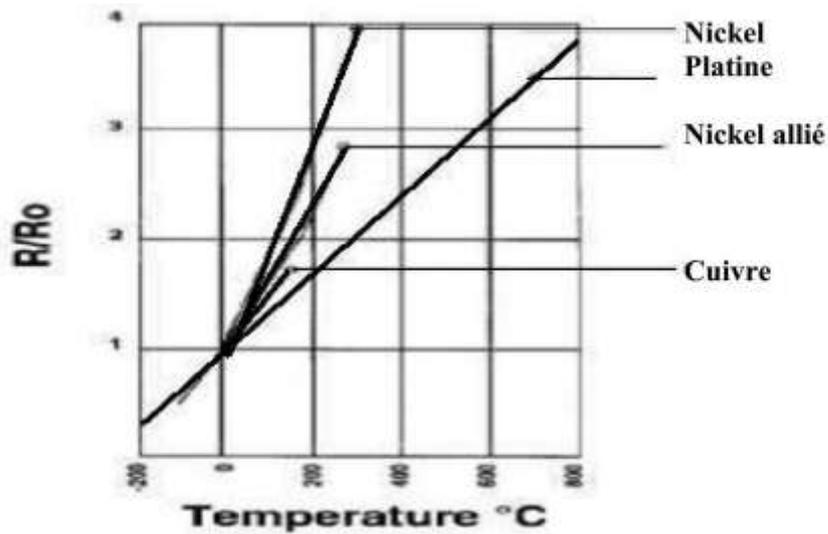


Figure II.14 : L'évolution de la résistance en fonction de la température pour les matériaux exploités.

La relation entre la résistance et la température est donnée par l'expression suivante :

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \alpha \Delta T$$

Où α est le coefficient de température de la résistance.

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha(T - T_0) \leftrightarrow R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

II.3.4-Les utilisations :

- Chimie Industrielle.
- Domaine médical.
- Automobile
- Les machines exemple micro-ondes
- Les piles
- Dans les circuits électriques
- Etc.

II.3.5-Les avantage et les inconvénients :

Ces capteurs de température sont populaires pour leur stabilité. Les RTD présentent le signal le plus linéaire de tous les capteurs électroniques en fonction de température. Toutefois, ils ne coûtent généralement plus cher que leurs équivalents à cause de leur construction plus délicate et le recours au platine.

Les RTD se caractérisent aussi par un temps de réponse lent et par une faible sensibilité. En outre, parce qu'ils nécessitent une excitation en courant, ils sont sujets à une élévation de température.

Les RTD peuvent mesurer des températures pouvant atteindre 850°C.

En règle générale, les thermistances ont une sensibilité de mesure très élevée ($\sim 200 \Omega/^\circ\text{C}$), ce qui les rend très sensibles aux variations de températures. Bien qu'elles présentent un taux de réponse de l'ordre de la seconde, les thermistances ne peuvent être utilisées que dans une gamme de températures ne dépassant pas 300 °C.

CHAPITRE 3

RADIOSONDAGE



III.1- Définition :

Le radiosondage est une technique d'observation des propriétés de l'atmosphère en fonction de l'altitude. L'appareil utilisé dans cette technique est appelé radiosonde. Cette dernière est équipée de plusieurs capteurs qui mesurent la pression atmosphérique, la température et l'humidité relative par exemple. Ces capteurs sont entraînés à travers l'atmosphère par un ballon dilatable jusqu'à une altitude de 25 à 30km.

La vitesse ascensionnelle de l'ensemble est d'environ 300 mètres par minute, 18 Km/h, ou encore 5 m/s. Le radiosondage se déroulera donc sur une période comprise entre 1 heure et 1 h 30mn.

III.2- Ballon-sonde :

Un ballon-sonde est un aérostat utilisé dans les domaines de la météorologiques et de l'aéronautique. Il s'agit d'un ballon libre, utilisé pour faire des mesures locales dans l'atmosphère grâce à un certain nombre d'instruments mis à bord dans une nacelle appelée radiosonde, ainsi que d'un réflecteur radar ou d'un système de radiolocalisation pour suivre et donc déterminer la vitesse des vents. Le ballon-sonde a été inventé par Gustave Hermite en 1892.

Son principal intérêt est de pouvoir atteindre des altitudes de 35 km ou plus, difficile à obtenir avec des moyens plus conventionnels tels que les avions, et à un coût beaucoup moindre que celui d'une fusée-sonde ou d'un satellite.

III.3- Différents types de ballons-sondes :

Les ballons-sondes standard sont gonflés en général à l'hélium et emportent des charges importantes en haute altitude. On utilise l'hydrogène dans les postes éloignés, comme dans l'Arctique canadien, car il est facile et peu coûteux à produire par hydrolyse, ce qui évite le transport coûteux d'hélium, mais sa manipulation est plus risquée. Le ballon est gonflé de façon à avoir une vitesse ascensionnelle d'environ 5 m/s. Il est hermétique et est composé d'une matière élastique (latex, néoprène ou de polyéthylène5) ce qui implique qu'il éclate à des altitudes généralement comprises entre 10 et 35 km. À cause de la pression très faible qui règne à ces altitudes, l'enveloppe se dilate jusqu'à la rupture. Son diamètre peut augmenter de 400 %.

Il existe d'autres types de ballons comme :

- Les ballons ouverts (ou à volume constant).
- Les ballons pressurisés gonflés à l'hélium (ou à niveau constant).
- Les ballons infrarouges.
- Les ballons captifs.

- Les ballons cerfs-volants.
- Les ballons tétraédriques.
- Les ballons dirigeables.
- Les ballons-fusées.

III.4- Éléments constituant le ballon-sonde :

Le ballon-sonde comporte les éléments suivants :

- Le ballon.
- Le parachute.
- Le réflecteur radar.
- La radiosonde.

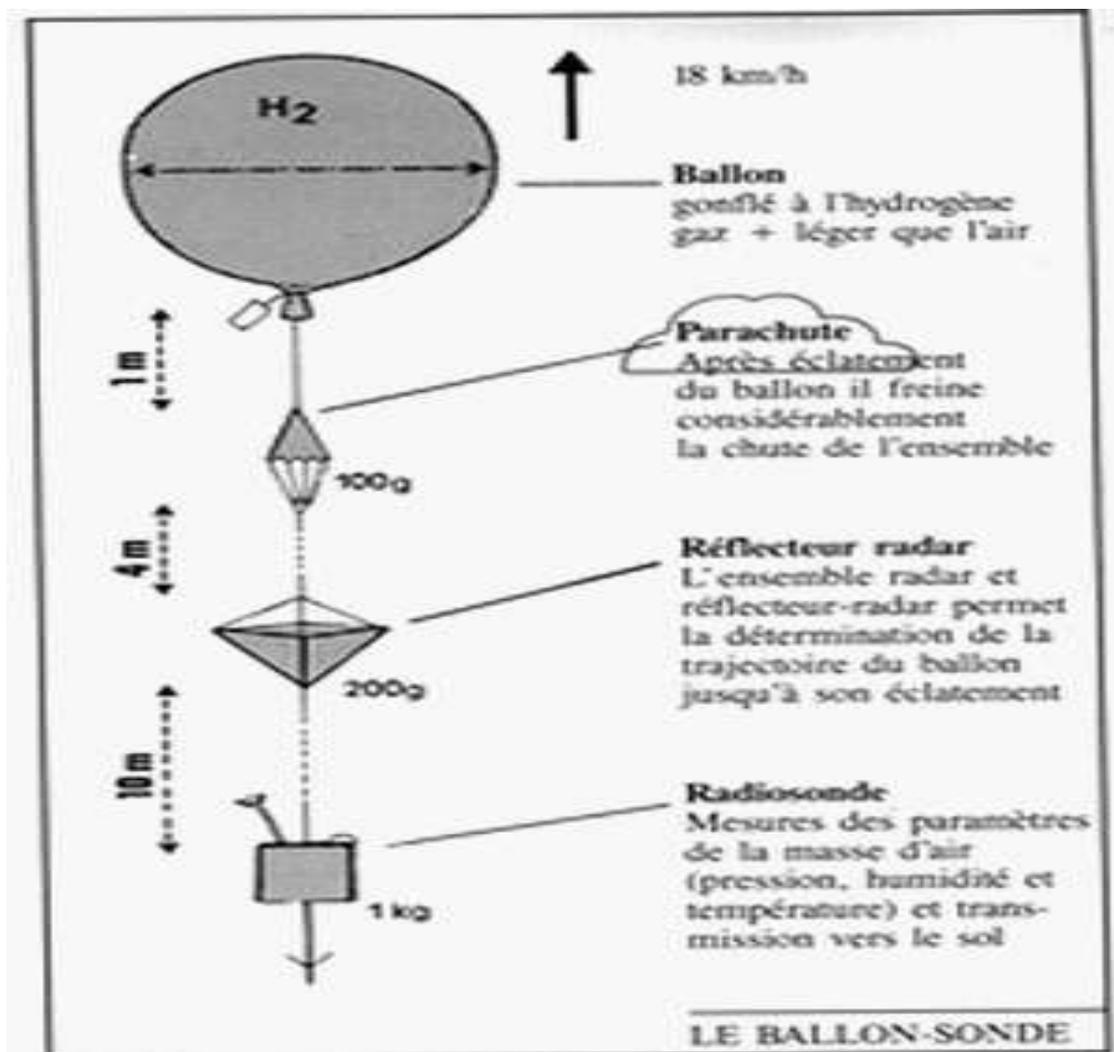


Figure III.1: Schéma d'éléments constituant le ballon-sonde

III.5- Radiosondage

La radiosonde est composée d'une unité électronique. Elle comprend trois sections importantes :

- une suite des capteurs météorologiques
- Circuits traitement de signaux électroniques
- un émetteur radio pour transmettre par relais les mesures à un récepteur à la station de lancement de radiosondes.

Les mesures météorologiques sont faites à des intervalles qui varient selon le type et le fabricant de la radiosonde. La communauté météorologique a été assignée deux bandes de radiofréquence pour l'utiliser dans la transmission de données météorologiques : 400-406MHz et 1675-1700MHz. Toutes les radiosondes du monde sont tenues pour répondre à certaines normes de performance qui ont été établies par l'WMO (World Météorologique Organisation).

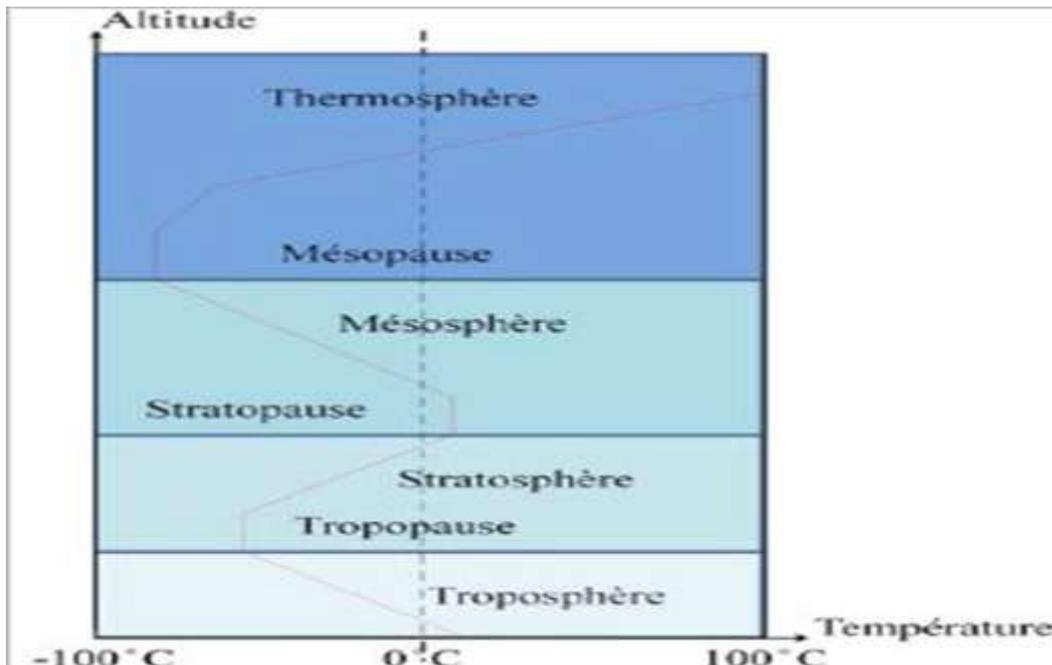


Figure III.2: La structure verticale de l'atmosphère

Les séparations entre les 4 couches s'appellent la tropopause, la stratopause et la mésopause.

III.6- Caractéristiques

Les éléments fondamentaux d'une radiosonde sont :

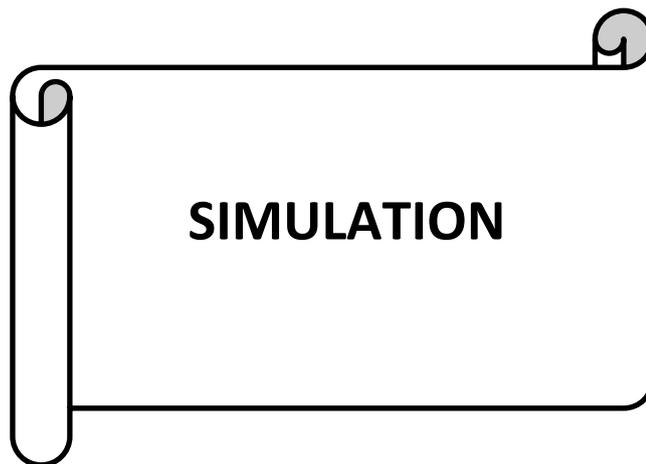
- l'alimentation électrique (une [pile électrique](#) qui doit supporter sans faillir une variation de température allant de +20°C, au sol, à -50°C, à l'altitude de la [tropopause](#)) ;
- l'émetteur radio (soumis aux mêmes contraintes) ;
- un dispositif de [radionavigation](#) ou à défaut un transpondeur ou un réflecteur [radar](#) (indispensable pour mesurer les déplacements du ballon-sonde et d'en extraire la force et la direction du vent) ;
- un capteur de pression
- un capteur de température ;
- un capteur d'humidité

Une radiosonde moderne pèse entre 100 et 300 grammes, elle est alimentée par un bloc de piles sèches ou, très souvent, une pile réactivée par hydratation.

III.7- Comment s'effectue la mesure ?

Gonflés à l'hydrogène, ces ballons, en latex pur, ont 2 mètres de diamètre au moment de leur lancement. Ils en auront 8m en altitude, quand ils seront sur le point d'éclater du fait de la diminution de la pression atmosphérique. Ils emportent la radiosonde. Celle-ci réunit des appareils enregistreurs — thermomètre, baromètre, hygromètre — et un émetteur à ondes très courtes. Par l'intermédiaire d'un système d'horlogerie, d'aiguilles mobiles et de repères fixes, les appareils enregistreurs fournissent les indications voulues par interruptions de signaux réguliers que l'émetteur envoie. Une radio théodolite, appareil muni d'une lunette de visée et d'un récepteur radio, permet de suivre la trajectoire du ballon dans l'espace en même temps qu'il en recueille les signaux. Ceux-ci, enregistrés sur bande, sont immédiatement déchiffrés et permettent ainsi de connaître les valeurs de la température, de la pression et de l'humidité dans les différentes couches de l'atmosphère traversées par le ballon jusqu'à 30 km d'altitude, c'est-à-dire jusqu'aux couches hautes de la troposphère, zone qui intéresse beaucoup les météorologistes. Au terme de son ascension, quand le ballon éclate, la radiosonde redescend, suspendue à un parachute. Ce procédé nous permettra de récupérer l'équipement.

CHAPITRE 4



IV.1- SCHEMA SYNOPTIQUE :

Le schéma synoptique de l'équipement utilisé est donné sur la figure suivante :

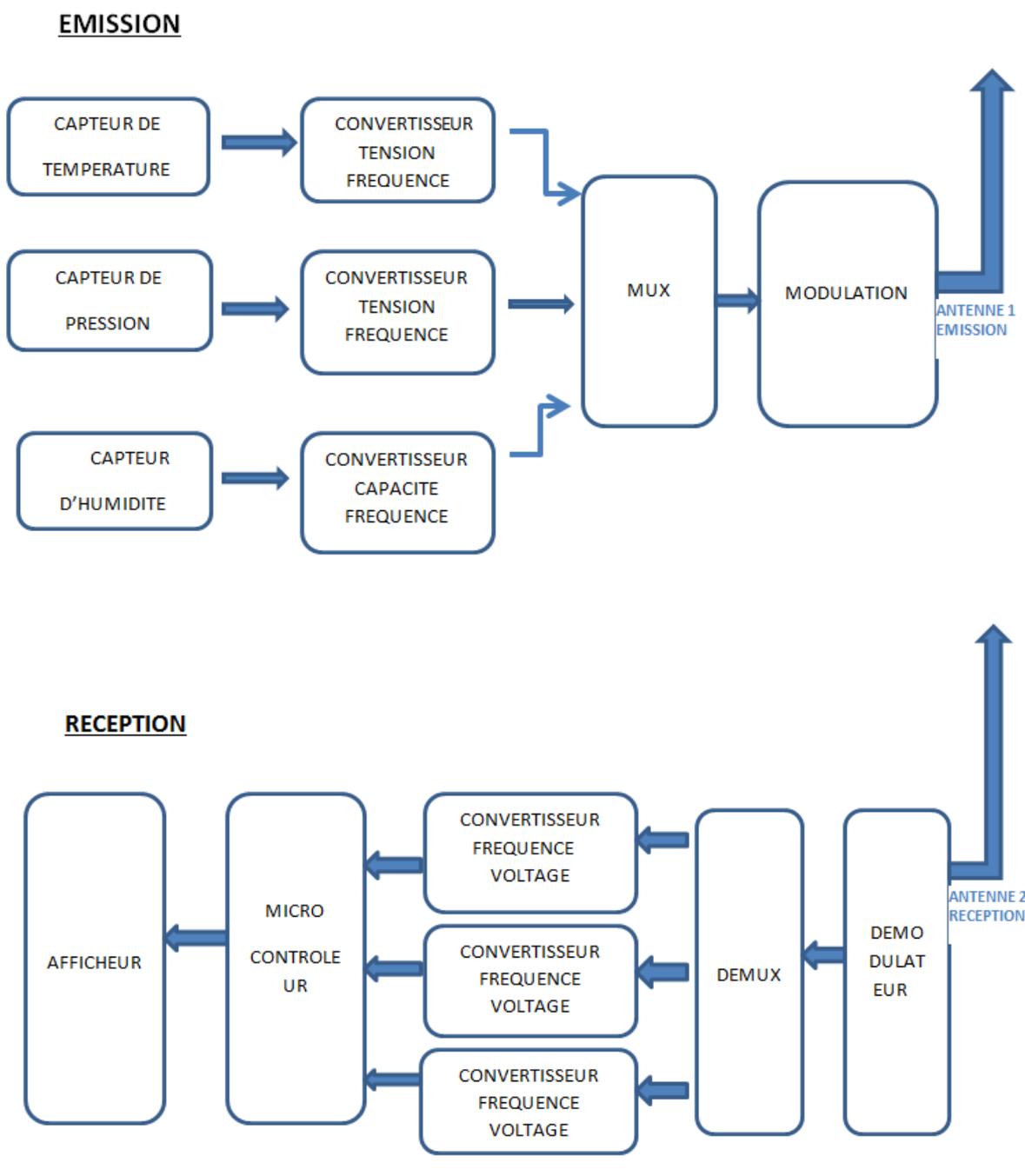


Figure IV.1 : Schéma synoptique de la technologie radiosondage.

IV.2- Logiciel utilisé :

Le logiciel utilisé est PROTEUS ISIS.

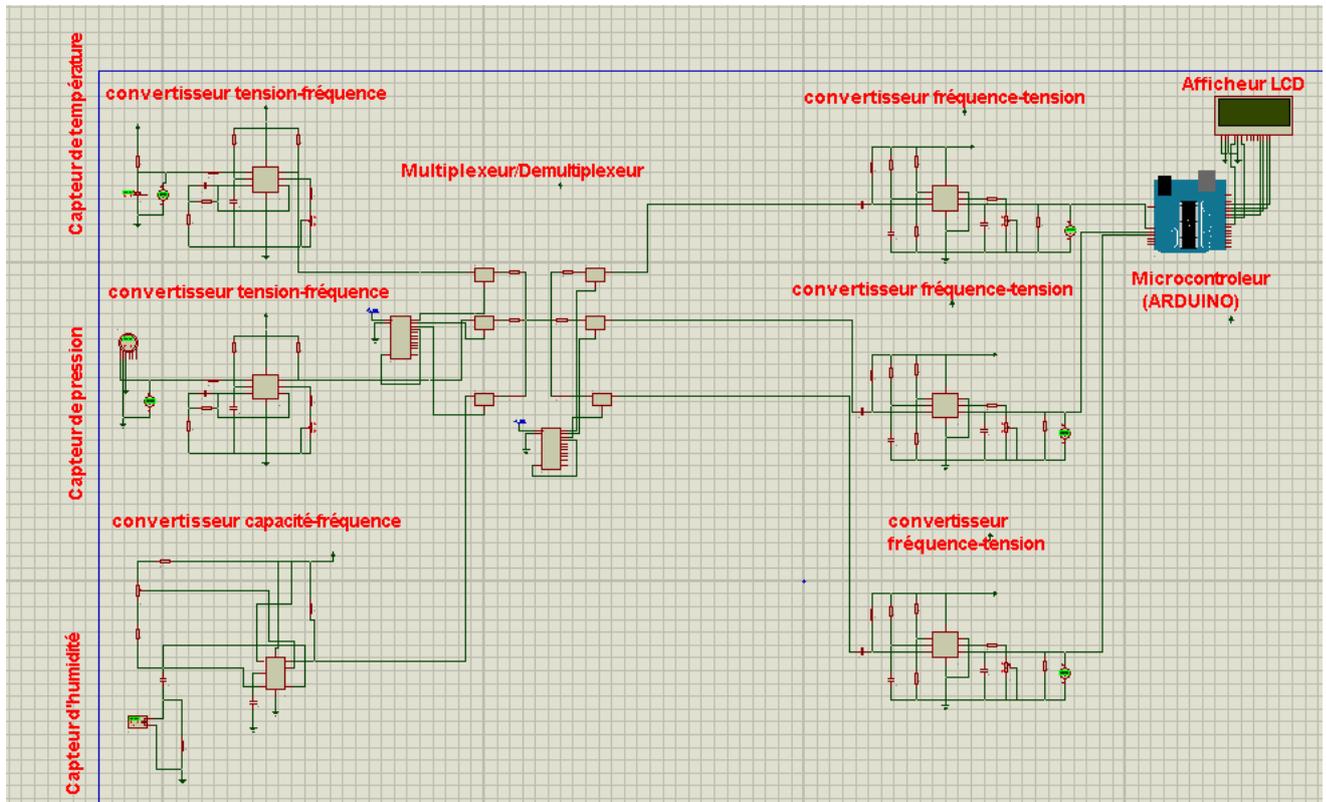
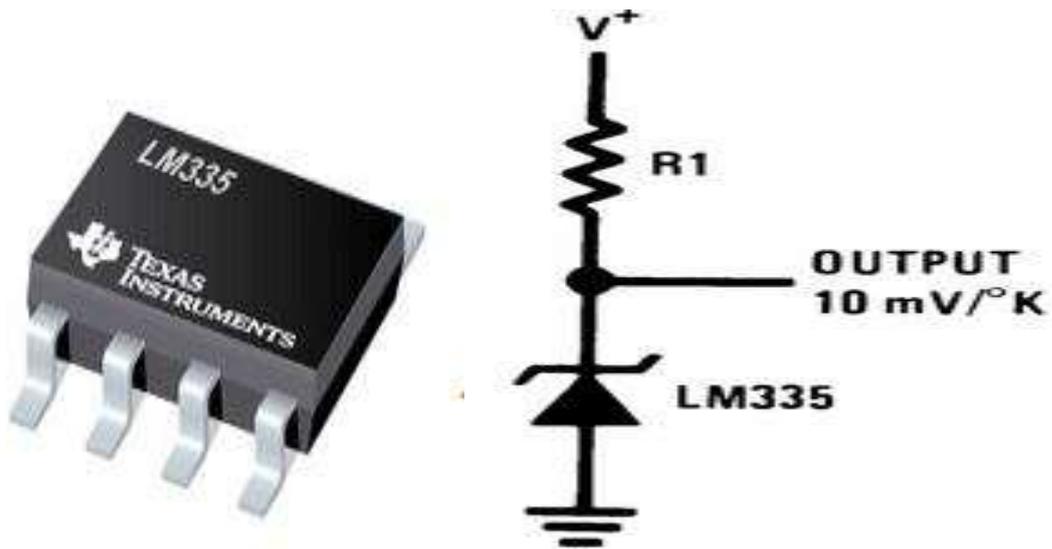


Figure IV.2 : Schéma des circuits sous ISIS

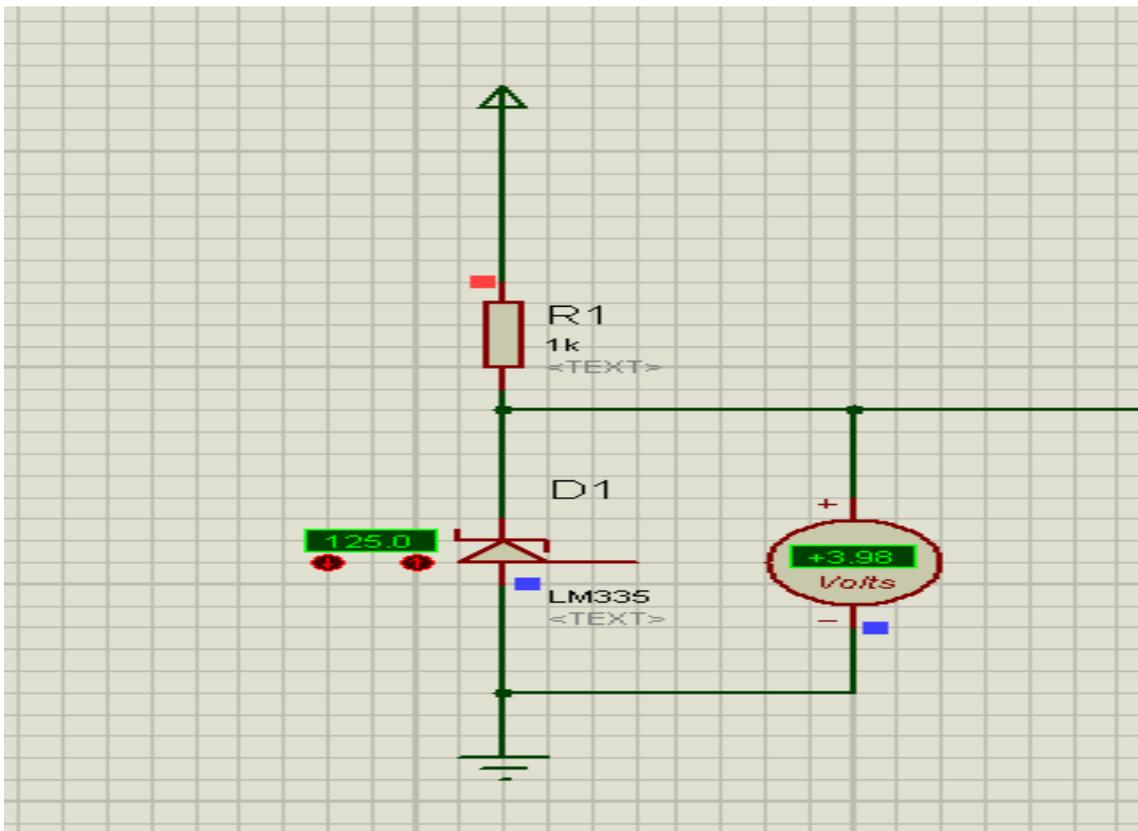
IV.3-PROTEUS ISIS

Proteus 7.1 est un système virtuel de modélisation (VSM) qui combine la simulation des circuits électroniques (ISIS) et des circuits imprimés (ARES).

Ce logiciel permet aux ingénieurs de tester leurs conceptions de circuits électroniques avant de construire un prototype physique en temps réel. Ce logiciel permet aux utilisateurs d'interagir avec la conception en utilisant un écran.



FigureIV.4 :Figure qui représente LM335



FigureIV.5: Schéma de simulation du LM335 sur ISIS

Tracer la courbe : La tension en fonction de la température

(Voir Tableau A.1)

A $T = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 2.23\text{V}$ (1)

A $T = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 3.98\text{V}$(2)

$$V = aT + b$$

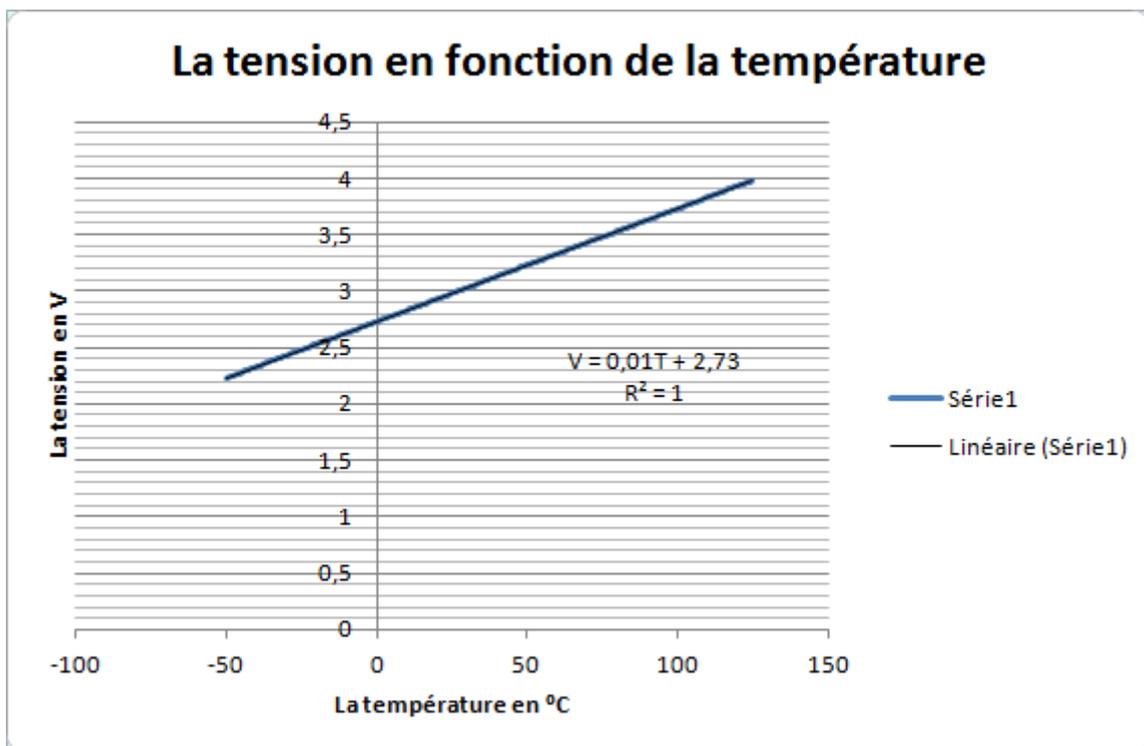
D'après (1) : $2.23 = -50a + b$

D'après (2) : $3.98 = 125a + b$

$$(2)-(1) \iff 1.75 = 175a \iff a = 0.01\text{ V}/^{\circ}\text{C} \dots\dots(3)$$

$$\text{Nous remplaçons (3) dans (2)} \iff 3.98 = 0.01(125) + b \iff 3.98 = 1.25 + b$$

$$\iff b = 2.73\text{ V DONC : } V = 0.01T + 2.73$$



FigureIV.6:Graph de tension en fonction de la tension de sortie.

La tension en fonction de la température est une droite de la forme $y = ax + b$ dans notre cas $V = aT + b$

Avec $a = 0.01\text{ V}/^{\circ}\text{C}$ Et $b = 2.73\text{V}$ ALORS $V = 0.01T + 2.73$

La pente de la courbe est supérieure à 0 donc la tension de sortie du capteur est proportionnelle à la température c'est-à-dire : la tension de sortie de capteur augmente

lorsque la température augmente, La tension de sortie de capteur diminue lorsque la température diminue.

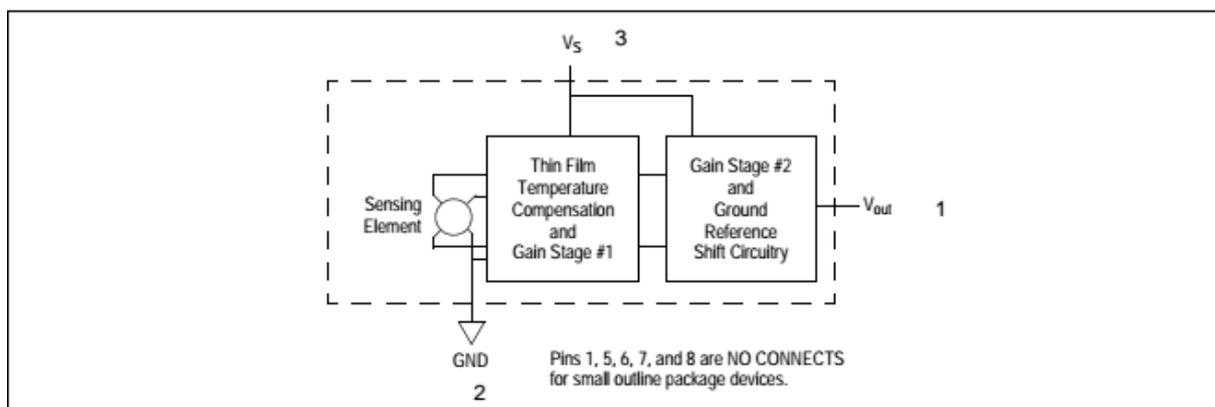
IV.5- Capteur de pression :

Pour le capteur de pression, nous avons utilisé un capteur piezoresistive : C'est le MPX4250.

Le MPX4250 est un circuit intégré en silicium qui mesure la pression absolue de 0 KPa jusqu'à 250 KPa. La plage de tension pour ces deux valeurs varie de 0.2 V à 4.9 V.



FigureIV.7: Les différents types de capteur de pression MPX



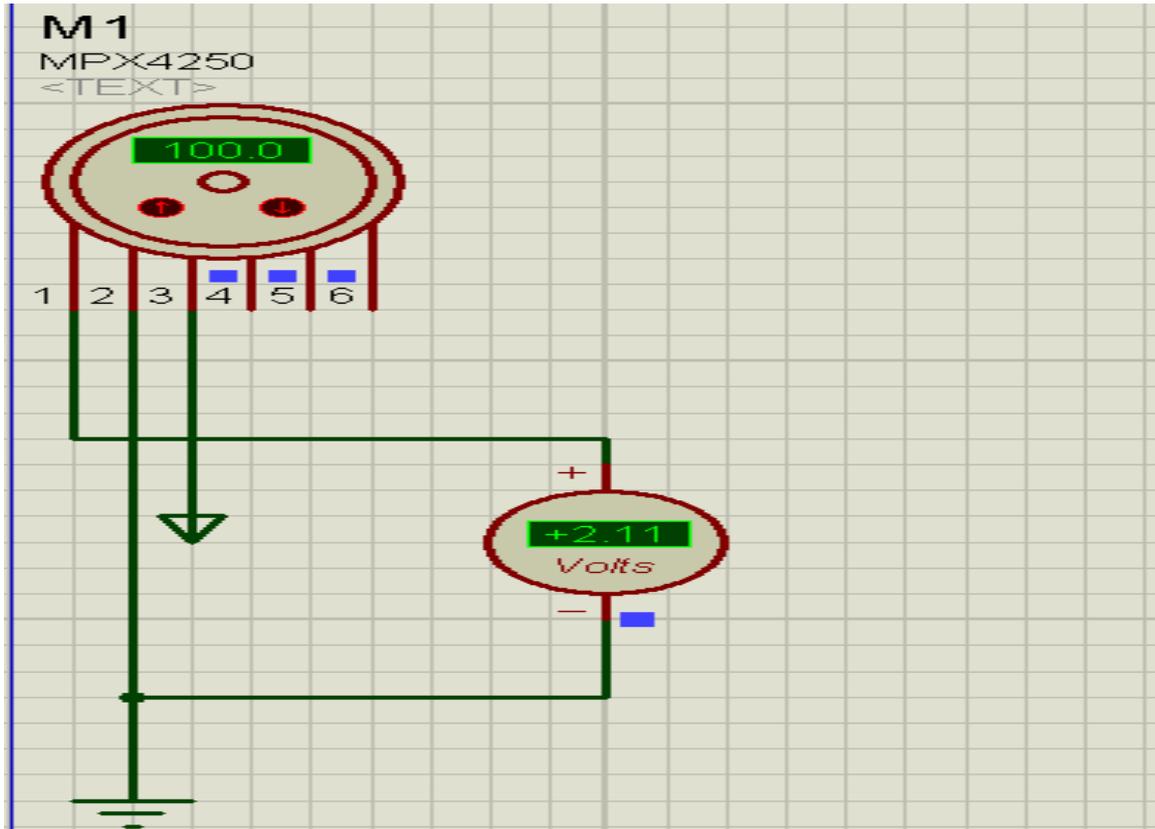
FigureIV.8:Le fonctionnement de capteur de pression MPX

Pins :

- 1- La tension de sortie de capteur.
- 2- La masse.
- 3- Vcc.

- 4- V1.
- 5- V2.
- 6- V EX.

IV.5.1- Simulation de capteur de pression sous ISIS :



FigureIV.9:Schéma de simulation de capteur de pression sous ISIS

IV.5.2 Représentation graphique de la tension en fonction de la pression :

(Voir Tableau A.2)

Nous avons :

$$AP = 0KPaV = 0.26V.$$

$$AP = 250KPaV = 4.87V .$$

$$V = aP + b$$

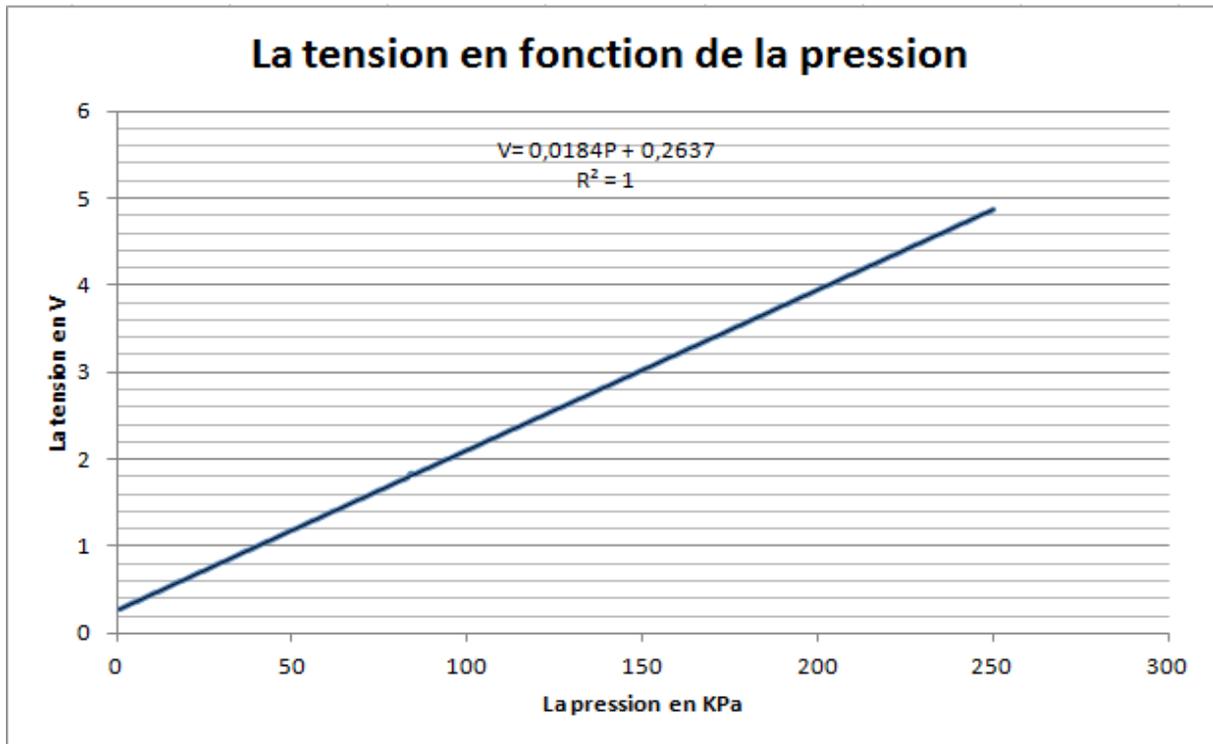
Nous avons :

$$0.26 = 0 + b \dots (1) \longrightarrow b = 0.26 \text{ V}$$

$$4.87 = 250a + b \dots (2)$$

$$(2) - (1) 4.61 = 250a \longrightarrow a = 0.01844 \text{ V/KPa} \dots (3)$$

Donc :
$$V = 0.01844P + 0.26$$



FigureIV.10: Courbe qui représente la tension de sortie de capteur en fonction de la pression

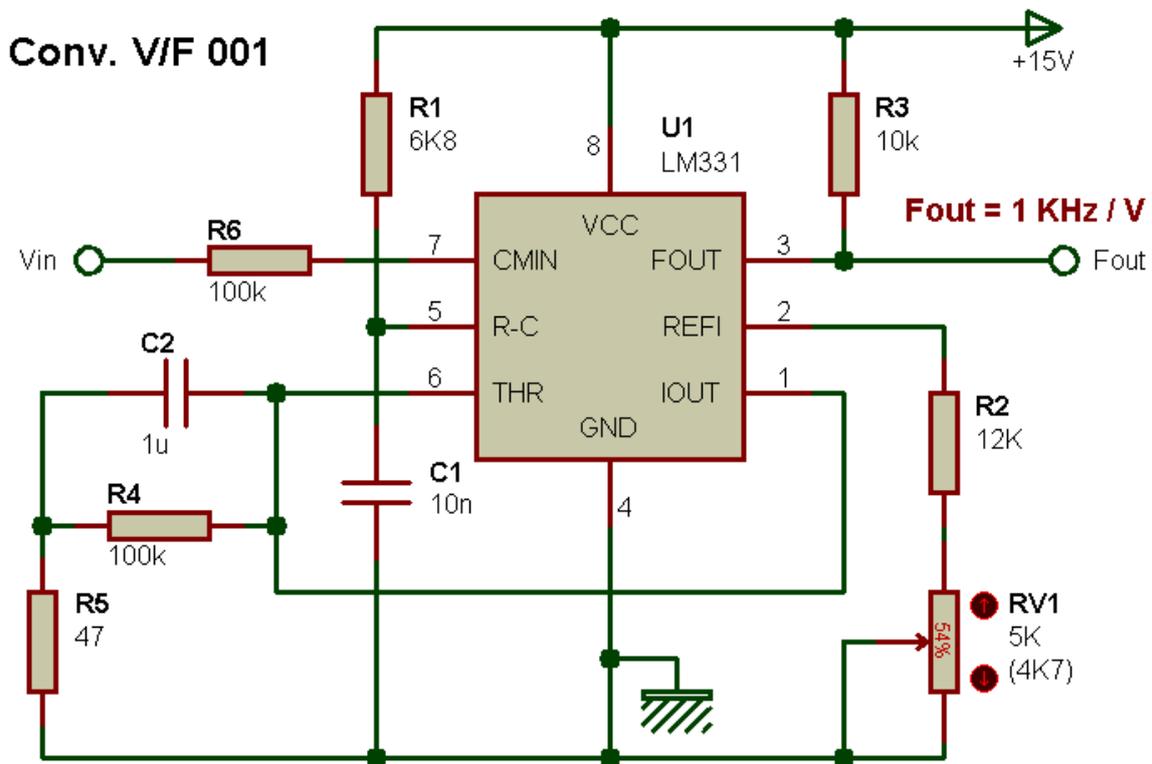
A partir de la courbe, nous remarquons que la tension de sortie de capteur est proportionnelle à la pression d'entrée.

IV.5.3- Convertisseur tension-fréquence :

Les tensions obtenues par le capteur de température et de pression vont être converti en des signaux périodiques rectangulaires de fréquence donnée. La réalisation de ce convertisseur est basée sur le composant LM331.

Pour une tension qui varie de 0 V à 10 V, La fréquence de signal de sortie varie de 0 KHz à 10 KHz pour $C1 = 10 \text{ nF}$ et $R1 = 6.8 \text{ K}\Omega$. Le taux de conversion est de 1 KHz par volt.

La figure ci-dessous qui représente un convertisseur de tension-fréquence.



FigureIV.11:Le montage de convertisseur tension-fréquence basée sur LM331.

Le calcul de la fréquence de sortie F_{out} est fonction de la tension d'entrée V_{in} et de la valeur des composants R_1 , C_1 , R_2 , R_4 et RV_1 . Elle est donnée par l'expression suivante :

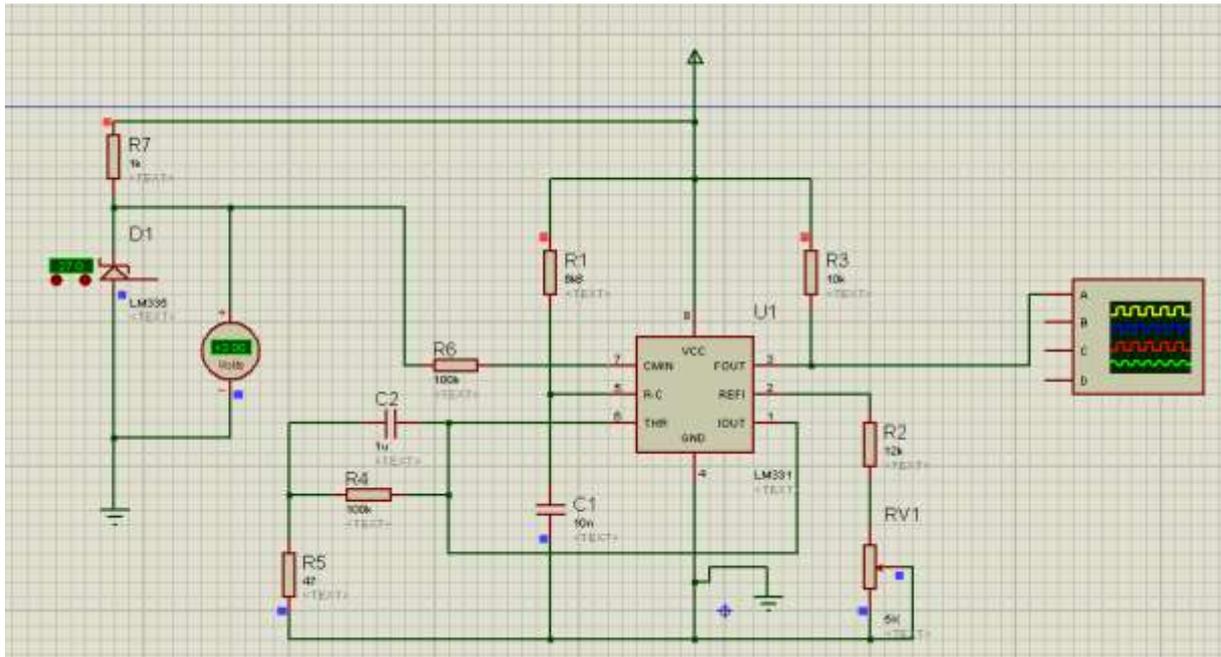
$$F_{out} = \frac{V_{in}}{2.09} \times \frac{R_2 + RV_1}{R_4} \times \frac{1}{R_1 \times C_1}$$

Exemple :

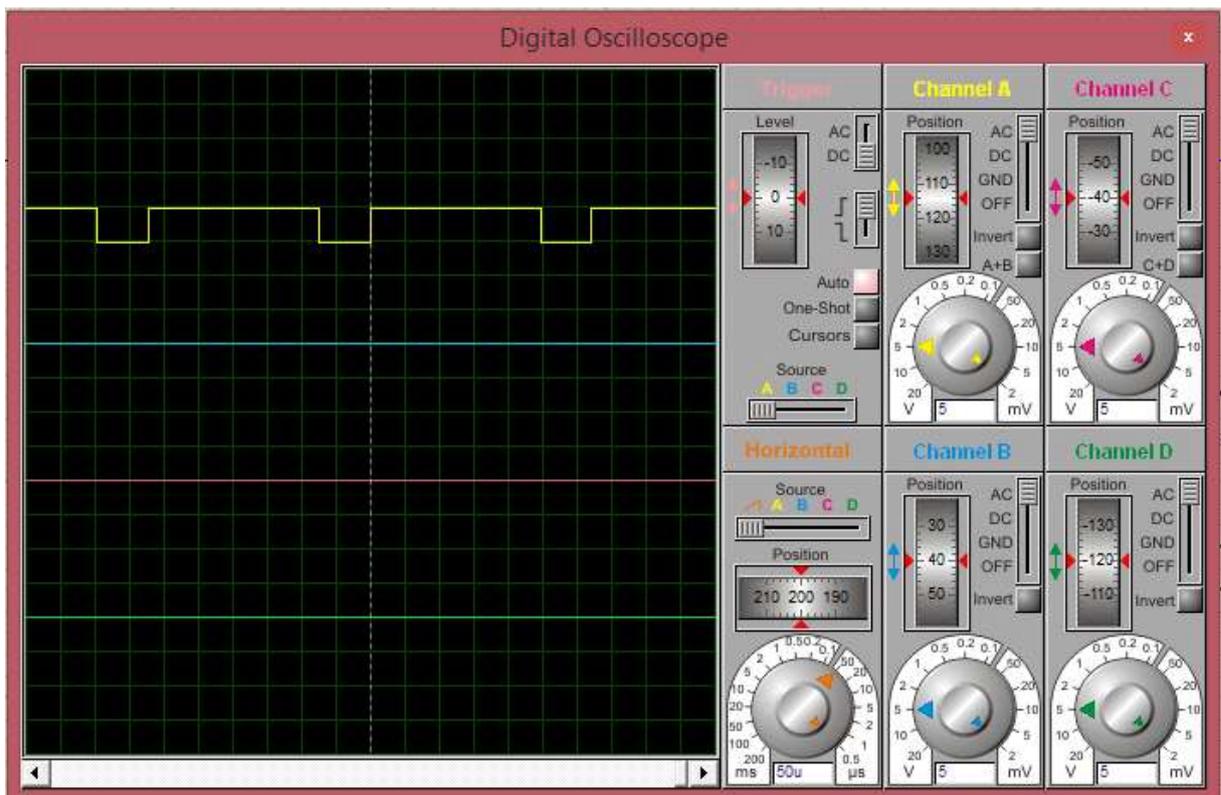
Pour le capteur de température : à 27 °C, la tension de la sortie égale à 3V.

$$F_{out} = \frac{3}{2.09} \times \frac{12000 + 2500}{100000} \times \frac{1}{6800 \times 0.00000001}$$

$$F_{out} = 3060.79 \text{ Hz} \approx 3\text{KHz}$$



FigureIV.12:Schéma de simulation d'un convertisseur tension-fréquence d'un capteur de température à 27°C



FigureIV.13: La visualisation du signal de sortie par un oscilloscope Virtual sur ISIS (le jaune)

D'après l'oscilloscope, le calibre du temps est égal à 50 μ s.

La période $T = 6.5 \times 50^{-6}T = 0.000325$ s

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.000325} F = 3076.923\text{Hz} \approx 3\text{KHz}$$

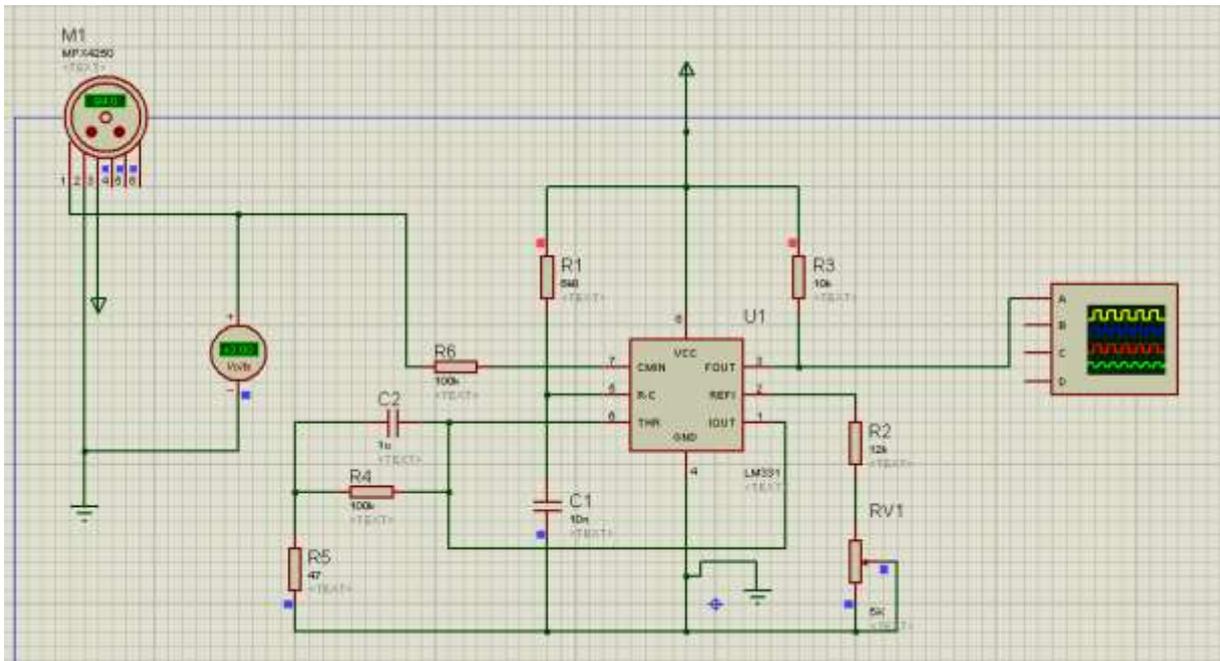
Remarque :

Nous remarquons que $F(\text{lecture}) \approx F(\text{calcule})$.

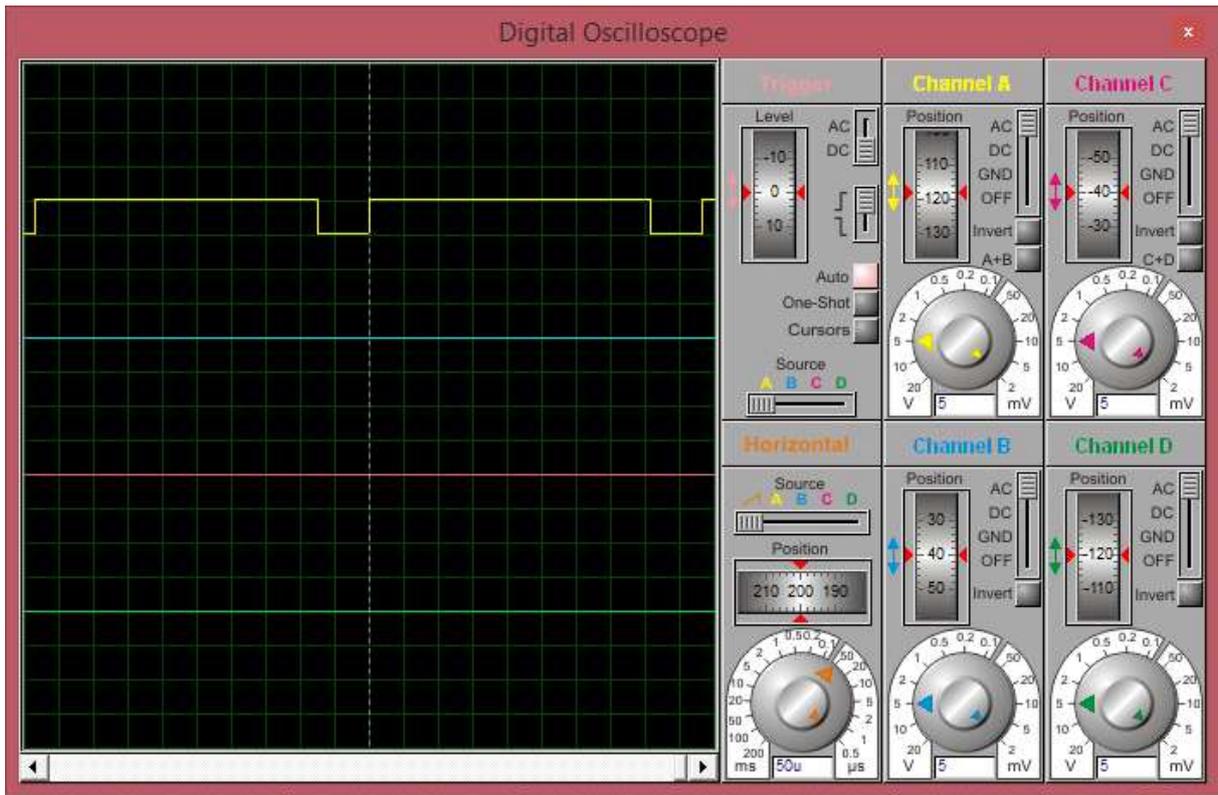
Pour le capteur de pression : à 94 KPa, La tension de sortie de capteur égale à 2 V

$$F_{out} = \frac{2}{2.09} \times \frac{12000 + 2500}{100000} + \frac{1}{6800 \times 0.00000001}$$

$$F_{out} = 2040.44\text{Hz} \approx 2\text{KHz}$$



FigureIV.14 : Schéma de simulation d'un convertisseur tension-fréquence d'un capteur de pression à 94 KPa



FigureIV.15: La visualisation du signal de sortie par un oscilloscope Virtual sur ISIS (le jaune)

D'après l'oscilloscope nous avons

Le calibre du temps égale à 50 μ s.

La période $T = 9.6 \times 50^{-6}T = 0.00048s$

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.00048} F = 2083.33Hz \approx 2KHz$$

Remarque :

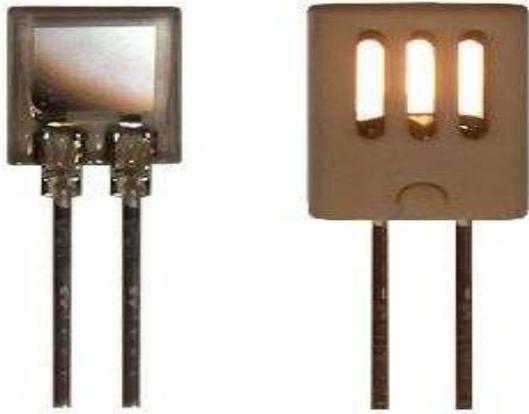
Nous remarquons que $F(lecture) \approx F(calculé)$.

IV.6-CAPTEUR D'HUMIDITE HCH 1000

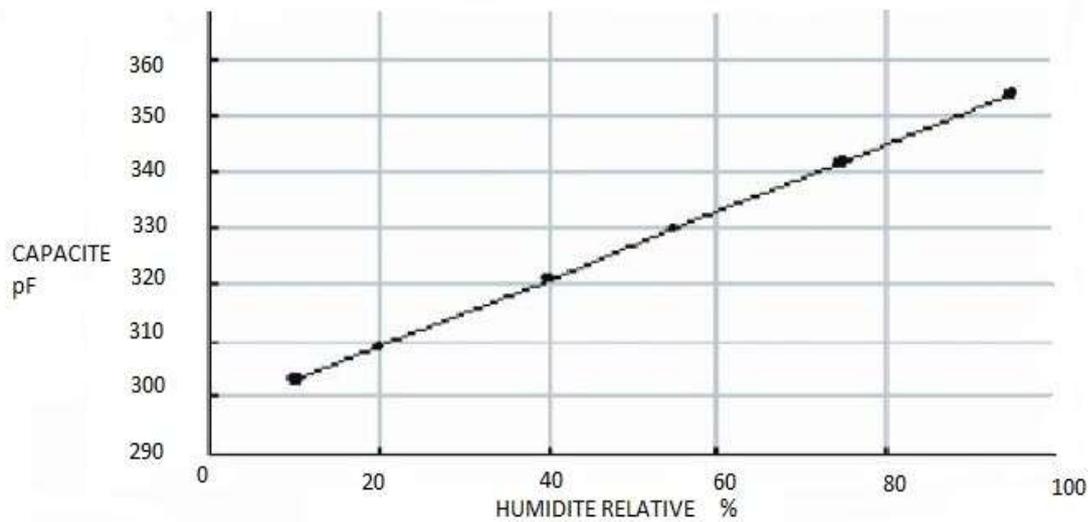
HCH- 1000 Séries Capteurs d'humidité sont des capteurs capacitifs de polymères conçus pour la mesure de l'humidité relative. Ces détecteurs convertissent la valeur de l'humidité vers la capacité, qui peut être mesurée par voie électronique.

La gamme de réponse typique d'humidité se situe entre 10% et 95%.

Le HCH 1000 Séries est fabriqué en utilisant la technologie des semi-conducteurs.



FigureIV.16: La figure représentant le capteur d'humidité HCH 1000



FigureIV.17:La capacité en fonction d'humidité

$$C_C(\%RH) = C_S(55\%RH) + S \times [(\%RH(C_M) - \%RH(C_S))]pF$$

Où :

S : la sensibilité (pF/%RH).

$C_C(\%RH)$: La capacité calculée à la mesure d'une humidité relative.

$C_S(55\%RH)$: Valeur de la capacité standard à 55% HR.

$\%RH(C_M)$: Valeur d'humidité relative mesurée.

$\%RH(C_S)$:Valeur d'humidité relative standard(55% RH).

Exemple de calcul HR= 60% :

$$C_C(60\%) = C_S(55\%RH) + S \times [(60\%(C_M) - 55\%(C_S)]pF$$

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta RH} = \frac{320 - 310}{40 - 20} = \frac{10}{20} = 0.5pF/\%$$

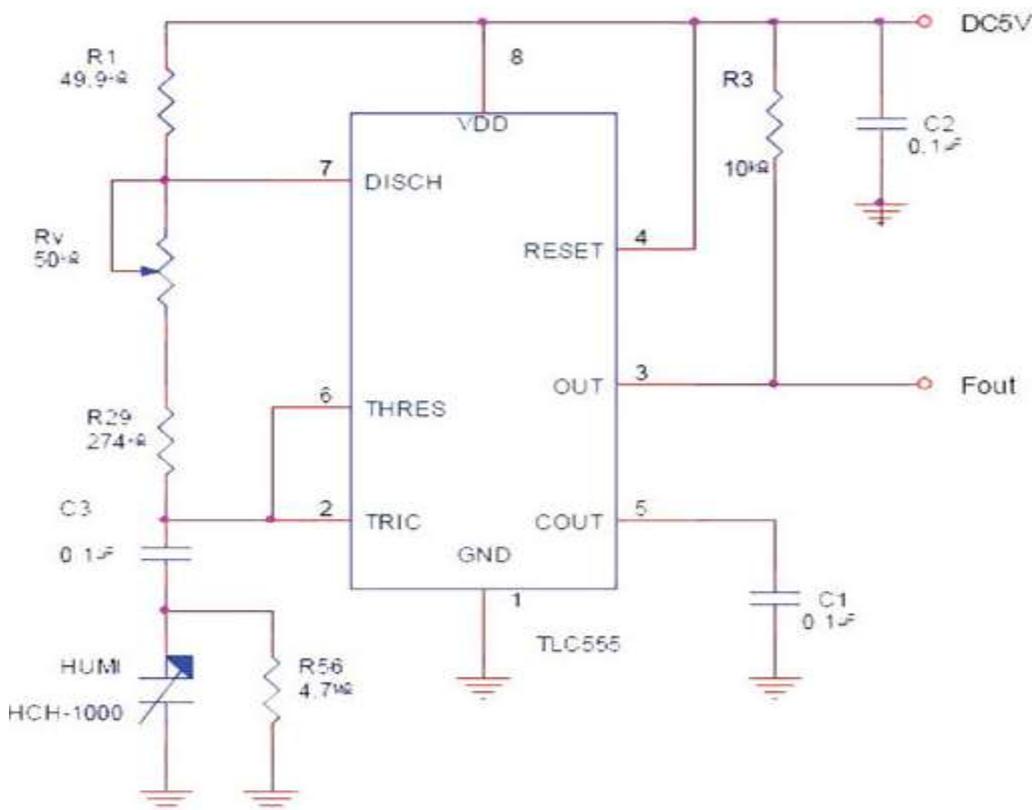
$$C_C(60\%) = 330 + 0.5[60 - 55]$$

$$C_C(60\%) = 332.5pF$$

IV.6.1- La conversion de la capacité en fréquence :

La capacité peut être mesurée par plusieurs méthodes. Le timer 555 utilise la capacité du capteur pour créer une forme d'onde carrée. Une fréquence de base est choisie pour correspondre à la capacité du détecteur une humidité relative donnée.

Cette fréquence est arbitraire, tant qu'elle est dans les spécifications de fréquence du capteur 555 de la timer et l'humidité.



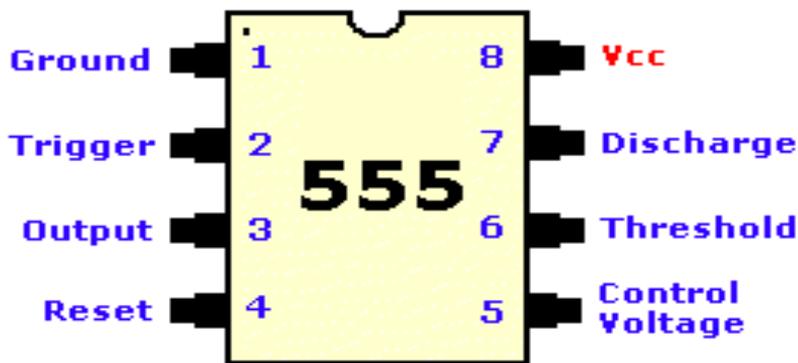
FigureIV.18: Le circuit électronique de conversion capacitance à fréquence avec un simple 555 Timer

Le HCH -1000 est un capteur d'humidité. Le condensateur variable est relié aux SEUIL et de TRIG. RV est une résistance variable qui compense la fréquence de sortie de la capacité de base de l' HCH- 1000.

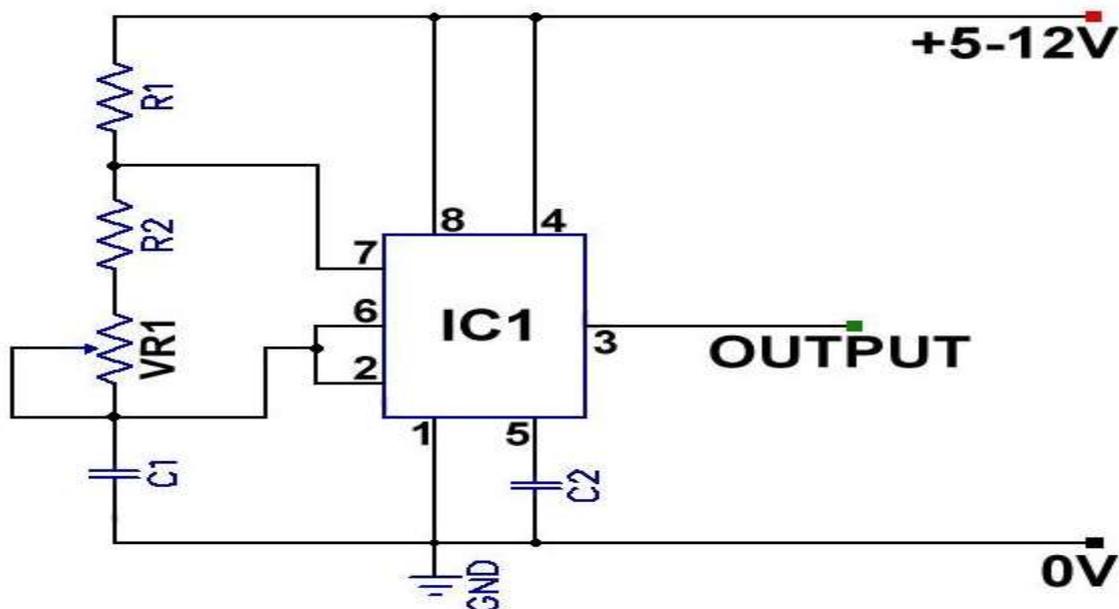
IV.6.2- NE 555 :

Le timer NE 555 IC est un circuit intégré utilisé dans une variété de timer, génération d'impulsions, et les applications de l'oscillateur. Le 555 peut être utilisé pour fournir des retards temporels, comme un oscillateur, et comme un élément à bascule.

Le circuit intégré standard 555timer comprend 25 transistors, 2 diodes et 15 résistances sur une puce de silicium. Ils sont installés dans un boîtier à 8 broches mini dual-in-line.



FigureIV.19: L'image de circuit intégré 555timer



FigureIV.20: Le circuit électronique de 555timer

La résistance de synchronisation est divisée en deux sections, R1 et R2 + VR1, avec la décharge broche 7 reliée à la jonction de R1 et R2 + VR1. Lorsque l'alimentation est connectée, le condensateur C1 se charge vers 2/3 Vcc vers R1 et R2 + VR1.

Lorsque la tension du condensateur atteint 2/3 Vcc, le comparateur supérieur déclenche la bascule pour décharger le condensateur C1 vers le R2 + VR1. Lorsque la décharge atteint 1/3 Vcc, le comparateur inférieur se d'éclanche et un nouveau cycle commence.

Le condensateur est ensuite périodiquement chargé et déchargée entre 2/3 et 1/3 Vcc respectivement.

$$t1 = 0.693(R1 + R2 + VR1)C1$$

L'état de sortie est faible au cours du cycle de décharge pour une période de temps t2, donnée par

$$t2 = 0.693(R2 + VR1)C1$$

Ainsi, la charge de la durée totale et la décharge est

$$\begin{aligned} T &= t1 + t2 \\ &= 0.693[R1 + 2(R2 + VR1)]C1 \end{aligned}$$

Donc la fréquence de sorti

$$\begin{aligned} F &= 1/T \\ F &= 1.443/\{[R1 + 2(R2 + VR1)]C1\} \end{aligned}$$

Exemple :

$$R1 = 2.2K\Omega$$

$$R2 + VR1 = 100K\Omega$$

$$C1 = 0.001\mu F$$

$$F = 1.443/\{[2.2 + 2(100)] \times 0.001\}$$

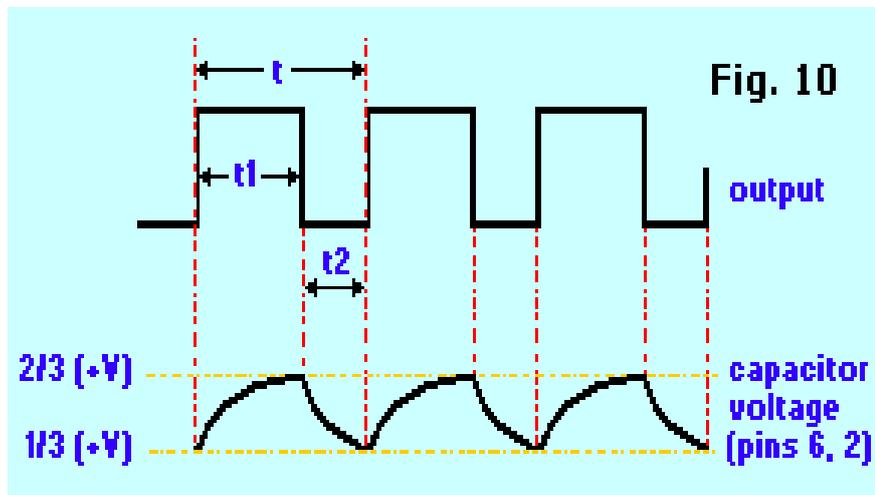
$$F = 7.136 KHz$$

La fréquence est réglée avec le potentiomètre VR1.

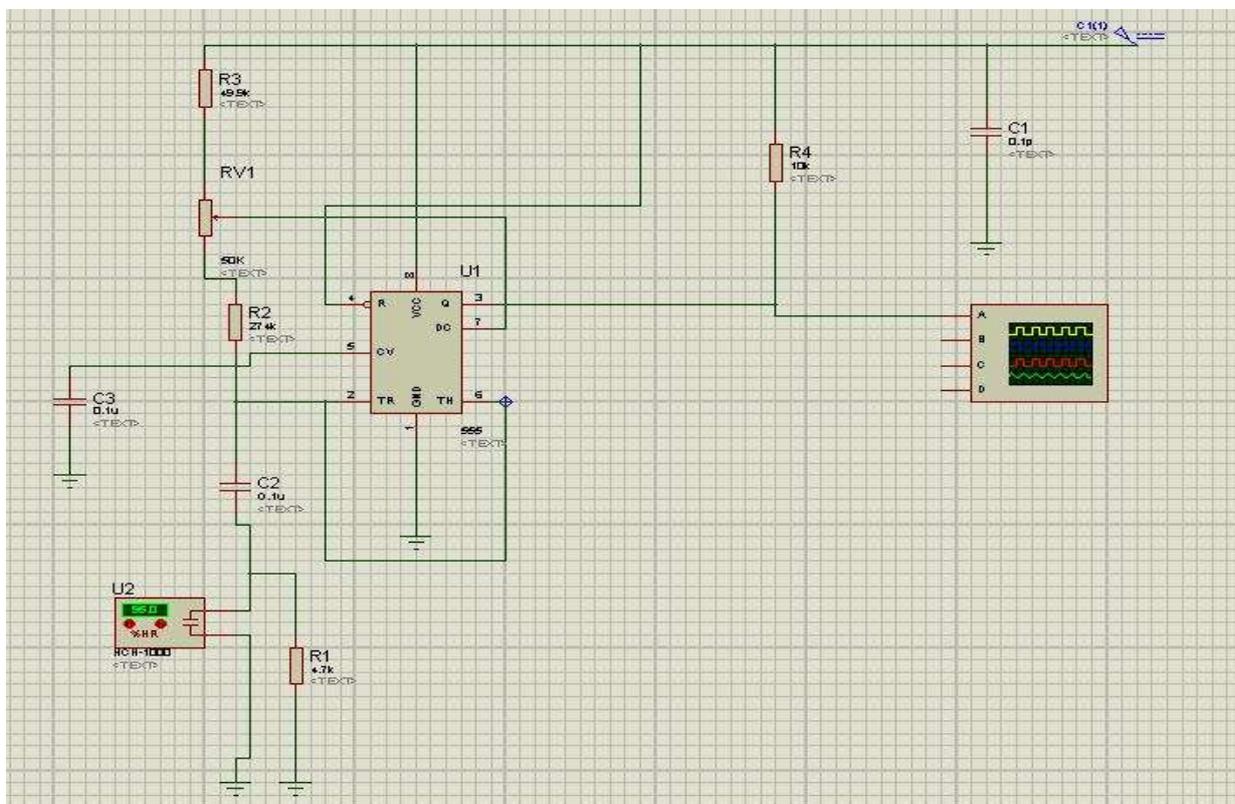
Avec cette équation

$$F = 1.443/\{[R1 + 2(R2 + VR1)]C1\}$$

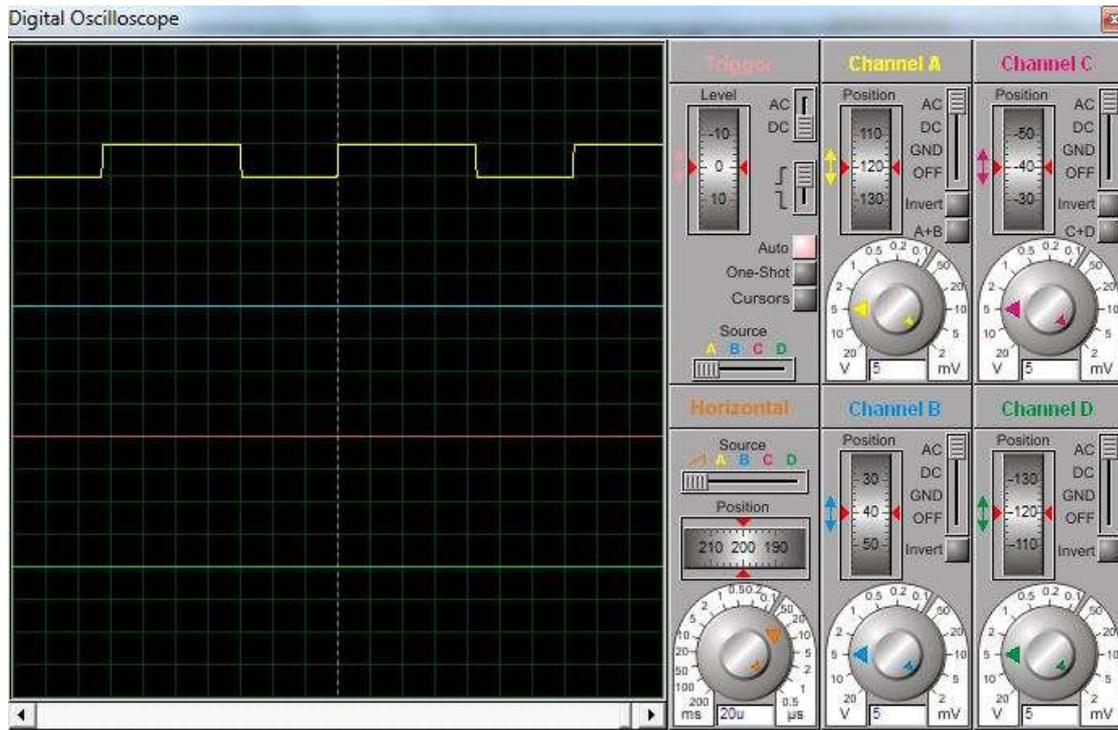
On peut facilement calculer la valeur de la capacité de HCH1000 à chaque valeur de l'humidité.



FigureIV.21:La fréquence de sortie en fonction de la charge et la décharge du condensateur



FigureIV.22:Simulation de capteur d'humidité capacitif (HCH100) sous ISIS utilisant un timer NE555.



FigureIV.23: La visualisation du signal de sortie sur un oscilloscope virtuel sur ISIS (humidité égale à 10%)

Calcul de fréquence à 10%

$$F = \frac{1}{T} = 1/(7.3 \times 20 \times 10^{-6})$$

$$F = 6849.3Hz$$

Nous avons utilisé un oscilloscope pour visualiser la tension générée par le changement de l'humidité.

IV.6.3- Courbe de tension en fonction d'humidité

(Voir Tableau A.3)

Remarque :

Pour obtenir une tension continue, nous avons utilisé un convertisseur fréquence-tension que nous allons expliquer leur fonctionnement dans la partie de réception.

Nous avons :

A H=10 % \longrightarrow V=4.07 V.

A H=95 % \longrightarrow V=3.48 V.

$$V = aH + b$$

Nous avons :

$$4.07 = 10a + b \dots (1)$$

$$3.48 = 95a + b \dots (2)$$

$$(1) - (2) \quad 0.59 = -85a$$

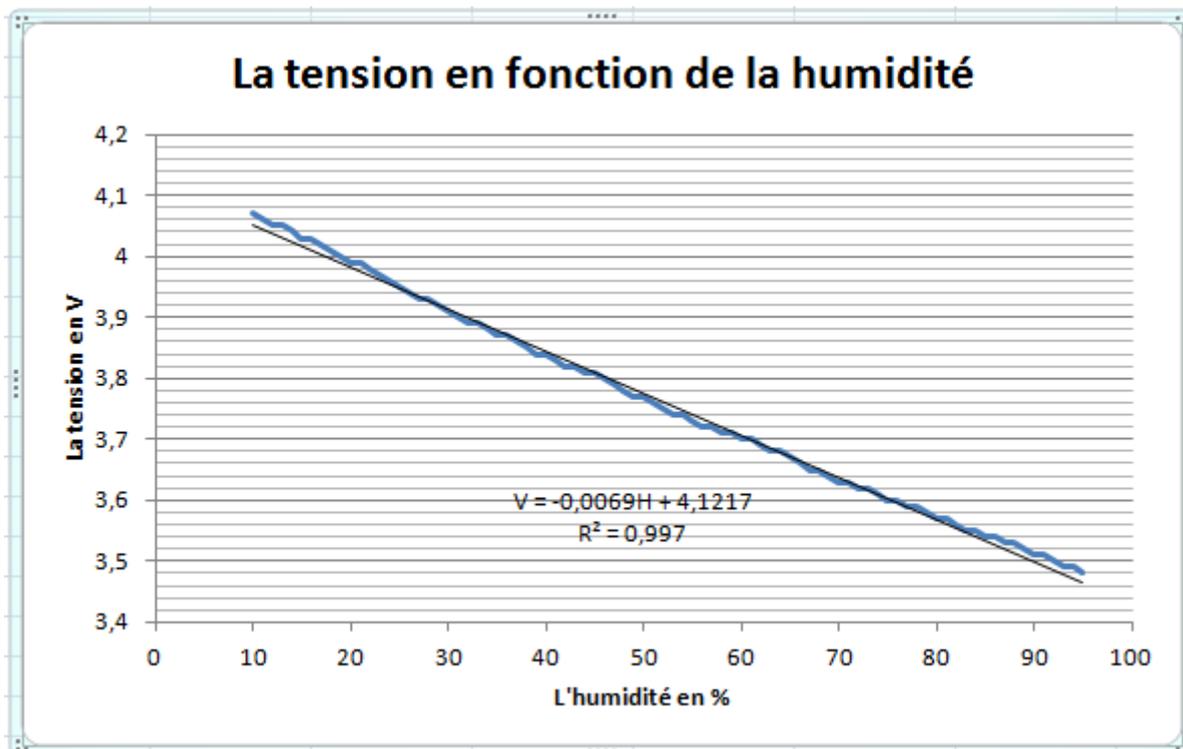
$$a = -0.00694V/HR \dots (3)$$

Remplaçons a dans (1)

$$4.07 = 10(-0.00694) + b$$

$$b = 4.1394$$

Donc : $V = -0.00694a + 4.1394$



FigureIV.24: La courbe qui représente la tension de sortie de capteur en fonction de l'humidité

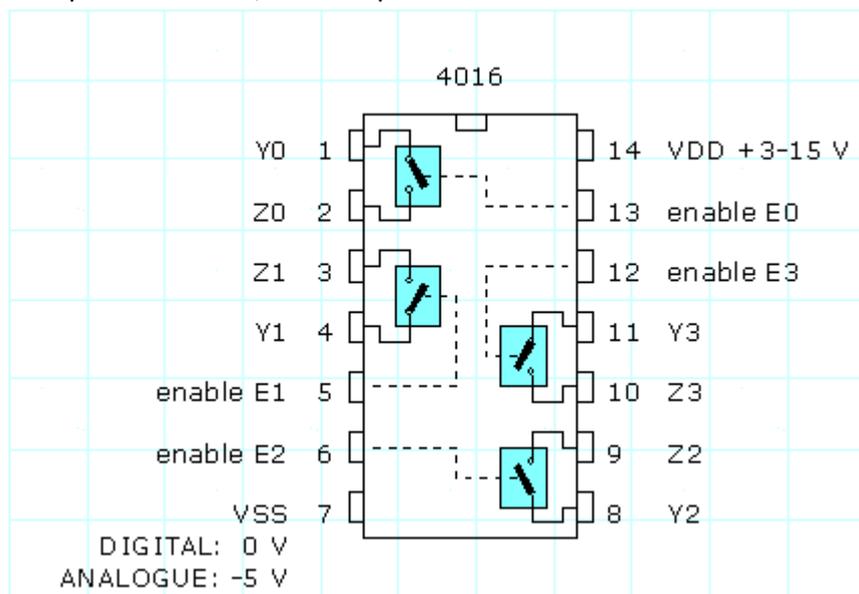
A partir de la courbe, nous remarquons que la tension de sortie de capteur est inversement proportionnelle à l'humidité d'entrée.

IV.7 - Multiplexeur utilisant un commutateur(CD4016) et un compteur(CD4017) :

IV.7.1- Commutateur CD4016 :

Le CD 4016 est un circuit CMOS (Component Métal Oxide Semi-conducteur). Il est utilisé comme un commutateur. Il contient 4 interrupteurs. Chaque interrupteur comporte deux bornes : une entrée/sortie (Y et Z) et une autre de validation E.

- Lorsque E est faible, l'interrupteur est ouvert.
- Lorsque E est élevé, l'interrupteur est fermé.



FigureIV.25:Schéma du brochage de CD 4016

La résistance interne de chaque interrupteur est d'environ 300Ω.

En mode numérique : la sortie du commutateur dépend de l'état logique de l'entrée et de la borne de validation.

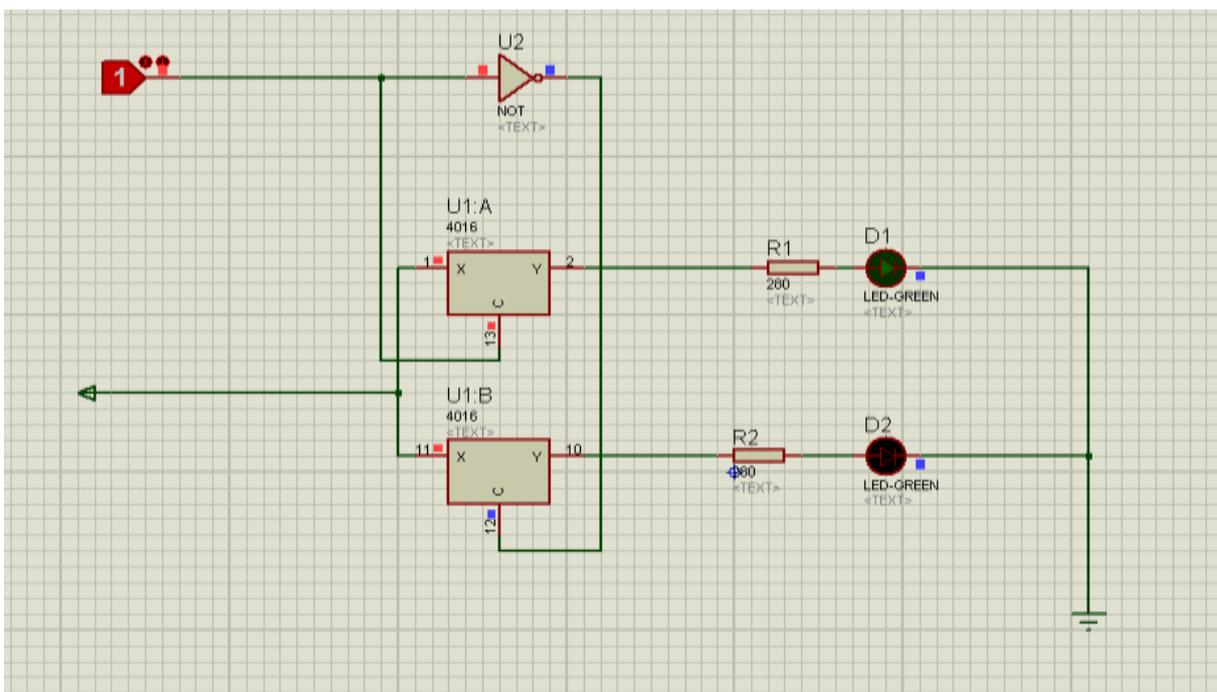
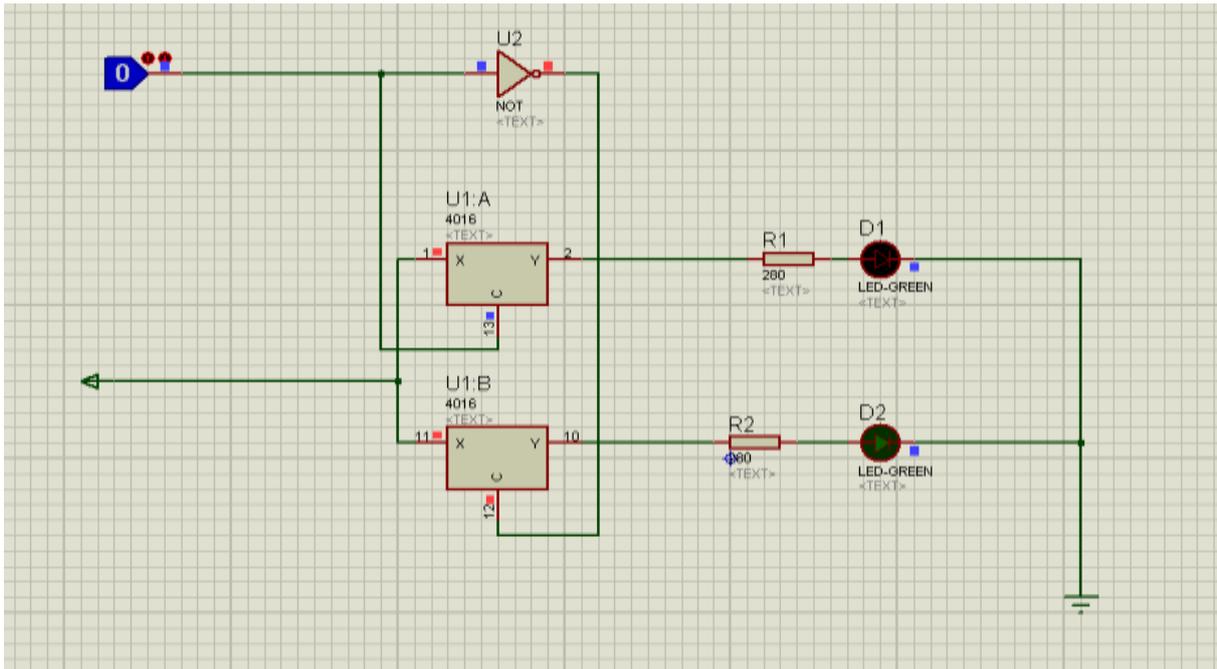
- **Si $Y = 1$ et $E = 1 \rightarrow Z = 1$.**
- **Si $Y = 0$ et $E = 1 \rightarrow Z = 0$.**
- **Si $Y = 1$ et $E = 0 \rightarrow Z = 0$.**
- **Si $Y = 0$ et $E = 0 \rightarrow Z = 0$.**

Donc pour $Z = 1$, il faut que $Y = 1$ et $E = 1$.

En mode analogique, tels que les signaux audio, le signal analogique doit être maintenu dans les limites fixées par l'alimentation de CD 4016. Si le signal analogique est centré autour de 0V, la tension de la broche 7 du CD 4016 doit être connectée à une tension négative (-5) avec la broche 14 qui est reliée à une tension positive (+5).

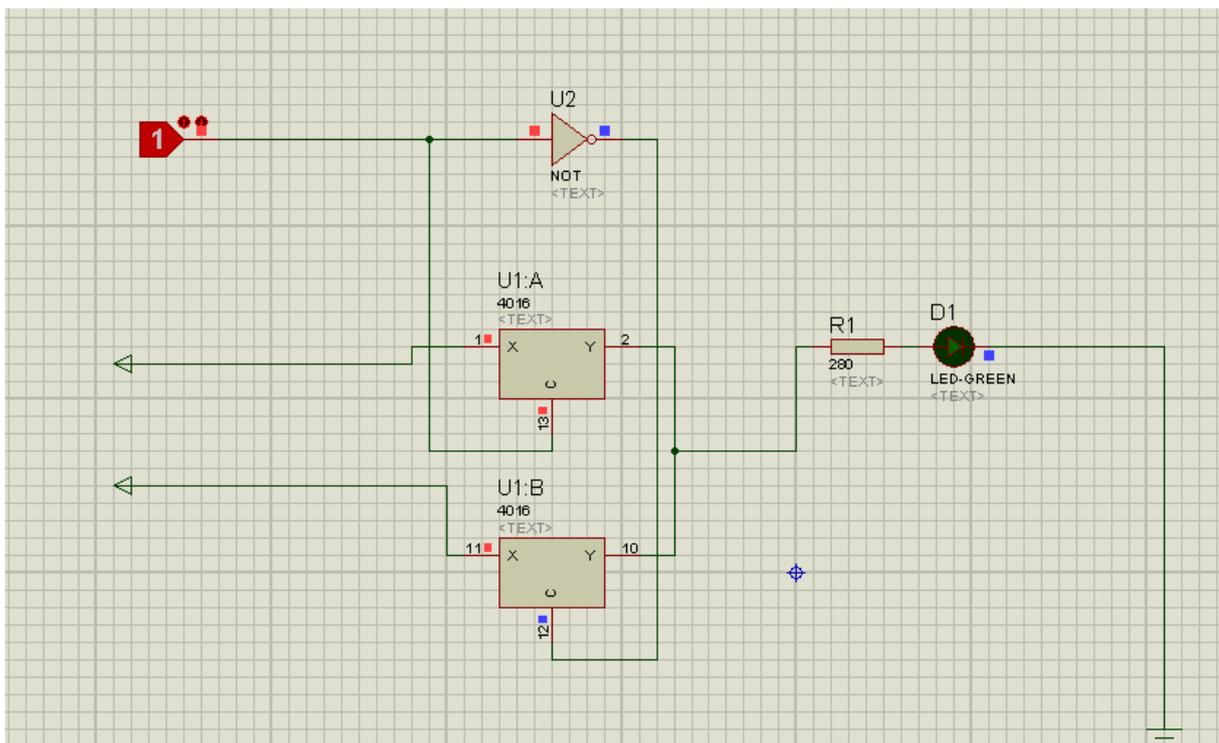
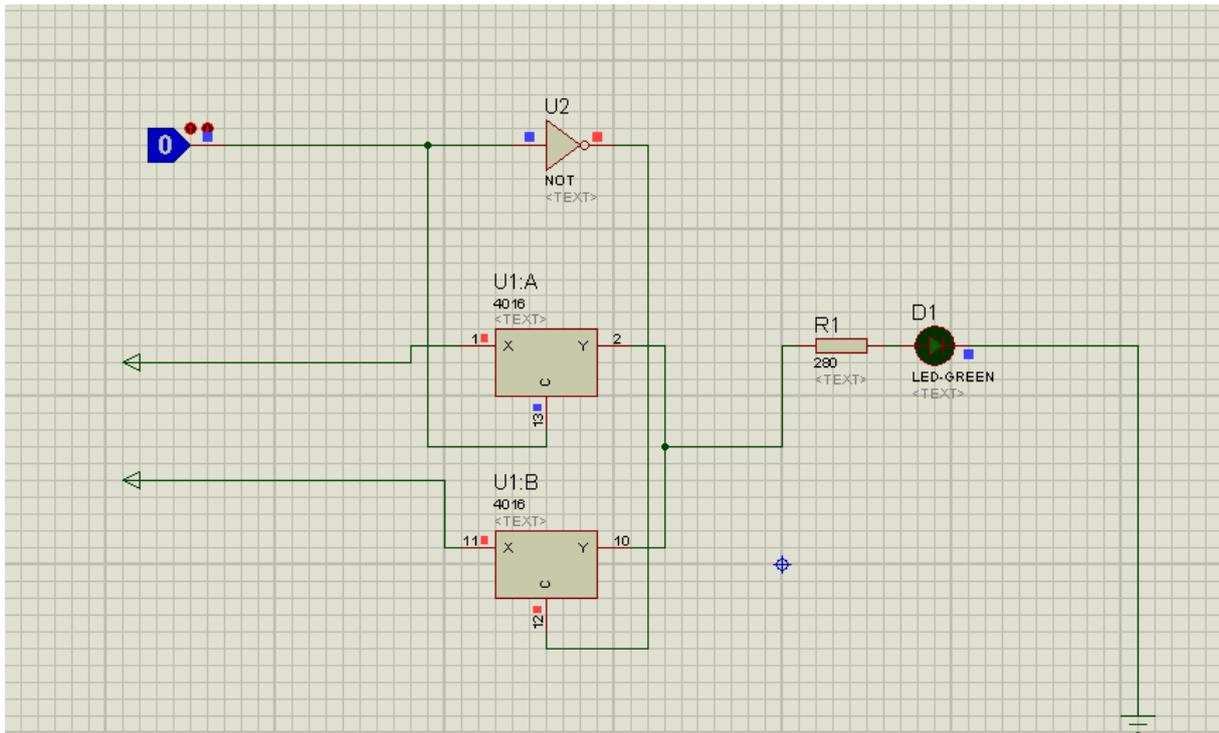
Les commutateurs peuvent être reliés entre eux pour fournir :

- SPDT(Single Pole/ Double Trow) : une entrée/deux sorties.



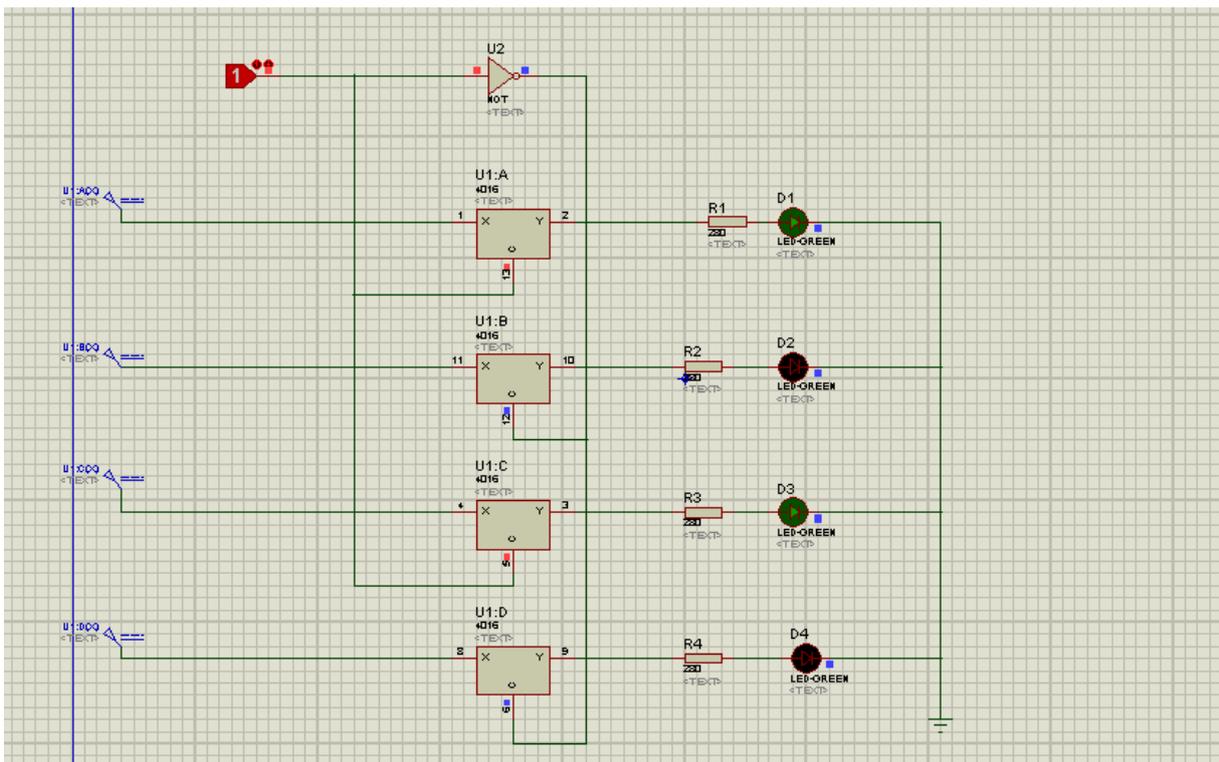
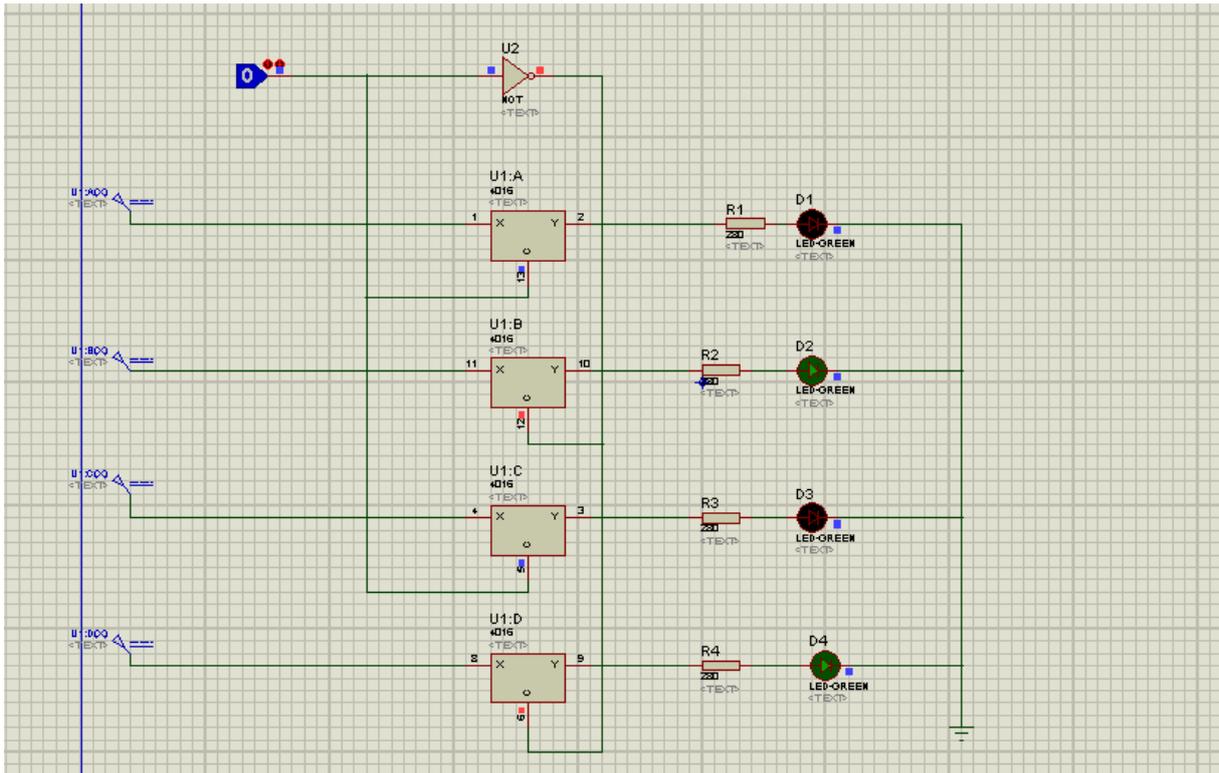
FigureIV.26:Un exemple d'un montage SPDT sous ISIS

- DPST(Double Pole/Single Trow) :Deux entrées/ une sortie



FigureIV.27:Un exemple d'un montage DPST sous ISIS

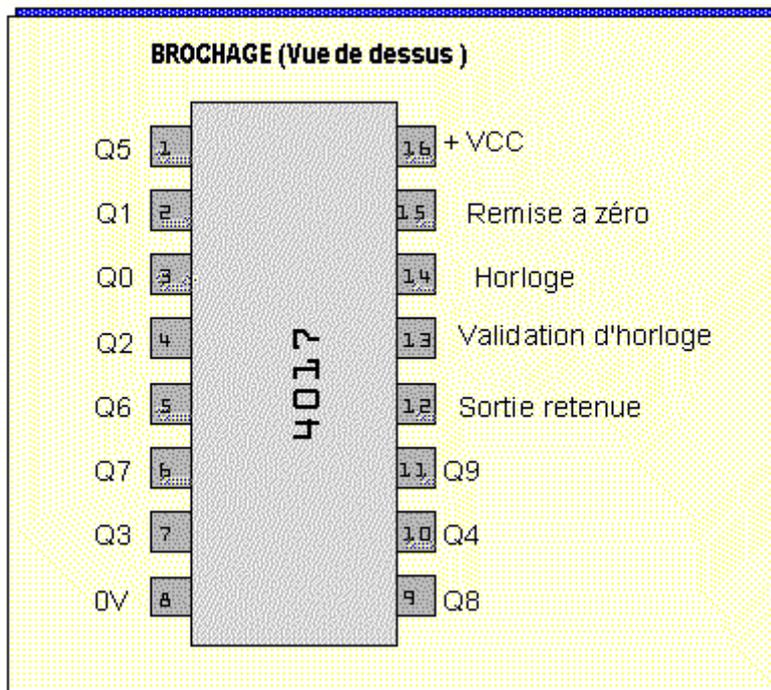
- DPDT(Double Pole/Double Trow) : Deux entrées/deux sorties



FigureIV.28:Un exemple d'un montage DPDT sous ISIS.

IV.7.2- Compteur CD4017 :

C'est un circuit CMOS compteur décimal/diviseur à 10 sorties.

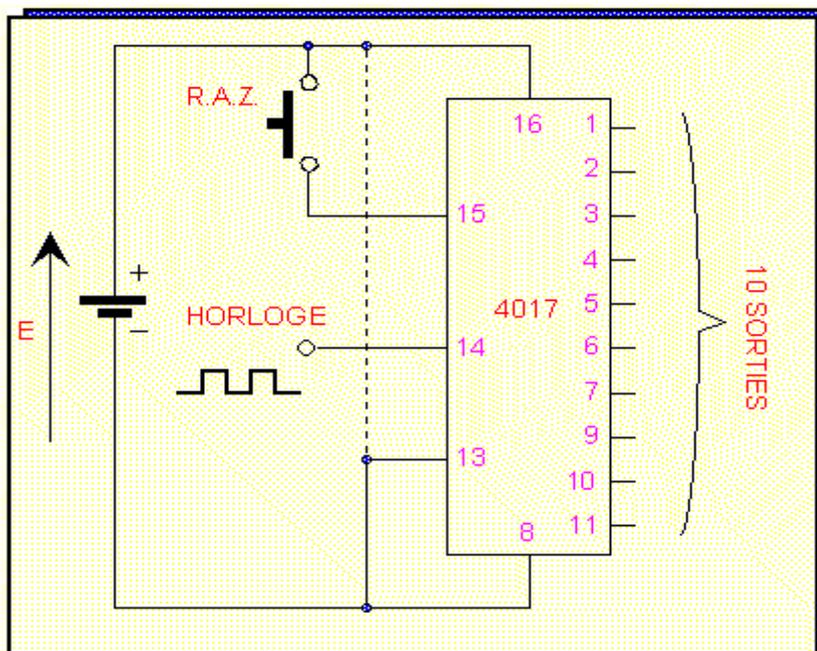


FigureIV.29:Schéma du brochage du CD4017

Un flanc montant sur l'entrée d'horloge (14), avec l'entrée de validation d'horloge (13) au niveau bas incrémente le compteur, chaque sortie passant dans l'ordre à l'état haut.

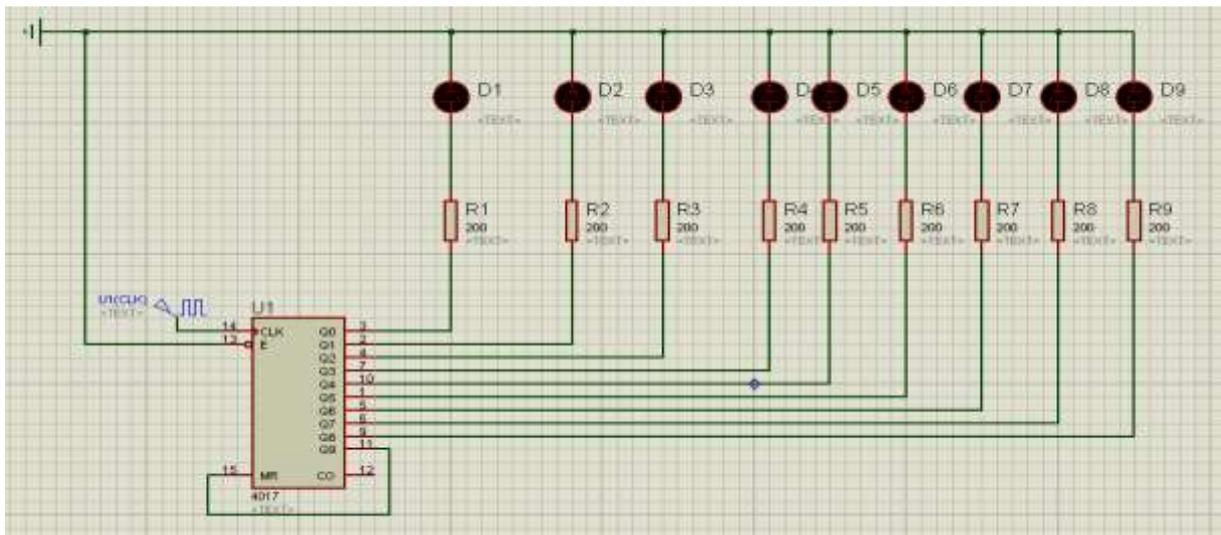
Pour l'incréméntation sur un flanc descendant l'entrée de validation d'horloge est mise au niveau haut.

Un niveau logique haut sur la broche (15) réinitialise le compteur.



FigureIV.30:Schéma de base du compteur CD4017.

Exemple : Commander des LED par un compteur CD 4017 sur ISIS.



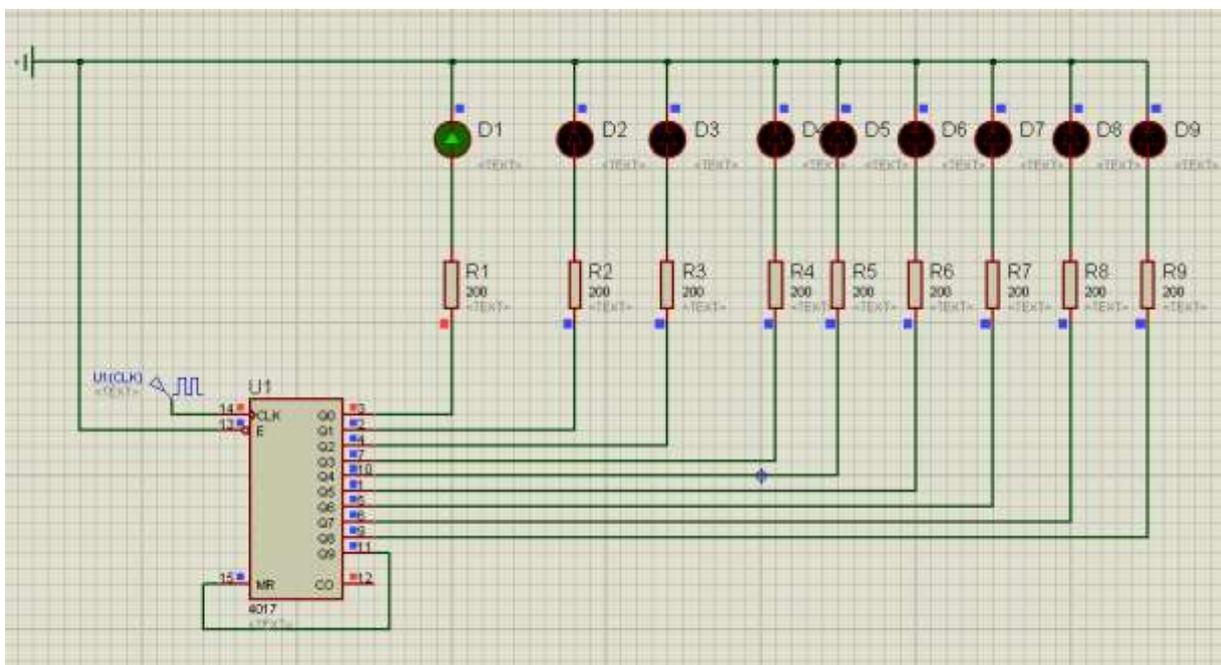
FigureIV.31: Un exemple de la simulation de CD4017 sous ISIS

De Q0 à Q8 : les sorties du compteur commandent directement les LED.

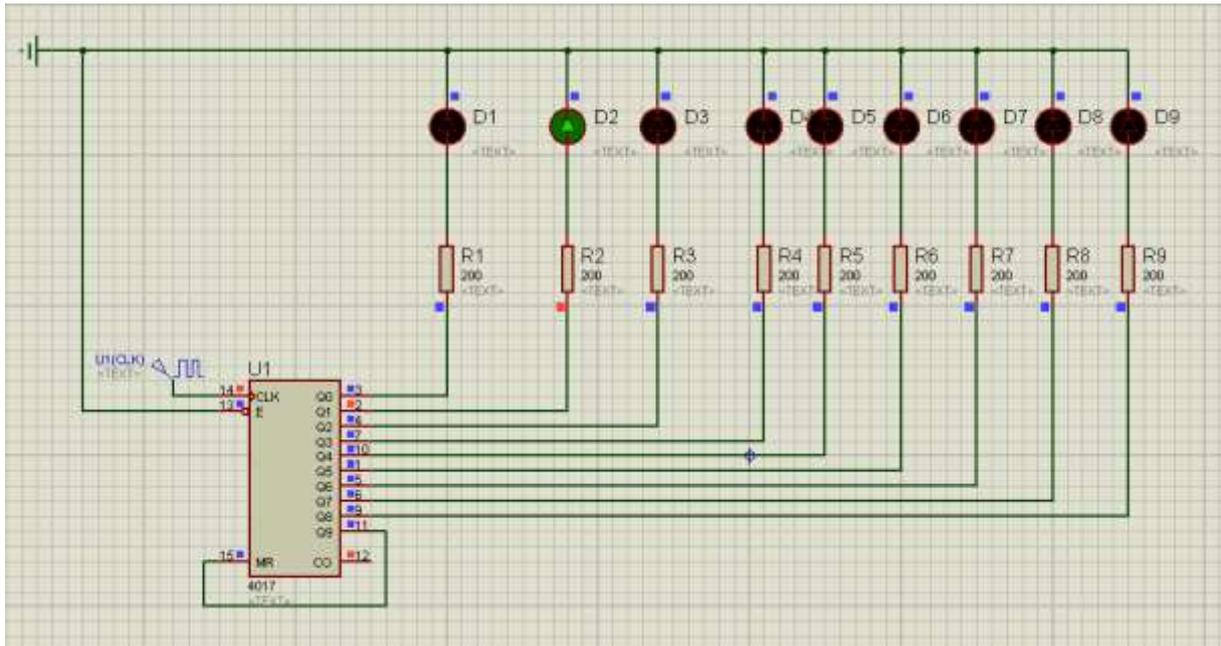
Q9 est reliée à la branche MR qui signifie tout simplement une remise à 0.

E : l'entrée de validation ; elle est active dans ce cas à l'état 0 (relier à la masse).

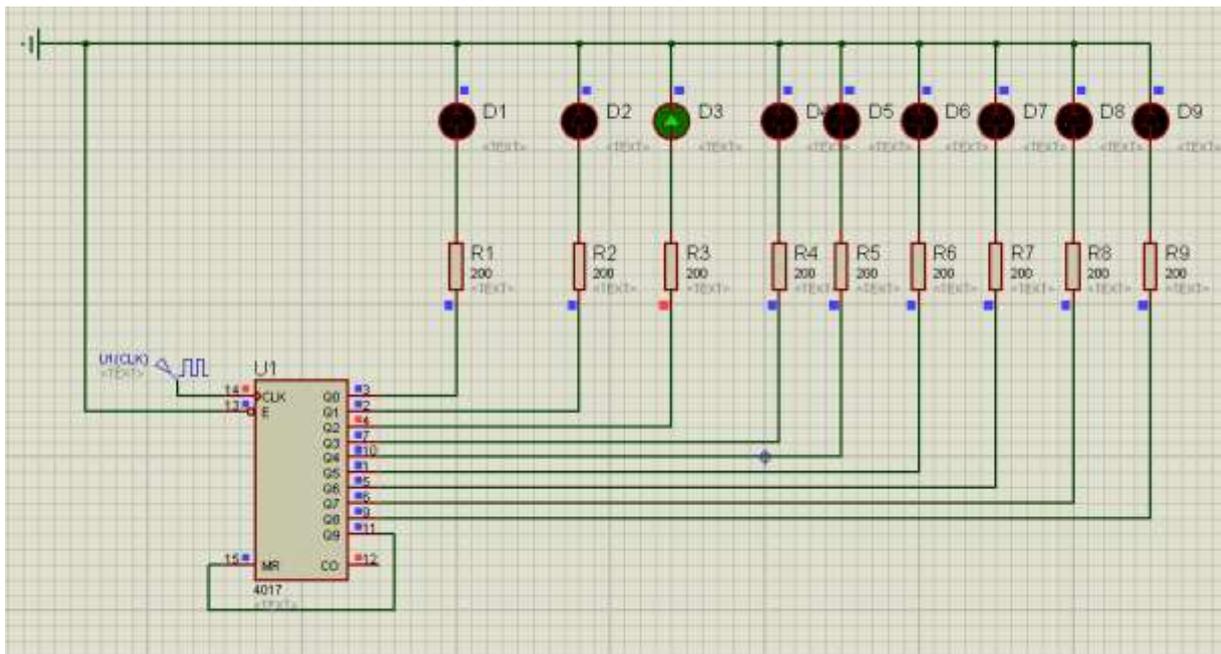
CLK :signal d'horloge du période 100ms.



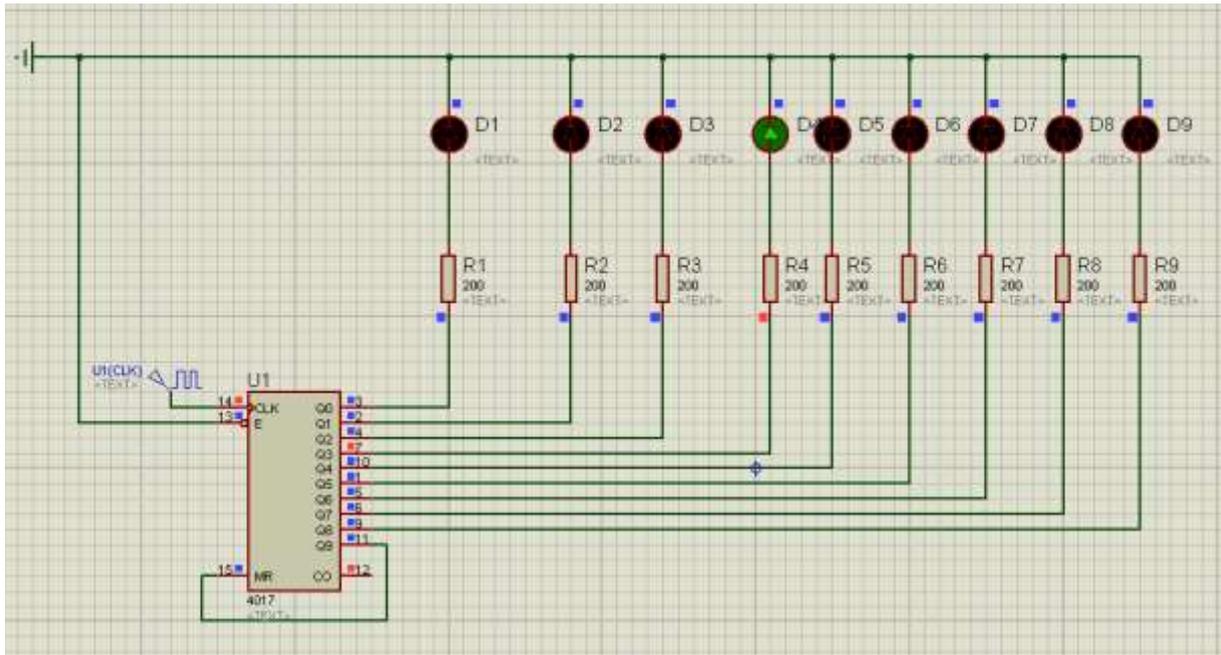
FigureIV.32: T : de 0ms à 100ms.



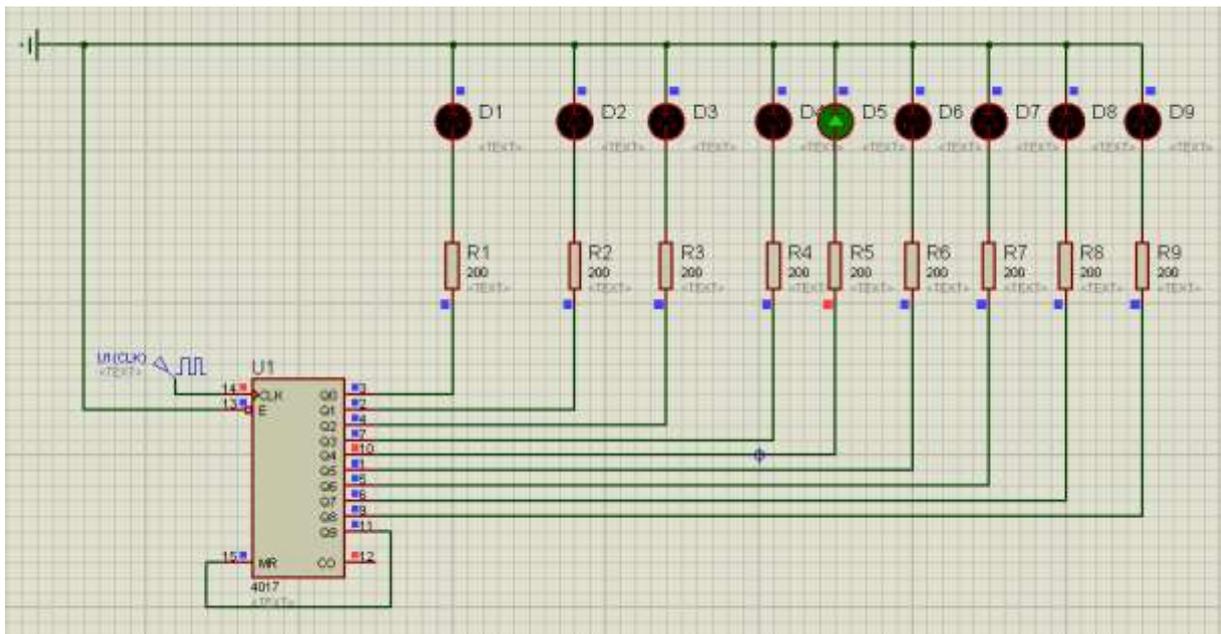
FigureIV.33:T : de 100ms à 200ms.



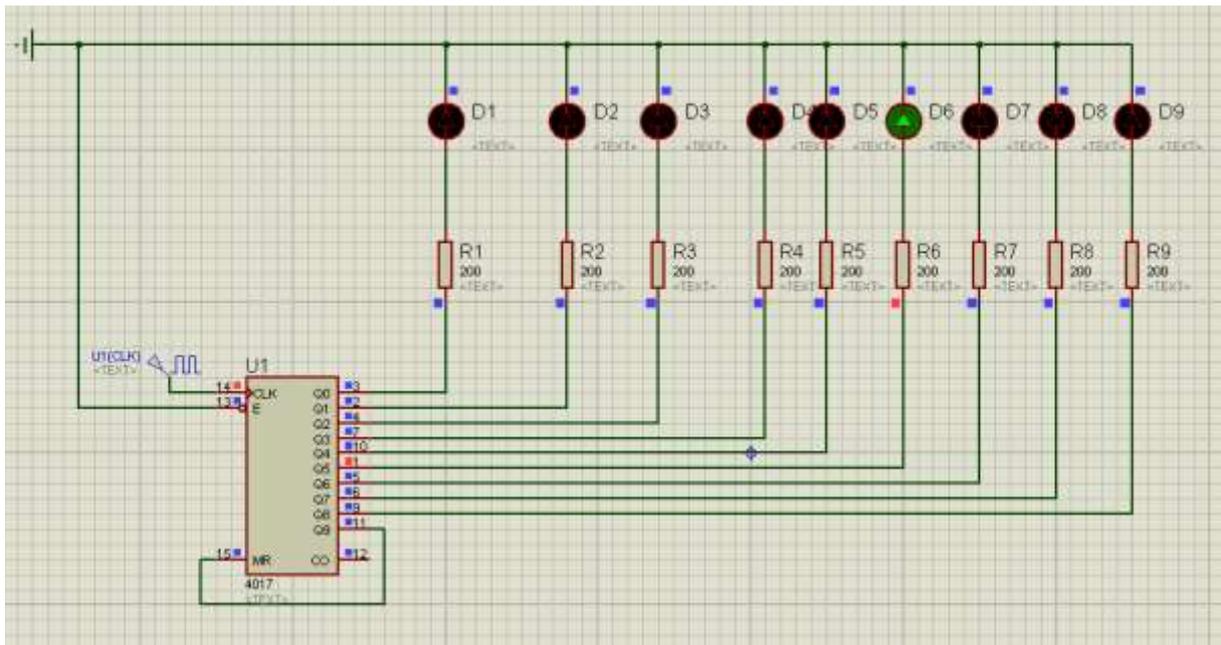
FigureIV.34:T : de 200ms à 300ms.



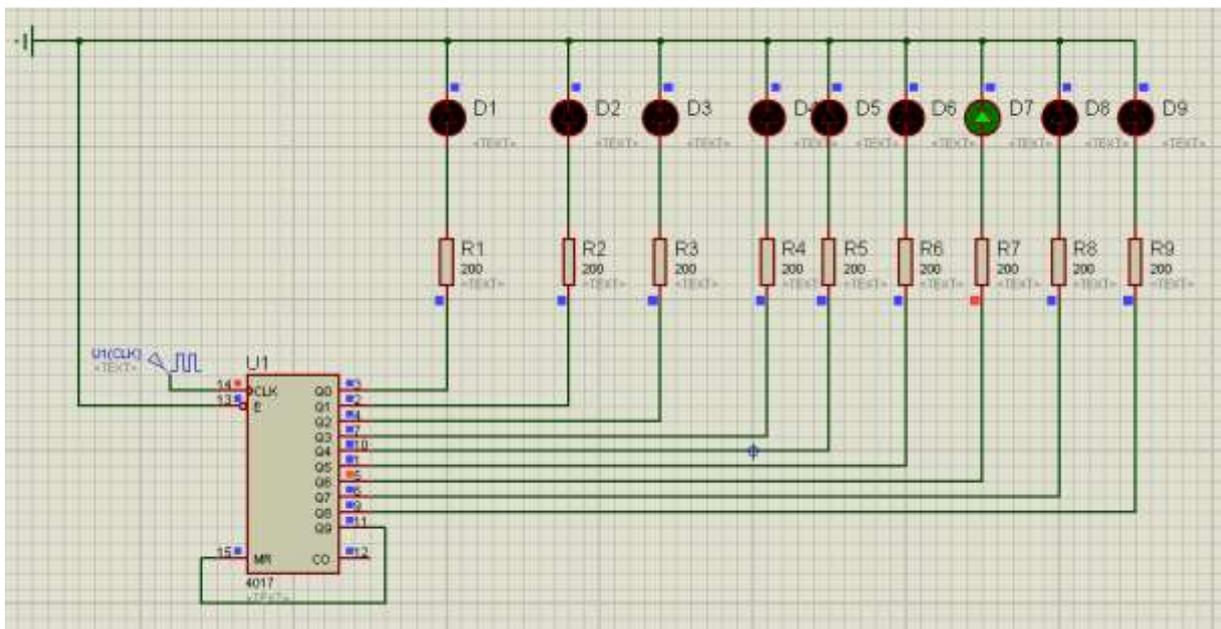
FigureIV.35: T : de 300ms à 400ms.



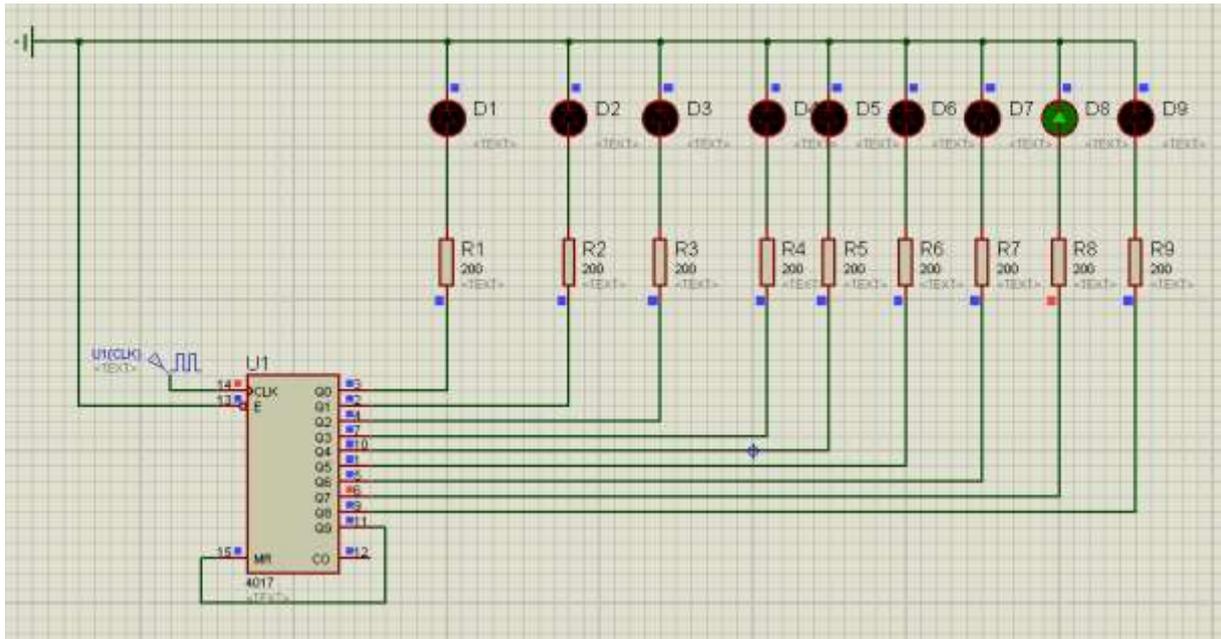
FigureIV.36 :T : de 400ms à 500ms.



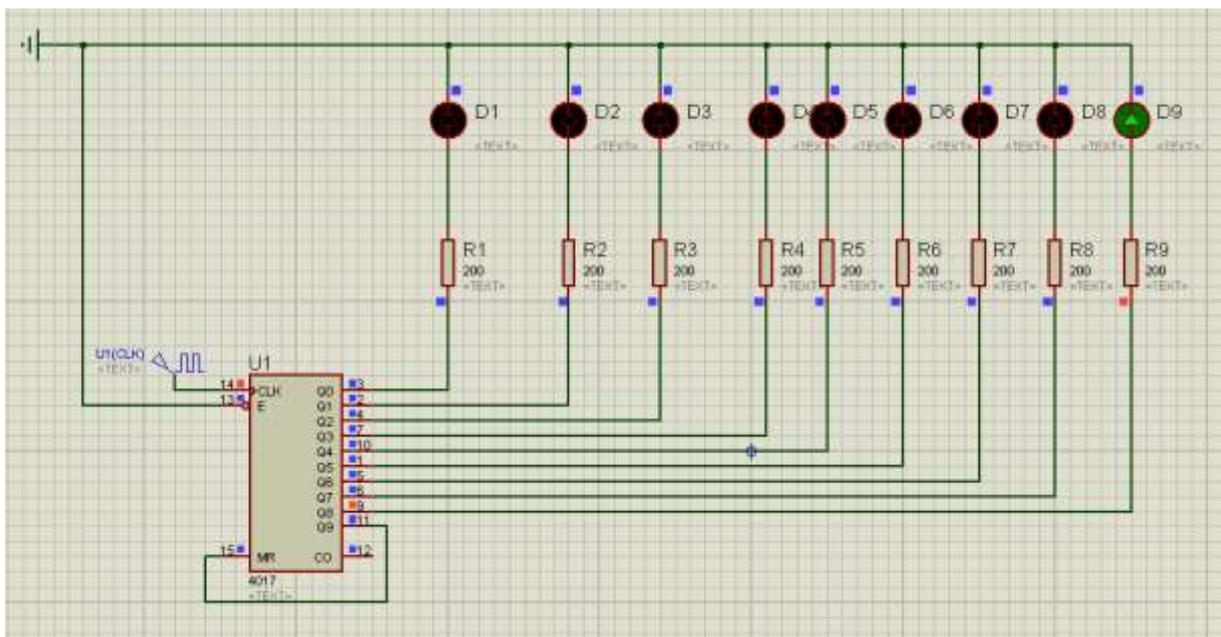
FigureIV.37:T : de 500ms à 600ms.



FigureIV.38 :T : de 600ms à 700ms.



FigureIV.39 : T : de 700ms à 800ms.

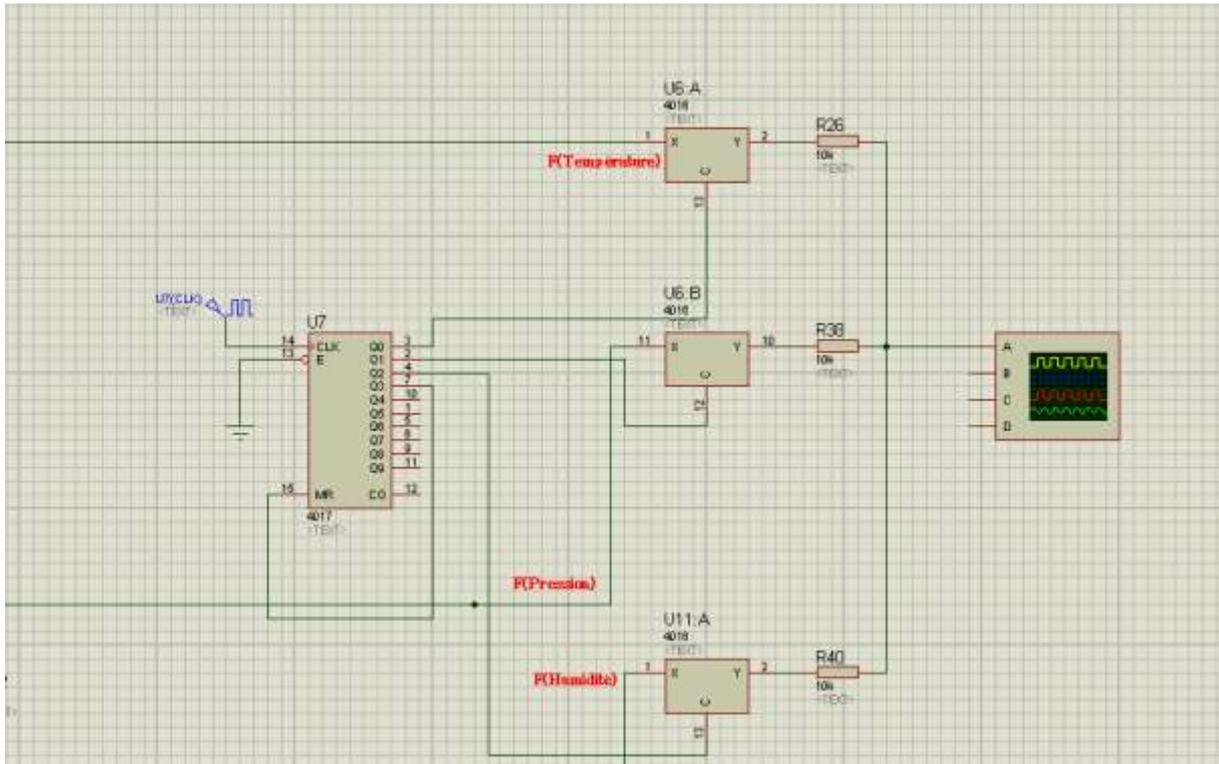


FigureIV.40 : T : de 800ms à 900ms.

Revenons maintenant à notre système. Après la conversion de trois tensions continues du capteur de température, pression et humidité à des signaux rectangulaires périodiques, il faut maintenant sélectionner un de ces signaux pour le moduler et l'envoyer à une station météorologique pour le traiter.

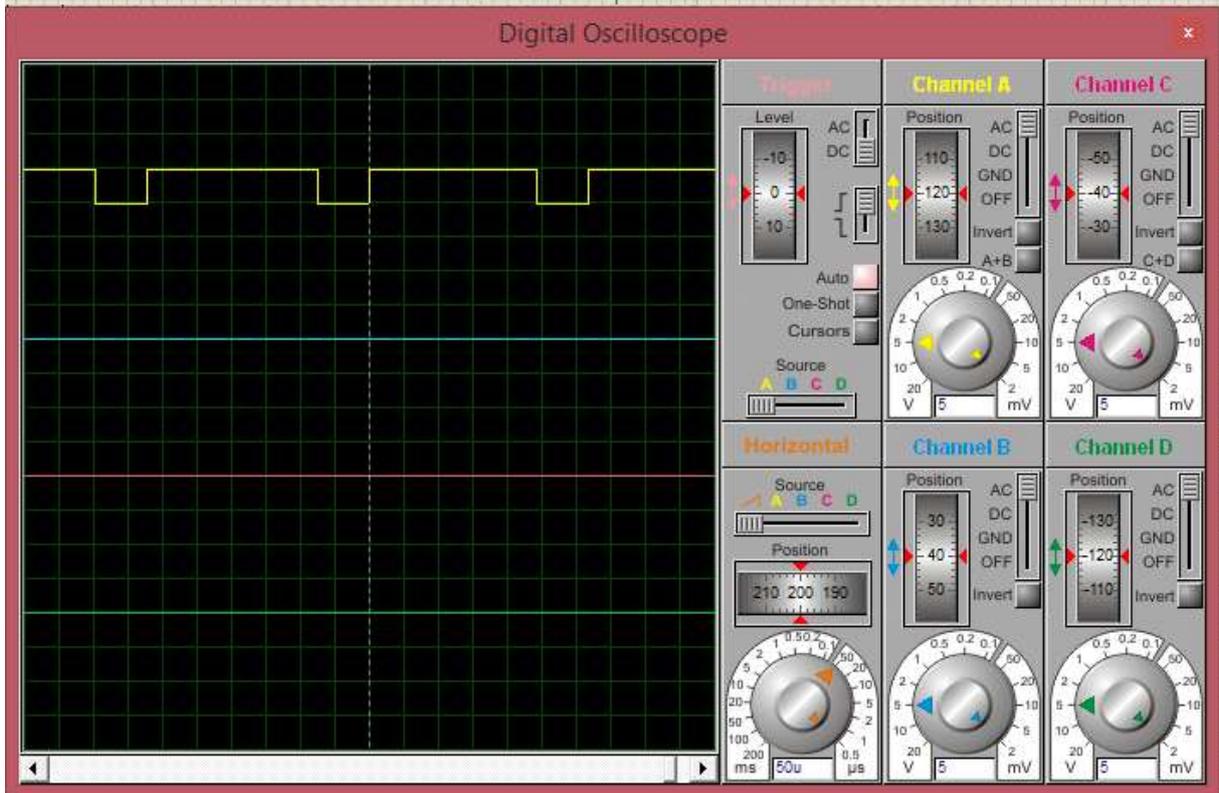
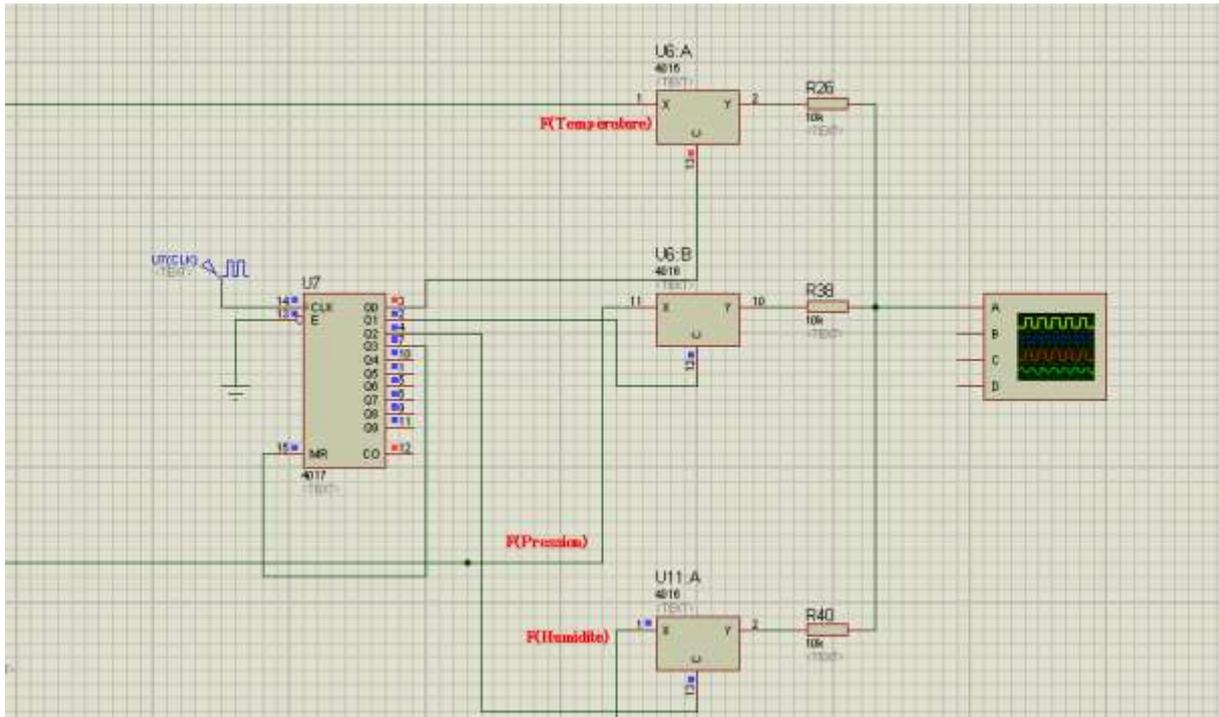
Pour réaliser ceci, nous avons créé un système qui comporte d'un commutateur (CD4016) et un compteur (CD4017).

- Les 3 entrées du commutateur x1,x2 et x3 vont recevoir les trois signaux (température, pression et humidité).
- Nous relierons les trois sorties y1,y2 et y3 du commutateur entre eux pour obtenir une seule sortie Y.
- Les entrées de validation E1,E2 et E3 du commutateur sont commandées par un compteur (CD 4017) qui va activer chaque bloc du commutateur chaque 10 μ s (c'est la période du signal horloge).



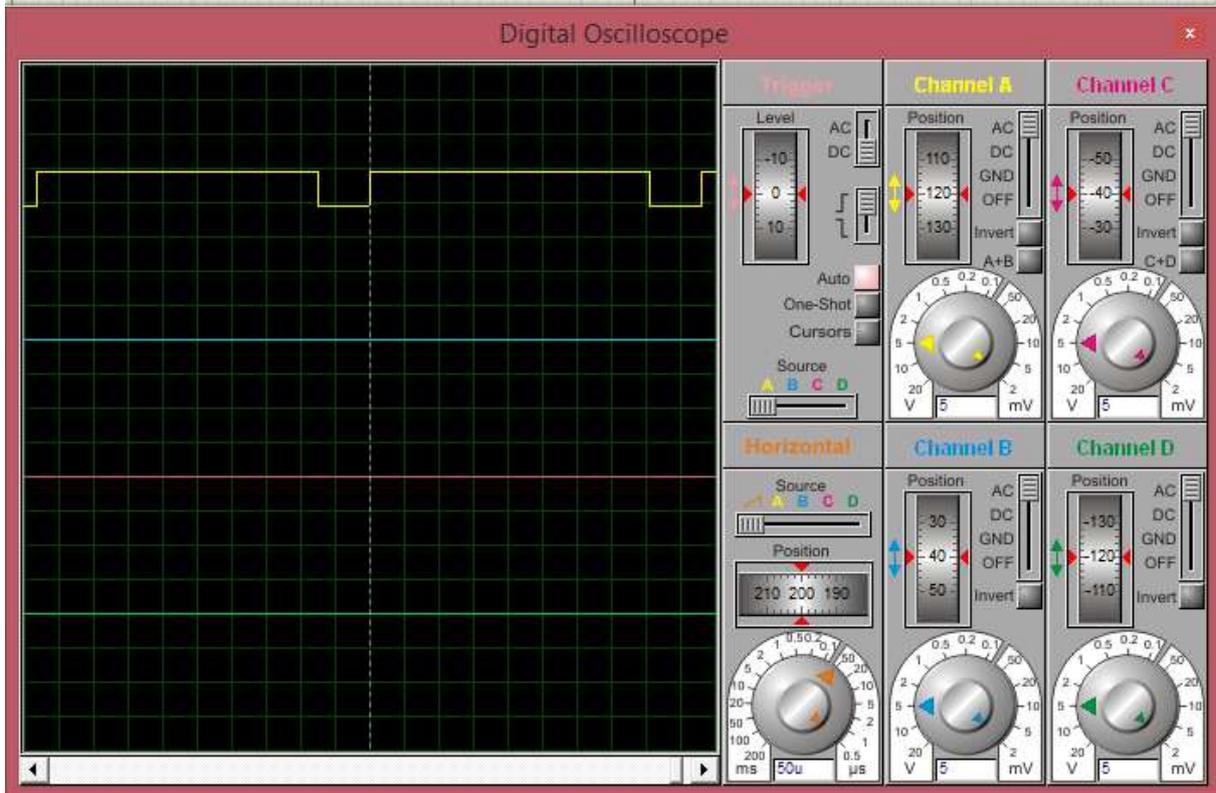
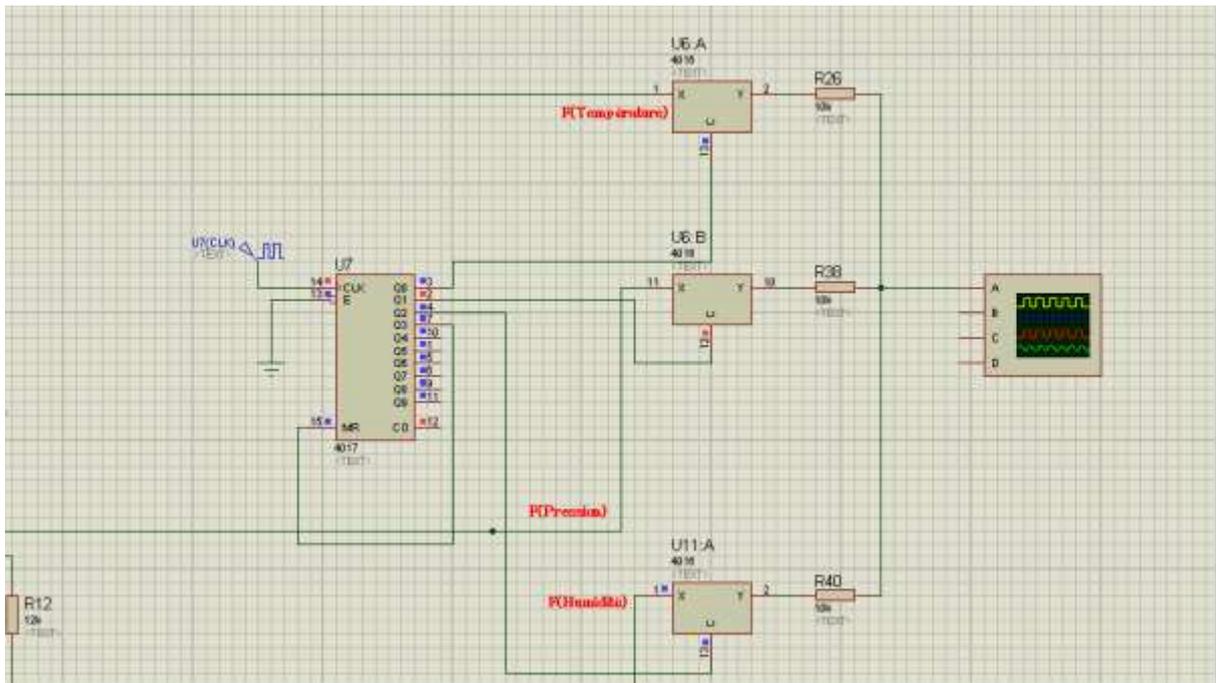
FigureIV.41: Le montage d'un commutateur CD4016 commandé par un compteur CD4017

De $T = 0$ à 10 μ s, le compteur va activer le bloc du commutateur qui correspond du signal qui porte l'information sur la température et désactiver les autres blocs.



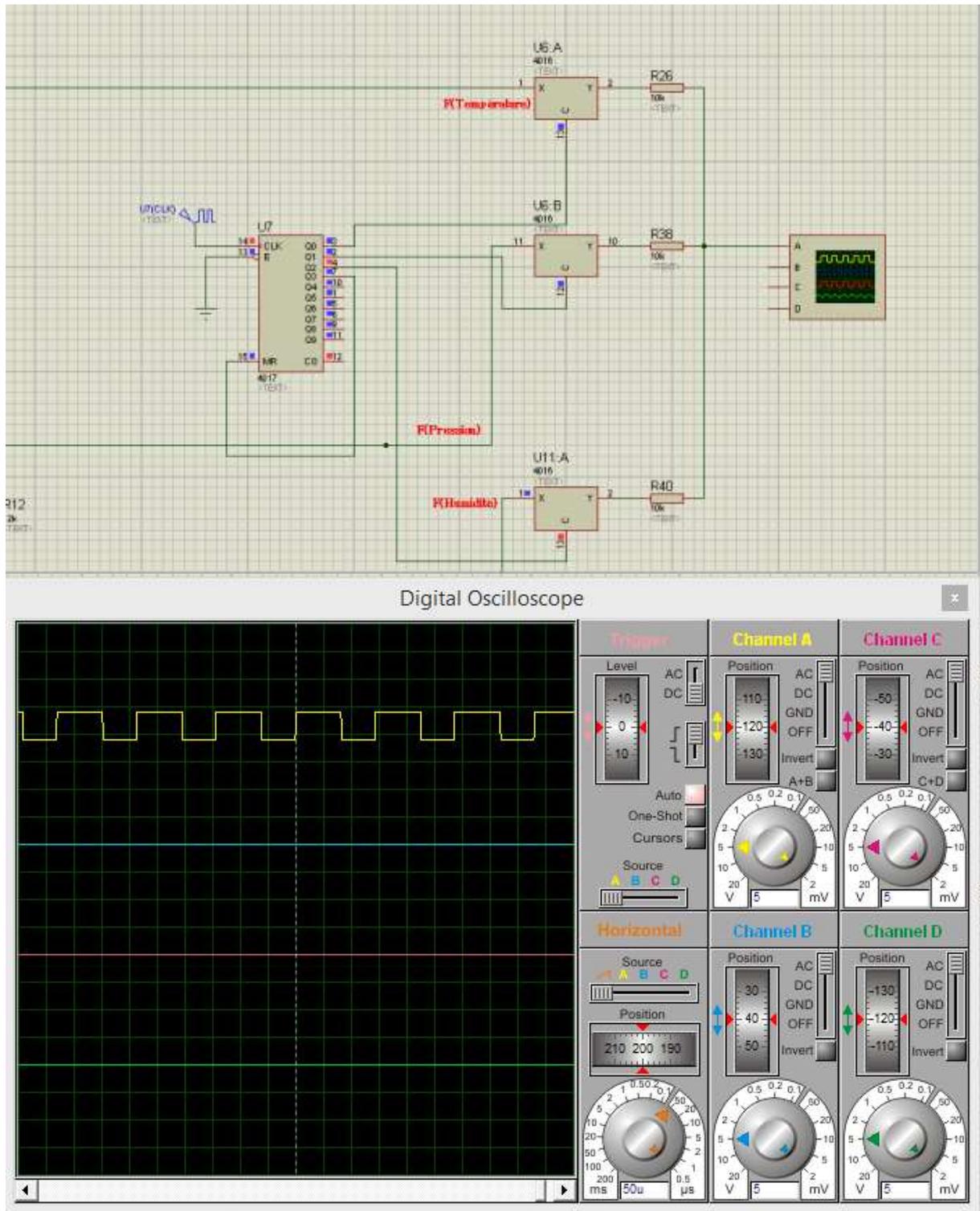
FigureIV.42:Visualisation du signal de la sortie du commutateur de 0 à 10 μ s (L'information sur la mesure de température).

De $T = 10 \mu$ s à 20μ s, le compteur va activer le bloc du commutateur qui correspond du signal qui porte l'information sur la pression et désactiver les autres blocs.



FigureIV.43:La visualisation du signal du sortie du commutateur de $10 \mu\text{s}$ à $20 \mu\text{s}$ (L'information sur la mesure de pression).

De $T = 20 \mu\text{s}$ à $30 \mu\text{s}$, le compteur va activer le bloc du commutateur qui correspond du signal qui porte l'information sur la pression et désactiver les autres blocs.



FigureIV.44:La visualisation du signal de la sortie du commutateur de 20 µs à 30 µs (L'information sur la mesure d'humidité).

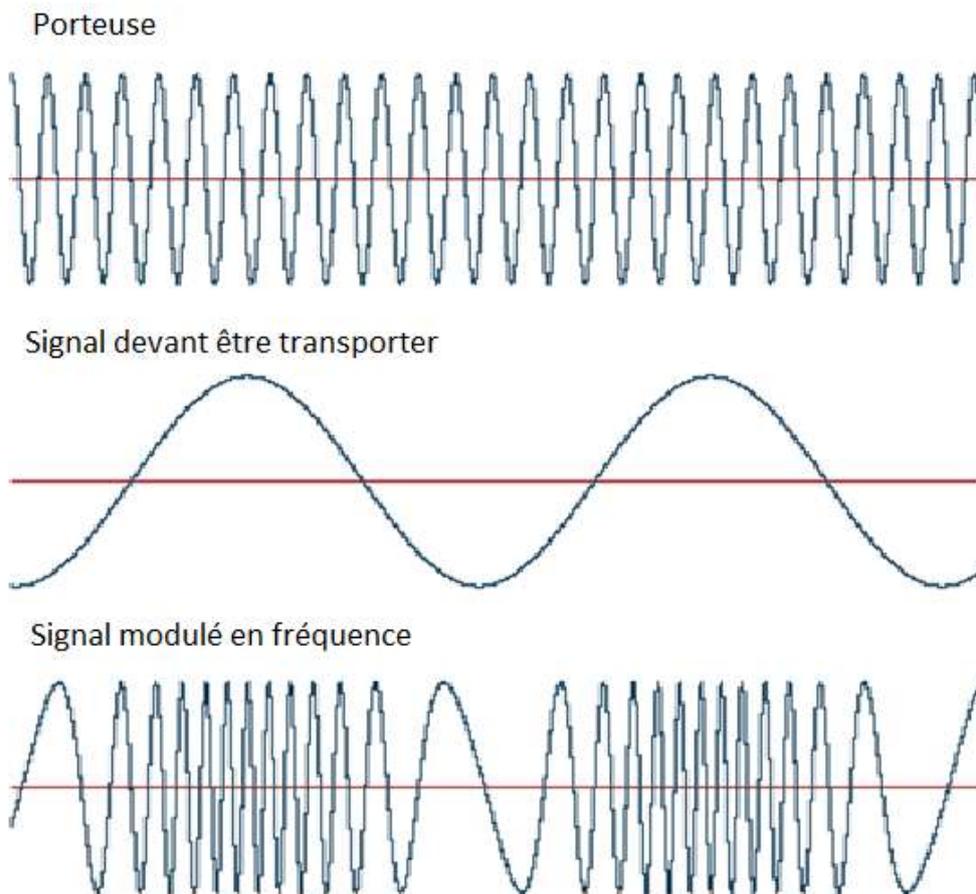
Après chaque 30us, le compteur va se remettre à 0, c'est-à-dire, il va réinitialiser le processus une autre fois.

IV.8- MODULATION ET DEMODULATION

IV.8.1- MODULATION

Dans les télécommunications et le traitement du signal , la modulation de fréquence (FM) est le codage de l'information dans une onde porteuse en faisant varier la fréquence instantanée de l'onde .La modulation de fréquence est largement utilisée pour les transmissions radio pour une grande variété d'applications de la radiodiffusion .

Comme son nom l'indique la modulation de fréquence FM utilise les changements dans la fréquence pour transporter le son ou d'autres informations qui sont nécessaires pour être placé sur le support .Comme on le voit ci-dessous , on peut voir que, lorsque la modulation ou une base tension de signal de bande varie , de sorte que la fréquence des variations de signal en accord avec elle.Ce type de modulation apporte de nombreux avantages:réduction des interférences, enlèvement de nombreux effets des variations de puissance du signal, transmetteur amplificateur efficacité.



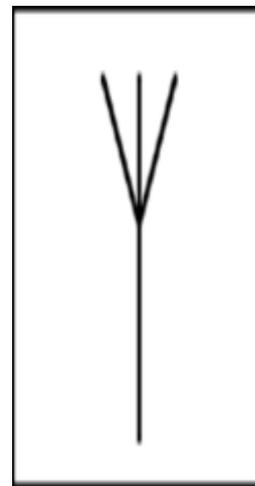
FigureIV.45: Le concept de modulation de fréquence

IV.8.2- DEMODULATION

La démodulation consiste à extraire le signal d'origine portant des informations à partir d'une onde porteuse modulée. Une démodulation utilise un circuit électronique (ou programme informatique dans une radio définie par logiciel) pour récupérer le contenu de l'information à partir de l'onde porteuse modulée.

Afin d'être en mesure de recevoir, un récepteur FM doit être sensible aux variations de fréquence des signaux entrants. Ils peuvent être bande large ou étroite. Cependant l'ensemble est rendu insensible aux variations d'amplitude. Ceci est réalisé en ayant un gain d'amplificateur élevé. Les signaux sont amplifiés à un degré tel que l'amplificateur fonctionne en limitation de gain. De cette façon, toutes les variations d'amplitude sont supprimées.

IV.9- ANTENNE



FigureIV.46: L'image d'une antenne et son symbole électronique

Une antenne est un appareil électrique qui convertit l'énergie électrique en ondes radio, et vice versa. Elle est généralement utilisée avec un émetteur radio ou un récepteur radio. En émission, un émetteur radio fournit un courant électrique oscillant à une fréquence radio (à savoir un courant à haute fréquence alternatif) aux bornes des antennes et l'antenne rayonne de l'énergie à partir des ondes électromagnétiques en courant (ondes radio).

A la réception, une antenne reçoit une partie de la puissance d'une onde électromagnétique afin de produire une tension faible à ses bornes. Le signal reçu est ensuite amplifié.

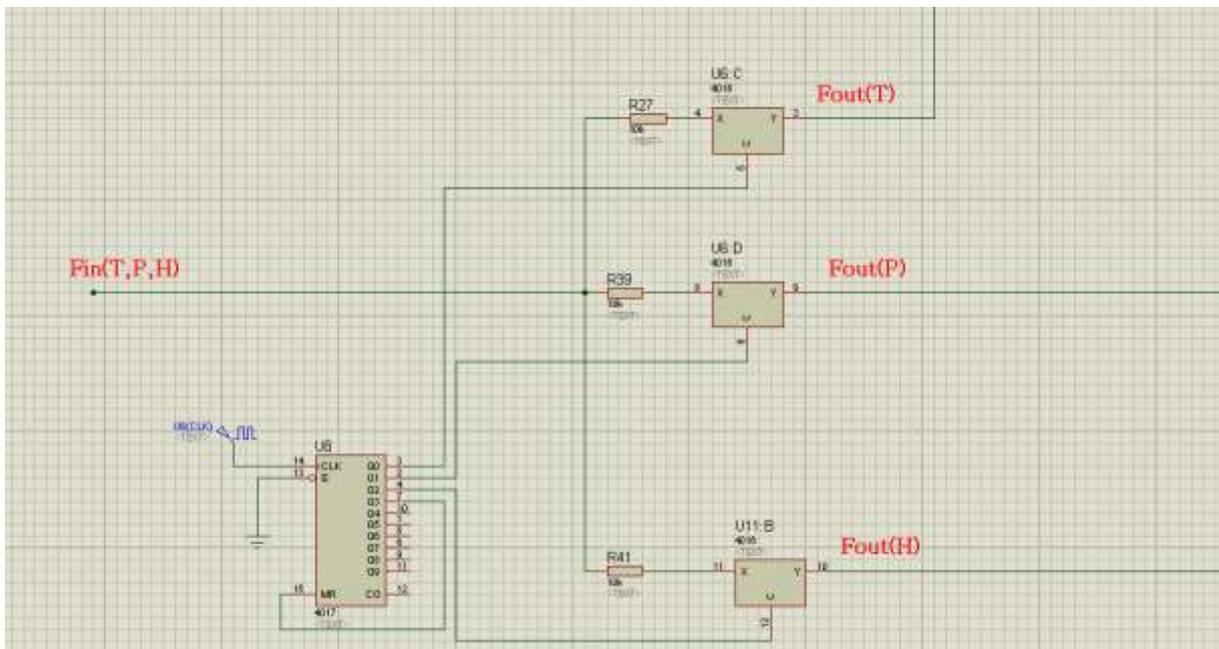
IV.10- PHASE 2 DE LA RADIOSONDE : RECEPTION

IV.10.1- Démultiplexeur utilisant un commutateur(CD4016) et un compteur(CD4017) :

Après la réception des trois signaux qui correspondent à la mesure de la température, la pression et l'humidité par l'antenne l'un après l'autre, Il faut maintenant les démoduler (extraire le signal utile à partir l'onde porteuse modulée) et faire circuler chaque signal dans son propre bloc. Pour réaliser ceci, nous avons réalisé un système qui joue le rôle d'un démultiplexeur.

Le circuit est composé d'un commutateur (CD4016) et d'un compteur (CD4017). Ils sont combinés de la manière suivante :

- Les entrées x1, x2 et x3 sont reliées entre eux formant une seule entrée X.
- Les sorties y1, y2 et y3 vont envoyer les signaux correspondants à la température, la pression et l'humidité respectivement.
- Les entrées de validation E1, E2 et E3 du commutateur sont commandées par un compteur (CD4017) qui va activé chaque bloc chaque $10 \mu s$ (c'est la période du signal horloge injecté dans le compteur).



FigureIV.47: La Réalisation d'un démultiplexeur utilisant un commutateur CD4016 et un compteur CD4017 sur ISIS.

Le signal d'entrée Fin(T, P, H) qui va arriver à l'entrée du démultiplexeur. Il peut être fonction de la température, de la pression ou bien de l'humidité.

Nous savons déjà que la fréquence du signal d'entrée change toutes les 10 μ s.

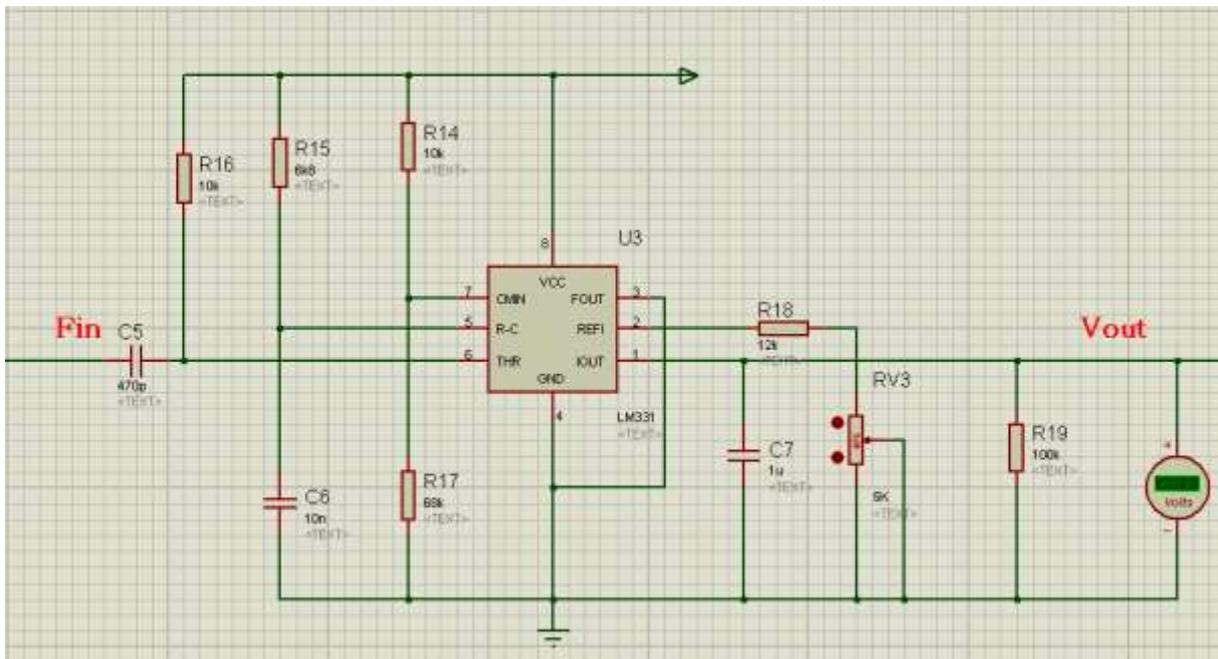
Le compteur (CD4017) va activer chaque bloc du commutateur tous les 10 μ s pour faire circuler chaque signal dans son propre bloc :

- Fout(T) : La fréquence du signal de sortie qui correspond à la mesure de la température.
- Fout(P) : La fréquence du signal de sortie qui correspond à la mesure de la pression.
- Fout(H) : La fréquence du signal de sortie qui correspond à la mesure de l'humidité.

IV.10.2- Convertisseur fréquence-tension :

Les trois signaux qui sont éjectés par le démultiplexeur sont des signaux rectangulaires périodiques dont les tensions changent dans le temps.

Pour obtenir des tensions continues, nous avons utilisé un convertisseur fréquence-tension qui utilise un montage basé sur l'utilisation d'un LM331 (le même composant utilisé dans la partie émission dans la réalisation d'un convertisseur tension-fréquence).



FigureIV.48 :Montage de convertisseur fréquence-voltage basée sur LM331.

RV3= 46%(5K Ω).

IV.10.3- Calcul de la tension de sortie :

La tension de sortie est fonction de la fréquence d'entrée, selon la formule suivante :

$$V_{out} = Fin \times 2.09 \times \left(\frac{R19}{R18 + RV3} \right) \times R15 \times C6$$

Exemple :

Rappel sur les valeurs précédentes :

$$T = 27^{\circ}\text{C} \rightarrow V(T) = 3V \rightarrow F(T) = 3060.79\text{Hz}$$

$$P = 94\text{KPa} \rightarrow V(P) = 2V \rightarrow F(P) = 2040.44\text{Hz}$$

$$H = 10\% \rightarrow F(H) = 6849.3$$

Pour le cas de température :

$$V_{out} = 3060.79 \times 2.09 \times \left(\frac{100}{12 + 2.3} \right) \times 6800 \times 0.00000001$$

$$V_{out} = 3.08V \approx 3V$$

Pour le cas de pression :

$$V_{out} = 2040.44 \times 2.09 \times \left(\frac{100}{12 + 2.3} \right) \times 6800 \times 0.00000001$$

$$V_{out} = 2.03V \approx 2V$$

Pour le cas d'humidité :

$$V_{out} = 6849.3 \times 2.09 \times \left(\frac{100}{12 + 2.3} \right) \times 6800 \times 0.00000001$$

$$V_{out} = 6.81V \approx 6.8V$$

Remarque :

La tension de sortie pour le cas d'humidité varie de 5.45V (pour H=95%) à 6.38V (pour H=10%). Ces valeurs de tension sont supérieures à 5V. Dans ce cas, les convertisseurs analogiques-numériques dans notre carte **ARDUINO** ne peuvent pas mesurer ces valeurs de tension (Dans la réalité, si vous envoyez une tension supérieure à 5V, vous endommagerez votre carte **ARDUINO**).

Pour obtenir des valeurs inférieures à 5V, nous avons changé la valeur de la résistance variable RV3 de 46% de 5K Ω (2.3K Ω) à 75% de 50K Ω (37.5K Ω). Dans ce cas, la tension de sortie est :

- Pour $H = 10\% \rightarrow V = 4.07V$
- Pour $H = 95\% \rightarrow V = 3.48V$

IV.10.4- Convertisseur analogique-numérique avec ARDUINO :

Définition :

Un signal numérique est un signal pouvant prendre deux états binaires : haut(High) ou bas(Low), 1 ou 0.

Un signal analogique est un signal pouvant prendre une infinité de valeurs intermédiaires.

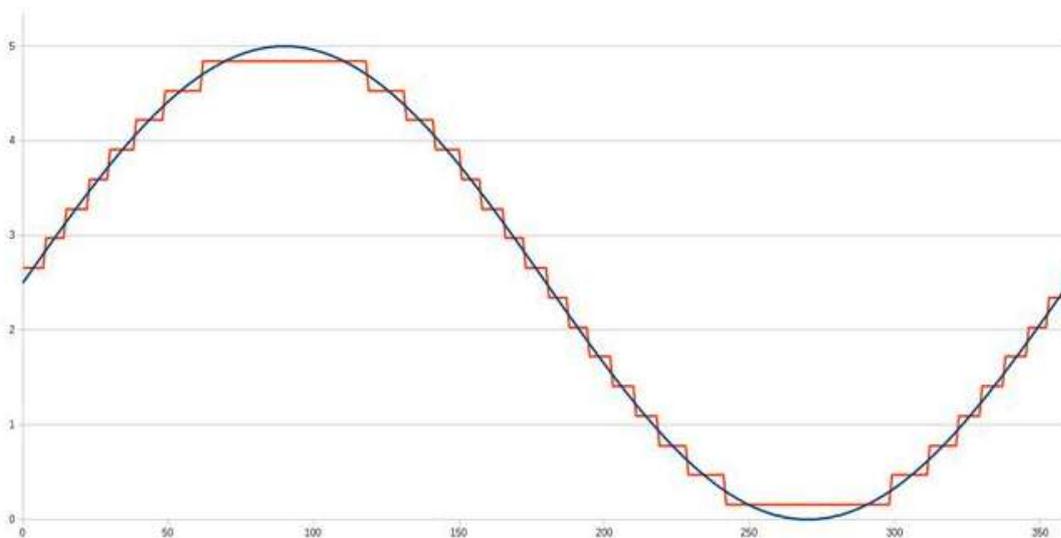


FigureIV.49 : Lacapture d'un signal analogique et d'un signal numérique.

En électronique numérique, on travaille avec des bits et des octets. En analogique, on travaille avec des grandeurs électriques : tension, courant, résistance, fréquence, etc...

Pour pouvoir exploiter des mesures analogiques avec un microcontrôleur, il faut convertir la mesure analogique en une grandeur numérique. C'est justement le but des convertisseurs analogique/numérique.

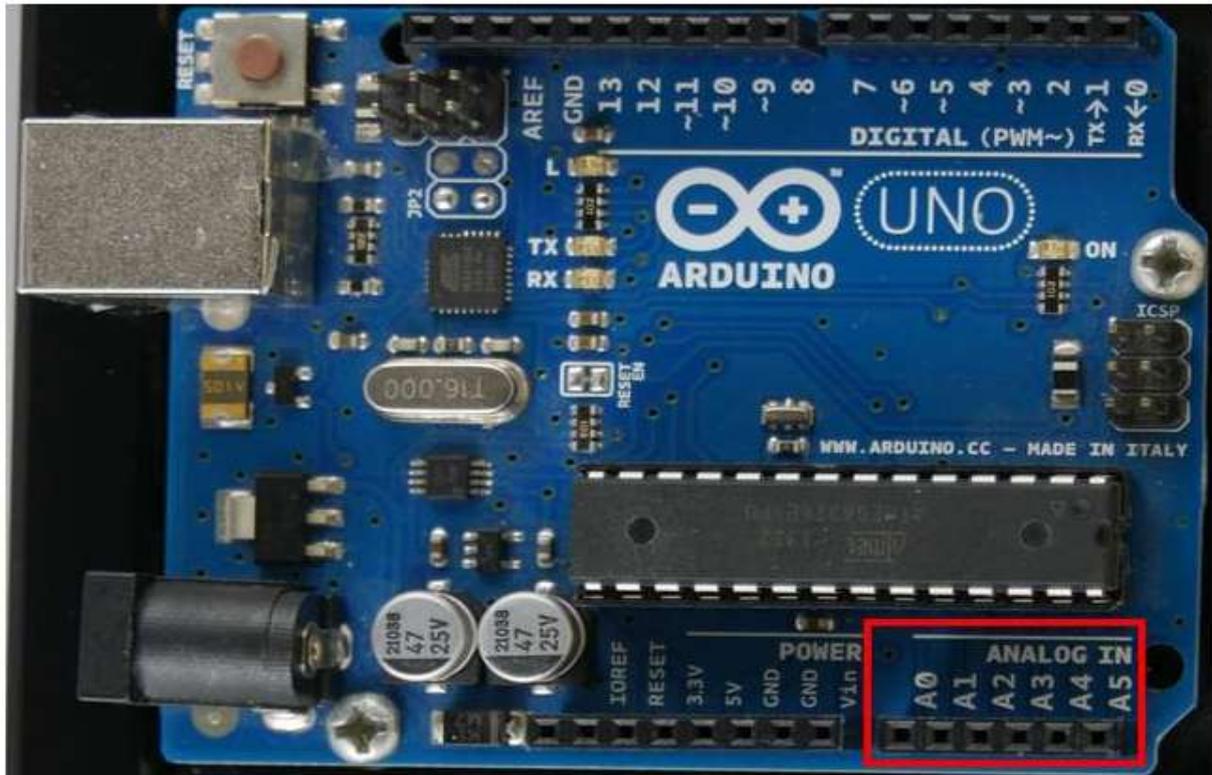
Un convertisseur analogique/numérique permet de mesurer une tension (valeur analogique) et de représenter cette tension au moyen d'une valeur numérique. On va associer une valeur numérique (un nombre entier) pour chaque valeur analogique d'une plage de tension bien précise.



FigureIV.50 : Signal analogique versus signal numérisé

IV.10.5- Mesurer une tension :

La mesure d'une tension est la base de la lecture de la sortie d'un capteur analogique quel qu'il soit. C'est donc sans grande surprise que les microcontrôleurs modernes-comme ceux utilisés par les cartes **ARDUINO**. Ils disposent d'un convertisseur analogique/numérique intégré.



FigureIV.51 : L'emplacement des entrées analogiques d'une carte Arduino UNO

Dans le cas d'une carte **Arduino UNO**, il y a 6 entrées analogiques, pouvant mesurer des tensions comprises entre 0 et 5 volts, avec une précision de 10 bits (soit 1024 points).

Si on fait rapidement le calcul, 1024 points sur une plage de 5 volts donne une précision absolue de $0.0048828125 \text{ volt} \approx 4.9\text{mV}$.

La mesure prend environ $100 \mu\text{s}$, cela fait un maximum de 10000 mesures par seconde.

Laisser une broche non connectée revient à avoir une antenne. Mesurer une tension sur une broche non connectée retourne des valeurs de l'ordre 300 à 500, même s'il n'y a pas de signal.

Le résultat est sur 10 bits, soit entre 1 et 1024.

IV.10.6- Le code de démonstration :

Pour programmer ce microcontrôleur, nous avons écrit un programme en langage C ARDUINO pour convertir des tensions analogiques en des grandeurs physiques (valeurs de pression, température et Humidité).

```

//(inclure la bibliothèque LCD)
#include <LiquidCrystal.h>

// initialiser la bibliothèque avec les numéros des broches d'interface:
//          (RS, Enable, DB4, DB5, DB6, DB7)
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
/*
 * Conversion des tensions à des grandeurs physiques:température,Pression et humidité.
 */

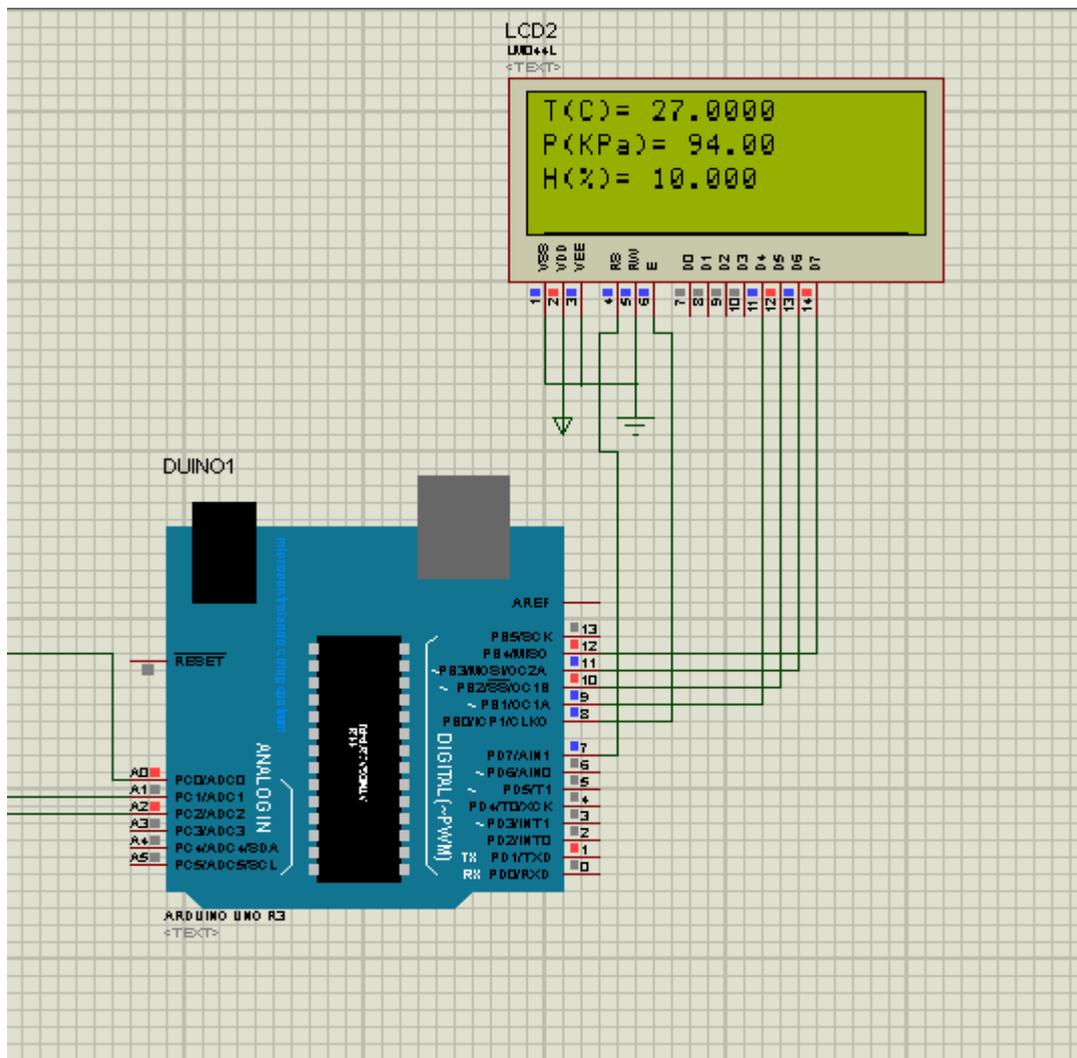
// Fonction setup(), appelée au démarrage de la carte Arduino
void setup() {
Serial.begin(9600);// Initialise la communication avec le PC

//Mettre en place le nombre de colonnes et de lignes de LCD:
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.setCursor(0, 0);//placer le curseur à la colonne 0, ligne 0
  lcd.print("T(C)=");//imprimer le message 'T(C)=' sur l'ecran LCD.
  lcd.setCursor(0, 1);//placer le curseur à la colonne 0, ligne 1
  lcd.print("P(KPa)=");//imprimer le message 'P(KPa)=' sur l'ecran LCD.
  lcd.setCursor(0, 2);//placer le curseur à la colonne 0, ligne 2
  lcd.print("H(%)=");//imprimer le message 'H(%)=' sur l'ecran LCD.
}

// Fonction loop(), appelée continuellement en boucle tant que la carte Arduino est alimentée
void loop() {
double t=0;//déclaration de la variable température (t)
int valeur = analogRead(A0); // Mesure la tension sur la broche A0
lcd.setCursor(6, 0);//placer le curseur à la colonne 6, ligne 0
float tension = valeur * (5.0 / 1024.0);// Transforme la mesure (nombre entier) en tension via un produit en croix
t=(100.0*tension)-273.15;//calcul la valeur de temperature en fonction de la tension mesurée sur la broche A0
lcd.print(floor(t));//afficher la valeur de température
double p=0;//déclaration de la variable pression (p)
valeur = analogRead(A1);// Mesure la tension sur la broche A1
lcd.setCursor(8, 1);//placer le curseur à la colonne 8, ligne 1
tension = valeur * (5.0 / 1024.0);// Transforme la mesure (nombre entier) en tension via un produit en croix
p=(54.2299349241*tension)-14.0997830803;//calcul la valeur de pression en fonction de la tension mesurée sur la broche A1
lcd.print(floor(p));//afficher la valeur de pression
double h=0;//déclaration de la variable humidité (h)
valeur = analogRead(A2);// Mesure la tension sur la broche A2
lcd.setCursor(6, 2);//placer le curseur à la colonne 6, ligne 2
tension = valeur * (5.0 / 1024.0);// Transforme la mesure (nombre entier) en tension via un produit en croix
h=(-144.0677966102*tension)+596.3559322035;//calcul la valeur d'humidité en fonction de la tension mesurée sur la broche A2
lcd.print(floor(h));//afficher la valeur d'humidité

}

```



FigureIV.52 : Afficher les résultats sur un écran LCD

IV.11- Résultats

Dans ce mémoire, nous avons essayé de réaliser un circuit électronique pour étudier une microsonde d'une station météorologique par Proteus.

Nous pouvons décomposer notre travail en deux grandes parties :

Partie émission (radiosonde) :

Nous avons remarqué que la tension de sortie pour le capteur de température et de pression est proportionnelle à la grandeur physique d'entrée et inversement proportionnelle pour le capteur d'humidité.

Le convertisseur tension-fréquence que nous avons utilisé pour le capteur de température et de pression a un rôle de convertir des tensions continues en des signaux rectangulaires périodiques avec un taux de conversion de 1KHz/V. Ce circuit est basé sur l'utilisation d'un circuit intégré appelé le LM331. La fréquence du signal de sortie est donnée en fonction de la tension d'entrée par la formule suivante :

$$F_{out} = \frac{V_{in}}{2.09} \times (R2 + VR1)/R4 \times 1/(R1 \times C1)$$

Pour le convertisseur capacité-fréquence, nous avons utilisé un circuit électronique basé sur l'utilisation d'un timer NE555. La fréquence du signal de sortie est basée sur la charge et la décharge du condensateur variable du capteur d'humidité.

$$t1 = 0.693(R1 + R2 + VR1) \times C1$$

$$t2 = 0.693(R2 + VR1) \times C1$$

$$T = t1 + t2 \leftrightarrow F = \frac{1}{T} = 1/(t1 + t2)$$

$$F = 1.443/([R1 + 2 \times (R2 + VR1)] \times C1)$$

Pour moduler chaque signal et l'envoyer, nous avons créé un circuit basé sur l'utilisation d'un commutateur CD4016 et d'un compteur CD4017. Ce circuit est fonctionné comme un multiplexeur.

Partie réception (station météorologique) :

Après la réception et la démodulation de chaque signal, nous avons utilisé un démultiplexeur pour faire circuler chaque signal dans son propre bloc.

Les trois signaux qui sont envoyés par le démultiplexeur sont des signaux rectangulaires périodiques. Pour les convertir en des tensions continues, nous avons utilisé un circuit convertisseur fréquence-tension basé sur l'utilisation du même circuit intégré : C'est le LM331.

La tension de sortie en fonction de fréquence du signal d'entrée est donnée par la formule suivante :

$$V_{out} = F_{in} \times 2.09 \times \left(\frac{R_{19}}{R_{18} + R_{V3}} \right) \times R_{15} \times C_6.$$

Notre but est de mesurer des grandeurs physiques constituant l'atmosphère (température, pression et humidité) et pas des tensions. Pour cela nous avons utilisé un convertisseur analogique-numérique basé sur l'utilisation d'un microcontrôleur programmable (Arduino) qu'a un rôle de mesurer ces tensions et les convertir à des températures, des pressions et d'humidité.

Notre programme a pour but de :

- Mesurer la tension analogique d'une broche analogique du microcontrôleur et la représenter comme une valeur numérique utilisant le code : ANALOGREAD(broche).
- Convertir cette valeur numérique à une valeur analogique selon le produit en croix

$$1024 \rightarrow 5V$$

Tension numérique → *Tension analogique*

- Obtenir les valeurs des grandeurs physiques mesurées en fonction de la tension mesurée par les équations mathématiques suivantes :

$$t = (100.0 * tension) - 273.15$$

$$p = (54.2299349241 * tension) - 14.0997830803$$

$$h = (-144.0677966102 * tension) + 596.3559322035$$

- Afficher ces valeurs dans un écran LCD de 20 colonnes et 4 lignes.

CONCLUSION :

L'objectif de ce mémoire a consisté à faire une étude d'une micro-radiosonde d'une station météorologique constituée de trois capteurs (température, pression et l'humidité).

La technique de radiosondage a un but de mesurer les grandeurs constituant l'atmosphère (température, pression et humidité). Elle est composée de deux grande parties : émission (la radiosonde) et réception (station météorologique). Pour mesurer ces grandeurs physiques, nous avons utilisé des capteurs en technologie MEMS.

Nous avons présenté les différents types de détection utilisés pour les trois capteurs (température, pression et humidité). Les modes de détection les plus utilisés sont des modes résistifs, capacitifs et piézorésistifs.

Nous avons essayé de simuler le fonctionnement de la radiosonde par des circuits électroniques utilisant Proteus (logiciel de simulation des circuits électroniques).

Ces circuits ont un but de traiter les différentes informations sur les différentes mesures de la température, la pression et l'humidité à des altitudes différentes avec précision et un temps de réponse plus élevé.

Nous pouvons dire que ce thème nous a aidés à approfondir nos connaissances en électronique et en circuiterie en utilisant différents circuits.

- Des convertisseurs : tension-fréquence/fréquence-tension/Capacité/fréquence.
- Multiplexeur/Démultiplexeur.
- Convertisseur analogique/numérique par un microcontrôleur moderne (Arduino).
- Des afficheurs.

Tableau A.1 : la tension de sortie du capteur de température

T(°C)	V(v)	T(°C)	V(v)	T(°C)	V(v)
-50	2,23	-6	2,67	38	3,11
-49	2,24	-5	2,68	39	3,12
-48	2,25	-4	2,69	40	3,13
-47	2,26	-3	2,7	41	3,14
-46	2,27	-2	2,71	42	3,15
-45	2,28	-1	2,72	43	3,16
-44	2,29	0	2,73	44	3,17
-43	2,3	1	2,74	45	3,18
-42	2,31	2	2,75	46	3,19
-41	2,32	3	2,76	47	3,2
-40	2,33	4	2,77	48	3,21
-39	2,34	5	2,78	49	3,22
-38	2,35	6	2,79	50	3,23
-37	2,36	7	2,8	51	3,24
-36	2,37	8	2,81	52	3,25
-35	2,38	9	2,82	53	3,26
-34	2,39	10	2,83	54	3,27
-33	2,4	11	2,84	55	3,28
-32	2,41	12	2,85	56	3,29
-31	2,42	13	2,86	57	3,3
-30	2,43	14	2,87	58	3,31
-29	2,44	15	2,88	59	3,32
-28	2,45	16	2,89	60	3,33
-27	2,46	17	2,9	61	3,34
-26	2,47	18	2,91	62	3,35
-25	2,48	19	2,92	63	3,36
-24	2,49	20	2,93	64	3,37
-23	2,5	21	2,94	65	3,38
-22	2,51	22	2,95	66	3,39
-21	2,52	23	2,96	67	3,4
-20	2,53	24	2,97	68	3,41
-19	2,54	25	2,98	69	3,42
-18	2,55	26	2,99	70	3,43
-17	2,56	27	3	71	3,44
-16	2,57	28	3,01	72	3,45
-15	2,58	29	3,02	73	3,46
-14	2,59	30	3,03	74	3,47
-13	2,6	31	3,04	75	3,48
-12	2,61	32	3,05	76	3,49
-11	2,62	33	3,06	77	3,5
-10	2,63	34	3,07	78	3,51
-9	2,64	35	3,08	79	3,52
-8	2,65	36	3,09	80	3,53
-7	2,66	37	3,1	81	3,54

Tableau A.1 : la tension de sortie du capteur de température

T (°C)	V(v)
82	3,55
83	3,56
84	3,57
85	3,58
86	3,59
87	3,6
88	3,61
89	3,62
90	3,63
91	3,64
92	3,65
93	3,66
94	3,67
95	3,68
96	3,69
97	3,7
98	3,71
99	3,72
100	3,73
101	3,74
102	3,75
103	3,76
104	3,77
105	3,78
106	3,79
107	3,8
108	3,81
109	3,82
110	3,83
111	3,84
112	3,85
113	3,86
114	3,87
115	3,88
116	3,89
117	3,9
118	3,91
119	3,92
120	3,93
121	3,94
122	3,95
123	3,96
124	3,97
125	3,98

Tableau A.2 : la tension de sortie du capteur de Pression

P(Kpa)	V(v)	P(Kpa)	V(v)	P(Kpa)	V(v)
0	0,26	42	1,04	86	1,85
1	0,28	43	1,06	87	1,87
2	0,3	44	1,07	88	1,89
3	0,32	45	1,09	89	1,9
4	0,34	46	1,11	90	1,92
5	0,36	47	1,13	91	1,94
6	0,37	48	1,15	92	1,96
7	0,39	49	1,17	93	1,98
8	0,41	50	1,19	94	2
9	0,43	51	1,2	95	2,01
10	0,45	52	1,22	96	2,03
11	0,47	53	1,24	97	2,05
12	0,48	54	1,26	98	2,07
13	0,5	55	1,28	99	2,09
14	0,52	56	1,3	100	2,11
15	0,54	57	1,31	101	2,12
16	0,56	58	1,33	102	2,14
17	0,58	59	1,35	103	2,16
18	0,6	60	1,37	104	2,18
19	0,61	61	1,39	105	2,2
20	0,63	62	1,41	106	2,22
21	0,65	63	1,42	107	2,24
22	0,67	64	1,44	108	2,25
23	0,69	65	1,46	109	2,27
24	0,71	66	1,48	110	2,29
25	0,72	67	1,5	111	2,31
26	0,74	68	1,52	112	2,33
27	0,76	69	1,54	113	2,35
28	0,78	70	1,55	114	2,36
29	0,8	71	1,57	115	2,38
30	0,82	72	1,59	116	2,4
31	0,83	73	1,61	117	2,42
32	0,85	74	1,63	118	2,44
33	0,87	75	1,65	119	2,46
34	0,89	76	1,66	120	2,48
35	0,91	77	1,68	121	2,49
36	0,93	78	1,7	122	2,51
37	0,95	79	1,72	123	2,53
38	0,96	80	1,74	124	2,55
39	0,98	81	1,76	125	2,57
40	1	82	1,77	126	2,59
41	1,02	83	1,79	127	2,6
		84	1,84	128	2,62
		85	1,83	129	2,64

Tableau A.2 : la tension de sortie du capteur de Pression

P(Kpa)	V(v)	P(Kpa)	V(v)	P(Kpa)	V(v)
130	2,66	174	3,47	218	4,28
131	2,68	175	3,49	219	4,3
132	2,7	176	3,51	220	4,32
133	2,71	177	3,53	221	4,34
134	2,73	178	3,54	222	4,35
135	2,75	179	3,56	223	4,37
136	2,77	180	3,58	224	4,39
137	2,79	181	3,6	225	4,41
138	2,81	182	3,62	226	4,43
139	2,83	183	3,64	227	4,45
140	2,84	184	3,65	228	4,47
141	2,86	185	3,67	229	4,48
142	2,88	186	3,69	230	4,5
143	2,9	187	3,71	231	4,52
144	2,92	188	3,73	232	4,54
145	2,94	189	3,75	233	4,56
146	2,95	190	3,77	234	4,58
147	2,97	191	3,78	235	4,59
148	2,99	192	3,8	236	4,61
149	3,01	193	3,82	237	4,63
150	3,03	194	3,84	238	4,65
151	3,05	195	3,86	239	4,67
152	3,06	196	3,88	240	4,69
153	3,08	197	3,89	241	4,71
154	3,1	198	3,91	242	4,72
155	3,12	199	3,93	243	4,74
156	3,14	200	3,95	244	4,76
157	3,16	201	3,97	245	4,78
158	3,18	202	3,99	246	4,8
159	3,19	203	4	247	4,82
160	3,21	204	4,02	248	4,83
161	3,23	205	4,04	249	4,85
162	3,25	206	4,06	250	4,87
163	3,27	207	4,08		
164	3,29	208	4,1		
165	3,3	209	4,12		
166	3,32	210	4,13		
167	3,34	211	4,15		
168	3,36	212	4,17		
169	3,38	213	4,19		
170	3,4	214	4,21		
171	3,41	215	4,23		
172	3,43	216	4,24		
173	3,45	217	4,26		

Tableau A.3 : La tension de sortie du capteur d'humidité

Humidité %	Tension (V)	Humidité(%)	Tension (V)
10	4,07	54	3,74
11	4,06	55	3,73
12	4,05	56	3,72
13	4,05	57	3,72
14	4,04	58	3,71
15	4,03	59	3,71
16	4,03	60	3,7
17	4,02	61	3,7
18	4,01	62	3,69
19	4	63	3,68
20	3,99	64	3,68
21	3,99	65	3,67
22	3,98	66	3,66
23	3,97	67	3,65
24	3,96	68	3,65
25	3,95	69	3,64
26	3,94	70	3,63
27	3,93	71	3,63
28	3,93	72	3,62
29	3,92	73	3,62
30	3,91	74	3,61
31	3,9	75	3,6
32	3,89	76	3,6
33	3,89	77	3,59
34	3,88	78	3,59
35	3,87	79	3,58
36	3,87	80	3,57
37	3,86	81	3,57
38	3,85	82	3,56
39	3,84	83	3,55
40	3,84	84	3,55
41	3,83	85	3,54
42	3,82	86	3,54
43	3,82	87	3,53
44	3,81	88	3,53
45	3,81	89	3,52
46	3,8	90	3,51
47	3,79	91	3,51
48	3,78	92	3,5
49	3,77	93	3,49
50	3,77	94	3,49
51	3,76	95	3,48
52	3,75		
53	3,74		

REFERENCE BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.L. Gaumet, F. Joyet, « L'observation in situ en altitude », La météorologie, Vol. n° 39, p. 57-p.64, novembre 2002.
- [2] Vincent Luyet, « Station météo », livre, Février 2010.
- [3] S. Annane, « Conception d'un micro capteur de pression, humidité et température en technologie MEMS », thèse de doctorat, Université de Tizi-Ouzou, 2011.
- [4] Mme MIDOUN NééMedjahdiNadjia « Conception et modélisation d'une microsonde météorologique en technologie MEMS» 20016
- [5] N. Benmoussa, « Conception, modélisation et réalisation d'un capteur de pression Capacitif microélectronique » Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier de Toulouse, Juillet 1985.
- [6] Jacob Fraden « Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications » Fifth Edition
- [7] Randy Frank «Understanding Smart Sensors Artech» House Boston. London
- [8] Baker, H.D., M.E. Ryder and N. H. Baker, John Wiley & Sons «Temperature Measurement in Engineering »Vol.II, Inc, New York, (1961).
- [9] George Asche «Les capteurs en instrumentation industrielle» 2eme Edition.
- [10] Ch. Fevrot «Les capteurs Editions techniques et scientifiques francaises» (1976)
- [11] John G. Webster «The Measurement, Instrumentation, and Sensors »Springer Science & Business Media, 1999
- [12] Brian Holdsworth and Clive Woods «Digital Logic Design» Fourth Edition Dec 3, 2002
- [13] Aziza Benaboud «Convertisseur de fréquence indirect à rapport de tension fixe» Oct 2012
- [14] Olivier Français «Les Convertisseurs Analogiques Numériques»ESIEE Vol 2

http://michel.hubin.pagesperso-orange.fr/capteurs/chimi/chap_h1.htm

<http://www.globalelectricity.org/en/index.jsp?p=79>

<http://proteus.software.informer.com/>

[http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm335.texas instruments/](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm335.texas%20instruments/)

<http://www.gadgetronicx.com/frequency-to-voltage-converter-circuit/>

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2907-n.pdf>

https://en.wikibooks.org/wiki/Digital_Circuits/Multiplexers-Demultiplexers

<https://www.coursehero.com/file/p37vnj/used-in-textbook-4-to-1-multiplexer-is-it-possible-ELEC151-Digital-Circuits-and/>